



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

DIVISIÓN DE CIENCIAS ECONÓMICO ADMINISTRATIVAS

DOCTORADO EN CIENCIAS EN ECONOMÍA AGRÍCOLA

**GOBERNANZA, PRODUCTIVIDAD Y VALORACIÓN DEL AGUA DEL
ACUÍFERO DEL VALLE DE SAN JUAN DEL RÍO, QUERÉTARO**

T E S I S

Que como requisito parcial para obtener el grado de:

DOCTORA EN CIENCIAS EN ECONOMÍA AGRICOLA

Presenta:

ÁNGELES SUHGEY GARAY JÁCOME

**BAJO LA SUPERVISIÓN DE: RAMÓN VALDIVIA ALCALÁ, DOCTOR EN
CIENCIAS**



Chapingo, Estado De México, octubre de 2024

**GOBERNANZA, PRODUCTIVIDAD Y VALORACIÓN DEL AGUA DEL
ACUÍFERO DEL VALLE DE SAN JUAN DEL RÍO, QUERÉTARO**

Tesis realizada por Ángeles Suhgey Garay Jácome bajo la supervisión del
comité asesor, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para
obtener el grado de.

DOCTORA EN CIENCIAS EN ECONOMÍA AGRÍCOLA

DIRECTOR:



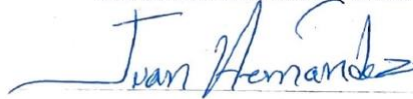
DR. RAMÓN VALDIVIA ALCALÁ

CODIRECTOR:



DR. JOSUÉ MEDELLÍN AZUARA

ASESOR:



DR. JUAN HERNÁNDEZ ORTIZ

LECTOR EXTERNO:



DRA. JUANITA JAPHETH VALDIVIA CABRAL

ÍNDICE

1. CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	15
1.1 Planteamiento del problema	18
1.2 Objetivo general	19
1.3 Objetivos específicos:	20
1.4 Hipótesis	20
1.5 Hipótesis específicas	20
CAPÍTULO II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	22
2.1 ESTADO DE LOS RECURSOS HÍDRICOS	23
2.2 INSTITUCIONES Y GOBERNANZA DEL RECURSO HÍDRICO.....	30
2.3 PRODUCTIVIDAD DEL AGUA	40
2.4 VALORACIÓN CONTINGENTE.....	48
CAPÍTULO III.....	69
GOBERNANZA DEL AGUA EN EL ACUÍFERO VALLE DE SAN JUAN DEL RÍO, QUERÉTARO	69
4. CAPÍTULO IV.	91
Efectos económicos de la sequía en el DDR 023 San Juan del Río, Querétaro	91
5. CAPÍTULO V.	107
VALORACIÓN ECONÓMICA POR LOS AGRICULTORES DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS EN CONDICIONES DE SEQUÍA EN EL DR023, SAN JUAN DEL RÍO, QUERÉTARO.	107
6. CONCLUSIONES	126
7. BIBLIOGRAFÍA	128

LISTA DE CUADROS

INDICE DE CUADROS DEL CAPÍTULO 2

Índice de Cuadros

Cuadro 2-1. Derechos de propiedad	39
Cuadro 2-2. Tipos de métodos económicos de valoración del agua, sus características y usos	53

INDICE DE CUADROS Y FIGURAS DEL CAPÍTULO 3

Índice de Cuadros

Cuadro 3- 1. Mapeo de implementación de políticas públicas del agua	78
Cuadro 3- 2. Regulación en las áreas de responsabilidad	79
Cuadro 3-3. Mecanismos existentes de coordinación de las políticas del agua entre órdenes de gobierno y a nivel territorial.....	83
Cuadro 3-4. Herramientas para dirigir la interacción entre actores a nivel subnacional.	84
Cuadro 3-5. Herramientas para formar capacidad en el acuífero.	85

Índice de Figuras

Figura 3-1. Localización del acuífero.....	74
Figura 3- 2. Visión general de los principios de la gobernanza del agua de la OCDE ...	76
Figura 3-3. Obstáculos para la coordinación vertical en la formación de políticas del agua	82
Figura 3- 4. Obstáculos para la formación de capacidad y la coordinación a nivel territorial.	83

INDICE DE CUADROS Y FIGURAS DEL CAPÍTULO 4

Índice de Cuadros

Cuadro 4-1. Ingreso en el año agrícola del DDR023 con escasez de agua	99
Cuadro 4-2. Cultivos en la solución óptima en los modelos construidos	100
Cuadro 4-3. Precio sombra del agua en diferentes condiciones de sequía en el DDR023.....	102

Índice de Figuras

Figura 4 -1. Localización del Acuífero	95
Figura 4-2. Variaciones en el ingreso agrícola del DDR023 en el año agrícola ante la escasez de agua	100
Figura 4-3. Cultivos con riego solo de agua subterránea. Sin y con el 60% alfalfa	104

INDICE DE CUADROS Y FIGURAS DEL CAPÍTULO 4

Índice de cuadros

Cuadro 5- 1. Definición de las variables utilizadas	114
Cuadro 5- 2. Valor de los coeficientes estimados y significancia.	118
Cuadro 5-3. Efectos marginales de cada variable	120

Índice de figuras

Figura 5 -1 Mapa del distrito de riego 023 San Juan del Río	112
Figura 5- 2. Nivel de Estudios de los entrevistados	116
Figura 5-3. DAP por nivel de ingreso de los entrevistados	117
Figura 5- 4. Proporción de Cultivos por agrupación con respecto al área total	118

ABREVIATURAS

AVSJR:	Acuífero Valle de San Juan del Río
CEA:	Comisión Estatal del Agua
CIAMA:	Conferencia Internacional sobre el Agua y el Medio Ambiente
CONAGUA:	Comisión Nacional del Agua
COTAS AVSJR:	Comité Técnico de Aguas Subterráneas del Acuífero Valle de San Juan del Río, A, C
DAP:	Disposición a pagar
DOF:	Diario Oficial de la Federación
DR023:	Distrito de riego 023
EUWI:	European Union Water Initiative
FAO:	Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación
GWP:	Asociación Mundial del Agua
hm ³ :	Hectómetro cúbico
IICA:	Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura
JAPAM:	Junta de Agua Potable y Alcantarillado Municipal
LAN:	Ley de Aguas Nacionales
m ³ :	Metro cúbico
NOAA:	National Oceanic and Atmospheric Administration
O-I:	Otoño-invierno
OCDE:	Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico
ODS:	Objetivos de Desarrollo Sustentable
PL:	Programación Lineal
PNH:	Programa Nacional Hídrico
P-V:	Primavera-verano
RHA:	Regiones Hidrológicas Administrativas
SA:	Secretaría de Salud

SEDEA: Secretaría de Desarrollo Agropecuario

SEMARNAT: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales

SIGMAS: Sistema de Información Geográfica para el Manejo del Agua Subterránea

VC: Valoración Contingente

WMO: Organización Meteorológica Mundial

WTP: Disposición a pagar (por sus siglas en inglés)

WTA: Disposición a aceptar (por sus siglas en inglés)

DEDICATORIAS

A mis padres Reyna y Francisco

Por haberme apoyado en todo momento, por su amor, sus consejos, sus valores, por la motivación constante que me ha permitido ser una persona de bien, pero más que nada, por su cariño y confianza.

A mi madre por darme la vida día con día, por ayudarme a construir mis sueños, por estar dispuesta acompañarme cada larga y agotadora noche de estudio, por ser una mujer incansable y estar dispuesta a sacrificarse por mí con mucho amor y sin condiciones y sobre todo por ser excepcional y poder contar con ella en todo momento, ¡Te amo!

A mi padre por siempre desear y anhelar lo mejor para mi vida, por cada consejo y cada una de sus palabras que me guiaron durante mi vida.

A mis hermanos

Alan y Brandon porque son la razón de sentirme tan orgullosa de culminar mi meta, gracias a ellos por confiar siempre en mí, y sobre todo sé que contare con su apoyo cuando los necesite.

A mi director, codirector y asesores

Dr. Ramon Valdivia Alcalá, Dr. Josué Medellín Azuara y al Dr. Juan Hernández Ortiz por su valiosa contribución a mi formación, por sus comentarios y sugerencias sobre este trabajo y por compartir su conocimiento.

Y sobre todo gracias a todas las personas que me apoyaron y creyeron en la realización de esta tesis.

AGRADECIMIENTOS

Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT)

Por el apoyo económico otorgado para la realización y culminación de mis estudios de posgrado, porque es necesario tener un apoyo para quienes deseamos realizar un posgrado enfocado a la Investigación.

A la Universidad Autónoma

Chapingo (DICEA)

Por permitirme que se hagan realidad mis sueños, para seguir preparándome y desarrollarme como profesionista.

Al Dr. Ramón Valdivia Alcalá

Profesor investigador del Posgrado de la DICEA, Investigador Nivel 2 del SNII

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento por todo el apoyo y guía que me brindó a lo largo de mi tiempo en el posgrado. Sus valiosos consejos y conocimiento que compartió conmigo fueron fundamentales para avanzar en cada etapa de estas investigaciones.

Agradezco profundamente la confianza que ha depositado en mí al impulsarme a tener una experiencia más haciendo una estancia de investigación en la Universidad de California campus Merced, puesto que fue una experiencia enriquecedora que me brindó la oportunidad de crecer tanto a nivel personal como profesional.

Gracias a usted, he adquirido herramientas que me serán de gran utilidad en mi formación futura.

Le reitero mi más profundo agradecimiento por todo lo que he aprendido bajo su dirección.

Al Dr. Juan Hernández Ortiz
Coordinador y profesor investigador del Posgrado de la DICEA,

Por su invaluable contribución en la asesoría de este documento y los conocimientos recibidos en los cursos que imparte, pero sobre todo por la confianza al incluirme en el equipo de ayudantías académicas del posgrado, eso me permitió conocer más nuestra institución y tenerle más cariño y agradecimiento.

Al Dr. Josué Medellín Azuara

Profesor de la Universidad California Campus Merced y Líder del proyecto “UC Alianza-MX” por incluirme en dicho proyecto, lo que me permitió participar en varios talleres de trabajo; por aceptarme, ser mi tutor y apoyarme para realizar una estancia de investigación en la Universidad de California campus Merced, lo que me aportó una gran experiencia en mi formación. Las contribuciones del PhD. Medellín para la elaboración y revisión de este documento fueron muy importantes.

DATOS BIOGRÁFICOS



MC. ÁNGELES SUHGEY GARAY JÁCOME

Fecha de nacimiento: 08 de abril de 1996

Lugar de nacimiento: Texcoco, Estado de México

Cédula profesional: 12472873

Correo electrónico: anlley0608@gmail.com

DESARROLLO ACADÉMICO

- **Doctorado en Ciencias en Economía Agrícola-** Universidad Autónoma Chapingo, UACH
- **Maestría en Ciencias en Economía Agrícola y de los Recursos Naturales** - Universidad Autónoma Chapingo, UACH
Cédula profesional: 12472873
- **Licenciatura en Administración y Gestión de PyMES** - Universidad Politécnica de Texcoco, (UPTex).
Cédula profesional: 11531715

PUBLICACIONES

- Garay Jácome, Á. S., Valdivia Alcalá, R., Hernández Ortiz, J., & Sandoval Romero, F. (2022). Estimación de la huella hídrica de la producción de caña de azúcar para los ingenios de la cuenca del Papaloapan. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 13(1), 103-113.
- Valdivia Alcalá R.; Delgadillo V. M. A; Sangermán Jarquín D. Ma.; Hernández Ortiz J.; Sandoval Romero F.; Garay Jácome Á. S., (2022). Economic valuation of the quality of drinking water in León, Guanajuato. *Revista Mexicana Ciencias Agrícolas* volumen 13 number 3.

- Valdivia Alcalá, R., Cuevas Alvarado, C. M., Vázquez Muñoz, J. S., García Hernández, M. I., Santiago Zarate, I. M., & Garay Jácome, Á. S. (2022). Análisis de la eficiencia y retornos de escala de los ingenios azucareros de México. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 13(1), 141-153.
- Serrano López, A., Valdivia-Alcalá, R., Garay-Jácome, Ángeles S., Hernández-Ortiz, J., & Contreras-Castillo, J. M. (2024). Competitiveness of Mexican pecans [*Carya illinoensis* (Wangenh) K.Koch] and almonds [*Prunus dulcis* (Mill.) D.A.Webb] in the international market. *AgroProductividad*.

PARTICIPACIÓN EN PROYECTOS

- Participante de la Universidad Autónoma Chapingo en el proyecto UC Alianza MX – Proyecto UC “Gestión del agua para aumentar la resiliencia climática en México y Estados Unidos” 2022-2024.

ASESORÍAS DE TESIS

- Asesora de la tesis de Maestría: Análisis de la Competitividad de la nuez pecanera y las almendras mexicanas en el Mercado Internacional para obtener el grado de Maestro en Ciencias en economía agrícola y de los recursos naturales de la Universidad Autónoma Chapingo.

RESUMEN GENERAL

¹GOBERNANZA, PRODUCTIVIDAD Y VALORACIÓN DEL AGUA DEL ACUÍFERO DEL VALLE DE SAN JUAN DEL RÍO, QUERÉTARO

Las condiciones que guarda el recurso hídrico en México y en el mundo están caracterizadas por el incremento en la demanda en los diferentes usos, la contaminación de cuerpos de agua superficiales y subterráneos, las manifestaciones del cambio climático y los frecuentes problemas de gobernanza. Se abordó el tema de gobernanza multinivel en el acuífero de San Juan del Río, Querétaro, los efectos de la sequía en el ingreso agrícola y la productividad del agua de uso agrícola, así como la valoración del agua subterránea que hacen los productores agrícolas en condiciones de sequía en el DR023. Las metodologías usadas fueron: la gobernanza multinivel propuesta por la OCDE; la programación matemática y la valoración contingente. En gobernanza, los resultados señalan que la implementación de la política hídrica y la administración del agua en el acuífero de San Juan del Río, Querétaro hay ausencias importantes, como en la limpieza del agua. En el efecto de la sequía en el ingreso, se producen reducciones que van del 8.6% al 19.1% en el ingreso agrícola para el primer conjunto de modelos que reproducen sequias leves a severas. Los precios sombra del agua van de \$800 por millar de m³ hasta los \$5,819 por millar de m³ para el ciclo O-I a medida que aumenta la sequía. En valoración, se encontró una DAP media por parte de los regantes de \$64.7 MX, por riego hectárea, independientemente del cultivo. Se concluye que existen vacíos en la gestión, sobre todo en lo que se refiere a los problemas de contaminación y financiamiento; que el precio sombra del agua aumenta de manera significativa a medida que aumenta la sequía; que los productores agrícolas valoran positivamente las aguas subterráneas como insumo vital en la producción agropecuaria de la región.

Palabras clave: Gestión del agua, precio sombra del agua, disposición a pagar

¹ Tesis de Doctorado en Ciencias en Economía Agrícola, Universidad Autónoma Chapingo

Autor: Ángeles Suhgey Garay Jácome

Director de tesis: Ramón Valdivia Alcalá

ABSTRACT

¹GOBERNANZA PRODUCTIVITY AND VALUATION OF WATER IN THE AQUIFER OF THE SAN JUAN DEL RÍO VALLEY, QUERÉTARO.

The conditions of water resources in Mexico and the world are characterized by the increase in demand for different uses, pollution of surface and groundwater bodies, the manifestations of climate change and frequent governance problems. The topic of multilevel governance in the aquifer in San Juan del Río, Querétaro, the effects of drought on agricultural income and agricultural water productivity, as well as the valuation of groundwater by agricultural producers under drought conditions in DR023 were addressed. The methodologies used were: multilevel governance proposed by the OECD; mathematical programming and contingent valuation. In governance, the results indicate that the implementation of water policy and water administration in the aquifer in San Juan del Río, Querétaro, there are important absences, such as in water cleanliness. In the effect of drought on income, there are reductions ranging from 8.6% to 19.1% in farm income for the first set of models that reproduce mild to severe droughts. Shadow water prices range from \$800 per thousand m³ to \$5,819 per thousand m³ for the O-I cycle as drought increases. In valuation, an average WTP by irrigators of \$64.7 MX, per hectare irrigation, regardless of the crop, was found. It is concluded that there are gaps in management, especially with regard to pollution and financing problems that the shadow price of water increases significantly as drought increases and that agricultural producers value groundwater positively as a vital input in agricultural production in the region.

Key words: Water management, shadow price of water, willingness to pay

¹ PhD Thesis in Agricultural Economics, Universidad Autónoma Chapingo
Author: Ángeles Suhgey Garay Jácome
Thesis Director: Ramón Valdivia Alcalá

1. CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

El agua es un recurso limitado de suma importancia para garantizar la salud de las personas, el equilibrio de los ecosistemas, la diversidad de seres vivos, la producción de alimentos, el funcionamiento de la industria, el suministro de energía y el crecimiento económico, principalmente. Por ello desde hace años en los planes nacionales hídricos se le ha considerado un factor estratégico de seguridad nacional, así como de estabilidad social y política de nuestra nación (SEMARNAT, 2014).

En México los usos consuntivos del agua según CONAGUA (2023a) son: El 76.3% es agrícola, el 14.8% abastecimiento público, el 4.8% la industria autoabastecida y el 4.1% electricidad excluyendo hidroelectricidad. (CONAGUA, 2023a).

Según el Programa Nacional Hídrico 2014-2018 (SEMARNAT, 2014), se destaca que el agua ha sido utilizada de manera intensiva en diversas actividades productivas, lo cual ha llevado a una explotación excesiva tanto de fuentes de agua superficial como subterránea. Esto ha resultado en un deterioro de los ecosistemas debido a la disminución en los flujos de agua. Además, se reconoce que esta forma de utilizar el agua ha provocado un exceso de concesiones de agua en las cuencas y acuíferos del país.

Según el Plan Nacional Hídrico 2020-2024 (DOF, 30-12-2020), la mayoría de los recursos hídricos se encuentran en los ríos, seguidos en importancia por las presas, acuíferos, lagos y lagunas. Se ha identificado un total de 653 acuíferos y 51 ríos principales, los cuales representan el 87% del flujo de agua superficial y abarcan el 65% de la superficie del país.

El agua es un recurso que se usa prácticamente en todas las actividades productivas, además de ser esencial para la vida humana, la higiene y los ecosistemas; su uso como solvente es fundamental. Debido a la escasez global de agua, se requiere cada vez más la implementación de técnicas de

conservación de agua en el sector agropecuario, dado que el agua tiene un valor económico significativo (Garay *et al.*, 2022).

En Dublín, durante la Conferencia Internacional sobre Agua y Medio Ambiente de 1992, se discutió el tema del agua y uno de sus principios sostiene que “el agua tiene un valor económico en todos sus usos competitivos y debe reconocerse como un bien económico” (WMO, 1992).

La gestión del agua es una tarea compleja por la gran cantidad de instituciones, organización, niveles de gobierno y organizaciones de usuarios que participan en todas las etapas de almacenamiento, extracción, distribución y consumo, esto la hace en una tarea muy fragmentada con duplicidades y vacíos importantes, ocasionando serios problemas de gobernanza.

Las características físicas, económicas, culturales y sociales del agua generan debates y conflictos en las decisiones sobre cómo asignar este recurso, especialmente en términos de su clasificación como bien público o privado. Estos aspectos también impulsan la necesidad de comprender cómo los distintos usuarios valoran el recurso hídrico.

El PNH 2020-2024 registra que:

En lo que respecta a los usos consuntivos, aproximadamente el 61% del agua proviene de fuentes superficiales (ríos, arroyos y lagos), mientras que el 39% restante se extrae de fuentes subterráneas (acuíferos). El sector agrícola utiliza cerca del 76% de las extracciones, le sigue el abastecimiento público que extrae el 14%, mientras que 5% corresponde a lo que usa la industria autoabastecida y 5% se emplea en centrales termoeléctricas. De estos caudales, los sectores, agrícola y público urbano, tienen pérdidas de agua de cerca de la mitad del agua extraída, lo que representa una gran área de oportunidad para reducir las extracciones. (DOF, 30-12-2020, p. 9).

También señala que, para la organización administrativa del agua, en México hay 757 cuencas hidrológicas, agrupadas en 37 regiones hidrológicas, con 653

acuíferos para las aguas subterráneas. La autoridad Nacional del Agua (CONAGUA) opera a través de 13 Organismos de Cuenca, cuyos sendos ámbitos de competencia son las 13 RHA.

La condición que guarda cada región hidrológica en el país es preocupante, ya que hay regiones con muy alto y alto grado de presión como la XIII Aguas del Valle de México (141%) y la I Península de Baja California (81%); la II Noroeste (85%); la III Pacífico Norte (40%); la IV Balsas (50%); VI Río Bravo (75%); la VII Cuencas Centrales del Norte (48%), y la VIII Lerma Santiago Pacífico (45%). La RHA XII Península de Yucatán se clasifica con "bajo" grado de presión, o sin presión como las RHA V Pacífico Sur; X Golfo Centro, y XI Frontera Sur. (DOF, 30-12-2020).

Estas condiciones, sin duda, se ven magnificadas por los efectos del cambio climático que se expresan en eventos climatológicos extremos de agua en abundancia y sequía extrema en lugares y momentos inéditos, además de los efectos causados por la contaminación de los cuerpos de agua superficiales y subterráneos, que provocan las actividades humanas, las productivas y las propias de la satisfacción de las necesidades básicas.

El agua no conoce de fronteras administrativas y políticas, se usa en todas las actividades productivas; los ecosistemas se mantienen en equilibrio gracias a la presencia del agua, su uso en los hogares y zonas urbanas es fundamental para mantener la higiene; la cantidad de usuarios con intereses variados y las características físicas y económicas del agua complican su gestión y buen uso, por eso es importante mapear y conocer quién y qué hace en cada tramo de la gestión del recurso hídrico, cómo se valora el agua en la agricultura, si se valora más la ubicada en el subsuelo que en la superficie y determinar la productividad del agua usada en la agricultura.

En los temas del agua, hay muchos mitos, creencias y tradiciones que deben abordarse y aclararse, en esto la economía puede contribuir de manera importante. En la actualidad atestiguamos escasez de agua en muchas ciudades importantes y vemos como la población se enfrenta a los gobiernos

de manera ruidosa con movimientos sociales de pronósticos reservados si no se obtienen nuevos suministros de agua, sin embargo, también es importante mencionar que en los diferentes usos existen cantidades importantes de agua suministrada que se pierde o desperdicia. Es necesario examinar los gastos relacionados con la provisión de agua según las necesidades de los consumidores, con el fin de establecer tarifas apropiadas que promuevan la reducir eficiente del recurso hídrico, teniendo en cuenta todos los posibles usos y las prioridades relevantes entre ellos (Griffin, 2006).

Esta investigación se desarrolló en el Acuífero Valle de San Juan del Río (AVSJR) y en el distrito de riego 023 ubicado en el mismo.

1.1 Planteamiento del problema

Una característica notable en la toma de decisiones sobre los recursos hídricos es la amplia participación del público. En general, la población considera que los recursos hídricos son de dominio público y, por lo tanto, cree tener derecho al acceso al agua. Esta creencia se sustenta en el hecho de que el agua es fundamental para la vida, ya que la consumimos y somos conscientes de que resulta indispensable para nuestra existencia, además de la idea que nadie la produce. La gente puede tener muchas emociones con respecto al agua.

En estas condiciones, la toma de decisiones puede resultar onerosa, tanto en términos de tiempo y costos. Las posiciones del statu quo pueden ser difíciles de cambiar. Los funcionarios electos han perdido sus puestos cuando buscan cambios de política del agua antes de que sus electores estén preparados para ello.

La escasez de agua se produce por tres orígenes: crecimiento de la población, la utilización errónea del agua y por la falta de equidad en el acceso.

Se conoce que un gran número de veces cuando se habla de escasez de agua, en realidad subyace un problema de gobernanza, dado el número de actividades que compiten por su uso y la cantidad de actores que participan

en los diferentes tramos desde su captura hasta su consumo en los diversos usos. En el AVSJR área de estudio, en los últimos años ha aumentado la presión por el agua dada la cantidad de industrias que se han instalado en el mismo y por el crecimiento de la población, aunque el principal uso sigue siendo el agrícola.

Hoy en día, la agricultura no está en muchos casos, en condiciones de competir económicamente por el agua escasa con otras actividades económicas más rentables. La agricultura es el sector que consume más agua en el mundo; también la aplica en actividades de bajo valor, de manera poco eficiente y subsidiada (FAO, 1993). Es importante conocer la productividad del agua en la agricultura, así como estimar los impactos en el ingreso agrícola en el DR023 cuando se produce escasez.

La FAO (2004) señala que el riego es el insumo que por separado más aporta al aumento en los rendimientos agrícolas, pero no siempre este recurso es valorado apropiadamente por los agricultores que lo usan. Esto motiva a conocer si en una situación en la que los agricultores del DR023 no disponen de agua superficial para riego, le otorgan valor al agua subterránea y cuánto.

Se trata de conocer el estado en que se encuentra la gobernanza del agua en el acuífero al que pertenece la zona de riego estudiada, el efecto en el ingreso agrícola cuando hay escasez de agua y la valoración del agua subterránea que hacen los usuarios agrícolas.

1.2 Objetivo general

Conocer el estado de la gobernanza de agua del AVSJR, que permita instrumentar acciones y organizar la participación de los interesados en el uso del agua y de los recursos hídricos, así como el efecto en el ingreso agrícola en condiciones de sequía en el DR023 y la valoración del agua subterránea por parte de los agricultores cuando no pueden usar agua superficial.

1.3 Objetivos específicos:

- Conocer el estado de la gobernanza del agua del AVSJR.
- Conocer el efecto en el ingreso agrícola en condiciones de sequía y la productividad del agua del AVSJR.
- Determinar la disponibilidad a pagar para estimar el valor económico del agua del AVSJR por parte de los productores agrícolas.

1.4 Hipótesis

- La gobernanza del agua en el AVSJR, brechas que dificultan la buena gobernanza; En condiciones de sequía, tendrá efectos negativos en el ingreso agrícola de los productores y una reducción de los cultivos con mayor consumo de agua; Los productores hacen una valoración económica positiva de agua del acuífero del AVSJR.

1.5 Hipótesis específicas

- Existe problemas de gobernanza de agua por falta de precisión en las responsabilidades y exceso de participantes: gobierno federal, estatal, municipal y usuarios.
- En condiciones de sequía se producirán efectos importantes en el ingreso agrícola del DR023 y los cultivos con mayor consumo de agua serán desplazados.
- Los productores del AVSJR tienen una valoración positiva del agua subterránea y, por tanto, tienen una disponibilidad a pagar por hacer acciones que mejoren la recarga del acuífero.

1.6 Estructura del documento.

Este documento de graduación consta de 5 capítulos estructurados de la siguiente manera: El primer capítulo contiene la introducción general que incluye elementos importantes del tema que se desarrolló, el planteamiento del problema, los objetivos y las hipótesis. El segundo capítulo trata de la revisión de literatura acerca del estado de los recursos hídricos en el país; de las instituciones y la gobernanza del recurso hídrico; de los elementos a considerar para conocer la productividad del agua en la agricultura y; de la valoración contingente, como método de valoración para recursos sin mercado. El tercer capítulo es un manuscrito cuyo propósito es conocer el estado de la gobernanza en el AVSJR, se aplicó el método de gobernanza multinivel de la OCDE. El cuarto capítulo es un manuscrito que tiene como objetivo conocer los efectos de la sequía en el ingreso agrícola de los productores del DR023 y la productividad del agua, se aplicó la programación matemática. El quinto capítulo es un manuscrito que tuvo como objetivo conocer la valoración que hacen los productores agrícolas del agua subterránea cuando hay sequía, se aplicó el método de valoración contingente.

CAPÍTULO II. REVISIÓN DE LITERATURA

Este capítulo contiene una revisión de literatura relativos a la temática que aborda el documento de graduación. Inicia con un análisis de la situación de los recursos hídricos y de la problemática asociada considerando conceptos que en diversos foros se utilizan sino como sinónimos, si como situaciones que reflejan dificultades en la disponibilidad del agua; también se considera información relevante del estado de los recursos hídricos en México y en la zona de estudio.

El segundo apartado se realiza la revisión de literatura relativa a la temática de la gobernanza del agua, se resalta que en gran medida los problemas de escasez de agua en una gran cantidad de situaciones en realidad se tratan de un problema de gobernanza, aspecto que se vislumbra difícil de superar dada la cantidad de participantes y de usos del agua en competencia.

El tercer apartado aborda la revisión de literatura a la aplicación de métodos para conocer el valor del agua en la agricultura. Considera al recurso agua como un bien de los productores que no reporta un precio, a diferencia de la mayoría de los insumos que participan en la producción agrícola; analiza usando un modelo deductivo de programación matemática, los efectos económicos de la escasez de agua debido a la sequía y el uso exclusivo del agua subterránea en la producción agrícola en condiciones de riego.

El cuarto apartado hace una revisión de literatura del uso de un método inductivo para valorar el agua como bien de los productores. Usa el método de valoración contingente (VC), como método de no mercado, para conocer la valoración que hacen los productores del agua subterránea concesionada por la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) en condiciones de escasez de agua superficial de las presas que abastecen a la zona de riego en estudio.

2.1 ESTADO DE LOS RECURSOS HÍDRICOS

En la actualidad, en el mundo se registran situaciones que se identifican como de escasez de agua. La escasez de agua está presente cuando la demanda de agua supera el suministro de agua dulce en un área determinada.

FAO, (2013) considera que la escasez de agua está relacionada a una serie de eventos que tienen características diversas:

Esto se produce porque se demanda más agua por parte de todos los sectores respecto al suministro disponible, bajo las condiciones de infraestructuras y las disposiciones institucionales existentes. La escasez de agua se observa en la insatisfacción total o parcial de la demanda, la calidad del agua, el agotamiento de las aguas subterráneas.

La escasez de agua es también una construcción social: todas sus causas están relacionadas con la intervención humana en el ciclo del agua.

En este contexto, en el futuro cercano y atendiendo a los efectos del cambio climático lo más probable es que la escasez de agua se haga más profunda en casi todas las regiones del planeta y para todas las actividades productivas. Para la FAO hay tres aspectos principales que caracterizan la escasez de agua que incluyen (FAO, 2013) “la falta física de agua disponible para satisfacer la demanda; el nivel de desarrollo de las infraestructuras que controlan el almacenamiento, distribución y acceso; y la capacidad institucional para aportar los servicios de agua necesarios.”

De acuerdo con FAO (1993), las actividades humanas contribuyen a la escasez del agua de tres maneras: por el incremento de la población; por el inadecuado uso y; por la falta de equidad en el acceso a ella.

Lo que los gobiernos y la sociedad con todos los participantes en la gestión del agua puedan hacer para mitigar o evitar la escasez de agua, desde la concientización de la población, el uso de técnicas ahorradoras de agua, que se recicle el agua, que se evite la contaminación de los mantos acuíferos; la

inversión en mantenimiento y remplazo de infraestructura, tubería y equipo dañado (evitar o reducir fugas) y además de mejorar la gobernanza del agua.

Griffin (2006) identifica acciones para mejorar la oferta y la gestión de la demanda. Para el primer caso enumera los siguientes: Construir / ampliar represas; Perforar / mejorar pozos; Construir instalaciones de transferencia de agua entre cuencas; Reparar la infraestructura con fugas; Construir plantas desalinizadoras/tratadoras y; Reprogramar las operaciones del embalse (por ejemplo, más almacenamiento con menos protección contra inundaciones).

Dentro de las acciones de gestión de demanda están: Establecer códigos de plomería que ahorren agua que requieren ciertos tipos de accesorios (como de bajo flujo inodoros y duchas); Establecer planes de emergencia para casos de sequía; Racionar el agua o limitar su uso (por ejemplo, horarios de riego en días alternos); Compra / arrendamiento / venta de derechos de agua; Aumentar las tarifas del agua y; Educar a los usuarios del agua sobre las opciones de conservación.

Aunque el agua puede calificarse como un recurso abundante en la tierra, la proporción disponible para consumo humano no llega al 1% del total. Aunque generalmente cuando pensamos en agua suponemos que está en estado líquido, también se puede encontrar en estado sólido o gaseoso en forma de vapor.

La preocupación por los problemas del agua, no son nuevos. Organismos internacionales llamaron la atención desde la última década del siglo pasado en dicha problemática. Al principio de la década de los 90s el sistema de las Naciones Unidas patrocinó la Conferencia Internacional sobre el agua y el Medio Ambiente (ICWE), en Dublín, Irlanda. En este evento se destacó la necesidad de utilizar métodos novedosos y eficaces para administrar y desarrollar los recursos hídricos, se destacó la necesidad de fortalecer y reformar las instituciones que administran y construyen políticas hídricas en todo el mundo.

Los trabajos se desarrollaron en seis grupos de trabajo, por mencionar dos se tienen (WMO,1992): “evaluación de los recursos hídricos, impactos de los cambios climáticos; y el agua en la perspectiva de una producción alimentaria y de un desarrollo rural durables; abastecimiento de agua potable y saneamiento de las zonas rurales”.

En esa misma reunión se advierte: (WMO, 1992) “Se precisa una acción concertada para invertir las actuales tendencias de consumo excesivo y las amenazas crecientes derivadas de la sequía y las crecidas”. Se formulan recomendaciones que establecen cuatro principios rectores.

Sin duda, los cuatro principios rectores son importantes, sin embargo, es relevante resaltar el primero y el cuarto (WMO, 1992). El primero califica al agua dulce como “un recurso finito y vulnerable, esencial para sostener la vida, el desarrollo y el medio ambiente”. El cuarto resalta que “el agua tiene un valor económico en todos sus diversos usos en competencia a los que se destina y debería reconocérsele como un bien económico”.

Particularmente en este último, se enfatiza el derecho que tiene todo ser humano para acceder al agua a un precio asequible. Además, señala que ignorar el valor económico del agua conduce al derroche y a su utilización con efectos perjudiciales para el medio ambiente. Por lo tanto, gestionar el agua como bien económico contribuye a conseguir un aprovechamiento eficaz y equitativo y a favorecer la conservación y protección de los recursos hídricos.

Vale la pena en este punto recordar el significado de recursos hídricos “Los recursos hídricos incluyen el agua y los medios a través de los cuales ese recurso discurre y se almacena: glaciares, laderas, lagunas y lagos, manantiales, ríos y riachuelos, acuíferos y las obras construidas por el hombre, como represas, pozos, canales y drenes” (IICA, 2015, p. 17).

En tanto que la gestión de los recursos hídricos se refiere a todas las acciones que realizan los entes privados incluyendo a las organizaciones de usuarios en las áreas de su propiedad o alquiler y los organismos públicos para “la

adecuada conservación y funcionamiento de los recursos hídricos.” (IICA, 2015). Añade que la gestión incluye también las acciones que permiten el uso racional del agua, su ahorro y la preservación de su calidad.

Otro concepto importante en el tema que se trata es el relativo al estrés hídrico que es la razón entre el total de agua dulce extraída por los principales sectores y el total de recursos de agua dulce renovables, una vez cubierto el caudal ambiental (FAO (2021).

Otro concepto relevante es el grado de presión que se ejerce sobre el recurso hídrico, que es el porcentaje del agua empleada en usos consuntivos respecto al agua renovable. Si este valor es mayor al 40% se considera que hay una fuerte presión (CONAGUA, 2018).

Como país, México tiene un grado de presión de 19.5%, pero hay regiones hidrológicas como la XIII del Valle de México con 141.4% y otras siete con porcentajes mayores al 40%. En el mundo la agricultura es responsable de todas las extracciones de aguas superficiales y subterráneas principalmente para fines de riego (FAO, 2021)

En México para para que un usuario pueda aprovechar el agua, requiere de un título de concesión donde se especifica el volumen de agua y el uso que le dará. El Registro Público de Derechos de Agua consigna la información la distribución regional de los aprovechamientos concesionados.

Es la agricultura, la actividad que concentra el mayor porcentaje de volúmenes concesionados con el 76.04%; le sigue el abastecimiento público con el 14.38%; luego el uso industrial con 4.9% y finalmente la generación de energía eléctrica excluyendo hidroelectricidad (CONAGUA, 2018).

El origen de los usos consuntivos, el 61% del agua proviene de fuentes superficiales (ríos, arroyos y lagos), y el 39% restante de fuentes subterráneas. El sector agrícola utiliza cerca del 76% de las extracciones, el abastecimiento público el 14%, el 5% corresponde a la industria autoabastecida y 5% se emplea en centrales termoeléctricas (CONAGUA, 2017).

En el mundo desde hace décadas se identificó lo que en su momento se denominó la revolución silenciosa del uso intensivo del agua subterránea, motivada por los avances que se produjeron en las técnicas de perforación y bombeo de pozos que, aunado al desarrollo de la hidrogeología, han hecho que las aguas subterráneas estén más disponibles. Además, las ventajas socioeconómicas de estas acciones han incentivado a que agricultores de todo el mundo de áreas áridas y semi áridas realicen el riego con aguas de esta fuente (Llamas y Martínez-Santos, 2006).

Del volumen concesionado para el uso agrícola por tipo de fuente, se detecta un incremento paulatino de la participación de las aguas subterráneas, en parte por las sequías, en parte por la insuficiente inversión en rehabilitación y mantenimiento de infraestructuras y en parte por el aumento de la demanda. Se tiene que en 2009 la participación de las aguas subterráneas era del 33.8%; en 2017 del 36.2% mientras que para 2022 fue de 37.1% (CONAGUA, 2023a):

De 2009 a 2022 el total de agua de uso agrícola en México aumentó de 61.8 miles de hm³ a 68.5 miles de hm³, un incremento del 11.6%. En este periodo el incremento del agua subterránea fue del 21.7%, mientras que el del agua superficial fue del 6.4%, sin duda debido a las sequías registradas en el país, lo que se manifiesta mayores extracciones y en un abatimiento continuo y prolongado de los mantos acuíferos del país (CONAGUA, 2023a).

En México la CONAGUA para fines administrativos ha definido 757 cuencas y las define como “Las cuencas son unidades naturales del terreno, definidas por la existencia de una división de las aguas superficiales debida a la conformación del relieve”. (CONAGUA, 2023a, p. 23).

Las 757 cuencas del país se encuentran organizadas en 37 regiones hidrológicas mismas que se agrupan en 13 regiones hidrológico-administrativas (RHA). Por su parte las aguas subterráneas en el país se agrupan en 653 acuíferos. De acuerdo con la Ley de Aguas Nacionales (LAN), la CONAGUA desempeña sus funciones a través de 13 Organismos de Cuenca, cuyos sendos ámbitos de competencia son las 13 RHA.

La LAN define al acuífero como:

Cualquier formación geológica o conjunto de formaciones geológicas hidráulicamente conectadas entre sí, por las que circulan o se almacenan aguas del subsuelo que pueden ser extraídas para su explotación, uso o aprovechamiento y cuyos límites laterales y verticales se definen convencionalmente para fines de evaluación, manejo y administración de las aguas nacionales del subsuelo. (DOF, 11/05/ 2022, p. 1).

El estado que guardan los acuíferos en el país señala que 115 de los 653 están en una situación de sobreexplotación, y en 69 de las 757 cuencas hidrológicas el caudal concesionado o asignado es mayor que el de agua renovable (situación de déficit). Además, muchas aguas superficiales se encuentran contaminadas por descargas de aguas residuales, municipales e industriales sin tratamiento, así como por agroquímicos usados en la agricultura o por estiércoles del ganado.

También se deben incluir 17 acuíferos que registran intrusión salina, 32 tienen problemas de salinización de suelos y aguas salobres. A lo anterior se debe agregar que cada año se pierden áreas para la recarga debido a la deforestación, al cambio de uso de suelo, al crecimiento de las zonas urbanas y al incremento de las zonas pavimentadas que impiden la infiltración DOF: 30/12/2020.

Para el riego agrícola los volúmenes de agua concesionados provienen en un 36% de acuíferos y el resto, proviene de presas o derivaciones de ríos. México en el mundo ocupa el 7º lugar por su superficie con riego, aunque la superficie sembrada es de aproximadamente 22 millones de hectáreas, se tienen 6.1 millones con infraestructura de riego y el resto es de temporal.

La superficie bajo riego está organizada para su operación en 86 distritos de riego que comprenden 2.5 millones de hectáreas, además existen aproximadamente 40 mil unidades de riego que corresponden a 3.6 millones

de hectáreas. Las áreas de riego generan más de la mitad de la producción agrícola nacional (DOF: 30/12/2020).

El acuífero valle de San Juan del Río Querétaro, está incluido al Organismo de cuenca “IX Golfo Norte”, que tiene alto grado de presión y al Consejo de Cuenca Río Pánuco; es jurisdicción territorial de la dirección local en Querétaro. El acuífero esta parcialmente vedado y sujeto a las disposiciones de cuatro decretos de veda (CONAGUA, 2023).

El principal uso del agua subterránea en el acuífero es el agrícola con un número importante de pozos que se dedican a la agricultura. En la porción central de su territorio se localiza el Distrito de Riego 023 “San Juan del Río”. De acuerdo con CONAGUA (2023) “La configuración de evolución del nivel estático para el periodo 2014-2023 registró valores de abatimiento en la mayor parte de la superficie de explotación, que varían de 1 a 10 m, con valores locales de 15 m, que representan 0.1 a 1.7 m anuales. Los mayores abatimientos, de 1.1 a 1.7m anuales, se presentan en la porción norte y noroccidental de la zona agrícola”.

La disponibilidad de aguas subterráneas es el volumen medio anual de aguas subterráneas, al que se tiene derecho a explotar, usar o aprovechar por parte de los usuarios, adicional a la extracción ya concesionada y a la descarga natural comprometida, sin poner en peligro a los ecosistemas. Con esa definición el estado del acuífero presenta un déficit de 56'892,701 m³ (CONAGUA, 2023).

En el distrito de riego 023 se disponen de 56 pozos, de los cuales en el ciclo 2023-2024 se extrajeron para cubrir las necesidades de riego 56 millones de m³, lo cual implica que una vez mas no pudo regarse la totalidad de la superficie a causa de la sequía (DR023, 2024).

Según el Comité Técnico de Aguas Subterráneas del Acuífero Valle de San Juan del Río, A. C. (COTAS AVSJR) (2022) “Para el periodo del 2022 en el AVSJR se registró una precipitación de 567 mm, lo que representa un 44% por

debajo de la precipitación obtenida durante el año anterior (2021, 1290.1mm) y 5% por debajo de la media anual histórica del AVSJR (2000-2022) de 595 mm.” Esta situación de poca lluvia provoca que las presas Constitución y San Idelfonso no tengan agua para riego en la superficie del distrito y en consecuencia la superficie a sembrar se haga con aguas subterráneas.

Como el sector agrícola es el que tiene un volumen mayor de agua concesionada, durante los periodos de sequía, se registra una alta extracción de agua subterránea, ya que la disminución de la lámina de lluvia impide que los usuarios dispongan de aguas superficiales.

2.2 INSTITUCIONES Y GOBERNANZA DEL RECURSO HÍDRICO

El tema de las instituciones en la economía ha demostrado ser crucial para lograr mejores resultados que se reflejen en aportes al bienestar de la población y al mejor uso de los recursos naturales. North (1993), señaló que si bien se sabía que el desarrollo económico de una economía se debía al incremento del producto interno bruto (PIB) y del PIB per cápita, al mejoramiento de la productividad de sus recursos productivos, al mejor desempeño de los insumos de la producción, incluidos la mano de obra, el capital y los recursos naturales, no se sabía que el uso de esa productividad dependía de forma importante del desarrollo de “un sistema legal y judicial que garantice el respeto de contratos y acuerdos a un bajo costo” (North, 1993). Es decir, no es suficiente con tener una estructura productiva eficiente, sino que se requiere tener un marco institucional que permita a la sociedad beneficiarse de los productos que reporta esa excelente productividad.

Se requiere según North (1993), de crear mercados eficientes, pero no habla sólo de mercados económicos, sino también de mercados políticos, porque son éstos los que determinan las reglas económicas de juego y su aplicación.

Es justo por eso que las instituciones de una economía son importantes para detonar el desarrollo económico y hacer la diferencia en el desempeño entre economías. Las instituciones no son como se puede pensar, los edificios con

nombres importantes en donde se deben realizar algún trámite, sino más bien es el sistema de incentivos de una sociedad (North, 1993). Por lo tanto, se deben analizar las instituciones que tiene nuestra economía para otorgar incentivos y que tan robustas, maduras y sólidas son para respetar y hacer valer los contratos.

De acuerdo con Williamson (2001), las instituciones presentan cuatro niveles. El primero es el que corresponde al que le denomina “enraizamiento” y que corresponde a las instituciones informales, costumbres, tradiciones, normas, religión. Las instituciones en este nivel cambian muy lentamente, pero son muy importantes en el desarrollo económico. El segundo nivel corresponde al ambiente institucional, es decir, a las instituciones formales; aquí se ubican las constituciones, los derechos de propiedad, leyes, estos componentes evolucionan de acuerdo con el desarrollo de la sociedad. La definición aplicación y defensa de los derechos de propiedad y de toda la normatividad y legislativa conectada a éstos, es de gran importancia para establecer certeza en la economía y la sociedad, éste es muy importante para la consolidación de la economía.

El tercer nivel se materializa en la concreción de las instituciones de gobernación para hacer valer los derechos de propiedad a través de las relaciones contractuales, idea que desarrolló Commons (1932), que habla de tres principios básicos en las transacciones que son: de conflicto, de mutualidad y de orden, donde no solo los costos de transacción son importantes, sino también la gobernación, que es fundamental para poner orden en el proceso, reducir conflictos y asegurar ganancias a los participantes, que son los incentivos. El cuarto nivel se encuentra relacionado al enfoque de optimización considerando el enfoque de la economía neoclásica. Además, señala que no se debe ignorar la importancia que tiene en todo el proceso, la tecnología, es decir, el papel que juega la innovación tecnológica, así como la innovación organizativa.

El tema institucional tiene efectos en todos los ámbitos de la sociedad y de la economía, sin embargo, es en recursos naturales, como la gestión del recurso hídrico donde se observa con más frecuencia ya que los problemas relacionados con instituciones débiles o inexistentes y la falta de una gobernanza apropiada asociada con esas instituciones dan como resultado una percepción de escasez del recurso que en muchos casos se ha definido como un mito.

Mucho se ha dicho que, en una gran cantidad de situaciones en el mundo, donde se requiere asegurar el agua para los más desfavorecidos, no necesariamente se trata de resolver cuestiones hidrológicas, técnicas o de financiamiento, sino de gobernanza. En la gestión del agua para atender las necesidades del desarrollo en las diversas economías, pero sobre todo los riesgos asociados (inundaciones, desastres, sequías, contaminación de acuíferos, etc.) se requiere no sólo de instituciones sólidas, sino acciones de cooperación, capacidades y coordinación en todos los niveles.

En la gestión del recurso hídrico en todas sus etapas se busca alcanzar la eficiencia, en este proceso la economía aporta elementos clave para alcanzarla en cada etapa, sin embargo, la existencia de instituciones maduras ligadas a la gestión del agua es fundamental para obtener tal logro (Rogers, 2006). El agua se distingue de la mayoría de los bienes por una serie de características especiales que plantean retos para el diseño de instituciones de gestión y asignación de agua como los mercados. Dichas características incluyen aspectos económicos, físicos, hidrológicos, sociales y consideraciones político-legales que son únicas (Young y Loomis, 2014).

El comportamiento del agua como bien común le añade particularidades económicas claves que fueron tratadas con detalle por Hardin (1968), aunque posteriormente Ostrom (1990), desarrolló esquemas de gobernanza que han permitido superar los pronósticos hechos en la tragedia de los comunes.

Lograr una apropiada gobernanza, tiene desafíos que incluyen la implementación de soluciones que los diferentes participantes han aportado,

con una adecuada adaptación a las condiciones locales que incorporan a todos los participantes (usuarios de riego, empresas industriales y de servicios, comunidades, gobiernos de los diferentes niveles, instituciones reguladoras, entre otras).

Además, debe haber mecanismos de rendición de cuentas adecuados que den confianza en el accionar de los responsables de cada tramo de la gestión, con el objetivo de unificar esfuerzos y compartir riesgos, aportaciones y responsabilidades, para obtener resultados que expresen equidad, sostenibilidad, y con viabilidad técnica y financiera para todos los participantes en el sector agua. Aunque en el mundo hay muchas experiencias de este proceso, no existe una receta universal que se aplique a cada situación, por lo que se requiere diseñar políticas locales y adaptarlas a cada contexto particular de tal manera que incorpore las características territoriales específicas, lo que incluye el aspecto ambiental, social y económico (OCDE, 2012).

Rogers (2002), señala que la gobernanza del agua comprende todos los sistemas políticos, económicos, sociales y administrativos que están establecidos para organizar y gestionar la distribución, desarrollo y control de los recursos hídricos, así como para proporcionar servicios relacionados con el agua a la sociedad.

Las experiencias en el tratamiento de la gobernanza han encontrado que en la gestión del agua está presente una serie de desafíos que incluyen

un elevado grado de fragmentación territorial e institucional; falta de capacidad de los actores locales; débiles marcos legislativo, regulatorio, de integridad y transparencia; asignación cuestionable de recursos; gestión financiera irregular; rendición de cuentas endeble; objetivos, estrategias y mecanismos de vigilancia de políticas poco claros, así como un clima de inversión impredecible. (OCDE, 2012 p. 3):

La gestión del agua registra varias brechas de gobernanza, que por las características intrínsecas del sector agua, generalmente se combinan, a diferencia de la gestión de otros recursos naturales, lo que la hace más complicada.

Aunque en diversos documentos se ha utilizado el termino de gobernanza y gobernabilidad en temas de gestión de recursos hídricos, en este documento no se entra a debatir los mismos y sus alcances, más bien se recurre al concepto usado por la OCDE para referirse a la gobernanza multinivel que aborda en los desarrollos que ha propuesto para el tema.

La OCDE (2012) define la gobernabilidad del agua como “el conjunto de sistemas políticos, sociales, económicos y administrativos establecidos para desarrollar y gestionar los recursos hídricos y la prestación de servicios de agua en diferentes estratos de la sociedad”. (OCDE, 2012, p. 29)

La gobernanza puede abordarse a nivel local, regional, estatal o nacional, cuando se incluyen diferentes niveles trata de la gobernanza multinivel.

No se limita solo a las acciones del gobierno, sino que incluye la colaboración entre diversos actores públicos y privados en la formulación, toma de decisiones e implementación de políticas públicas. Esto representa una gestión pública eficiente, que implica un cambio de paradigma en el modelo tradicional jerárquico de poder, transformándolo de una estructura vertical a un modelo más horizontal, en el que tanto el gobierno como la sociedad participante activa de manera dinámica.

La OCDE (2012) propone una metodología competa para analizar el estado de la gobernanza del agua, a través de un mapeo institucional, la identificación de brechas de gobernanza, el análisis de los mecanismos de coordinación vertical y horizontal y los retos para mejorar la gobernanza. Para mejorar el entendimiento del tema propuso los principios para mejorar la gobernanza del agua, que incluyen la eficiencia, la eficacia y la rendición de cuentas (OCDE, 2015)

En la solución de los problemas públicos, la gobernanza desempeña un papel importante al abarcar todos los factores y normas formales o no, que se coordinan de alguna manera para lograr un bien común, como una política pública. La gobernanza implica el diseño de una estructura del sistema que facilite el progreso conjunto y la colaboración.

En este contexto, la asociación mundial del agua (GWP, 2000) define que “La gobernanza es el ejercicio de la autoridad económica, política y administrativa para gestionar los asuntos de un país a todos los niveles, comprende los mecanismos, procesos e instituciones a través del cual los ciudadanos y grupos articulan sus intereses, ejercen sus derechos legales, reúnen sus obligaciones y median en sus diferencias”.

De acuerdo a la perspectiva mencionada, la gobernanza del agua abarca una amplia gama de sistemas políticos, sociales, económicos y administrativos que se fortalecerán con el propósito de desarrollar y gestionar los recursos hídricos, así como brindar servicios relacionados con el agua en distintos niveles de la sociedad (GWP, 2000; Rogers, 2006).

La idea de gobernanza del agua abarca la habilidad para crear políticas públicas y establecer marcos institucionales que cuenten con aceptación social, además de poder movilizar recursos sociales para respaldarlos. (Rogers, 2006), el enfoque y el proceso de formulación de la política del agua deben estar orientados hacia la búsqueda del desarrollo sostenible de los recursos hídricos. Es fundamental que la implementación de dicha política sea efectiva y logre alcanzar los objetivos planteados.

La gobernanza del agua se ocupa de aquellas organizaciones políticas, sociales y económicas e instituciones (y sus relaciones), que son importantes para el desarrollo del agua y su administración (Rogers, 2006). Cabe mencionar que la mejora de la gobernanza del agua es el único enfoque fundamental que sabemos que nos permitirá lograr nuestro objetivo de supervivencia.

La economía es una ciencia apropiada para ayudar en la tarea de construir, seleccionar, mejorar, revisar instituciones para colaborar en la gestión eficiente del agua, incluidos la selección de proyectos hidroagrícolas (Griffin, 2006). Es importante aclarar que, en este contexto, el termino instituciones tiene un significado diferente al de organizaciones, en el sentido que las identifica la teoría organizacional.

Para Griffin (2006) “Las instituciones son los instrumentos que empleamos para evitar el caos, estandarizar nuestras interacciones y promover el bienestar humano.” En este contexto argumenta que la economía es una parte importante de este sistema de instituciones, ya que constituyen “métodos “humanamente ideados” para que las personas interactúen entre sí, las nociones de mercados y precios son instituciones importantes, tanto en la aplicación general como para la gestión del agua” (Griffin, 2006). En el tema que nos ocupa, cualquier política que se aplique para mejorar la gestión del agua, constituye una “institución”, y como se dijo antes, la elección institucional es un componente fundamental para alcanzar la eficiencia en este campo.

De modo similar North (1990), en los aportes a la nueva economía institucional comenta que las instituciones definen un conjunto limitado de posibles alternativas en un momento dado en una sociedad, este conjunto limitado de alternativas que menciona está formado por la estructura de reglas de decisión política y por los derechos de propiedad, así como también por las normas de comportamiento que limitan las alternativas de las que disponen las personas (North, 1990).

La historia ha permitido ver que las instituciones surgen, evolucionan y desaparecen por la interacción de los individuos. Es un proceso que se observa ocurre con la especialización y la división del trabajo en la sociedad ya que ésta ha sido una fuente básica de la evolución institucional.

North (1990) explica que los contratos garantizan de manera formal las reglas que rigen una, desde principios generales hasta los detalles específicos de una transacción particular. Sin embargo, la aplicación de estas reglas se ve

limitada por el costo que implica medir las características o atributos que determina si se ha cumplido adecuadamente con dichas reglas.

Rogers, (2006) menciona que la noción de gobernanza del agua incluye la capacidad de diseñar políticas públicas y sobre todo marcos institucionales que sean socialmente aceptados y movilizar recursos sociales en apoyo de ellos. Además, propone idear arreglos institucionales que se adapten bien a las características físicas y sociales de la puesta a la inversión de agua; y de apoyo entre las organizaciones y los gobiernos que operan a diferentes escalas.

Además, dado que se recibe utilidad de los diversos atributos de los bienes y servicios y no de las propias entidades, es que cobran relevancia los derechos de propiedad (North, 1989).

Las fallas en la gobernanza del agua rara vez se deben a la tragedia de los bienes comunes, es decir, a la falta de arreglos institucionales. Rogers (2002), señala que las fallas se deben con mayor frecuencia a los desafíos de diseñar, adaptar y mantener arreglos institucionales en entornos hídricos dinámicos.

Considerando el comportamiento económico, se tiene que “La economía de los recursos hídricos percibe la ley del agua como el establecimiento de las reglas por las cuales los agentes pueden comportarse con respecto al agua” Griffin (2006). Entre los diferentes participantes, las ciudades pueden ser miembros costosos debido a su considerable uso de agua, para ellos se debe elaborar reglas para ordenarlas y tener un buen crecimiento.

Los gobiernos han establecido doctrinas de leyes de diferentes aguas para gestionar: aguas superficiales y aguas subterráneas. Las instituciones para aguas superficiales y aguas subterráneas se desarrollan de manera diferente y lo que se refiere a la escasez requerida para el desarrollo institucional ocurrió primero para las aguas superficiales.

Para Griffin (2006) “La doctrina de las apropiaciones previas son propiedad privada en aguas superficiales”. Es una política de costos de oportunidad del

agua para cada propietario de agua, traspasar el recurso hídrico hace que los propietarios del agua piensen en el valor de su agua para los demás.

En el caso de México, se ha emprendido una multiplicidad de reformas institucionales y de políticas públicas para apoyar la adaptación al cambio climático, una de ellas es la autoridad nacional de agua que se constituyó en 1988 y eso forma parte de la construcción de las instituciones para mejorar la gestión del agua. Sin embargo, en este momento, como lo señala la OCDE (2012) se requiere revisar y reformar las políticas de distribución de los recursos hídricos.

Pacheco (2014) menciona que el agua en México como recurso sujeto a cogestión, se encuentran en las teorías de Ostrom. Ramis (2013) propone que para comprender la conceptualización propuesta por Ostrom es necesario volver a Samuelson (1954) con el concepto de bienes públicos, que los define como “aquellos bienes que no es viable ni deseable racionar su uso y cuyo uso o consumo individual no impide el uso o consumo de otros”.

Para Rogers (2006) señala que, ante la incertidumbre del clima, se debe considerar varios desarrollos técnicos, económicos y sociales que pueden reducir la huella humana en los escasos suministros de agua de fácil acceso, tener un éxito en el cambio hacia una gobernanza eficaz que permita tener suministros de agua sostenibles.

La gestión del agua (oferta, demanda y disponibilidad) es una preocupación universal. Como se ha descrito anteriormente, el éxito de las acciones requiere la cooperación local y mundial en las asociaciones entre los gobiernos a todos los niveles, la sociedad civil, el sector privado y los institutos de conocimiento. Se puede avanzar utilizando los procesos en curso si los objetivos son claros, se emplean los medios apropiados y todos trabajan en asociación.

El agua es un factor determinante del desarrollo de las naciones, es una cuestión fundamental de suma importancia y los derechos de propiedad representan un papel fundamental. Rogers (2006) menciona que las

discusiones sobre los derechos de agua generalmente se enfocan en los derechos del titular de lo que son los derechos de propiedad, pero también ignoran las responsabilidades contingentes que el titular tiene con respecto a otros en la sociedad que no comparten los derechos. Incluso el estado tiene un papel importante que desempeñar en medida que define los derechos de propiedad, debido a que tiene la responsabilidad de proteger la propiedad privada, así como la planeación y el crecimiento económico sustentado en un derecho de propiedad.

Algunos ejemplos de los principales tipos de derechos de propiedad y las responsabilidades de la sociedad civil hacia los diferentes derechos de propiedad con sus derechos y obligaciones asociados:

Cuadro 2-1.Derechos de propiedad

Propiedad	Definición
Propiedad de acceso abierto	No existe un grupo definido de usuarios o propietarios y los beneficios están disponibles para cualquiera.
Propiedad de piscina común	El grupo de gestión (los propietarios) tiene derecho a excluir a los no miembros y no miembros tienen el deber de cumplir con la exclusión.
Propiedad privada	Las personas tienen derecho a realizar usos socialmente aceptables y el deber de abstenerse de usos socialmente inaceptables.
Propiedad del Estado	Las personas tienen el deber de observar las reglas de uso y acceso determinadas por la agencia de control. del Estado.

Fuente: Elaboración propia con información P. Rogers. 2006. Water Governance, Water Security and Water Sustainability

En la mayoría de los países, el agua es propiedad del Estado, y cantidades menores son de propiedad privada. Sin embargo, los derechos de propiedad del agua generalmente comienzan como una propiedad de acceso abierto, que inicialmente es apropiada por un grupo y se convierte en un recurso de propiedad común.

2.3 PRODUCTIVIDAD DEL AGUA

Las actividades por las que puede optar un productor agropecuario son variadas. Tiene la posibilidad de sembrar diversos cultivos, usando una variedad de tecnologías y de técnicas de producción; la estacionalidad de la agricultura propicia que algunos recursos tengan un uso temporal muy definido; las actividades agrícolas requieren el uso de maquinaria que suele ser específica para algunos cultivos. Tiene una cantidad de recursos disponibles para llevar a cabo su plan de producción y también tiene la posibilidad de adquirir o de rentar recursos adicionales para alcanzar sus objetivos.

Las decisiones del agricultor cada año, deben adaptarse a las condiciones externas que se registran en el contexto de la política agrícola nacional. El gobierno tanto nacional como estatal, suele establecer condiciones que influyen en la cantidad y precios de insumos claves en la producción agropecuaria, que deben tomarse en cuenta al momento de tomar decisiones de producción. La política de precios hacía algunos productos agropecuarios pueden influir en las decisiones de producción propiciando cambios en las superficies sembradas de dichos productos.

Las condiciones económicas de oferta y demanda de los mercados internacionales de insumos y productos afectan los niveles de rentabilidad de los productores con los planes tradicionales de producción. Los cambios en los precios insumos agrícolas clave como los fertilizantes (como lo ocurrido por la guerra Rusia-Ucrania) pueden cambiar de manera importante los niveles de

rentabilidad de las empresas agropecuarias. Las condiciones de oferta en el mercado internacional de productos que forman parte importante del plan de producción transmiten cambios en los precios nacionales de dichos productos que modifican sustancialmente los niveles de utilidad cuando deciden incluirlos en dicho plan.

Caso de singular importancia dentro de los insumos productivos que registra condiciones diferentes al resto de los insumos es el agua. Si bien es cierto que hay acciones sobre la oferta y la demanda que pueden influir en su disponibilidad, y orientar su uso, lo más notorio está relacionado con las precipitaciones que se registran cada año en el área agrícola en que se desarrollan las actividades agropecuarias.

El agua para riego está reconocida que es el insumo que por separado influye en mayor grado sobre los rendimientos de los cultivos (FAO, 2004), pero, además, reduce riesgos y permite diversificar cultivos y optar por cultivos de mayor densidad económica lo que mejora de manera significativa el ingreso y el bienestar de los agricultores, disminuyendo los niveles de pobreza de la población y mejorando otras variables relacionadas, como la alimentación, la salud y la educación.

El agua para riego tiene fuentes naturales y artificiales. Entre las fuentes naturales se encuentran las presas, las lagunas, lagos, ríos y los depósitos de aguas subterráneas. Entre las fuentes artificiales básicamente están las plantas de tratamiento de aguas de drenaje público y de re uso de agua de las empresas y las plantas desalinizadoras.

Con estas características que se presentan en la toma de decisiones de los agricultores se contextualiza la complejidad del proceso al que se enfrentan los agricultores para elegir el plan que optimice el uso de los recursos y aporte los mayores beneficios como resultado de sus esfuerzos.

La economía ha desarrollado conceptos que permiten ayudar en estos procesos de toma de decisiones. La teoría de la empresa desarrolló el

concepto de función de producción y otros que de él se derivan como producto marginal y producto medio que contribuye en este proceso. El criterio de optimización en un proceso productivo incluye los precios de productos y de insumos, y establece que la optimización económica se obtiene cuando el valor del producto marginal de un insumo x , es igual a su precio (Nicholson, 2008).

Cuando se utiliza la función de costos, la empresa para optimizar debe elegir el punto de utilización del insumo variable cuando el costo marginal sea igual al ingreso marginal (Pindyck y Rubinfeld, 2009). En un contexto de competencia perfecta el ingreso marginal es igual al precio del producto.

La aplicación de estos procedimientos garantiza que la empresa utilice los insumos en el punto económicamente óptimo. Sin embargo, las condiciones de las actividades agropecuarias descritas antes, tanto a nivel de granja como a nivel regional (en un distrito de riego o en un distrito temporal tecnificado), harían de su aplicación una tarea muy complicada.

Aplicar estos procedimientos de forma aislada para ayudar a los productores agropecuarios y a los planificadores agropecuarios en la toma de decisiones resultaría en una tarea colosal y con seguridad ineficiente.

El desarrollo de la programación lineal con la inclusión de avances teóricos que permitían solucionar sistemas de ecuaciones con restricciones de desigualdad basadas en la aplicación de las condiciones Koon-Tucker, la teoría de la dualidad y con ello la demostración de la simetría de los problemas primal y dual, mostrando la utilidad de los precios sombra de los recursos utilizados en el problema primal, obtenidos a través del problema dual sin plantear y solucionar el problema dual, fue un gran avance (Hazell and Northon 1988).

En la segunda mitad del siglo pasado se desarrollaron procedimientos utilizando programación matemática para resolver esta problemática y ofrecer alternativas a los productores agropecuarios y a los planificadores agrícolas

que los acercara a la toma de decisiones con herramientas desarrolladas por la economía.

Las técnicas de modelación en finca desarrolladas para modelar situaciones y ayudar en la toma de decisiones de las fincas agropecuarias incluían aspectos de selección de cultivos, elección de técnicas y tecnologías de producción, estacionalidad, cultivos intercalados, rotaciones de cultivos, cultivos de ciclo corto, anuales, semi perennes, perennes, utilización de productos intermedios, productos pecuarios, actividades de compra de insumos y productos, venta, renta de tierra, maquinaria, alquiler de mano de obra; además la utilización de recursos productivos de diferentes calidades; restricciones institucionales, de mercado y subjetivas, entre otras características que muestran la complejidad de la toma de decisiones en las actividades agropecuarias (Beneke, 1984; Hazell and Northon 1988).

Esas técnicas de modelación en finca migraron muchas de ellas para ser aplicadas a nivel regional e incluso a nivel sector, y a medida que se desarrolló el software para resolver este tipo de problemas, cada vez atendieron y resolvieron problemas más complejos, en los que incluso se consideran aspectos de riesgo en la producción.

El desarrollo de software especializado y la aparición de computadoras cada vez más potentes, permitió plantear y solucionar problemas de esta naturaleza en poco tiempo, que consideraban una gran cantidad de actividades, restricciones e interacciones, lo que le da una gran ventaja a esta técnica para resolver problemas de esta naturaleza. Sin embargo, es importante señalar que el tema de la modelación constituye en gran medida el corazón de la técnica y una buena modelación, así como la interpretación de los resultados depende en gran medida de la habilidad y los conocimientos del modelador.

Los modelos se construyen con las técnicas de modelación desarrolladas para tal fin y se resuelven con programación lineal con diferentes softwares que se basan en el algoritmo simplex. La solución de óptima que se obtiene con PL se apega a varios supuestos, entre los que están: certidumbre perfecta,

homogeneidad, finitud, proporcionalidad, aditividad y divisibilidad (Hazell y Northon, 1988; Kaiser y Messer, 2011; Ferguson y Sargent, 1958).

La teoría de la dualidad en la programación lineal es de gran utilidad, ya que permite especificar un modelo de programación lineal para encontrar los precios sombra óptimos de los recursos escasos.

Con el desarrollo de las condiciones Koon-Tucker y basándose en la aplicación del método de lagrange para solucionar los sistemas de ecuaciones que se forman en la solución de un problema de PL, permite ver que dichas condiciones serán idénticas tanto para el problema primal como para el problema dual.

Por lo tanto, si al resolver el problema primal, es posible extraer los multiplicadores de Lagrange, estos serán los precios sombra (el valor del producto marginal, o los λ_i , de los recursos fijos de la finca). Esta información está disponible sin la solución del dual, lo cual para los fines de conocer la productividad marginal del agua como reclamante residual es importante.

Los resultados de un problema de producción planteado en términos de programación lineal, cumple con lo señalado por la microeconomía para conseguir la maximización de ganancias, es decir, igualar el ingreso marginal (IMg), que en condiciones de competencia perfecta, es igual al precio del producto (P_y), y que para el caso de programación matemática se identifica como precio neto por unidad de actividad (gross margin) al costo marginal (MC) que se obtiene de la valoración de los recursos con la obtención de la solución del problema dual (Rasmussen S. 2011; Binger & Hoffman 1988; Henderson & Quant, 1980).

La programación lineal puede utilizarse en la solución de una gran cantidad y variedad de problemas de optimización de producción como los que se plantean en la producción agropecuaria, también en problemas de dieta, de transporte, de portafolio y de medio ambiente, entre otros (Kaiser and Messer, 2011).

Hazell (1986) muestra una serie de técnicas de modelación tanto a nivel de finca como a nivel de sector y regional que permiten adaptar las condiciones de la agricultura a un tratamiento con programación lineal. Desarrolla aspectos para estimar efectos en oferta y demanda de insumos agrícolas y también en la oferta de los productos que se obtienen del proceso de producción agrícola en cada nivel de análisis.

Las técnicas de modelación permiten abordar temas relacionados con la evaluación económica de las características deseables derivadas de las mejoras tecnológicas de las investigaciones agrícolas, como el carácter precocidad de variedades de leguminosas utilizadas en la alimentación básica de la población de muchos lugares para mitigar los efectos del cambio climático (Viana R. A., et al., 1991); el efecto en el ingreso de los productores por el uso de semillas mejoradas versus semillas criollas (Rodríguez H. F.R., et al., 1993).

En la búsqueda de los mejores resultados económicos para los productores con varios tipos de restricciones tanto de recursos como de mercado para cultivos perecederos como las hortalizas, la PL ha contribuido a aportar soluciones valiosas (Barbosa Navarro D. et al., 2021); o para ayudar a pequeñas empresas a encontrar la mezcla de actividades que optimicen sus recursos y les aporten el mayor ingreso (Alvarado B.J., 2009)

Para el caso particular de la determinación del valor del agua en la agricultura, Young and Loomis, (2014) presentan una taxonomía de métodos que permiten valorar el agua en sus diferentes usos. Separan los diferentes métodos de valoración en inductivos y deductivos. Analiza para cada uso el método más apropiado, para el caso de los bienes del productor resalta la importancia de los métodos deductivos entre los que se encuentran el residual básico, la variación de las rentas netas, valor añadido, modelos de equilibrio general computable y programación matemática.

Abordan con detalle aspectos prácticos para resolver el problema del reclamante residual que no tiene precio como es el caso del agua en la

agricultura, para evitar sobre estimar o sub estimar su aportación. Analizan los métodos de las rentas y cuasi rentas y se detienen en métodos deductivos como la programación lineal para conocer la productividad del agua y de otros recursos que pueden no ser considerados en el cálculo de los precios netos de cada actividad considerada. Discuten la consideración de cómo debe considerarse el agua en la agricultura en los distritos de riego, si como insumo variable o fijo y su tratamiento en modelos contruidos para conocer su productividad.

Una asignación eficiente de los recursos hídricos (o de cualquier otro recurso) es una asignación que maximiza el beneficio neto total que puede generar la cantidad disponible del recurso (Tsur y Dinar, 1995). En otros términos, la eficiencia económica tiene que ver con cuánta riqueza puede generar una determinada base de recursos.

En la búsqueda de dar soluciones a problemáticas que se relacionan con la asignación del agua en la agricultura se ha usado la programación lineal. Molina V. *et al.* (1992), la usaron para estimar la factibilidad económica de la transferencia de la operación y la administración de un distrito de riego a los usuarios en la República del el Salvador.

La estimación de la productividad del agua es una tarea importante para conocer la aportación de los insumos productivos sin precio al producto total. Young and Loomis (2015) señalan que los modelos de programación lineal constituyen un instrumento apropiado para conocer la productividad de los insumos como el agua. Este método fue utilizado por Florencio et al (2002) para conocer la productividad del agua en un distrito de riego en México.

En el Programa nacional Hídrico se define la productividad del agua en los distritos de riego, como

Productividad del agua en distritos de riego. Es la cantidad de producto agrícola de todas las cosechas de los Distritos de Riego a los que les fueron aplicados riegos, dividido entre la cantidad de agua aplicada en

los mismos. Se expresa en kilogramos sobre metros cúbicos. (DOF: 30/12/2020, p. 73)

Esta forma de estimar la productividad de agua asigna el valor total de la producción al agua, implícitamente asigna un precio sombra cero a todos los insumos que participan en la producción, tanto los comprados como los propios y en consecuencia exagera en gran medida, el valor de las rentas del insumo agua, “por lo que este método debe considerarse un procedimiento inaceptable para obtener una medida de los beneficios del agua como bien de los productores o para evaluar las políticas.” (Young and Loomis, 2015)

En el pasado, las estrategias de riego en muchos países, explícitas o implícitas consideraban al agua como un recurso inagotable y el acento se ponía en la construcción de sistemas de riego para mejorar el bienestar de los productores y la alimentación de la creciente población, sin embargo las condiciones actuales de creciente escasez han puesto de manifiesto que la visión anterior es inviable (FAO, 2004).

La programación lineal es un método muy eficaz que permite valorar el agua en la agricultura (Young y Loomis, 2014).

Las características que se tienen en el uso del agua agrícola en México permiten que este método sea apropiado para conocer el aporte del agua a la producción agrícola en áreas de riego.

Con programación lineal es posible explorar el efecto en la producción agrícola de la instrumentación de diversas tarifas de cobro para conocer la que resulte la más eficiente, como lo hicieron Ramírez *et al.*, (2019). Ellos aplicaron un enfoque de programación lineal que incorporó limitaciones relacionadas con la disponibilidad de mano de obra, tierra y agua. Se evaluaron varios escenarios que involucraban la reducción de la cantidad de agua disponible para examinar cómo el valor del precio sombra respondía a las variaciones en la disponibilidad de agua (Ramírez *et al.*, 2019).

La exploración de desarrollos en tecnología agrícola relativa a nuevas variedades más eficientes en el uso del agua combinados con cambios en la política agrícola son aspectos que pueden ser estimados con modelos de programación lineal.

Pineda *et al.*, (2019) llevan a cabo un estudio que considera la utilización de una nueva variedad de trigo más eficiente en el uso del agua y cambios en la política agrícola. El proceso incluyó modificaciones en la utilización del agua en una zona de riego, el primer escenario se relaciona con la contribución que disminuye los efectos del cambio climático en dicho distrito de riego. El segundo escenario implica la suspensión del respaldo gubernamental a la comercialización de granos básicos. Se utiliza la programación matemática, para ambos casos, se desarrollan varios escenarios que consideran la disminución prevista del suministro de agua con el fin de evaluar su influencia en la productividad

Botello *et al.*, (2022) examinan cómo la programación lineal puede desempeñar un papel crucial en la disminución de los efectos del cambio climático en un distrito de riego, específicamente a través de la gestión de aportes de agua. Florencio *et al.*, (2002) calcularon el valor monetario del agua utilizada para el riego en el Distrito de Riego Río Lerma, creando diferentes situaciones hipotéticas mediante el uso de técnicas de programación lineal.

Del mismo modo, se llevó a cabo un análisis económico para determinar la productividad del agua utilizada en la agricultura en la región del Río Lerma. Utilizando la programación matemática positiva, mostraron que la implementación de un mercado de agua en funcionamiento proporcionaría al distrito de riego la capacidad de ajustarse frente a la escasez de agua (Rodríguez *et al.*, 2019).

2.4 VALORACIÓN CONTINGENTE

En los últimos años la problemática del agua se ha hecho más evidente.

Sabemos que este recurso es fundamental para la vida; sin embargo, su disponibilidad en condiciones adecuadas para muchas actividades cotidianas y productivas escasea con notable intensidad. La problemática relacionada con el agua como sequías y lluvias abundantes y torrenciales se han acentuado con el cambio climático.

El agua es motivo de discusiones con relación a si debe ser tratada como un bien económico y asignado como tal, o debe tratarse como un bien indispensable para la vida que lo proporciona libremente la naturaleza para todos y sin precio. Sin duda posee características emotivas y simbólicas particulares, también es verdad que incluye características económicas distintivas que provocan que la demanda y el suministro de agua sean diferentes y en muchas ocasiones más complejas que la mayoría del resto de bienes.

FAO, (2021) menciona que, si el agua fuera abundante, gestionar la demanda presentaría menos dificultades, pues podría satisfacerse a un costo bajo. Cuando la escasez es mayor, el uso del agua crea una rivalidad creciente, puesto que un usuario limita el uso potencial por otros usuarios.

Hanneman (2006) hace una discusión acerca del valor del agua y señala que hay quienes basándose en los cobros que se realizan por el agua en sus diferentes usos afirman que ese es su valor, pero enfatiza que si eso fuera así, entonces solo los bienes y servicios comercializados tendrían valor económico, mientras que los bienes que no tienen un mercado, como el medio ambiente y en general los bienes públicos definidos por Samuelson (1954), no tendrían valor económico, lo que entraría en discordancia con la apreciación de muchas personas.

Como expresan Perry *et al.*, (1997) existe un amplio interés y apoyo a la idea de tratar el agua como un bien económico porque el agua es una necesidad básica, un recursos social, económico, financiero y ambiental, lo que hace que sea selectivo a un conjunto de diferentes precios. En general el precio no mide el valor económico y los bienes y servicios sin precio de mercado tienen un valor económico positivo.

En la década de los 90's del siglo XX en la Declaración de Dublín resultado de la Conferencia Mundial sobre Agua y Medio Ambiente, convocada por la Organización Meteorológica Mundial (OMM), para analizar el estado de los recursos hídricos del mundo, con la participación de quinientos expertos e integrantes de comisiones gubernamentales de cien países, estableció que para revertir las tendencias de consumo excesivo, la contaminación y las amenazas crecientes derivadas de la sequía y las crecidas, recomendó que se adoptaran medidas a nivel local, nacional e internacional, basados en cuatro principios rectores y precisamente el principio rector número cuatro estableció que (ONU, 1992): “ El agua tiene un valor económico en todos sus diversos usos en competencia a los que se destina y debería reconocérsele como un bien económico”, y agrega que justamente en virtud de este principio es que es esencial reconocer el derecho fundamental de todo ser humano de tener acceso al agua pura y al saneamiento por un precio asequible. Y que haber ignorado en el pasado este principio condujo al derroche y a la utilización del agua con efectos perjudiciales al medio ambiente.

Al generalizar los desarrollos teóricos se tiene que, el concepto económico moderno de valor se define en términos de una compensación. En una situación en la que, para algún individuo, un bien X tiene un valor de 100 en términos de Y, esto significa, que el individuo estaría dispuesto a cambiar X por 100 unidades de Y, por lo que Y debe ser el numerario en términos de qué valor se mide. Este numerario puede ser dinero.

La distinción entre lo marginal y el promedio fue el elemento que completó el análisis de Smith. El precio de mercado proporciona una medida precisa del valor marginal asociado con la última unidad consumida de bien. Entonces, sí existe un precio de mercado para el artículo en cuestión y si el consumidor es libre de variar la cantidad de este artículo que compra, su valor marginal para él se refleja en el precio de mercado y puede medirse mediante él; de otra forma no.

Incluso cuando el precio refleja el valor marginal, el gasto total no refleja el

valor total; en cambio, el gasto total subestima el valor total debido a la presunción de una utilidad marginal decreciente. La distinción entre marginal y total es la clave para la resolución completa de la paradoja del diamante y el agua: el agua puede tener un valor menor que los diamantes en el margen, pero sin duda tiene un valor total mayor (Hanneman 2004).

Otros avances conceptuales en este sentido se registraron con el rescate que hizo Hicks del concepto de excedente del consumidor que había introducido Marshall, señalando su consistencia con la teoría de la utilidad ordinal. La contundencia se hizo presente hasta la segunda mitad del siglo XX con los aportes de lo que se conoce como teoría de la dualidad (Binger y Hoffman, 1988).

Los aportes de Henderson con respecto a la caracterización de la compensación que subyace al concepto económico de valor, mostró los conceptos de la máxima disposición a pagar (DAP) como medida de valor y una nueva medida que sugirió Henderson que es la disposición mínima a aceptar (WTA) como medida de valor en un caso en el Valle del Bajo Mississippi en el delta de Luisiana, para analizar la participación de propietarios de tierras para la recreación sin responsabilidad (Henderson, *et al.*, 2004). Juntos, agotan las formas lógicamente posibles de expresar una compensación.

Hicks analizó la relación entre ellos en el caso de un cambio de precio y mostró que se diferencian por un efecto ingreso (Binger y Hoffman, 1988). El último fue la extensión del concepto económico de valor a una clase más amplia de artículos que los productos básicos del mercado. Esto sugiere que la misma definición de valor económico se puede aplicar a artículos no comerciales.

En cada caso, hay dos formas posibles de formular el intercambio: una formulación disposición a pagar (WTP por sus siglas en inglés) y una formulación disposición a aceptar (WTA por sus siglas en inglés). Cuando Y es dinero, el análisis de Hicks y su formulación moderna en términos de la teoría de la dualidad se trasladan de la valoración de los bienes de mercado a los artículos que no son de mercado (Hanneman, 2004). Por tanto, el análisis proporciona una justificación formal para el campo de la valoración no de

mercado, incluida la evaluación monetaria del medio ambiente natural.

La curva de demanda compensada desarrollada por Hicks es referida como una curva de disposición a pagar marginal de la función de beneficios marginales (Binger y Hoffman, 1988). Se llama función marginal de disposición a pagar porque los puntos a lo largo de la curva de demanda compensada muestran el precio máximo que un consumidor, está dispuesto a pagar por cada unidad adicional del bien comprado.

Sí el consumidor está dispuesto a pagar una cantidad adicional es porque habiendo pagado esa cantidad y obtenido una unidad adicional, el consumidor está tan bien como antes de realizar la última compra. La curva de demanda compensada se denomina función de beneficio marginal porque cada cantidad adicional que el consumidor paga representaría el excedente del consumidor adicional si el precio fuera cero.

Una vez hecha la distinción entre precio, costo y valor, se puede entender la importancia de la valoración de bienes y servicios no suministrados por el mercado. En este contexto se tiene que la valoración económica se ocupa de la valoración en términos monetarios de los bienes y servicios que los individuos aprecian y desean conservar para los cuales no hay mercado definido. De lo antes expuesto se tiene que la valoración no de mercado aplica la misma lógica de valor a los bienes y servicios que no se comercializan y que por lo tanto no tienen un precio en el mercado.

Para estos bienes que no se venden en un mercado, sigue siendo significativo conceptualizar la medida económica de la satisfacción del artículo como la cantidad monetaria que la persona estaría dispuesta a cambiar por el artículo si fuera posible para hacer tal intercambio. De este proceso se genera una medida monetaria del cambio en el bienestar de la persona utilizando el cambio en el ingreso monetario de la persona que ella consideraría equivalente al artículo en cuestión en términos del impacto general en su satisfacción.

Es importante tener una herramienta para la valoración económica puesto que permite cuantificar, en términos monetarios, el valor de los bienes y servicios

ecosistémicos, independientemente de si cuentan o no con un precio o mercado, por tal razón se debe hallar la metodología adecuada para crear modelos económicos.

En el caso de la valoración del agua, existen varios métodos que se han utilizado en la práctica para asignarle valor según sea el lugar donde se utilice, el rol que desempeñe y el tipo de bien que represente. En el Cuadro 2-2 se presenta una anatomía de dichos métodos que se reportan en Young y Loomis (2014).

Cuadro 2-2. Tipos de métodos económicos de valoración del agua, sus características y usos

Método de valoración	Descripción del método y fuente de datos	útil para valorar el agua como:
A. Métodos inductivos		
1.Observaciones de transacciones en mercados de agua	Precios observados de transacciones para arrendamientos a corto plazo o venta permanente de derechos de agua.	DAP real en origen o en sitio manifestada por transacciones dentro / entre agrícolas, industriales, usos municipales y ambientales.
2. Estimación econométrica de funciones de producción y costos	Datos primarios o secundarios sobre industria y agricultura entradas y salidas analizadas con estadísticas (generalmente regresión) técnicas	Valoraciones de los productores (agrícolas o industriales) in situ.
3. Estimación econométrica de funciones de demanda de agua municipal	Se analizan los datos primarios o secundarios del uso del agua municipal con métodos estadísticos.	Demandas en el sitio para el uso municipal.
4. Método de costo de viaje (TCM)	Usa reportes costos de viaje del visitante y modelos econométricos para estimar la demanda de sitios recreativos. De la curva de demanda se calcula la WTP.	En agua relativa a la recreación en la cual se valoran cambios en los niveles o la calidad del agua en la fuente.

5. Método de valor de propiedad hedónico (HPM)	Enfoque de preferencia revelada utilizando análisis econométrico de datos sobre transacciones inmobiliarias con variaciones en la disponibilidad de suministro o calidad del agua.	Demandas en la fuente de cambios en la cantidad o calidad de agua en transacciones de ventas reveladas en propiedades residenciales o granjas.
6. Método de comportamiento defensivo	Método utiliza reducciones en los costos de las acciones que las personas para reducir o evitar un costo externo.	Valoración de la contaminación del agua producida por causas biológicas o químicas.
7. Métodos de costo de daños	WTP máxima dada como valor monetario de los daños evitado.	Valoración de la reducción de la contaminación del agua o daños por inundaciones.
8. Método de valoración contingente (CVM)	Método de preferencia declarado con el uso de técnicas estadísticas para analizar las respuestas a las preguntas de la encuesta que solicitan valoración monetaria de los cambios propuestos en el medio ambiente de bienes o servicios.	valoraciones en origen de actividades recreativas o ambientales (por ejemplo, una corriente) de agua in situ o de la calidad del agua. También valoraciones in situ de cambios en el suministro de agua residencial. Puede medir valores de no uso
9. Modelado de elección (EM)	Método de preferencia declarado que utiliza técnicas estadísticas para inferir la WTP para bienes o servicios a partir de preguntas de encuestas pedir a una muestra de encuestados que elija entre políticas alternativas propuestas.	Valoraciones ambientales en origen (por ejemplo, instream) de agua in situ o calidad del agua. También valoraciones in situ de cambios en el suministro de agua residencial. Puede medir valores de no uso.
10. Transferencia de beneficios	Beneficios estimados para una o más valuaciones existentes Se emplean	Adaptable en principio para cualquier caso: bienes de los

	estudios para calcular los beneficios en otros sitios. o propuestas de políticas.	productores o de consumo; y bienes ambientales colectivos.
11. Transferencia / metaanálisis de funciones de beneficios	Síntesis estadística de los resultados reportados previamente en estudios del mismo fenómeno o relación para separar generalizaciones.	Se usa para calcular la transferencia de beneficios en todos los productores y de los consumidores.
B. Métodos deductivos	B. Métodos deductivos	B. Métodos deductivos
12. Método residual básico	Modelos contruidos para derivar estimaciones puntuales de ingresos netos de los productores o rentas atribuibles al agua a través de análisis de presupuesto u hoja de cálculo.	Estimaciones en el sitio o en la fuente para los bienes intermedios externos (agricultura, industria) para el caso de un solo producto.
13. Variación de las rentas netas	Modelos residuales contruidos para el intervalo de derivación estimación de los ingresos o rentas netas de los productores atribuibles a incremento de agua mediante análisis de presupuesto o de hoja de cálculo.	Estimaciones en el sitio o en la fuente para los bienes intermedios externos (agricultura, industria) para productos múltiples, múltiples casos de tecnología.
14. Programación matemática	Construir modelos para conocer rentas netas de los productores o costos marginales atribuibles al agua.	Valoración en el sitio o en la fuente del bien intermedio externo (agricultura, industria) para productos múltiples, múltiples casos de tecnología.
15.- Valor añadido	Modelos contruidos de ingresos directos y secundarios de productores o rentas atribuibles al agua a través del valor agregado.	Mide el impacto económico regional del agua. Exagera en gran medida los valores del agua. Método que se ha utilizado principalmente en offstream para bienes intermedios (agricultura, industria).

16. Modelos de equilibrio General computable (CGE)	Modelos regionales contruidos para derivar ingresos directos y secundarios o rentas atribuibles al agua mediante modelos de optimización de precios endógenos.	Método de análisis de impacto regional utilizado principalmente en bienes intermedios offstream (agricultura, industria).
17. Costo alternativo	Valor atribuible al ahorro de costos de la siguiente mejor opción fuente alternativa de servicio.	Se usa para valorar in situ los bienes intermedios offstream.

Fuente: Young y Loomis (2014).

El método empleado en esta investigación para valorar el agua subterránea por parte de los productores agrícolas del DR023, es la valoración contingente, que es un método clasificado como inductivo.

En economía, entrevistar a las personas y averiguar su valor monetario se le conoce como el método valoración contingente (CV), fue sugerido por Ciriacy-Wantrup.

El propósito de la valoración contingente (CV) es estimar la disposición individual a pagar por cambios en la cantidad o calidad de bienes o servicios, así como el efecto de las covariables sobre la disposición a pagar. Este método se utiliza actualmente para valorar cualquier tipo de bien o servicio público.

El método de valoración contingente utiliza técnicas de investigación por encuestas para obtener las preferencias de las personas en forma de cantidades monetarias de disposición a pagar (DAP) (Carson y Mitchell 1993).

Por otra parte, Bengochea *et al* (2005) mencionan que la esencia del método de valoración contingente consiste en crear un mercado hipotético donde se pregunta a los encuestados sobre su disposición a pagar (WTP) por un bien no de mercado.

Es una de las técnicas más usadas para estimar el valor de bienes (productos o servicios) para los que no existe mercado, es por lo tanto un mercado hipotético (Riera, 1994).

Gong y Wu (2014) explican que el método de valoración contingente (CVM) es utilizada para estimar valores económicos para todo tipo de servicios ecosistémicos y ambientales. Puede ser usado estimar tanto los valores de uso como los de no uso, y es el método más utilizado para estimación de valores de no uso. La mayoría de las encuestas de CV se basan en una pregunta de elección dicotómica para obtener la disposición a pagar (DAP) y la disposición a no pagar (WNTTP).

Krström (1993) alude que el corazón de estos experimentos radica en la cuestión de la valoración, en la que se describe el bien ambiental que se va a comercializar y se establece el mercado para el bien.

Para la persona entrevistada tiene una situación parecida a la que se enfrenta en el mercado: comprar o no una cantidad determinada de un bien a un precio dado. La diferencia fundamental es, naturalmente, que en esta ocasión el mercado es hipotético. Por estas razones aparece el sesgo estratégico, que está relacionado con la posibilidad de revelar el “verdadero” precio (Riera, 1994)

Cuando los mercados están ausentes o distorsionados por, por ejemplo, con subsidios para mantener los precios artificialmente demasiado bajos, la valoración económica de las decisiones de asignación de recursos requiere medios sintéticos para estimar el valor de los recursos (Young, *et al.* 2014).

La tarea esencial y más importante del análisis de VC es el diseño de cuestionarios y procedimiento de encuesta. Ningún análisis econométrico por riguroso que sea puede superar un cuestionario mal diseñado. Mitchell y Carson (2005), proporcionan un análisis exhaustivo del proceso y los problemas en el desarrollo de cuestionarios y muestreo. El servicio debe

limitarse geográfica y temporalmente y definirse en términos de características que pueden razonablemente entrar en la preferencia de un encuestado.

El segundo elemento de la pregunta con VC es el método, o vehículo, para pagar el servicio que vincula el pago con el servicio tal que sin el pago no habría servicio. El método natural es vincular los servicios de bienes públicos con el pago de impuestos, pero se utilizan otros métodos, como el pago de facturas de servicios públicos.

La valoración contingente permite estimar la máxima disposición a ser compensado por la pérdida de un bien. Hay una controversia entre los conceptos de medir la disposición a pagar o de disposición a ser compensado. La polémica sobre cuál de las dos medidas utilizar en las valoraciones contingentes ha centrado el debate durante muchos años y constituye uno de los aspectos polémicos en el informe de la aludida comisión NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration). En general los valores que se obtienen son distintos cuando la pregunta es con respecto a pagar o a aceptar. Las cantidades son mayores cuando se pide lo que se cobraría en compensación que cuando se pide lo que se pagaría por disfrutar del bien.

El método desde su creación ha estado sometido a críticas con relación a su bondad para usarse para cumplir con su objetivo, en este sentido se tiene que Gregory y Lurby (1987) discuten las ventajas y problemas que se presentan al aplicar empíricamente este método; entre las primeras destaca la posibilidad de describir en términos precisos el bien en cuestión y entre las segundas el comportamiento estratégico de los entrevistados. Venkatachalam (2004) hizo una valoración crítica del método y analizó la validez de sus resultados. Carson et al., (2003) abundan en aspectos teóricos y muestran las bondades del método para valorar las pérdidas de uso pasivo.

El método se ha usado en una gran diversidad de casos para valorar recursos naturales, Lugo *et. al.* (2020), lo usaron para valorar un monte que se usa para actividades de esparcimiento cerca d una zona urbana. Hernández

et.al. (2019), para conocer la valoración que hacen los usuarios de un parque urbano en la ciudad de México. Hernández *et. al.* (2018), para conocer la valoración que hacen los habitantes de la ciudad de León, Guanajuato, por una mejora ambiental.

Otros usos del método de VC son para valorar la disposición a pagar de los consumidores para mejorar el agua contaminada por fluoruro (SEMARNAT y Chakraborty, 2014); también para conocer si la gente está dispuesta a pagar por la calidad del agua de los ríos (Imandios y Gadam, 2007); la calidad del agua potable en grandes ciudades ha sido valorada con éxito con esta metodología (Sandoval *et al.*, 2016; Valdivia *et al.*, 2022). Para conocer la valoración que hacen los usuarios de corrientes rápidas para actividades recreativas como kayak y rafting, el método demostró ser de utilidad (Loomis y McTernan, 2014).

En relación con el tema en que se aplica en esta investigación, Hérivaux y Rinaudo (2016), aplicaron VC para valorar los beneficios económicos del mejoramiento de las aguas subterráneas en cuanto a las profundidades de extracción, aspecto que es tratado en esta investigación.

El objetivo del estudio es conocer la valoración que hacen los usuarios de aguas del distrito de riego 023 San Juan del Río Qro., en un contexto de sequía y solo usan este recurso para el desarrollo de sus cultivos.

Bibliografía:

- Beneke, R. R., & Winterboer, R. (1984). Programación lineal. Aplicación a la agricultura. Traductor Pares, OJ Ed. Aedos-Barcelona. España.
- Bengochea-Moranco, A., Fuertes-Eugenio, A. M., & del Saz-Salazar, S. (2005). A comparison of empirical models used to infer the willingness to pay in contingent valuation. *Empirical Economics*, 30(1), 235-244.
- Binger Brian R. and Hoffman Elizabeth. (1988). *Microeconomics with Calculus*. Scott, Foresman and Company. Glenview, Illinois
- Botello-Aguillón, C., Valdivia-Alcalá, R., Hernández-Ortiz, J., Sangermán-Jarquín, D. M., & Gutiérrez-García, F. G. (2022). Reallocation of water in agricultura under drought conditions as economic efficiency maximizer. *Agro Productividad*. <https://doi.org/10.32854/agrop.v15i8.2191>
- Carson, R. T, Mitchell R.C., Hanemann. M., Kopp, R. J., Presser, S., and Ruud, P. A. (2003). *Contingent Valuation and Lost Passive Use: Damages from the Exxon Valdez Oil Spill*. *Environmental and Resource Economics* 25: 257–286, 2003. © 2003 Kluwer Academic Publishers. Printed in the Netherlands
- CONAGUA (2017). *Comisión Nacional del Agua. Estadística del agua en México*. Secretaría del Medio ambiente y de los recursos naturales. Edición 2017. <https://files.conagua.gob.mx/conagua/publicaciones/Publicaciones/EA-M-2017.pdf>
- CONAGUA (2023). *Comisión Nacional del Agua. Actualización de la Disponibilidad Media Anual de agua en el Acuífero Valle de San Juan del Río (2223), Estado de Querétaro*. https://sigagis.conagua.gob.mx/gas1/Edos_Acuiferos_18/queretaro/DR_2203.pdf

CONAGUA. (2018) Comisión Nacional del Agua. Atlas del agua en México. Secretaría del Medio ambiente y de los recursos naturales. Edición 2018. <https://agua.org.mx/biblioteca/atlas-de-agua-en-mexico/>

COTAS (2022). Comité Técnico de Aguas Subterráneas del Acuífero Valle San Juan del Río, A. C. Análisis piezométrico Acuífero del Valle de San Juan del Río. Reporte Técnico. Análisis Piezométrico 2022

Diario Oficial de La Federación (DOF). DOF: 30/12/2020. Programa Nacional Hídrico 2020-2024. Comisión Nacional del Agua. https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5609188&fecha=30/1

Diario Oficial de la Federación (DOF). (DOF, 3/03/ 2016). Ley de Aguas Nacionales. Consultada en: http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/16_240316.pdf, 3 de marzo 2022.

FAO (1993). Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. El estado mundial de la agricultura y la alimentación. Las políticas de recursos hídricos y la agricultura. Food & Agriculture Org. <https://www.fao.org/3/t0800s/t0800s.pdf>

FAO (2004). Política de desarrollo agrícola. Conceptos y principios. Capacitación en Política agrícola y alimentarias 2. Roma.

FAO (2013). Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Afrontar la escasez de agua: Un marco de acción para la agricultura y la seguridad alimentaria (Informe sobre temas hídricos). Food & Agriculture Org. <https://www.fao.org/3/i3015s/i3015s.pdf>

FAO (2021). El estado de los recursos de tierras y aguas del mundo para la alimentación y la agricultura - Sistemas al límite. Informe de síntesis 2021. Rome. <https://doi.org/10.4060/cb7654es>; <https://www.fao.org/3/cb7654es/cb7654es.pdf>

- Florencio-Cruz, V., Valdivia-Alcalá, R., & A. Scott, C. (2002). Productividad del agua en el distrito de riego 011, Alto Rio Lerma. *Agrociencia*, 36(4), 483–493.
- Gregory, R. and Furby, L. (1987.) Auctions, experiments and contingent valuation. *Public Choice* 55:273-289. Martinus Nijhoff Publishers (Kluwer), Dordrecht - Printed in the Netherlands
- Griffin, R. (2006). *Water resource economics: The analysis of scarcity, policies, and projects*. London, England: MIT Press.
- GWP (2000). *Integrated Water Resources Management*. In *Tec Background Papers No. 4. Global Water Partnership*. Retrieved from www.gwpforum.org
- Hanemann, W.M. (2006). The Economic conception of water. In: Rogers, P. P., M. R. Llamas & L. Martínez. C. (Eds.). *Water Crisis: Myth or Reality*. Taylor & Francis. London, UK. pp: 61-92.
- Hardin G. (1968). "The Tragedy of Commons" en *Science*, v. 162 pp. 1243-1248. Traducción de Horacio Bonfil Sánchez. *Gaceta Ecológica*, núm. 37, Instituto Nacional de Ecología, México, 1995. <http://www.ine.gob.mx/>.
- Hazell, P. B. R., & D. Norton, R. (1986). *Mathematical Programming for Economic Analysis In Agriculture*. (R. D. Norton, Ed.). New York, NY: Macmillan.
- Henderson J. E.; Dunn M. A.; and Guidry Kurt M. (2004) *Landowner a Willingness to Accept Fee-Based Recreation and the Influence of Institutional Change in the Louisiana Delta*. Publication No. FO390 of the Forest and Wildlife Research Center, Mississippi State University. <https://www.isfre.msstate.edu/docs/papers/Henderson09.pdf>
- Henderson J. M. & Quant. R. E. (1980). *Microeconomic Theory. A Mathematical Approach*. McGraw-Hill Book Company.
- Hérivaux C. and Rinuado J-D. (2016). Integrated Assessment of Economic Benefits of Groundwater Improvement with Contingent Valuation, in A.J.

- Jakeman et al. (eds.), Integrated Groundwater Management. Pp 523, 535-537. DOI 10.1007/978-3-319-23576-9_21
- Hernández A. A., Valdivia A. R., Romo L. J. L. Y Cuevas A. C. M. (2018). Valoración económica para un mejoramiento ambiental en León, Guanajuato. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas volumen 9 número 1 01 de enero - 14 de febrero, 2018
- Hernández, V. M. S.; Valdivia, A. R. y Hernández, O. J. (2019). Valoración de servicios ambientales y recreativos del Bosque San Juan de Aragón, Ciudad de México. Revista Mexicana de Ciencias Forestales. Vol. 10 (54). <https://doi.org/10.29298/rmcf.v10i54.557>.
- IICA (2015). Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura Innovación y gestión del agua para el desarrollo sostenible en la agricultura. <http://www.iica.int>
- Imanduost B. S and Gadam N. S. (2007). Are people willing top ay for river wáter quality, contingent valuation. International Journal of Environmental Tech. 4 (3): 401-408
- Kaiser Harry M, & Messer Kent D. (2011) Mathematical Programming for Agricultural, Environmental, and Resource Economics. John Wiley & Sons, Inc.
- Kriström, B. (1993). Comparing continuous and discrete contingent valuation questions. Environmental and Resource Economics 3, 63–71. <https://doi.org/10.1007/BF00338320>
- Llamas M.R. y Martínez-Santos, P. (2006). Importancia de la Revolución Silenciosa del uso intensivo de aguas subterráneas en la política mundial del agua. Water Crisis: Myth or Reality. Edited by Peter P. Rogers; Ramón Llamas y Luis Martínez-Cortina. Taylor & Francis. London, UK. pp: 163-180.
- Lugo S. M., Valdivia A. R., Hernández O. J., Monroy H. R., Sandoval R. F. y Contreras C. J. M. (2020). Valoración económica de los servicios ambientales del Monte Tláloc, Texcoco, Estado de México. Revista

MITCHELL, R. C.; CARSON, R. T. (2005). Using Surveys to Value Public Goods: The Contingent Valuation Method. Resources for the Future, Cuarta impresión. Washington, D.C., USA.

Molina V. M. B, Chalita T. L. E., Valdivia A. R. y Portillo V. M. (1992). Factibilidad económica de la transferencia de la operación y la administración de un distrito de riego a los productores: caso de estudio Distrito de riego y aavenamiento Núm. 1, Zapotitan, República del Salvador. Agrociencias, Serie Socioeconomía Volumen 3, Número 3.

Nicholson W. & Synder C. (2007). Intermediate Microeconomics, and its applications. 10th Edition. Thomson, South-western.

Nicholson, W. (2008). Teoría microeconómica. Principios básicos y ampliaciones: principios básicos y ampliaciones. Teoría microeconómica. Principios básicos y ampliaciones: principios básicos y ampliaciones. México.

North D. (1993). Instituciones, cambio Institucional Desempeño Económico. Fondo de Cultura Económica. México.

North Douglas C. (1986). La Nueva economía institucional. Journal of Institutional and Theoretical Economics, vol. 142.

North Douglas C. (1990). Instituciones, Cambio Institucional y Desempeño Económico. Fondo de Cultura Económico. México.

OCDE (2011), Water Governance in OECD Countries: A Multi-Level Approach, OECD Publishing, París

OCDE (2012), Gobernabilidad del Agua en América Latina y el Caribe: Un enfoque multinivel, Editions OCDE.
<http://dx.doi.org/10.1787/9789264079779-es>

- OCDE (2015). Principios de Gobernanza del Agua de la OCDE.
<https://www.oecd.org/cfe/regional-policy/OECD-Principles-Waterspanish.pdf>
- ONU (2021). Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2021: El valor del agua. UNESCO, París.
<https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000378890>
- ONU. (1992). Dublin-Rio Principles. In International Conference on Water and the Environment (ICWE).
- Ostrom E. (2000). El Gobierno de los Bienes Comunes. La evolución de las Instituciones de Acción Colectiva. Universidad nacional Autónoma de México; Centro regional de Investigaciones Multidisciplinarias; Fondo de Cultura Económica. Primera Edición en español.
- Ostrom, Elinor (1990). Governing the Commons. The Evolution of Institutions for Collective Action. Cambridge: Cambridge University Press
- Pacheco-Vega R. (2014). Ostrom y la gobernanza del agua en México. Revista Mexicana de Sociología 76, Número especial (septiembre, 2014): 137-166. México, D.F. ISSN: 0188-2503/14/076-especial-05.
- Perry, C. J.; Rock, M.; Seckler, D. (1997). Water as an economic good: A solution, or a problem? Colombo, Sri Lanka: International Irrigation Management Institute (IIMI); IWMI. v, 16p. (IIMI Research Report 14 / IWMI Research Report 14) [doi: 10.3910/2009.014]
- Pindyck Robert S. y Rubinfeld Daniel L. (2009). Microeconomía. Séptima edición. Pearson educación S. A. Madrid. Pp 888.
- Pineda Espejel, M. I. (2019). Efectos en el uso del agua en un distrito de riego, ante cambios de política agrícola y mejoras de la investigación para la adaptación al cambio.
- Ramírez Barraza, B. A., González Estrada. A, Valdivia Alcalá R., Salas González, J. M., García Salazar, J. A. (2019) Tarifas eficientes para el

agua de uso agrícola en la Comarca Lagunera. vol.10, n.3, pp.539-550.
Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas volumen 13 número 3.

Rasmussen Svend. (2011). Production Economics. The Basic Theory of Production Optimisation.

Riera, P. (1994). Manual de valoración contingente (pp. 103-167). Ministerio de Economía y Hacienda, Instituto de Estudios Fiscales.
<http://132.247.70.115/profesores/blopez/valoracion-manual.pdf>.

Rodríguez H. F. R., Chalita T. L. E. y Valdivia A. R. (1993). Probable efecto en el ingreso agrícola en el distrito de desarrollo 151, Cardenas, Tab. Agrociencia, serie Socioeconomía Volumen 4, Número 1.

Rodríguez, J. M., Medellín, J., Valdivia, R., Arana, O. A. and García-Sánchez, R. C. (2019). Insights from a Calibrated Optimization Model for Irrigated Agriculture under Drought in an Irrigation District on the Central Mexican High Plains. *Water*, 11(4), 858. <https://doi.org/10.3390/w11040858>

Rogers, P. (2002). Gobernanza del agua en América Latina y el Caribe. Reunión Anual del Banco Interamericano de Desarrollo en Fortaleza.

Rogers, P. (2006). Water Governance, Water Security and Water Sustainability. In: Rogers, P. P., M. R. Llamas & L. Martínez, C. (Eds.). *Water Crisis: Myth or Reality*. Taylor & Francis. London, UK. pp: 61-92.

Rogers. P and Hall A. W. (2003). Effective Water Governance. Tec Background Papers No. 7. Published by the Global Water Partnership.

Roy, M. and Chakraborty, S. (2014). Developing a sustainable water resource management strategy for a fluoride-affected area: a contingent valuation approach. *Clean Techn Environ Policy* (2014) 16:341–349. DOI 10.1007/s10098-013-0624-4

Rubiños-Panta, J.E., Martinez-Damiàn, M. A., Palacios-Vèlez, E. Hernández-Acosta, E., Valdivia-Alcalà, R. (2007). Valor Económico del Agua y

anàlisis de las transmisiones de Derechos de Agua en Distritos de Riego en Mèxico. Terra Latinoamericana, Vol. 25, Nùm. 1, enero-marzo 2007. Universidad Autònoma Chapingo. México

Sandoval R. F, Valdivia A. R, Cuevas A., C. M., Hernández O., J., Medellín A. J. y Hernández A. A. (2016). Valoración económica del agua potable en la delegación Iztapalapa, D. F. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas Vol.7 Núm.6 14 de agosto - 27 de septiembre, 2016 p. 1467-1475

Scheierling, S. M., Treguer, D. O., Booker, J. F., & Decker, E. (2014). How to Assess Agricultural Water Productivity? Looking for Water in the Agricultural Productivity and Efficiency Literature (Water Global Practice Group and Agriculture Global Practice Group No. 6982). Policy Research Working Papers.

Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. Ley de Aguas Nacionales y su Reglamento. 2017.

Valdivia Alcalá R.; Delgadillo V. M. A; Dora Ma. Sangermán Jarquín; Juan Hernández Ortiz¹; Fermín Sandoval Romero; Ángeles Suhgey Garay Jácome. (2022). Economic valuation of the quality of drinking water in León, Guanajuato. Revista Mexicana Ciencias Agrícolas volume 13 number 3.

Varian, H. R. (2010). Microeconomía Intermedia: Un enfoque actual (5a ed.)

Venkatachalam L. The contingent valuation method: a review. (2004). Environmental Impact Assessment Review Volume 24, Issue 1, January 2004, Pages 89-124. [https://doi.org/10.1016/S0195-9255\(03\)00138-0](https://doi.org/10.1016/S0195-9255(03)00138-0)

Williamson. (2001). La nueva economía institucional: balance y perspectivas. Revista BCF, XV(1), 6-34.

WMO (1992). World Meteorological Organization Conferencia internacional sobre el agua y el medio ambiente: cuestiones de desarrollo para el siglo 21, 26-31 enero de 1992, Dublín, Irlanda: la declaración de Dublín

e informe de la conferencia. World Meteorological Organization. Geneva, Switzerland.

Yacov T. & Dinar, A. (1995). Efficiency and Equity Considerations in Pricing and Allocating Irrigation Water. The World Bank. Agriculture and Natural Resources Department. Agricultural policies Division.

Young Robert A. and Loomis John B. (2014). Determining the Economic Value of Water. Concepts and Methods. Second Edition. RFF PRESS. Resources for the Future.

CAPÍTULO III.

GOBERNANZA DEL AGUA EN EL ACUÍFERO VALLE DE SAN JUAN DEL RÍO, QUERÉTARO

Water governance in the San Juan del Río Valley aquifer, Querétaro

Ángeles Suhgey Garay Jácome¹, Ramon Valdivia Alcalá [§], Juan Hernández Ortiz²,
Dora María Sangermán Jarquín², Miguel Ángel Martínez Damián²

Posgrado de Economía Agrícola y de los Recursos Naturales-Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Texcoco, Estado de México, México. CP. 56230.

Enviado a la Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas

Resumen

Las condiciones actuales de mayor demanda de agua en México y en el mundo, por el aumento de la población y de la actividad económica, los efectos de la contaminación y el cambio climático (agua en exceso y escasez), el agotamiento de muchas fuentes del recurso y el envejecimiento de la infraestructura hidráulica, han desencadenado señales de alarma, pero en muchas ocasiones los problemas podrían enfrentarse a la falta de una adecuada gobernanza del agua. El objetivo del estudio fue conocer el estado de la gobernanza multinivel en la gestión del recurso hídrico en el acuífero de San Juan del Río, Querétaro, el estudio se llevó a cabo en 2023. Se aplicó el método propuesto por la OCDE para conocer la gobernanza multinivel; se adaptó el cuestionario propuesto para ese objetivo. El método permite mediante la elaboración de un mapeo conocer quién hace qué, determinar las brechas de gobernanza, así como los mecanismos de coordinación y los retos para mejorar la gobernanza. Se añadió el tema de los principios para mejorar la gobernanza. Los resultados obtenidos señalan que la implementación de la política hídrica y la administración del agua en el acuífero de San Juan del Río, Querétaro es responsabilidad de todos los actores formales e informales. Se concluye que existen vacíos en la gestión, sobre todo en lo que se refiere a los

problemas de contaminación y financiamiento; así como mejoras en la coordinación entre actores.

Palabras clave: brechas de gobernanza, disponibilidad de agua, gestión.

Abstract

The current conditions of greater demand for water in Mexico and the world, due to the increase in population and economic activity, the effects of pollution and climate change (excess and scarcity of water), the depletion of many sources of the resource and the aging of the hydraulic infrastructure have triggered alarm signals, but on many occasions the problems could be faced with adequate water governance. The objective of the study was to know the state of multilevel governance in the management of water resources in the aquifer of San Juan del Río, Querétaro. The method proposed by the OECD was applied; the proposed questionnaire was adapted for this purpose. Through the elaboration of a mapping, the method allows knowing who does what, determining the governance gaps, as well as the coordination mechanisms and the objectives to improve governance. The results obtained indicate that the implementation of water policy and water administration in the aquifer of San Juan del Río, Querétaro is not only the responsibility of a specific sector, but the responsibility of all the actors and informal ones. It is concluded that there are gaps in management, especially with regard to pollution and financing problems, as well as improvements in coordination between actors.

Keywords: governance gaps, water availability, management.

Introducción

En los últimos años en el mundo la escasez de agua y la contaminación del recurso ha aumentado de manera acelerada. Se registra de manera generalizada una disminución del manto freático. Se reporta a nivel mundial una reducción aproximada de los recursos hídricos per cápita entre 2000 y 2018 de 20% y el aumento de las extracciones de agua de 2010 a 2018 en un 19%, de las cuales la agricultura usa más de 30% (FAO, 2021).

Para México se observan condiciones poco alentadoras para los recursos hídricos. Las cuencas del país se organizan en 37 regiones hidrológicas, que para efectos de administración se agrupan en las 13 regiones (CONAGUA, 2018). De éstas, de acuerdo con los volúmenes de agua concesionados para usos consuntivos, hay un "muy alto" grado de presión, siete con un grado de presión "alto", una con presión media y cuatro con bajo grado (DOF: 30/12/2020).

De 653 acuíferos en 2017 se reportan 105 sobreexplotados y 32 con presencia de suelos salinos y agua salobre y con intrusión marina (CONAGUA, 2018). Además, se tiene el agravante de la creciente contaminación de aguas superficiales y subterráneas debido a las actividades económicas y el uso urbano. La disponibilidad de agua renovable pasó de 18 035 m³ per cápita/año en 1950, a 3982 en 2013 y a solo 3656 en 2017 (CONAGUA, 2014; 2018). Esto resalta la importancia de conocer y fortalecer las instituciones que se encargan de la gestión del recurso hídrico, así como su funcionamiento.

Desde los años treinta del siglo pasado se identificó la importancia de las instituciones en el desempeño económico de un país. El aporte magistral de los costos de transacción de Coase, los desarrollos de Williamson (2007) y las contribuciones de North (1993), consolidaron los argumentos de que las instituciones en la economía son cruciales para lograr mejores resultados que se reflejan en aportes al bienestar de la población y al mejor uso de los recursos naturales. Para North (1986) la estructura institucional son las distintas reglas o normas relacionadas a las reglas del juego para tener acceso a los recursos productivos.

En México, las instituciones formales que tienen que ver con la gestión del recurso hídrico como los consejos de cuenca y otras, están definidas en la Ley de Aguas nacionales, mismas que se deben tomar en cuenta en el análisis de la gobernanza (DOF, 2014).

En muchas situaciones de escasez de agua en el mundo, en realidad se tiene una crisis de gobernanza y no de falta del recurso (Rogers, 2006). En este contexto se requieren acciones que mejoren la gobernanza del agua y la hagan más inclusiva y adaptativa. La gobernanza inclusiva es fundamental para la asignación y gestión de los recursos

naturales. Sin ella, es poco probable que las soluciones técnicas logren mitigar la degradación de la tierra y la escasez de agua (FAO, 2021).

Rogers y Hall (2003) y Rogers (2006) identifican varios “modos” de gobernanza: la jerárquica, la dirigida por el mercado y la distribuida. En 2012 se incluye la gobernanza multinivel (OCDE, 2012).

La acción colectiva se presenta como una alternativa para detener lo que Hardin (1968) desarrolla en la tragedia de los comunes. Ostrom (2000), muestra como el gobierno de los comunes es una alternativa viable para mantener en condiciones sustentables de los recursos comunes. Existe una situación crítica en la gestión del recurso hídrico, por lo que se necesita la cooperación local y global en alianzas entre los gobiernos de todos los niveles, la sociedad civil, el sector privado y los institutos del conocimiento (Costribe, 2006).

Resulta importante en este contexto lograr una apropiada gobernanza, tiene desafíos que incluyen la implementación de soluciones que los diferentes participantes han aportado, usuarios de riego, industriales y de servicios, comunidades, gobiernos de los diferentes niveles e instituciones reguladoras, entre otras (OCDE, 2012).

En general la gestión del recurso hídrico se muestra como una actividad muy fragmentada con una participación de una gran cantidad de actores, en ocasiones con duplicidad de funciones y también con vacíos en otras.

La gestión del agua (oferta, demanda y disponibilidad) es una preocupación universal, tal es el caso para el acuífero de San Juan del Río Querétaro. Como se ha descrito anteriormente, el éxito de las acciones requiere la cooperación local y estatal y nacional en las asociaciones entre los gobiernos a todos los niveles, la sociedad civil, el sector privado y los institutos de conocimiento. Se puede avanzar utilizando los procesos en curso si los objetivos son claros, se utilizan los medios apropiados y todos trabajan en asociación (FAO, 2021).

En los círculos académicos se ha registrado una discusión con relación a los conceptos de gobernanza y gobernabilidad, mismos que se han trasladado a estudios empíricos incluso en la zona de estudio, en donde se detectó poca participación en la gestión de algunos actores (Aquino y Aguilar, 2019). Aunque muchas instituciones internacionales están usando el concepto de gobernanza desde principios del siglo XXI,

en la discusión del concepto no se observa una definición única que englobe los aspectos que se pretenden cubrir con él.

En esta investigación se usó la definición de gobernanza de la OCDE (2011, 2012), y define la gobernabilidad multinivel como “la corresponsabilidad y la autoridad compartida explícita o implícitamente en la elaboración y la implementación de las políticas públicas, por parte de distintos órdenes administrativos y territoriales; es decir: *i*) entre diferentes ministerios o secretarías, o entidades públicas en el nivel del gobierno central (corresponsabilidad horizontal superior); *ii*) entre distintos órdenes de gobierno en los niveles local, regional, provincial o estatal, nacional y supranacional (corresponsabilidad vertical); y *iii*) entre diferentes actores en el nivel subnacional (corresponsabilidad horizontal inferior)” señala que es el conjunto de sistemas políticos, sociales, económicos y administrativos establecidos para desarrollar y gestionar los recursos hídricos y la prestación de servicios de agua en diferentes estratos de la sociedad.

La presente investigación tiene como objetivo realizar un estudio sobre la gobernanza del agua, usando la metodología propuesta por la OCDE para la gobernanza multinivel (2012), en el acuífero de San Juan del Río Querétaro, a fin de identificar las responsabilidades, las brechas de gobernanza que dificultan el buen funcionamiento en el manejo del agua; los mecanismos de coordinación y los retos, se añade la identificación de los principios para mejorar la gobernanza del recurso hídrico en acuífero.

Materiales y métodos

La zona de estudio es el acuífero San Juan del Río en el estado de Querétaro, para determinar los actores involucrados en la gestión del recurso hídrico, tanto del orden federal, como estatal, municipal, regional y local, así mismo como actores del sector privado y social y conocer el estado de la gobernanza del agua.

El acuífero San Juan del Río, definido con la clave 2203 en el Sistema de Información Geográfica para el Manejo del Agua Subterránea (SIGMAS) de la CONAGUA (2015), tiene una extensión de 2,264.48 km². Se localiza en el centro de la República Mexicana, en la porción suroriental del estado de Querétaro. Abarca parte de los municipios de

San Juan del Río, Tequisquiapan, Colón, Pedro Escobedo, Huimilpan, Amealco y El Marqués (Figura 1).

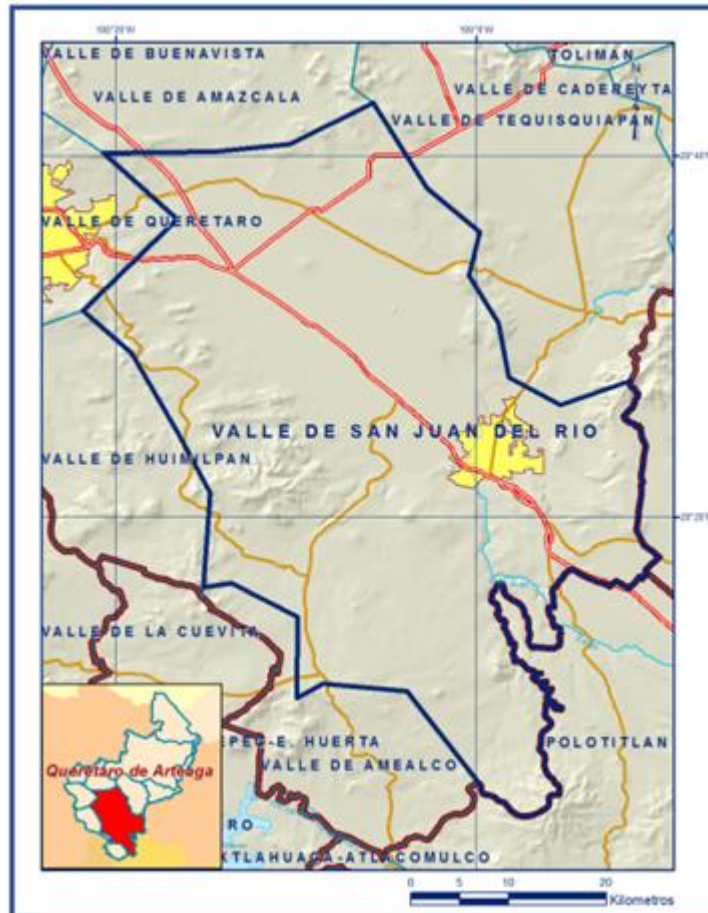


Figura 3-1. Localización del acuífero.

Fuente: CONAGUA (2015).

En esta investigación se utilizó el método propuesto por la OCDE (2012) para analizar la gobernanza multinivel, esta metodología es útil para gestionar el recurso hídrico en condiciones de agua en exceso, escasez profunda y situaciones de agua muy contaminada (OCDE, 2012).

El método incluye tres etapas: mapeo institucional; identificación de brechas de gobernanza; instrumentos de coordinación para la formulación de políticas del agua y retos para mejorar la gobernanza. Además, la OCDE (2015) incluyó los principios para mejorar la gobernanza multinivel, mismos que se adicionan al cuestionario propuesto

por esa institución con adaptaciones para la presente investigación. A continuación, se describen dichas etapas, mismas que están contenidas en el cuestionario aplicado.

Mapeo institucional. De acuerdo con la OCDE (2012), en esta etapa se describen las funciones y responsabilidades de los actores, la regulación, el proceso presupuestario y la implementación de las políticas del agua, así como las modalidades para asignar funciones y responsabilidades en el sector del agua a nivel subnacional y del gobierno central. Identifica de qué manera se dividen las funciones y responsabilidades en términos de planeación estratégica, establecimiento de prioridades, determinación de uso, regulación económica y ambiental, información, vigilancia, evaluación y orden de gobierno (nacional, regional, local) y cómo se definen esas responsabilidades (por una ley específica sobre el agua, por la Constitución, etc.).

Segunda, identificación de brechas de gobernanza. Esta etapa consiste en elaborar un diagnóstico de las brechas de gobernabilidad, entendidas como los principales obstáculos que dificultan la gestión efectiva del acuífero. La OCDE (2012) tiene identificadas las siguientes: administrativas, financieras, de capacidades, políticas, de objetivos, informativas y de rendición de cuentas.

Tercera, instrumentos de coordinación para la formulación de políticas del agua. Una vez identificadas las brechas que dificultan la adecuada coordinación e implementación de políticas dentro de la gobernanza multinivel, el gobierno puede utilizar instrumentos de coordinación, que son los medios para superar las brechas de gobernanza. La OCDE (2012), establece los instrumentos de políticas que los gobiernos utilizan las brechas de gobernanza multinivel para la coordinación e implementación de las políticas del agua. Instrumentos que fomentan la coordinación horizontal entre secretarías, la coordinación horizontal entre actores locales y la coordinación vertical entre órdenes de gobierno.

Finalmente, los Principios de para mejorar la gobernanza del agua (Figura 2). El objetivo de los principios fue mejorar los sistemas de gobernanza del agua.

Figura 3- 2. Visión general de los principios de la gobernanza del agua de la OCDE



Fuente: OCDE, (2015).

Como ya se mencionó, para recolectar la información, se utilizó el cuestionario elaborado para tal fin por la OCDE (2012), al cual se le hicieron modificaciones para adaptarlo a las particularidades de la zona de estudio (el cuestionario se diseñó para estudiar la gobernanza del agua en Europa, en México no existen algunas instituciones y organizaciones de usuarios que hay en allá, pero hay otras que allá no existen) y se le agregaron aspectos relativos a los principios para mejorar la gobernanza, así como algunas especificidades para el sector agrícola.

Se contactó en la zona de estudio a actores clave en la gestión del recurso hídrico y formulación de políticas, así como a usuarios clave tanto en el sector agrícola, urbano e industrial, así como organismos de apoyo para seleccionar a los individuos que contestaron el cuestionario utilizado.

Entre dichos actores se tiene a: CONAGUA, personal del distrito de riego 023, representantes de usuarios del Distrito de Riego 023, además, a personal del servicio agua de uso urbano en San Juan del Río, Querétaro.

Resultados y discusión

Los resultados se presentan de acuerdo con la estructura que tiene el cuestionario, por lo que se inicia con el mapeo institucional, después las brechas de gobernanza, luego

los instrumentos de coordinación, después los retos de gobernanza y finalmente los principios para mejorar la gobernanza.

Mapeo institucional

Se describe la situación que guarda el estado de actores y responsabilidades atendidas, es decir, quién hace qué. En este contexto North (1993) señala la importancia que tienen las instituciones para impulsar el desarrollo de las economías, a tal grado que la existencia, madurez y fortaleza de éstas es una diferencia importante entre economías en desarrollo y las desarrolladas.

Se identificó la estructura del marco institucional, referente al agua a nivel federal, regional, estatal y local lo cual permitió ubicar qué dependencias y actores están involucradas en las cuestiones hídricas (cuadro 1).

En el acuífero las responsabilidades están a cargo de las siguientes instituciones. A nivel federal, la gestión del agua es responsabilidad de la comisión Nacional del Agua (CONAGUA), que es la autoridad nacional del agua de acuerdo con la Ley Nacional de Aguas (DOF, 2022). Para el caso del agua de uso doméstico se identificó a CONAGUA y a la junta de agua potable y alcantarillado de San Juan del Río (JAPAM), sólo para el caso de la ciudad de San Juan del Río, en los otros municipios del acuífero la operación del agua potable está a cargo de la Comisión Estatal de Aguas (CEA); para el uso agrícola a CONAGUA, al Distrito de Riego (DR) con la participación de los módulos de riego que agrupan a los usuarios. A nivel estatal son la Comisión Estatal del Agua de Querétaro (CEA), la secretaría de Desarrollo Agropecuario (SEDEA). El gobierno municipal participa a través de Junta de Agua Potable y Alcantarillado Municipal (JAPAM) y como Organismo Cuenca el que corresponde al acuífero es el de del Golfo de Norte.

Un aspecto importante, es el relativo al saneamiento, en este caso las instituciones responsables son la secretaría de salud (SSA) y CONAGUA, la Comisión Estatal de Agua y a JAPAM, lo que incluye los tres niveles de gobierno. JAPAM cuenta con 9 plantas tratadoras de aguas residuales, aunque no hay evidencia de que todas funcionen y las que lo hacen tengan un funcionamiento adecuado.

La Ley nacional de aguas, señala en su contenido un articulado que marca la ruta institucional a seguir en materia hídrica y particularmente en lo relativo al diseño e implementación de políticas públicas del agua. En esto, sin duda que la CONAGUA es la encargada de organizar dichas acciones y estructurar mecanismos para hacerlo operativo, como los organismos y los consejos de cuenca (DOF, 2022).

Cuadro 3- 1. Mapeo de implementación de políticas públicas del agua

Áreas Actores	Recursos hídricos	Servicios de agua y saneamiento			
		Agua			Saneamiento
		Uso doméstico	Agricultura	Industria	
Autoridad Federal	CONAGUA	CONAGUA-JAPAM	CONAGUA-DR- dirección local (SEDEA)	CONAGUA	SEC. DE SALUD - CONAGUA - agua limpia CEA
Estados	SECRETARÍA DE DESARROLLO AGROPECUARIO (SEDEA)	COMISIÓN ESTATAL DEL AGUA (CEA)		NA	
Municipios	Junta de agua potable y alcantarillado municipal (JAPAM)	Junta de agua potable y alcantarillado municipal (JAPAM)	NA	NA	JAPAM
Organismos Intermunicipales	NA	NA	NA	NA	NA
Organismos Específicos Del Sector del agua	NA	NA	NA	NA	NA
Organismos de cuenca	GOLFO NORTE	NA	NA	NA	NA
Otro(s) (precisar)					

Fuente: Elaboración propia con base en información recabada en campo.

El conjunto de dichas instituciones tiene la responsabilidad de implementar las políticas del agua. Según FAO (2004) “una estructura institucional es eficaz si establece papeles claros y adecuados para todas las personas y grupos involucrados, y los motiva a cumplir satisfactoriamente esas funciones” y agrega, “Es difícil exagerar la importancia de la credibilidad en que las instituciones y los procedimientos son justos y están esencialmente bien fundados”.

Cuadro 3- 2. Regulación en las áreas de responsabilidad

Áreas Responsabilidad	Recursos hídricos	Servicios de agua y saneamiento			
		Agua			Saneamiento
		Uso doméstico	Agricultura	Industria	
Asignación de usos	CONAGUA	CEA-JAPAM	CONAGUA	CONAGUA	NA
Estándares de calidad	CONAGUA	CEA-JAPAM	CONAGUA	LAN - secretaría de salud	S. SALUD- SEMARNAT
Cumplimiento del compromiso de prestación de servicio	CONAGUA - LEY AGUAS NACIONALES	CEA-JAPAM	CONAGUA	CONAGUA	S. SALUD- SEMARNAT
Regulación económica, (tarifas etc.)	CONAGUA	CEA-JAPAM	unidades de usuarios	CONAGUA	CONAGUA- JAPAM-CEA
Regulación del medio ambiente (Conformidad con normas etc.)	CONAGUA	CEA-JAPAM	CONAGUA	CONAGUA	CONAGUA- JAPAM-CEA
Otro(s) (especificar)					

Fuente: Elaboración propia con base en información recabada en campo.

El cuadro 2 identifica los autores involucrados para la regulación en las diferentes responsabilidades (producción de reglas e implementación) para el recurso hídrico y para los diferentes usos y el saneamiento. Para el caso de los recursos hídricos, en todas las responsabilidades se tiene a la autoridad federal mediante la CONAGUA, apoyada por la Ley de Nacional de Aguas. Para el caso de uso doméstico la responsabilidad se concentra en actores estatales y locales (CEA y JAPAM). Para el caso de uso agrícola es CONAGUA, y los, módulos de riego que integran el distrito 023 (asociaciones de usuarios, regantes) así como las unidades de riego. Para la industria es CONAGUA y la secretaría de salud. Para el saneamiento participan instituciones de los tres órdenes de gobierno: secretaría de salud, la SEMARNAT, CEA y JAPAM. En este aspecto cabe resaltar que, aunque está establecida en la Ley de Aguas Nacionales (DOF, 2022) en el artículo 44 y los artículos del Título Séptimo, las disposiciones que aplican para las descargas de aguas de uso urbano y lo relativo a la prevención y control de la contaminación de las aguas y responsabilidad por daño ambiental, señalando que debe haber plantas de tratamiento para las descargas municipales, en la práctica se tiene registrado que no existen y que las que existen no hay evidencia de que se encuentren

en funcionamiento donde se reporta que existen, lo que abre un área de oportunidad para generar un aumento de la oferta de agua que pudiera estar disponible para los diferentes usos. También es posible decir lo mismo para la industria, mientras que para la agricultura no se registra control sobre los usos de agroquímicos y sus efectos en el manto freático.

Identificación de brechas

La importancia que tiene el acceso al agua en el desarrollo es tan grande y definitorio que la OCDE (2012) lo calificó como “una piedra angular del desarrollo y un sólido motor para reducir las desigualdades”. El diagnóstico de brechas de gobernanza en el estudio muestra lo siguiente.

La brecha de políticas caracteriza las relaciones entre los actores públicos entre distintos niveles administrativos y territoriales. Identifica la interacción de varios niveles de actores y muestra la falta de acciones para contar con elementos óptimos para la gobernanza. En estos obstáculos de coordinación se ven implicado en general, zonas rurales y zonas metropolitanas y urbanas. La OCDE (2012), identificó que en el 92% de los casos estudiados hubo brechas de políticas, señalando la fragmentación de funciones y responsabilidades como el principal obstáculo para una política del agua efectiva. Esta brecha como también se encontró como fundamental para el acuífero del Valle de León, Guanajuato (Delgadillo, 2021); se tiene lo siguiente: la complejidad que implica la multiplicidad de funciones y responsabilidades a desempeñar entre las distintas instituciones o dependencias que participan en el nivel local, eso conlleva a la duplicación y confusión de los roles y en consecuencia ausencia y falta de cumplimiento de esas responsabilidades.

La brecha de rendición de cuentas, que se expresa en evaluación insuficiente de las prácticas de las administraciones locales/regionales y de las políticas y reglamentos de la administración federal; es también un aspecto que es posible mejorar, en ocasiones por la poca participación de los usuarios del agua en la formulación de políticas, como también lo identificó la OCDE (2012) en varios países latinoamericanos.

La brecha de capacidades se expresó como, falta de personal y además existencia en algunos casos con conocimientos técnicos y científicos insuficientes, infraestructuras

inadecuadas y en algunos casos obsoletas, comprometiendo la capacidad de implementación de los actores locales. Bastida (2019) encontró en esta brecha un aspecto que interfiere en la adecuada gobernanza del agua para el caso del acuífero Silao-Romita.

Ingresos/recursos inestables o insuficientes de los gobiernos locales para una implementación eficaz de las políticas de agua, tal y como se identifica en la (figura 3). Este aspecto es de suma importancia para el adecuado funcionamiento de toda infraestructura para la adecuada gobernanza. En principio el financiamiento que otorga el gobierno federal ha ido disminuyendo en los últimos años. Desde 2014 el presupuesto de la CONAGUA tuvo una disminución sostenida hasta llegar a 2022, año con una recuperación, pero sin regresar a los niveles de 2014 (CEFP, 2022).

Se conoce que las tarifas que se cobran en el agua de uso agrícola están por debajo de la productividad marginal del agua (Florencio Cruz, *et. al.* 2001; Ramírez B. *et. al.*, 2019; Botello A., *et al.*, 2022), lo que impide recaudar ingresos para optimizar el uso del agua en los distritos de riego.

La disposición a pagar por agua de uso urbano, generalmente, también está por arriba de las tarifas que cobran los organismos de agua y saneamiento de las ciudades (Valdivia *et. al.* 2022). Los gastos de financiación de la gestión sostenible de los recursos hídricos en el mundo y en México, son muy altos, de ahí la importancia del cobro de tarifas por el uso y consumo del agua, dada la disminución de los presupuestos públicos (EUWI, 2012).

Resalta la falta de infraestructura adecuada debido a que es un elemento que puede ser utilizado para mejorar la disponibilidad de agua y se considera como un instrumento a usar por el lado de la oferta. De la misma manera los ingresos inestables e insuficientes, constituyen una brecha importante, ya que se liga con la de infraestructura y evita tener recursos para disponer de mejores maquinaria y equipos que hagan más eficiente el manejo del recurso, tal y como reporta la OCDE (2012) para varios países latinoamericanos.

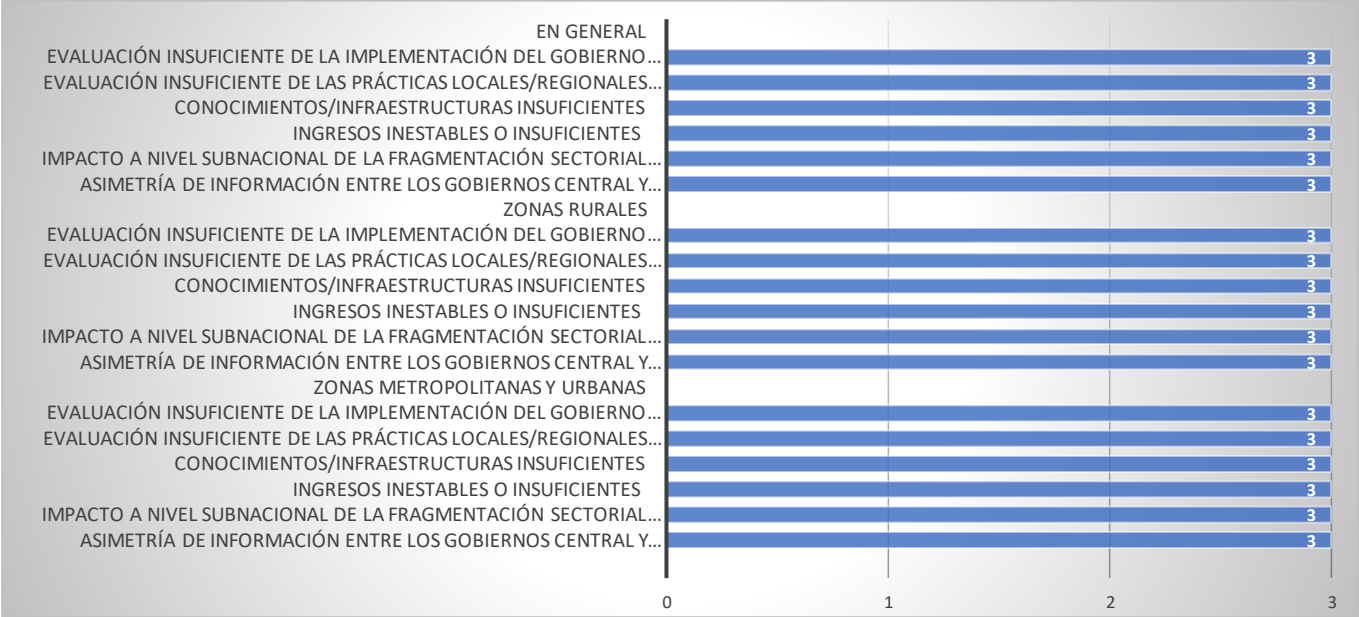


Figura 3-3. Obstáculos para la coordinación vertical en la formación de políticas del agua

Fuente: Elaboración propia con base en información recabada en campo.

En la figura 4 se observa los principales desafíos de coordinación y de capacidades a nivel territorial, en términos de conocimientos técnicos, infraestructuras e inversiones en general, zona metropolitana y urbanas y zonas rurales.

La coordinación a nivel territorial presenta importantes desafíos, los principales aspectos son: falta de sinergias entre las diferentes políticas a nivel local y a nivel federal, recursos financieros insuficientes, falta de inversiones adecuadas, conocimiento técnico insuficiente.

Estos obstáculos también los reporta Bastida (2019).

En el cuadro 3, se reporta la existencia de varios mecanismos que ayudan a mejorar la coordinación de políticas del agua entre órdenes de gobierno y a nivel territorial. Sobresalen: Regulación sobre la distribución de roles entre actores, Comisión o Agencia de coordinación y Acuerdos.

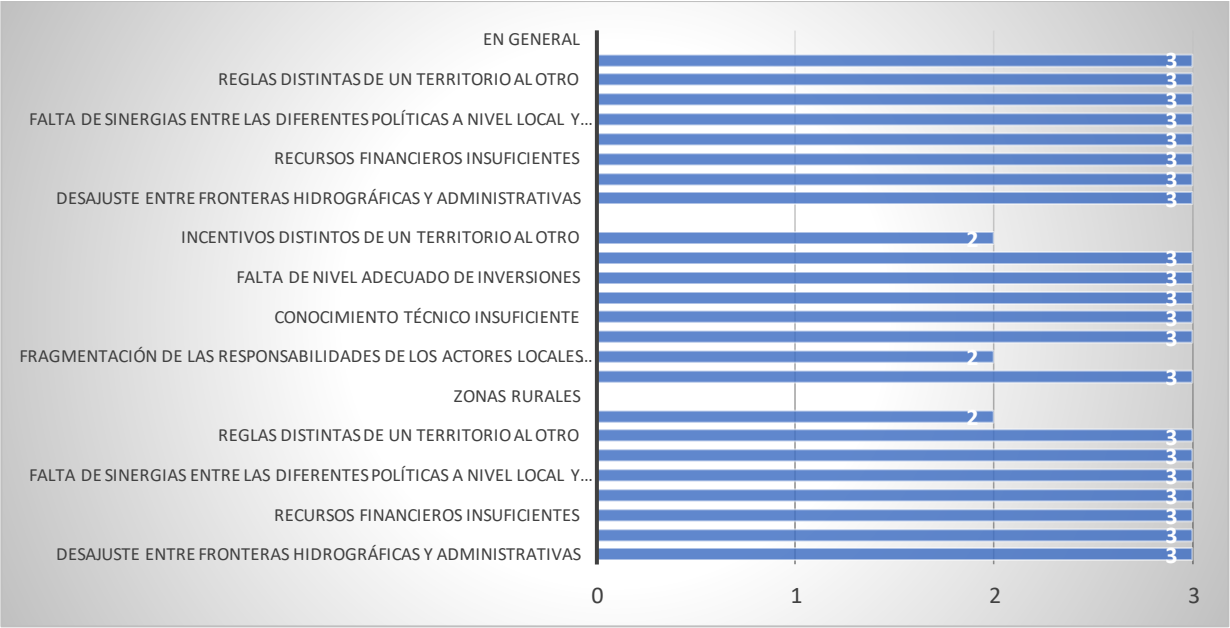


Figura 3- 4. Obstáculos para la formación de capacidad y la coordinación a nivel territorial.

Fuente: Elaboración propia con base en información recabada en campo.

Cuadro 3-3. Mecanismos existentes de coordinación de las políticas del agua entre órdenes de gobierno y a nivel territorial

Mecanismos existentes de coordinación vertical y efectividad territorial en las políticas del agua	Si	No
Regulación de roles entre actores	X	
Agencia de coordinación	X	
Acuerdos contractuales	X	
Organismos o actores intermediarios		
Transferencias u otros incentivos financieros		
Indicadores de desempeño		
Bases de datos comunes		

Conferencias sectoriales entre actores de sector del agua a nivel federal y estatal o municipal		
Asesoría de actores o consultorías privadas	X	
Otro (s) (especificar)		

Fuente: Elaboración propia con base en información recabada en campo.

Contrastando los resultados con el mismo método de gobernanza del agua en la cuenca del Valle de Jovel, Chiapas (Pérez, 2020) a nivel estatal, para la creación y fortalecimiento de capacidades, los actores destacaron los instrumentos de indicadores de desempeño, incentivos financieros y bases de datos. Además, los actores locales mencionaron mantener colaboración en las actividades de reforestación.

El cuadro 4 reporta que algunas herramientas para dirigir la interacción entre actores a nivel estatal y regional, se menciona la existencia de un órgano intermunicipal coordinado por el gobierno del Estado, concretamente por la Comisión de aguas Estatal, así como de mecanismos para la resolución de conflictos.

Cuadro 3-4. Herramientas para dirigir la interacción entre actores a nivel subnacional.

Mecanismos existentes para la coordinación entre diferentes actores del agua a nivel subnacional	Si	No
Cooperación inter-municipal		X
Órgano inter-municipal específico	X	
Incentivos específicos del gobierno federal o estatal		X
Reglas históricas, tradiciones		
Mecanismos específicos de resolución de conflictos	X	
Cooperación informal en torno a proyectos		X
Financiamiento conjunto		X
Distritos de agua metropolitanas o regionales		
Otro(s)		

Fuente: Elaboración propia con base en información recabada en campo.

En el cuadro 5 se menciona instrumentos que han sido adoptados para crear y fortalecer las capacidades a nivel local para nuevos desafíos.

Cuadro 3-5. Herramientas para formar capacidad en el acuífero.

Tipo de Mecanismo	Sí	No	N/A	Detalles (nombre, ejemplo, contacto, sitio web, desafío de capacidad concerniente etc.)
Mecanismos generales de gobernanza				
Colaboración con el sector privado (transferencia de conocimientos especializados, contratos de concesión, contratos de gestión, BOT etc.)		X		
Incentivos financieros (precisar el origen)	X			Gobierno federal, estatal, municipal y usuarios
Indicadores de desempeño y objetivos que contribuyan a que los gobiernos asuman sus responsabilidades		X		
Participación de los usuarios y ciudadanos	X			Módulos de riego
Involucramiento de organizaciones y de la sociedad civil		X		
Base de datos (intercambio de información)		X		
Arreglos históricos (Tribunales de Agua etc.)		X		
Otro(s) (especificar)				
Mecanismos de gestión				
Formación – Talleres – Conferencias	X			
Mecanismos específicos de evaluación y desarrollo del personal		X		
Otro(s) (especificar)				

Fuente: Elaboración propia con base en información recabada en campo.

Entre los mecanismos de gobernanza que se mencionan en el acuífero resaltan: los incentivos financieros que provienen del gobierno federal a través de varios programas y la participación de usuarios y ciudadanos, fundamentalmente a través de las asociaciones de usuarios agrícolas agrupados en los módulos de riego. Sin duda que la organización de los usuarios de agua agrícola ha sido muy importante ya que participan

con aproximadamente el 74% del uso del agua disponible en la región, tal y como lo señalan Bastida (2019) y Delgadillo (2022).

Principios que contribuyen a mejorar la gobernanza del agua y mejorar la eficiencia

En la gestión del agua, se promueven acciones que buscan la cooperación entre los diferentes actores que participan en el proceso. La OCDE desarrolló un esquema que identifica principios para mejorar la gobernanza que considera Eficiencia, efectividad y rendición de cuentas, en total con 12 conceptos, cuatro para cada grupo (OCDE, 2015). Después amplió la estrategia para incluir el Marco de Indicadores de Gobernanza del Agua (OCDE, 2018). En esta investigación se incluyeron algunos elementos que muestran cómo se están cumpliendo dichos principios.

Según los resultados obtenidos de la encuesta, se puede observar lo siguiente:

Para mejorar

La promoción de la cooperación entre los actores involucrados en la gestión del agua debe mejorar. También la de la formación y capacitación de los profesionales del agua, así como la cooperación y el intercambio de conocimientos entre los actores involucrados.

Actualmente faltan mecanismos que permitan una coordinación eficaz entre organizaciones y agencias que producen datos relacionados con el agua. Se mostró que no están seguros o no tienen conocimiento sobre si se promueve este involucramiento de actores del sector en la toma de decisiones.

El hecho de que no se tenga conocimiento sobre este tema resalta la importancia de seguir trabajando en la divulgación y la promoción de la transparencia en la gestión del agua. Es fundamental que todas las partes interesadas en el manejo del recurso hídrico estén involucradas y tengan acceso a información relevante y actualizada para poder tomar decisiones.

El que mayoritariamente se contrate capacitado para las acciones que se requieren en el sector agua constituyen acciones son fundamentales para mejorar las capacidades técnicas y científicas de los profesionales involucrados, lo que contribuye a una gestión más eficiente y sostenible de los recursos hídricos.

Se expresó que existen reglamentos o disposiciones para normar el pago del agua a las encargadas de brindar el servicio del agua. Estos reglamentos o disposiciones son fundamentales para garantizar que las instituciones encargadas del servicio de agua puedan llevar a cabo las operaciones que la ley les asigna, asegurando así el suministro adecuado y sostenible de este recurso vital para la comunidad.

Conclusiones

La gobernanza del agua en el acuífero de San Juan del Río, Qro., incluye la participación de actores de los tres órdenes de gobierno, además de usuarios industriales, agropecuarios, del sector servicios y urbanos, que manifiestan poca participación y coordinación en la toma de decisiones en acciones para mejorar la gobernanza en el acuífero.

Las principales brechas de gobernanza identificadas son: la financiera, la de capacidades, de objetivos, de políticas y de información. En general los recursos financieros son insuficientes para realizar acciones que mejoren la gobernanza del agua, por lo que es necesario concientizar a los usuarios acerca del uso óptimo del recurso y del pago de tarifas que permitan financiar las necesidades del sector agua.

Es posible trabajar en el diseño de mecanismos que favorezcan la coordinación entre los diferentes actores, para caminar a mejorar la gobernanza del agua.

Bibliografía

Aquino-López, V. Donají; Aguilar-Sánchez Genaro. (2019). Gobernabilidad ambiental en el uso del agua distrito de riego 023-san juan del río. Agricultura, Sociedad y Desarrollo. Número 16. DOI: 10.22231/asyd.v16i3.1233

Bastida Miranda M. B. (2019). Gobernanza del Agua en el Acuífero Silao-Romita. Tesis de maestría. Universidad Autónoma Chapingo, México

Botello-Aguillón, C., Valdivia-Alcalá, R., Hernández-Ortiz, J., Sangermán-Jarquín, D. M., & Gutiérrez-García, F. G. (2022). Reallocation of water in agriculture under drought conditions as economic efficiency maximizer. Agro Productividad. <https://doi.org/10.32854/agrop.v15i8.2191>

- Centro de Estudios de las Finanzas Públicas (CEFP) Cámara de Diputados. (2022). Evolución del Gasto en Materia Hídrica 2012-2022.
- Comisión Nacional Del Agua (CONAGUA). (2018). Estadísticas Del Agua http://sina.conagua.gob.mx/publicaciones/eam_2018.pdf.
- CONAGUA (2015). Determinación de la disponibilidad media anual de agua en el acuífero valle de San Juan del Rio Querétaro, Estado de Querétaro. Comisión Nacional de Agua.
- Cosgrove W.J. (2006). Water for growth and security . In: Rogers, P. P., M. R. Llamas & L. Martínez, C. (Eds.). Water Crisis: Myth or Reality. Taylor & Francis. London, UK. pp: 37-42.
- Delgadillo, V. M. (2021) Gobernanza y Valoración Económica del Agua en el Acuífero del Valle de León, Guanajuato [tesis de Doctorado, Universidad Autónoma Chapingo]. <https://repositorio.chapingo.edu.mx>
- Diario Oficial de la Federación (DOF). (30 de diciembre de 2020). Programa Nacional Hídrico 2020-2024. Secretaría de Gobernación. Recuperado el 19 de 08 de 2022, de Diario Oficial de la Federación: <https://www.gob.mx/conagua/articulos/consulta-para-el-del-programa-nacional-hidrico-2019-2024-190499>.
- Diario Oficial de la Federación [DOF]. (2014). Ley de Aguas Nacionales. (C. d. Unión, Editor, & Última reforma publicada DOF 11-05-2022) Obtenido de http://gisviewer.semarnat.gob.mx/aplicaciones/Atlas2015/agua_RH.html.
- European Union water initiative. (EUWI). (2012) La Atribución de Precio a los Recursos Hídricos para Financiar su Gestión Sostenible. Una reflexión para el grupo de Finanzas de la Iniciativa para el Agua de la Unión Europea.
- FAO. (2021). El estado de los recursos de tierras y aguas del mundo para la alimentación y la agricultura - Sistemas al límite. Informe de síntesis 2021. Rome. <https://doi.org/10.4060/cb7654es>.
- Florencio-Cruz, V., Valdivia-Alcalá, R., & A. Scott, C. (2002). Productividad del agua en el distrito de riego 011, Alto Rio Lerma. Agrociencia, 36(4), 483–493.

- Hardin G. (1968). "The Tragedy of Commons" en *Science*, v. 162 pp. 1243-1248.
Traducción de Horacio Bonfil Sánchez. *Gaceta Ecológica*, núm. 37, Instituto Nacional de Ecología, México, 1995. <http://www.ine.gob.mx/>.
- North D. (1993). *Instituciones, cambio Institucional Desempeño Económico*. Fondo de Cultura Económica. México.
- North Douglas C. (1986). La Nueva economía institucional. *Journal of Institutional and Theoretical Economics*, vol. 142.
- North Douglas C. (1990). *Instituciones, Cambio Institucional y Desempeño Económico*. Fondo de Cultura Económico. México.
- OCDE (2012), *Gobernabilidad del Agua en América Latina y el Caribe: Un enfoque multinivel*, Editions OCDE. <http://dx.doi.org/10.1787/9789264079779-es>.
- OCDE (2015), *Organización para la Cooperación y Desarrollo Económicos. Principios de gobernanza de la OCDE*.
- OCDE (2018). *Marco de indicadores de gobernanza del agua*. Disponible en: <https://www.oecd.org/cfe/regionaldevelopment/OECD-Water-Governance-Indicator-Framework-Spanish-version.pdf>.
- Ostrom E. (2000). *El Gobierno de los Bienes Comunes. La evolución de las Instituciones de Acción Colectiva*. Universidad nacional Autónoma de México; Centro regional de Investigaciones Multidisciplinarias; Fondo de Cultura Económica. Primera Edición en español.
- Rogers P. (2006). *Water Governance, Water Security and Water Sustainability*. In: Rogers, P. P., M. R. Llamas & L. Martínez, C. (Eds.). *Water Crisis: Myth or Reality*. Taylor & Francis. London, UK. pp:3-36.
- Pérez, H. C. (2020) *Gobernanza del Agua en la Cuenca Del Valle de Jovel, Chiapas* [tesis de Maestría, Universidad Autónoma Chapingo]. <https://repositorio.chapingo.edu.mx>
- Ramírez Barraza, B. A., González Estrada. A, Valdivia Alcalá R., Salas González, J. M., García Salazar, J. A. (2019) Tarifas eficientes para el agua de uso agrícola en la Comarca Lagunera. vol.10, n.3, pp.539-550. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* volumen 13 número 3.

Rogers. P and Hall A. W. (2003). Effective Water Governance. Tec Background Papers No. 7. Published by the Global Water Partnership.

Valdivia Alcalá R.; Delgadillo V. M. A; Dora Ma. Sangermán Jarquín; Juan Hernández Ortíz¹; Fermín Sandoval Romero; Ángeles Suhgey Garay Jácome. (2022). Economic valuation of the quality of drinking water in León, Guanajuato. Revista Mexicana Ciencias Agrícolas volume 13 number 3.

Williamson, Oliver E. (2007). Transaction Cost Economics: An Introduction, Economics Discussion Papers, No. 2007-3, Kiel Institute for the World Economy (IfW), Kiel.

Williamson. (2001). La nueva economía institucional: balance y perspectivas. Revista BCF, XV(1), 6-34.

4. CAPÍTULO IV.

Efectos económicos de la sequía en el DDR 023 San Juan del Río, Querétaro

Garay-Jácome Ángeles S.¹; Valdivia-Alcalá Ramón^{1*}; Medellín-Azuara Josué²; Hernández Ortiz Juan¹

¹Universidad Autónoma Chapingo, Carretera México-Texcoco km 38.5, Chapingo, Estado de México, México, C. P. 56230

² University of California, Merced 5200 North Lake Road, Merced, CA 95343

* Correspondencia: ramvaldi@gmail.com

Enviado a la Revista Agro Productividad

ABSTRACT

Objective: Analyze the impact of various levels of drought and increase in groundwater use on agricultural income in Irrigation District 023 of San Juan del Río, Qro., and determine water productivity as drought increases.

Design/methodology/approach: Linear programming was used; Four scenarios were built: a typical year with surface and groundwater, two with moderate drought levels and one, only with groundwater for irrigation. In addition to four others with the same characteristics, in addition to considering the cultivation of 60% of alfalfa to serve the dairy sector due to its importance

Results: There are reductions ranging from 8.6% to 19.1% in agricultural income for the first set of models and from 9.7% to 23.1% in income when alfalfa planting is forced. The most water-demanding crops cause a significant reduction in agricultural income. Shadow water prices range from \$800 per thousand m³ to \$5,819 per thousand m³ for the W-I cycle as drought increases.

Limitations on study/implications: The research included the most representative crops in the district and limited the area of crops with high profitability due to market aspects.

Findings/conclusions: It is concluded that droughts significantly affect agricultural income and that the shadow price of water increases significantly as the drought increases, so groundwater should be allocated to the most productive agricultural activities and less demanding of water.

Keywords: Water scarcity, shadow price, water productivity

RESUMEN

Objetivo: Analizar el impacto de varios niveles de sequía y aumento en el uso de agua subterránea, en el ingreso agrícola del Distrito de Riego 023 de San Juan del Río, Qro., y determinar la productividad del agua a medida que la sequía aumenta.

Diseño/metodología/aproximación: Se utilizó la programación lineal; se construyeron cuatro escenarios: un año típico con agua de superficial y subterránea, dos con niveles de sequía moderada y uno, sólo con agua subterránea para riego. Además de otros cuatro con las mismas características, además de considerar el cultivo del 60% de alfalfa para atender al sector lechero por su importancia.

Resultados: Se producen reducciones que van del 8.6% al 19.1% en el ingreso agrícola para el primer conjunto de modelos y del 9.7% al 23.1% en el ingreso cuando se obliga la siembra de alfalfa. Los cultivos más demandantes de agua provocan una reducción importante en el ingreso agrícola. Los precios sombra del agua van de \$800 por millar de m³ hasta los \$5,819 por millar de m³ para el ciclo O-I a medida que aumenta la sequía.

Limitaciones del estudio/implicaciones: La investigación incluyó los cultivos más representativos del distrito y limitó la superficie de cultivos con alta rentabilidad por aspectos de mercado.

Hallazgos/conclusiones: Se concluye que las sequías afectan de manera importante al ingreso agrícola y que el precio sombra del agua aumenta de manera significativa a medida que aumenta la sequía, por lo que el agua

subterránea se debe asignar a las actividades agrícolas más productivas y menos demandantes de agua.

Palabras clave: Escasez de agua, precio sombra, productividad del agua.

INTRODUCCIÓN

Las actividades productivas en las unidades de producción agropecuarias son diversas. Se pueden sembrar diversos cultivos, usando una variedad de tecnologías y de técnicas de producción; la estacionalidad de la agricultura propicia que algunos recursos tengan un uso temporal muy definido. Tiene una cantidad de recursos disponibles para llevar a cabo su plan de producción como tierra, mano de obra y en particular agua.

En la literatura se ha reconocido que el agua para riego es el insumo que influye en mayor grado sobre los rendimientos de los cultivos (FAO, 2004). El cambio climático ha hecho más errática la presencia de las lluvias y la sequía es cada vez más frecuente. Esto en conjunto con el desarrollo de tecnologías de perforación y bombeo de pozos, han ocasionado un uso excesivo en el mundo de las aguas subterráneas, que se denominó “la revolución silenciosa del uso intensivo del agua subterránea” (Llamas M. y Martínez-Santos, 2006).

Es importante hacer el mejor uso del recurso hídrico. Un instrumento útil en esta tarea es la programación lineal (PL), que contribuye en la toma de decisiones en la producción agropecuaria, con la inclusión de avances teóricos que permiten solucionar sistemas de ecuaciones con restricciones de desigualdad basadas en la aplicación de las condiciones Kuhn-Tucker, la teoría de la dualidad y con ello la demostración de la simetría de los problemas primal y dual, mostrando la utilidad de los precios sombra de los recursos utilizados en el problema primal, obtenidos a través del problema dual sin plantear y solucionar el problema dual, fue un gran avance (Hazell and Norton 1986).

La PL se utiliza para solucionar una gran variedad de problemas de optimización (Kaiser and Messer, 2011).

La estimación de la productividad del agua es importante para conocer la aportación de los insumos productivos sin precio, al producto total. Young and Loomis (2014) señalan que los modelos de PL constituyen un instrumento apropiado para conocer la productividad de los insumos como el agua. Este método ha sido utilizado para conocer la productividad del agua en un distrito de riego en México (Florencio et al., 2002; Botello et al., 2022).

El Comité Técnico de Aguas Subterráneas (COTAS, 2024) con relación al acuífero valle de San Juan del Río, señala que hay un déficit de disponibilidad de agua subterránea de casi 57 millones de m³.

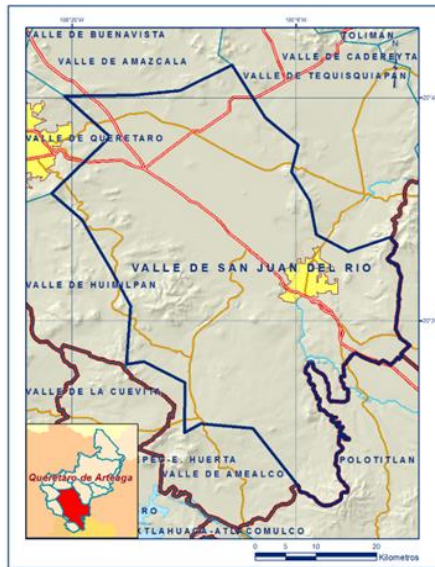
El objetivo de la investigación fue analizar el impacto de varios niveles de sequía y uso de agua subterránea en el ingreso agrícola del DDR 023 en San Juan del Río, Querétaro y determinar la productividad del agua.

MATERIALES Y MÉTODOS

La presente investigación se realizó en el valle de San Juan del Río Querétaro con coordenadas de Latitud: 20° 29' 12.2" y Longitud: 99° 44' 49.7", específicamente en el DDR 023 San Juan del Río.

El principal usuario del agua subterránea en el acuífero de San Juan del Río es el sector agrícola, que alberga en su región central al DR023 San Juan del Río que se muestra en la Figura 1 (CONAGUA 2023). La configuración de evolución del nivel estático para el periodo 2014-2023 registró valores de abatimiento en la mayor parte de la superficie de explotación, que varían de 1 a 10m, con valores locales de 15m, que representan 0.1 a 1.7m anuales. Los mayores abatimientos, de 1.1 a 1.7m anuales, se presentan en la porción norte y noroccidental de la zona agrícola".

Figura 4 -1. Localización del Acuífero



Fuente: CONAGUA

Se construyeron modelos usando PL para estimar los efectos para un rango de sequías, de moderadas hasta sequías severas, sobre el ingreso económico en la región, el patrón de cultivos y la productividad del agua.

Un modelo de PL contiene una función objetivo y un conjunto de restricciones. La función objetivo (1) está conformada por el producto punto de las variables de decisión (actividades) del modelo multiplicadas por sus correspondientes utilidades netas. El conjunto de restricciones está conformado

por restricciones expresadas en una matriz de coeficientes de coeficientes técnicos y del lado derecho de la ecuación (RHS) están los recursos fijos disponibles (2). Además de las condiciones de no negatividad (3) para las actividades (variables de decisión) consideradas.

La representación matemática del modelo teórico de programación lineal se puede expresar de la siguiente manera (Hazell y Norton, 1986):

Función Objetivo:

Maximizar $Z = \sum_{j=1}^n C_j X_j$ 1

Sujeta a:

$$\sum_{j=1}^n a_{ij}X_j \leq b_i, \quad \text{para todo } i=1 \text{ a } m \dots\dots\dots 2, y$$

$$X_j \geq 0, \quad \text{para todo } j=1 \text{ a } n \quad \dots\dots\dots 3$$

Donde:

X_j = Es el nivel de la j-ésima actividad del productor, el número de hectáreas a sembrar de un determinado cultivo j. C_j = Es el margen de utilidad neta, de la j-ésima unidad de actividad (\$/ha). A_{ij} = es la cantidad del recurso necesarios para producir una unidad de la j-i. Se denota con m el número de recursos, por lo que $i=1$ a m. b_i = es la cantidad del i-esimo recurso disponible (e.g. hectáreas, jornales, etc.).

Para la construcción del modelo empírico se utilizaron los cultivos establecidos por ciclo agrícola y por módulo. Se consideraron los siguientes cultivos: avena forrajera, cebada, maíz, alfalfa, rosal, vid y segundos cultivos como maíz. En total fueron 21 actividades de producción, cosecha y venta. Los precios netos se calcularon usando la información de precios medios rurales (PMR), rendimientos y costos de producción proporcionados por el DDR. Otros cultivos por la poca superficie que tienen, no se consideraron en los modelos.

Las etiquetas de las variables consideradas para el módulo 1 son: avena forrajera O-I (FOI1), cebada O-I (COI1), maíz P-V (MPV1), alfalfa (AP1), vid (VP1), rosal (RP1), maíz segundos cultivos (MSC1). Para el módulo 2: avena forrajera O-I (AFOI2), cebada O-I (COI2), maíz P-V (MPV2), alfalfa (AP2), rosal (RP2), vid (VP2), maíz segundos cultivos (MSC2). Para el módulo 3: avena forrajera O-I (AFOI3), cebada O-I (COI3), zanahoria O-I (ZOI3), maíz P-MPV3, alfalfa (AP3) y maíz segundos cultivos (MSC3).

La modelación en lo que respecta al uso de la tierra en cada módulo, fue estacional señalando los meses en que cada cultivo ocupa la tierra, lo que dio 36 restricciones de tierra. La disponibilidad de tierra no se modificó en ninguno de los modelos construidos. No se incluyen restricciones para mano de obra dado que por información de los operadores del distrito no es un recurso que limite la producción. El patrón de cultivos del DDR023 en el ciclo 2021-22 fue: avena forrajera OI 570 ha, cebada OI 2 115, zanahoria OI 50 ha, maíz PV 3 830, alfalfa1 060, rosal 105, vid 17 ha y maíz segundos cultivos 1 645, para un

total de 9 396 ha. Por modulo se tiene que el módulo 1 sembró 3 452, el módulo 2, 5 179, y el módulo 3 765 ha.

Las restricciones de agua se organizaron por ciclo productivo y por módulo, dando un total de 6 restricciones de agua. El uso de agua por cultivo y por ciclo se tomó de la programación de riegos del DDR para el año agrícola mencionado. El agua requerida para los cultivos perennes y segundos cultivos se organizó de acuerdo con los meses que correspondieron a otoño-invierno (OI) o bien a primavera verano (PV).

Se construyeron ocho escenarios, el primero considera el agua disponible para la programación del año agrícola 2021-22, misma que consideró agua superficial de las presas Constitución y San Idelfonso, así como el agua subterránea de los pozos autorizados al DDR023. El año agrícola 2021-22 se considera como típico. El segundo se incluye una reducción del agua disponible del 15% con una sequía moderada, menos agua superficial. El tercero considera con una sequía mayor y una reducción de agua del 25% con relación al año típico. El cuarto considera una sequía severa sin agua superficial y una reducción del 30% de agua con respecto al año base.

El modelo no da la posibilidad de que el agua disponible en DDR se use donde mejor convenga ya que está restringida por módulo y por ciclo. Hay actividades como la vid, el rosal y la zanahoria que se sujetaron a la superficie sembrada en el año de referencia en todas las versiones de los modelos.

Dada la importancia de ganadería en la región y la conexión con la agricultura con el suministro de forraje, los otros cuatro modelos consideran el cultivo de alfalfa al 60% de que se sembró en el año usado como referencia.

En lo que respecta a la cantidad de bovinos que tiene San Juan del Río y municipios vecinos (Amealco de Bonfil, Pedro Escobedo, El Marques y Tequisquiapan) el 38% del total estatal. En lo que respecta a vacas de ordeña (por eso la importancia de sembrar alfalfa), estos municipios tienen el 13% del

hato lechero del Estado (INEGI, 2023). El municipio de San Juan del Río produce el 20% de la leche que se produce en el Estado.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación, se presentan los resultados obtenidos en los diferentes modelos construidos. Se inicia con los efectos que tiene la reducción en la disponibilidad de agua en el distrito sobre el valor de la función objetivo; después se analiza los efectos de dicha disponibilidad sobre el patrón de cultivos; en seguida se analiza la magnitud del precio sombra del agua, bajo el supuesto de que es el insumo más escaso. Luego se presentan resultados cuando se restringe al modelo a considerar la siembra de alfalfa al 60% de lo programado en el año tomado como base debido a la presencia de ganadería lechera de la región.

En el cuadro 1 se muestran los efectos de la escasez de agua sobre el ingreso agrícola en el DDR023. La estimación de los efectos que tendría la reducción de 15% en la disponibilidad de agua en el Distrito ocasionaría una reducción del 8.6% de los ingresos agrícolas del DDR023. Sin duda que es una reducción importante considerando la importancia que tienen las actividades agrícolas en la región.

Una reducción del 25% en la disponibilidad de agua reduciría casi en un 15% en el ingreso de la población que depende de la agricultura en el DDR023, mientras que una reducción del 30% el efecto ascendería a una reducción del ingreso del 19.1%.

Estas estimaciones solo consideran los efectos en los ingresos que se obtendrían directamente por la reducción de la actividad agrícola del distrito de riego, no se incluyen los efectos en los comercios que abastecen de insumos para la producción agrícola, así como lo relacionado con servicios como créditos y seguros. Tampoco se incluye la reducción de los jornales y los ingresos que devengan.

También se debe señalar que habría un efecto no calculado en las actividades pecuarias en la región, ya que una parte importante de la superficie del distrito de riego se siembra de cultivos forrajeros. Una reducción en los cultivos forrajeros podría disminuir las ganancias netas del sector pecuario debido a la escasez potencial de insumos.

En los cuatro modelos construidos que consideran la siembra de alfalfa al 60% de lo que se sembró en cada módulo en el año agrícola tomado como base, muestran una reducción del ingreso mayor a medida que se registra más escasez de agua.

La comparación entre modelos con la misma disponibilidad de agua, pero sin y con alfalfa, muestra para el primer caso una reducción del 4.6% en el ingreso, para una disminución del 15% de agua la reducción es del 5.7%, para el 25% de menos agua el ingreso se reduce en 8.3% y para la escasez severa, la reducción es del 10.8%.

El escenario de mayor sequía es muy aproximado a lo sembrado en el año agrícola 23-24, lo que permite estimar el efecto económico ocasionado por una sequía severa sobre el ingreso de los usuarios del DDR023.

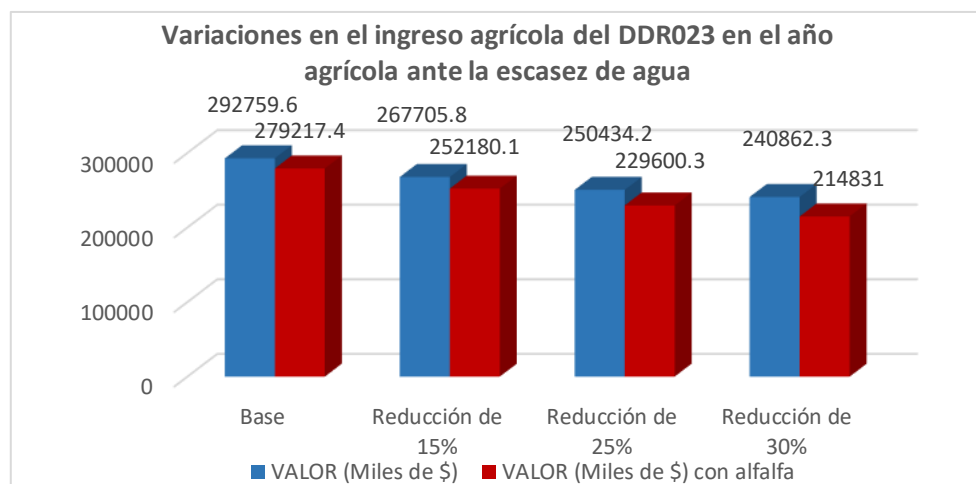
Cuadro 4-1. Ingreso en el año agrícola del DDR023 con escasez de agua

MODELO Reducción de agua	VALOR (Millones de \$)	REDUCCIÓN %	VALOR (Millones de \$) con alfalfa	REDUCCIÓN %
Base	292.76	N/A	279.22	
15% menos	267.71	8.6	252.18	9.7
25% menos	250.43	14.5	229.60	17.8
30% menos	240.86	19.1	214.83	23.1

Fuente: Elaboración propia con información de los modelos construidos.

Nota: Los modelos con alfalfa contienen un 60% de este cultivo de lo sembrado en el año agrícola 2021-2022, en todas las condiciones de sequía

Figura 4-2. Variaciones en el ingreso agrícola del DDR023 en el año agrícola ante la escasez de agua



Fuente: Elaboración propia con información de los modelos construidos.

El cuadro 2 muestra las actividades óptimas en cada modelo construido ante las condiciones de sequía. Estas actividades seleccionadas en cada modelo cumplen con el criterio económico de optimización que señala que un cultivo será incluido hasta que su ingreso marginal sea igual a su costo marginal.

Cuadro 4-2. Cultivos en la solución óptima en los modelos construidos

CULTIVO	BASE (HA)	15% MENOS DE AGUA (HA)	25% MENOS DE AGUA (HA)	30% MENOS DE AGUA (HA)
AFOI1	1 125	546	160	0
MPV1	2 085	1 454	1 033	849
VP1	17	17	17	17
RP1	6	6	6	6
MSC1	1 425	2 056	2 476	2 619
AFOI2	2 172	1 685	1 360	1 204
MPV2	1330	656	206	0
RP2	100	100	100	100
VP2	4	4	4	
MSC2	2 956	3 443	3 768	3 893
AFOI3	100	0	0	0
ZOI3	50	50	50	50
MPV3	385	314	279	261
MSC3	380	416	354	324

Fuente: Elaboración propia con información de los modelos construidos.

Las actividades que no fueron seleccionadas en la solución óptima no cumplen con dicho criterio de optimización, es decir, en esos casos el costo marginal es mayor que el ingreso marginal. La teoría de la dualidad señala que asociado a un modelo primal cuyo objetivo sea maximizar una función, con la condición de que esta función tenga solución y sea óptima, existe un modelo dual cuya optimización será la minimización. El primal maximiza ganancias y el dual minimiza costos. En este caso el precio neto de cada actividad equivale al ingreso marginal y el concepto “costo reducido” es el costo marginal que se obtiene por la valoración que el modelo imputa de los recursos usados en su producción.

Cuando los recursos son abundantes en el modelo hay sobrantes y tendrán un precio sombra de cero y los escasos, los que se agotan, tendrán un valor positivo. Los cultivos que usen en su producción mayor cantidad de recursos escasos tendrán un costo marginal mayor y en consecuencia, no serán seleccionadas.

De las actividades no óptimas porque el costo marginal excede al ingreso marginal en cada modelo construido, se tiene por ejemplo que, en el modelo base para la actividad cebada en el ciclo O-I (COI1), tiene un costo marginal que supera en \$10 520 al ingreso marginal. En este caso, si se insiste en producir cebada en las condiciones establecidas en el modelo, el ingreso del DDR, disminuirá en \$10 520 por cada hectárea producida de este cultivo. En el modelo base el cultivo que supera en mayor cantidad el costo marginal, al ingreso marginal es las alfalfas AP1 (\$23 280) y AP3 (\$22 570).

Cuando se simulan sequías de moderadas a fuertes, en general estos valores aumentan, dado que estas actividades están usando un recurso cada vez más escaso (por tanto, más caro), hasta llegar a la sequía extrema en donde los valores son mayores. El cultivo de alfalfa usa una gran cantidad de agua en su desarrollo, y si el agua es el recurso más escaso, es el más caro. Las alfalfas en el escenario con la mayor escasez de agua (AP1, AP2 y AP3) cultivadas en los tres módulos, tienen las magnitudes más altas en las que los costos

marginales superan a los ingresos marginales en las siguientes cantidades: \$42 038, \$40 195 y \$ 33 917, por ha respectivamente.

El modelo de PL obtiene la productividad marginal del agua a partir de extraer de la solución del problema dual los valores de las variables de los lagrangianos y se conocen como los precios sombra del agua. Este tipo de modelos son de los más adecuados para determinar el valor del agua cuando el recurso no tiene precio en el mercado (Young y Loomis, 2015).

En el cuadro 3 se presenta las magnitudes de la productividad marginal del agua por ciclo. Todos los modelos registran precios sombra con valores mayores a cero en los dos ciclos productivos. En el modelo base los mayores valores se registran en el ciclo otoño-invierno en los tres módulos. Para el caso del módulo 3 se registra el valor más alto, \$3 922 por millar de metros cúbicos. Esto significa que por cada millar de metros cúbicos adicionales en el módulo 3 en el ciclo O-I el ingreso del DDR aumentaría en \$3 922. Esa es la interpretación para el resto de los valores.

En los modelos con sequías moderadas (15 y 25% menos agua) la productividad del agua se mantiene como en el modelo base, salvo en el módulo 3 ciclo O-I, donde aumenta significativamente (\$5 597/mm³).

Cuadro 4-3. Precio sombra del agua en diferentes condiciones de sequía en el DDR023.

MODULO Y CICLO	BASE (\$/mm ³)	15% MENOS (\$/mm ³)	25% MENOS (\$/mm ³)	30% MENOS (\$/mm ³)
1 O-I	3 448	3 448	3 448	5 819
1 PV	2 054	2 054	2 054	3 467
2 O-I	894	894.4	894	3 922
2 P-V	3 077	3 077	3 077	7 145
3 O-I	3 922	5 597	5 597	5 597
3 P-V	2 530	3 611	3 611	3 611

Fuente: elaboración propia con información de los modelos construidos.

Cuando la sequía es severa (con una reducción de agua del 30% y solo se usa agua subterránea), en todos los modelos, la magnitud del precio sombra

aumenta de manera importante, con valores que van de \$3 467 hasta \$7 144 por millar de metro cúbico.

Valores para los precios sombra del agua se han calculado para diversos lugares en diferentes momentos, con el objeto de hacer una comparación con los encontrados en esta investigación dichos precios sombra por millar de metros cúbicos, se convirtieron a dólares por millar de metros cúbicos al tipo de cambio del momento de cada investigación (BANXICO, 2024). Florencio et al., (2002) reportaron un precio de 106.32 dólares por metro cúbico

para el DDR 011, si bien registraron valores menores para algunos cultivos, también dan cuenta de valores superiores al usado aquí con motivos de comparación para cultivos de alto valor. Martínez *et al.* (2021) para el DDR 100 de Alfajayucan encontraron un precio de 81 dólares por millar de metro cúbico para un estudio realizado en 2016. Ramírez et al (2019) encontraron para la región lagunera en México un precio sombra de 50.63 dólares por millar de metros cúbicos. Botello *et al.*, (2022) encontraron valores para el precio sombra de algunos módulos de riego del DDR011 de Celaya de 195.39 dólares por millar de metros cúbicos.

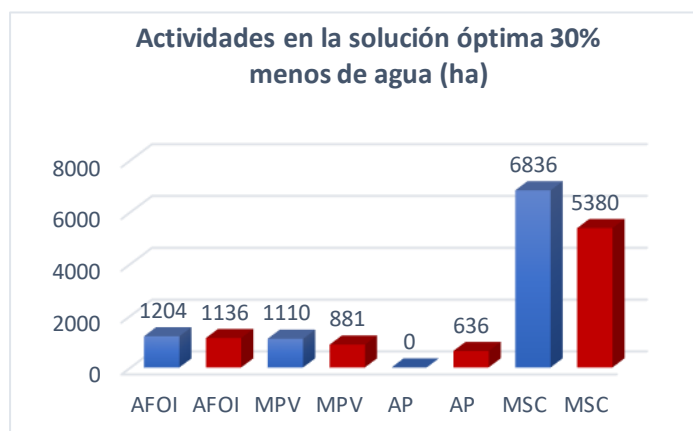
En la investigación aquí presentada al tipo de cambio del 17 de abril de 2024, se encontraron diferentes valores para el precio sombra que van desde el más bajo que se da en el modelo base de 52.62 dólares por millar de m^3 para el ciclo O-I del módulo 2, hasta 420.54 dólares por millar de metros cúbicos en el modelo con sequía extrema para el ciclo P-V del módulo 2.

Dada la conexión de la agricultura del DDR023 con la ganadería del municipio y de la región, tanto en lo que se refiere a bovinos de carne cómo de leche ya señalada antes, se construyeron versiones de modelos comparables con los iniciales, con la diferencia que todos ellos contienen el 60% de la superficie de alfalfa que se sembró en el año tomado como referencia.

La Figura 3 compara los de la solución óptima cuando se riega solamente con agua subterránea, sin y con siembra del 60% de alfalfa. Se observa que la

presencia de alfalfa provoca la disminución importante en el cultivo de avena forrajera OI y maíz PV y también de los segundos cultivos.

Figura 4-3. Cultivos con riego solo de agua subterránea. Sin y con el 60% alfalfa



Fuente: Elaboración propia con información de los modelos construidos.

En los otros modelos que se probaron con presencia de sequía cuando se incluye alfalfa, provoca una drástica reducción de los demás cultivos, con una ligera ganancia del maíz de segundos cultivos.

CONCLUSIONES

En la asignación eficiente de recursos, los cultivos de alto consumo de agua como la alfalfa se verían excluidos del patrón óptimo debido al alto costo de oportunidad del agua. Su inclusión solo se justificaría en condiciones en las que dependen otras actividades como las del ganado de leche, aunque esto conllevaría una reducción en la siembra del resto de los cultivos. Los escenarios modelados son realistas y reflejan condiciones que podrían presentarse en el año agrícola 23-24, lo que permite prever el impacto económico de una sequía severa en el DDR023.

Los valores de los precios sombra del agua, muestran la importancia del recurso hídrico a medida que se hace más escaso, lo que debe motivar a asignarlo a actividades económicamente más redituables.

Este estudio proporciona información valiosa para así comprender los impactos económicos de la escasez de agua en el DDR023 y para diseñar

estrategias de gestión hídrica que favorezcan la sostenibilidad del sector agrícola de esa región.

REFERENCIAS

- BANXICO. 2024. Tipo de cambio para solventar obligaciones denominadas en dólares de los EE.UU.A., pagaderas en la República Mexicana. <https://www.banxico.org.mx/tipcamb/tipCamMIAction.do?idioma=sp>
- Botello-Aguillón, C., Valdivia-Alcalá, R., Hernández-Ortiz, J., Sangermán-Jarquín, D. M., & Gutiérrez-García, F. G. (2022). Reallocation of water in agriculture under drought conditions as economic efficiency maximizer. *Agro Productividad*. <https://doi.org/10.32854/agrop.v15i8.2191>
- Comisión Nacional del Agua (2023). Actualización de la disponibilidad Media Anual de Agua en el Acuífero Valle de San Juan del Río (2023), Estado de Querétaro.
- CONAGUA (2015). Determinación de la disponibilidad media anual de agua en el acuífero valle de San Juan del Río Querétaro, Estado de Querétaro. Comisión Nacional de Agua.
- COTAS. Comité Técnico de Aguas Subterráneas del Acuífero Valle San Juan del Río, A. C. (2024). Actualización de la disponibilidad media anual de agua en el acuífero Valle de San Juan del Río (2203), estado de Querétaro.
- FAO. 2004. Política de desarrollo agrícola. Conceptos y principios. Capacitación en Política agrícola y alimentarias 2. Roma.
- Florencio-Cruz, V., Valdivia-Alcalá, R., & Scott, C. A. (2002). Productividad del agua en el distrito de riego 011, Alto Río Lerma. *Agrociencia*, 36(4), 483-493.
- Hazell, P. B. R., & D. Norton, R. (1986). *Mathematical Programming for Economic Analysis In Agriculture*. (R. D. Norton, Ed.). New York, NY: Macmillan.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). 2023. Censo Agropecuario 2022. Resultados definitivos. Varios temas de información ganadera. <https://www.inegi.org.mx/programas/ca/2022/>
- Kaiser, H. M., & Messer, K. D. (2011). *Mathematical programming for agricultural, environmental and resource economics*. John Wiley and Sons, Inc.

- Llamas M.R. y Martínez-Santos, P. 2006. Importancia de la Revolución Silenciosa del uso intensivo de aguas subterráneas en la política mundial del agua. Water Crisis: Myth or Reality. Edited by Peter P. Rogers; Ramón Llamas y Luis Martínez-Cortina. Taylor & Francis. London, UK. Pp: 163-180.
- Martínez-Luna, Domingo, Mora-Flores, José S., Exebio-García, Adolfo A., Arana-Coronado, Oscar A., & Arjona-Suárez, Enrique. (2021). Valor económico del agua en el Distrito de Riego 100, Alfajayucan, Hidalgo. Terra Latinoamericana, 39, e544. Doi: <https://doi.org/10.28940/terra.v39i0.544>
- Nicholson, W. (2008). Teoría microeconómica. Principios básicos y ampliaciones: principios básicos y ampliaciones. Teoría microeconómica. Principios básicos y ampliaciones: principios básicos y ampliaciones. México.
- Pindyck Robert S. y Rubinfeld Daniel L. (2009). Microeconomía. Séptima edición. Pearson education S. A. Madrid. Pp 888.
- Young Robert A. and Loomis John B. (2014). Determining the Economic Value of Water. Concepts and Methods. Second Edition. RFF PRESS. Resources for the Future.

5. CAPÍTULO V.

VALORACIÓN ECONÓMICA POR LOS AGRICULTORES DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS EN CONDICIONES DE SEQUÍA EN EL DR023, SAN JUAN DEL RÍO, QUERÉTARO.

Ángeles Suhgey **Garay-Jácome**¹, Ramón **Valdivia-Alcala**¹,
Juan **Hernandez-Ortiz**^{1*}, Josué **Medellin-Azuara**², Juanita
Japheth **Valdivia-Cabral**³

¹Posgrado de Economía Agrícola y de los Recursos Naturales,
Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Km 38.5
carretera México, Texcoco, Estado de México, México. C. P.
56230.

²University of California, Merced 5200 North Lake Road,
Merced, California, Estados Unidos. CA 95343.

³Posdoctorante en la Universidad Autónoma de Zacatecas,
Centro Histórico, Zacatecas, México, C.P. 98000

***Autor para correspondencia:** jhdzo@yahoo.com.mx

RESUMEN

Las sequías que afectan a México desde hace varios años han causado una disminución en el nivel del acuífero que pone en riesgo las actividades económicas, en particular las agrícolas. Este ha sido el caso del acuífero del Valle de San Juan del Río y de los cuerpos de agua superficiales que abastecen de agua para riego al DR023 San Juan del Río, Querétaro. El objetivo del presente trabajo fue estimar la valoración que hacen del agua subterránea los usuarios de este recurso con fines de riego agrícola, a través del método de valoración contingente, con una encuesta aplicada a los usuarios de agua subterránea para riego; la hipótesis postula que ante la falta de agua para riego en las presas por la sequía, los usuarios mostrarían una disposición a pagar para realizar acciones de apoyo a la recarga del acuífero y lograr hacer sustentable su actividad en el tiempo. Se encontró una disposición a pagar media por parte de los regantes de \$64.7 MX, por riego hectárea, independientemente del cultivo. Las variables más importantes para explicar el aumento en la probabilidad a estar dispuestos a pagar por el agua, fueron los ingresos de los productores, los apoyos del gobierno federal y

estatal, el tipo de cultivo, el nivel de estudios del agricultor y la edad de los productores. Se concluye que existe entre los productores agrícolas una valoración positiva por las aguas subterráneas como activo natural e insumo vital en la producción agropecuaria de la región.

Palabras clave: Valoración contingente, Disposición a pagar, recarga de acuífero

INTRODUCCIÓN

En esta sección debe En los últimos años la problemática del agua se ha hecho más evidente. Sabemos que este recurso es fundamental para la vida; sin embargo, su disponibilidad en condiciones adecuadas para muchas actividades cotidianas y productivas escasea con notable intensidad. El agua es motivo de discusiones con relación a si debe ser tratada como un bien económico y asignado como tal, o debe tratarse como un bien indispensable para la vida que lo proporciona libremente la naturaleza para todos.

Sin duda posee características emotivas y simbólicas particulares, también es verdad que incluye características económicas distintivas que provocan que la demanda y el suministro de agua sean diferentes y en muchas ocasiones más complejas que la mayoría del resto de bienes.

En México los usos consuntivos del agua según CONAGUA (2023a) son: El 76.3% es agrícola, el 14.8% abastecimiento público, el 4.8% la industria autoabastecida y el 4.1% electricidad excluyendo hidroelectricidad. Del volumen concesionado para el uso agrícola por tipo de fuente, se detecta un incremento paulatino de la participación de las aguas subterráneas, ya que en 2009 era del 33.8%; en 2017 del 36.2% mientras que para 2022 fue de 37.1% (CONAGUA, 2023a):

De 2009 a 2022 el total de agua de uso agrícola por tipo de fuente utilizada en México aumentó de 61.8 miles de hm³ a 68.5 miles de hm³, un incremento del 11.6%. En este periodo el incremento del agua subterránea fue del 21.7%, mientras que el del agua superficial fue del 6.4%, sin duda debido a las sequías registradas en el país, lo que se manifiesta mayores extracciones y en un abatimiento continuo y prolongado de los mantos acuíferos del país (CONAGUA, 2023a).

En este contexto, es importante hacer conciencia en la población en general acerca de hacer un uso sustentable del agua subterránea que permita mantenerlo como un recurso permanente y acceder a sus beneficios ahora y en los años venideros en beneficio de las generaciones futuras. En general,

realizar acciones tendientes a mitigar los efectos de las sequías, permiten amortiguar sus repercusiones económicas y sociales en los agricultores y las economías locales y regionales.

Estas acciones son útiles no solo para mantener una estabilidad en las actividades agropecuarias, en el ingreso y el bienestar de los agricultores y de la población de la localidad, sino en el equilibrio medioambiental de la zona en referencia.

Hay quienes basándose en los cobros que se realizan por el agua en sus diferentes usos afirman que ese es su valor, pero si eso fuera así, entonces solo los bienes y servicios comercializados tienen valor económico, mientras que los bienes que no tienen un mercado, como el medio ambiente y en general los bienes públicos, no tendrían valor económico, lo que entraría en discordancia con la apreciación de muchas personas (Hanneman, 2005). En general el precio no mide el valor económico y los bienes y servicios sin precio de mercado tienen un valor económico positivo.

En la Declaración de Dublín (WMO), se establecen cuatro principios rectores. El cuarto de ellos, establece que “El agua tiene un valor económico en todos sus diversos usos en competencia a los que se destina y debería reconocérsele como un bien económico” (WMO, 1992):

De acuerdo con la economía, la asignación de los bienes que son abundantes no representa un problema y su precio en general es bajo, mientras que los que son escasos su precio es relativamente alto. En el caso del agua es un bien que tiene cada vez una rivalidad creciente entre los usos competitivos y por lo tanto debe asignarse a los usos de mayor valor. El agua debería reconocerse como un bien económico que tiene valor y un precio (FAO, 2021).

Para valorar bienes para los que no existen mercado, la economía ha desarrollado instrumentos que se aplican por sus características en diferentes circunstancias. Se tienen los métodos de preferencias declaradas y los de preferencias reveladas. Entre los primeros están valoración contingente (VC), y experimentos de elección (EE). En los segundos costos de viaje (CV) y precios hedónicos. El método usado en esta investigación es VC que se ha utilizado para valorar un gran número de bienes sin mercado, es de los métodos clasificados como inductivos indicados por Young y Loomis (2014) para valorar estos usos del agua.

Es verdad que desde sus inicios este método ha sido objeto de críticas y descalificaciones, sin duda, la prueba de fuego fue la evaluación a la que fue sometido cuando se propuso para valorar

los daños ocasionados por el derrame de petróleo del Exxon Valdez en las costas de Alaska en 1989, y que se nombró una comisión formada entre otros economistas por Arrow y Solow, para dictaminar su validez para bienes de uso pasivo. Aunque se señalaron debilidades en diferentes fases de su aplicación, se aprobó su uso para fines de valoración de bienes sin mercado.

Gregoryy Lurby (1987) discuten las ventajas y problemas que se presentan al aplicar empíricamente este método; entre las primeras destaca la posibilidad de describir en términos precisos el bien en cuestión y entre las segundas el comportamiento estratégico de los entrevistados. Venkatachalam (2004) hizo una valoración crítica del método y analizó la validez de sus resultados. Carson et al., (2003) abundan en aspectos teóricos y muestran las bondades del método para valorar las pérdidas de uso pasivo.

El método de VC se ha utilizado para valorar la disposición a pagar de los consumidores para mejorar el agua contaminada por fluoruro (Roy y Chakraborty, 2014); también para conocer si la gente está dispuesta a pagar por la calidad del agua de los ríos (Imandoust y Gadam, 2007); la calidad del agua potable en grandes ciudades ha sido valorada con éxito con esta metodología (Sandoval et al., 2016; Valdivia et al., 2022). Para conocer la valoración que hacen los usuarios de corrientes rápidas para actividades recreativas como kayak y rafting, el método demostró ser de utilidad (Loomis y McTernan, 2014).

Hérivaux y Rinaudo (2016), aplicaron VC para valorar los beneficios económicos del mejoramiento de las aguas subterráneas en cuanto a las profundidades de extracción, aspecto que es tratado en esta investigación.

El objetivo del estudio es conocer la valoración que hacen los usuarios de aguas del distrito de riego 023 San Juan del Río Qro., en un contexto de sequía y solo usan este recurso para el desarrollo de sus cultivos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para responder a las preguntas: El estudio se realizó en el Distrito de Riego DR023 que está en el acuífero Valle de San Juan del Río Querétaro, que pertenece al Organismo de cuenca “IX Golfo Norte”, catalogado con alto grado de presión y al Consejo de Cuenca Río Pánuco. El territorio está parcialmente vedado y sujeto a las disposiciones de cuatro decretos de veda (CONAGUA, 2023b).

La disponibilidad de aguas subterráneas es el volumen medio anual de aguas subterráneas, al que se tiene derecho a explotar, usar o aprovechar por parte de los usuarios, adicional a la extracción ya concesionada y a la descarga natural comprometida, sin poner en peligro a los ecosistemas. Con esa definición el estado del acuífero presenta un déficit anual de 56.89 hm^3 (CONAGUA, 2023b).

El principal uso del agua subterránea en el acuífero es el riego agrícola. De acuerdo con CONAGUA (2023b) “En la porción central de su territorio se localiza el Distrito de Riego 023 “San Juan del Río”. La configuración de evolución del nivel estático para el periodo 2014-2023 registró valores de abatimiento en la mayor parte de la superficie de explotación, que varían de 1 a 10 m, con valores locales de 15 m, que representan 0.1 a 1.7 m anuales.

Según el Comité Técnico de Aguas Subterráneas (COTAS), en la zona del acuífero Valle de San Juan del Río (AVSJR) para 2022, “se registró una precipitación de 567 mm, lo que representa un 44 % por debajo de la precipitación obtenida durante el año anterior (2021, 1,290.1 mm) y 5 % por debajo de la media anual histórica del AVSJR (2000-2022) de 595 mm.” (COTAS, 2022).

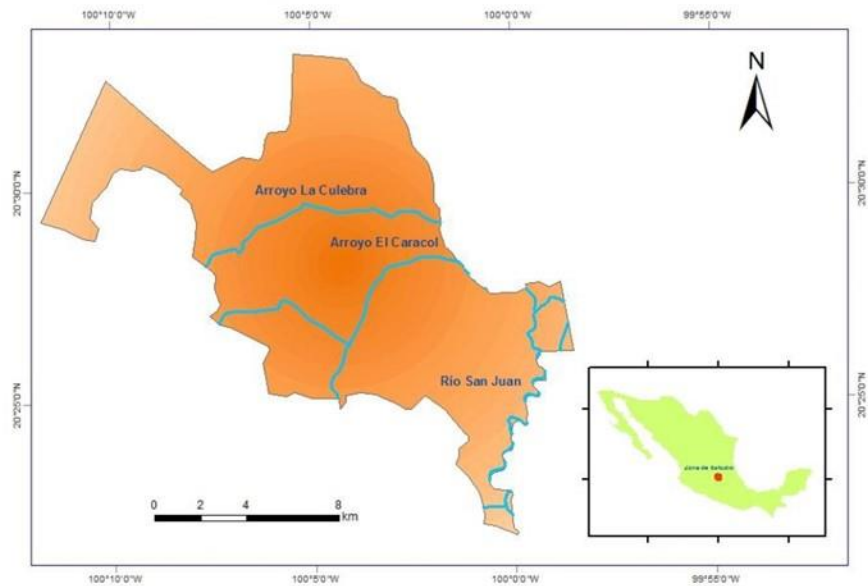
Además, señala que “La situación del descenso de agua subterránea cada vez mayor en el AVSJR se debe en gran medida, a que el volumen concesionado (327.76 Mm^3) es mayor a la recarga media anual que se da en el acuífero (191.50 Mm^3) por lo que se genera un déficit de 136.262 Mm^3 ”. (COTAS 2022).

El DR023 tiene una superficie cultivable de 13,536 ha. Las sequías de los últimos años han provocado que las presas Constitución de 1917 y San Ildefonso, con capacidades de 69.9 y 62.7 hm^3 respectivamente que complementan el suministro de agua para riego en el DR023, hayan disminuido su aportación de agua desde el ciclo agrícola 2022-2023 y que no estuvieran en capacidad de hacer aportaciones de agua para el ciclo 2023-2024.

Esto motivó la reducción de la superficie de siembra a programar en el ciclo 2023-2024 a 6,040 ha., mismas que se atendieron con agua subterránea. Esta situación aumentó las presiones en contra del acuífero incrementando el abatimiento que se ha registrado en ellos en los últimos años. Dadas las características del agua en los acuíferos y los déficits en las recargas, es importante conocer la valoración de este recurso que hacen los usuarios agrícolas de este tipo de agua en el DR023.

En el DR 023 se dispone de 56 pozos, de los cuales en el ciclo 2023-2024 se extrajeron para cubrir las necesidades de riego 56 millones de m³.

Figura 5 -1 Mapa del distrito de riego 023 San Juan del Río



Fuente: CONAGUA, DR023

La disposición a pagar (DAP) por el agua subterránea de los productores agrícolas del DR023, se obtuvo mediante el método de valoración contingente (VC). El propósito de la VC es estimar la disposición individual a pagar por cambios en la cantidad o calidad de bienes o servicios, así como el efecto de las covariables sobre la DAP. Young y Loomis (2014) subrayan que es el método indicado para valorar los valores pasivos del agua como el que aquí se estudia.

Este método se utiliza actualmente para valorar cualquier tipo de bien o servicio público. El método de la valoración contingente es una de las técnicas más usadas para estimar el valor de bienes (productos o servicios) para los que no existe mercado (Riera, 1994).

Los aportes de Henderson con respecto a la caracterización de la compensación que subyace al concepto económico de valor, mostró los conceptos de la máxima disposición a pagar (DAP) como medida de valor y una nueva medida que sugirió Henderson que es la disposición mínima a aceptar (WTA) como medida de valor en un caso en el Valle del Bajo Mississippi en el

delta de Luisiana, para analizar la participación de propietarios de tierras para la recreación sin responsabilidad (Henderson, et al., 2004).

Según Hanemann (1984), la estructura del modelo de disponibilidad a pagar supone que un individuo representativo posee una función de utilidad "U". Para el estudio de caso, esta función de utilidad depende del ingreso "Y", del estado actual del agua subterránea (AS) "Q", y de las características socioeconómicas de los usuarios directos "S":

$$U(Q, Y; S) \dots\dots\dots 1$$

Se plantea una función de utilidad inicial que presenta el estado original del AS y una función de utilidad final que representa la nueva situación final con mejor disponibilidad de agua subterránea. Para el caso de la valoración económica de las AS el estado actual es Q=0, y Q=1, sería la situación final de las AS. A partir de este escenario se planteará el nivel de Q para la función de utilidad propuesta para el individuo.

Los usuarios deben cooperar con una cantidad de dinero P, si quieren acceder a los beneficios del programa propuesto. La función de utilidad $U_i(Q, Y; S)$ para cada situación, con y sin programa incluye un componente determinístico $V_i(Q, S; Y)$ cuya estimación se hace a partir de una encuesta a los usuarios y de un componente estocástico no observable, ε_i .

La función de utilidad del usuario representativo se puede expresar como:

$$U_i(Q, Y; S) = V_i(Q, Y; S) + \varepsilon_i \dots\dots\dots 2$$

Donde, el subíndice i (cuyo valor es 1 ó 0) denotan el estado con y sin programa, respectivamente. El término ε_i es el componente aleatorio de la función de utilidad con media cero y varianza constante, y $V_i(Q, Y; S)$ es la parte determinística estimable por medio del modelo econométrico. Si el usuario acepta pagar una cantidad de dinero "P" por mantener el escenario propuesto, debe cumplirse que:

$$V_1(Q = 1, Y - P; S) + \varepsilon_1 > V_0(Q = 0, Y; S) + \varepsilon_0 \dots\dots\dots 3$$

$$V_1(Q = 1, Y - P; S) - V_0(Q = 0, Y; S) > \varepsilon_0 - \varepsilon_1 \dots\dots\dots 4$$

Donde ε_0 y ε_1 se suponen variables aleatorias e idénticamente distribuidas. El cambio de utilidad experimentada por el individuo será igual a la diferencia entre la función de utilidad final menos la inicial, para acceder a la utilidad en la situación final definida por el escenario propuesto, se debe pagar cierta cantidad de dinero propuesta por el entrevistador. Simplificando la notación se tiene que:

$$\Delta V = V_1(Q=1, Y - P; S) - V_0(Q=0, Y; S) \dots\dots 5$$

$$\eta = \varepsilon_0 - \varepsilon_1$$

A este nivel la respuesta del entrevistado SI/NO es una variable aleatoria. Por lo tanto, la probabilidad de una respuesta positiva por parte del individuo está dada por la siguiente expresión:

$$Prob(S_i) = Prob(\eta \leq \Delta V) = F(\Delta V).$$

Donde F es la función de distribución acumulada de η . Al elegir una distribución para η , y especificando adecuadamente V (.) los parámetros por la diferencia indicada por ΔV pueden ser estimados sobre la cantidad de pago requerida a los individuos, a la pregunta binaria y de la información acerca del perfil socioeconómico de los entrevistados (Habb y McConnell, 2002).

Se utilizó el muestreo simple aleatorio para poblaciones finitas (MAS), con la fórmula sugerida por Aguilar-Barojas (2005), con la siguiente expresión:

$$n = N Z p q / d^2 (N-1) Z^2 p q \dots\dots\dots 6$$

En la cual n es el tamaño de muestra; N = tamaño de la población de usuarios de riego de agua subterránea en el ciclo agrícola 23-24 según el DR023 (977); Z = valor de Z para el intervalo de confianza al 95 % (1.96 en este caso); p = proporción con varianza máxima aproximada de personas que estarían dispuestas a pagar una prima (0.5 para este caso); $q= 1-p=0.5$; d = error muestral permitido, 8 %, lo que resultó en un tamaño de muestra de 80 usuarios.

Cuadro 5- 1. Definición de las variables utilizadas

Variable	Descripción de las variables	Unidades	Escala
DAPCAG	Disponibilidad a pagar por una mejoría en obras de recarga de agua (No = 0, Si = 1) Variable dependiente	Dicotómica	Ordinal
MONDAP	Monto de la disponibilidad a pagar	Pesos	Discreta
EDOCIV	Estado Civil (Casado=1, Soltero 0)	Dicotómica	Discreta

INGREHOG	Ingreso del hogar	Pesos	Discreta
GEN	Género (0 = femenino, 1 = masculino)	Dicotómica	Ordinal
EDAD	Edad del entrevistado	Años	Discreta
NIVEST	Nivel de estudios	Años	Discreta
INTFAM	Integrantes de la familia	Miembros	Discreta
APCONG	Apoyo CONAGUA (Si= 1, No= 0)	Dicotómica	Discreta
TECAHOAG	Aplica técnica ahorradora de agua	Dicotómica	Discreta
APGOBFED	Apoyo gobierno fderal	Dicotómica	Discreta
APGOBEST	Apoyo gobierno estatal	Dicotómica	Discreta
SUPSEM	Superficie sembrada	Hectáreas	Continua
SUPROP	Superficie propia	Hectáreas	Continua
CULT	Cultivos. Hortaliza(1), forraje(2), granos (3), Perennes (4), Forraje 2 (5).		Discreta
TOMREN	Toman en renta (si=1; no=0)	Dicotómica	Discreta
TEN	Tenencia (privada=1; ejidal=0)	Dicotómica	Discreta
PALFUING	Principal fuente de ingreso (empleado de gob=1; comercio 2; agricultura y ganadería=3; otro=4; Subsidio= 5.		Discreta

Fuente: Elaboración propia.

La información se procesó con el software NLOGIT, aplicando máxima verosimilitud para encontrar la probabilidad de la DAP. Se probaron diferentes modelos con la finalidad de identificar las variables que mejor explican la DAP por conservar el acuífero. Se usaron modelos tipo LOGIT.

$$P(SI)=\alpha_0+ \beta_1X_1+ \beta_2X_2+ \beta_3X_3+....+ \beta_nX_n+ \varepsilon.....7$$

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este apartado se presentan los resultados de la investigación, mismos que constan de dos partes. Los relacionados con aspectos descriptivos de la población encuestada y los que tienen que ver con los relacionados con el modelo econométrico empírico usado para estimar la DAP.

Es importante hacer al menos tres consideraciones con relación al estudio. La primera tiene que ver con la escasa información que pueden tener los productores agrícolas referente al agua subterránea como activo ambiental que se les solicita valorar (conocimiento de lo que significa el acuífero, o si la pregunta tiene que ver con toda el agua subterránea), aun viviendo una sequía como la del ciclo analizado; la segunda, si tienen en consideración que con una actitud de cooperar no solo seguirán en la actividad agrícola, sino que permitirán la existencia del recurso para generaciones futuras; la tercera, la disposición a

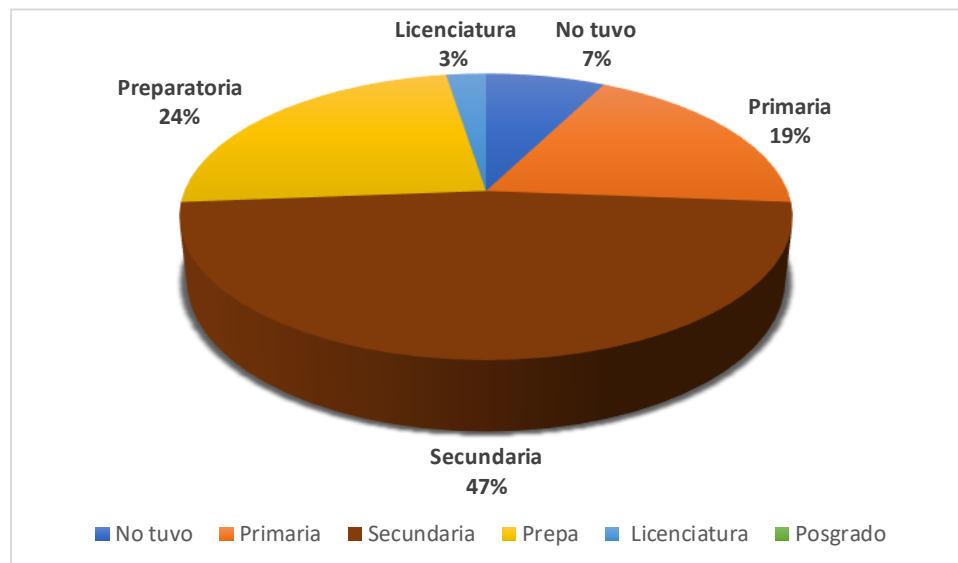
contestar la totalidad del cuestionario dado que el agua se ha convertido en un recurso con usos competitivos en la región, sobre todo el industrial, que pudo predisponer a los entrevistados a medir sus respuestas.

Primeramente, se muestran los aspectos más relevantes del perfil de los usuarios y algunas relaciones interesantes de ciertas variables y DAP asociada a ellas.

En primer lugar, se tiene que el 60% de los entrevistados declaró su disposición a pagar por hectárea / riego, para realizar obras de captura de agua para recarga del acuífero. Hérivaux y Rinuado (2016) reportaron que en estudios para protección de acuíferos en Francia y en Bélgica un 66 % y un 67 % respectivamente en pagos anuales por hogar. De los entrevistados un 80 % correspondió al género femenino.

En la siguiente figura muestra la distribución del nivel educativo de las personas encuestadas en el presente estudio. La mayor parte de ellas ha completado la educación secundaria, representando un 47 %. Le sigue el nivel de preparatoria con un 24 %, mientras que el 19 % alcanzó la primaria. Un pequeño porcentaje, el 7 %, no tuvo acceso a ningún tipo de educación, y solo el 3 % de la población llegó a obtener un título de licenciatura.

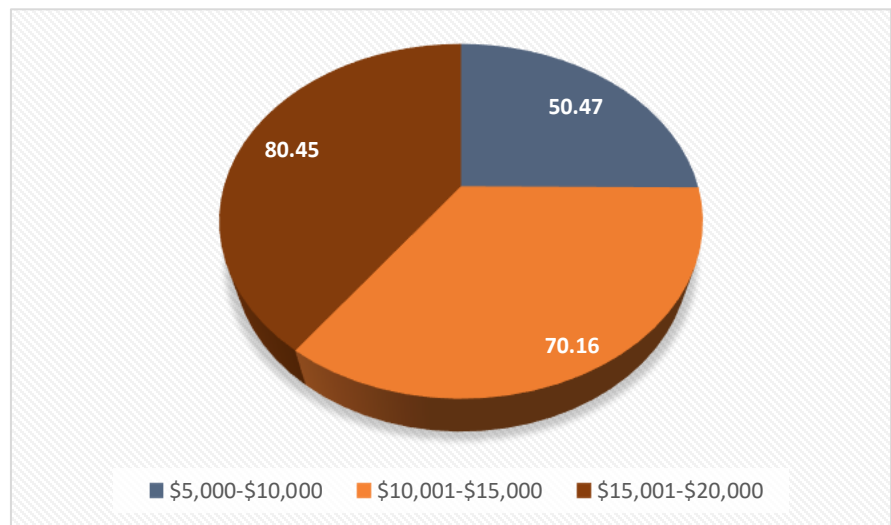
Figura 5- 2. Nivel de Estudios de los entrevistados



Fuente: Elaboración propia con datos de la encuesta

De acuerdo con los ingresos económicos de las familias, al estimar la (DAP) por nivel de ingresos, se observa que los usuarios con nivel 1 (ingreso de \$5,000-\$10,000) estarían dispuestos a pagar \$50.47, los de nivel 2 (\$10,001-\$15,000) pagarían \$70.16, y los de nivel 3 (\$15,001-\$20,000) \$80.45. Esto concuerda con la afirmación anterior, ya que el parámetro tiene un signo positivo: a medida que los ingresos aumentan, también lo hace la disposición a pagar Figura 3.

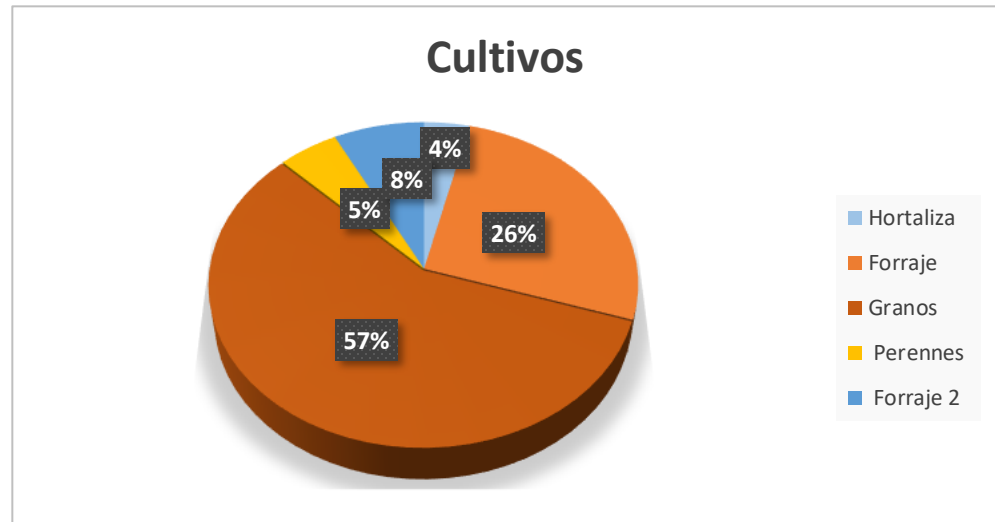
Figura 5-3. DAP por nivel de ingreso de los entrevistados



Fuente: Elaboración propia con datos de la encuesta

En la Figura 4 se presentan los datos relacionados con los diferentes tipos de cultivos, siendo los granos los que concentran la mayor proporción de área cultivada, con un valor de 57%, lo que sugiere una alta producción o relevancia en este sector. En segundo lugar, se encuentran los forrajes (cebada y avena) con un valor de 26% seguidos por una segunda categoría de forrajes 2 (alfalfa) con un valor de 8%, después perennes con 5%. En el último lugar se encuentran las hortalizas de 4%. Estos resultados indican una mayor prioridad en la producción de granos, mientras que las hortalizas y los cultivos perennes tienen una menor presencia.

Figura 5- 4. Proporción de Cultivos por agrupación con respecto al área total



Fuente: Elaboración propia con datos de la encuesta

Resultados econométricos

Se probaron varios modelos usando las variables incluidas en el cuestionario. Varios de ellos se desecharon por la insignificancia de algunas variables y de acuerdo con la medida de bondad de Akaike y con la función de verosimilitud que favorecieron al seleccionado. El modelo seleccionado para obtener la DAP de los usuarios de agua subterránea del DDR del modelo presenta una pseudo R^2 de McFadden de 1,458,322, misma que permite usar el modelo para obtener el valor de la DAP. Los parámetros estimados para cada regresor en el modelo, su error estándar y nivel de significancia (valor p) se reportan la Cuadro 2.

Cuadro 5- 2. Valor de los coeficientes estimados y significancia.

variable	Coeficiente	Error estándar	significancia
Constant	-3.62802006	2.60263104	.1633
MONDAP	-.02351667	.01301069	.0707
INGREHOG	.53498807	.45646370	.2412
EDAD	.03170108	.03073505	.3023
NIVEST	.24491341	.36763344	.5053
APGOBFED	1.18997435	.62355259	.0563
APGOBEST	.49478606	.62580345	.4292
CULT	.46006489	.33449204	.1690

Fuente: Elaboración propia con datos del programa NLOGIT

Con lo anterior se puede escribir la ecuación de la DAP que muestra los parámetros estimados con el modelo de la DAP como sigue:

$$\begin{aligned} \text{DAP} = & -3.62802006 - .02351667 \text{ MONDAP} + .53498807 \\ & \text{INGREHOG} + .03170108 \text{ EDAD} + .24491341 \text{ NIVEST} + \\ & 1.18997435 \text{ APGOBFED} + 0.4947806 \text{ APGOBEST} + \\ & .46006489 \text{ CULT} \dots\dots\dots 8 \end{aligned}$$

Los signos de cada parámetro indican como influye cada uno de ellos en la disposición a pagar del usuario del agua para riego. Cabe notar que a medida que se eleva el valor de la propuesta de pago (hecha en la encuesta), habrá una menor probabilidad de que se esté dispuesto a pagar. El caso contrario ocurre para la variable ingreso, mientras mayores sean los ingresos familiares, se tienen mayor probabilidad de estar dispuesto a pagar por el concepto consultado, lo mismo ocurre con la edad y el nivel de estudios. También si se cuenta con apoyo del gobierno federal y estatal en ambos casos tiene una influencia positiva en la disposición a pagar, por último, el tipo de cultivo también tiene una influencia positiva, en este caso si el usuario cultiva hortalizas o perenes se muestra con mayor probabilidad a pagar para participar en acciones que contribuyan a la recarga del acuífero.

Disposición a pagar promedio

Una vez analizado y validado el modelo econométrico, se procedió a estimar la disponibilidad a pagar. Para lo cual se hace la sumatoria de los coeficientes de las variables independientes multiplicados por su valor en cada caso (incluyendo la constante), y se divide ese total entre el coeficiente del monto a pagarlo.

$$\begin{aligned} \text{DAP}_i &= \frac{-3.628 - .535 \text{INGREHOG} + .0317 \text{EDAD} + .245 \text{NIVEST} + 1.189 \text{APGOBFED} + 0.495 \text{APGOBEST} + 0.46005 \text{CULT}}{0.02352} \end{aligned}$$

$$i= 1,2,3,\dots,80 \dots\dots\dots 9$$

Con la expresión anterior se obtuvo la disponibilidad a pagar promedio, misma que ascendió a \$ 64.7 por riego/ hectárea en el DR 023 independientemente del cultivo que cada usuario

produzca. La DAP mínima fue de \$ 10.10, mientras que la máxima fue de \$ 159.4 por riego/ hectárea.

En el ciclo agrícola analizado se sembraron según la información proporcionada por la oficina del DR 023, 6,040 ha con agua subterránea, de las 9,500 ha que se siembran en promedio en ciclos en los que se dispone de agua de las presas. Los cultivos sembrados usaron en conjunto en el ciclo agrícola 29,598.7 ha/riego, cómo la pregunta fue la disposición a pagar por riego independientemente del cultivo, se estima que se tendría un ingreso para obras de captura de agua para recarga del acuífero, aportados por los agricultores de este distrito la cantidad de \$ 1.92 millones por año agrícola.

Por lo que respecta al efecto marginal que tienen las variables en el modelo seleccionado, a diferencia de las estimaciones con mínimos cuadrados ordinarios para modelos con variables continuas, en los que se utiliza la derivada parcial para conocer el efecto de una de ellas sobre la variable dependiente, en estos modelos que usan máxima verosimilitud, tienen variables dicotómicas y policotómicas como independientes y la probabilidad del concepto investigado como variable dependiente, se tiene que el efecto marginal de cada una se interpreta como la magnitud de acuerdo al signo en que cambiaría la probabilidad al cambiar de 0 a 1 en caso de que la variable tuviera solo esas dos opciones, o de 1 a 2 en caso de tener más de dos opciones.

El efecto marginal para la variable INGREHOG señala al pasar de 0 (\$ 500- \$ 10000) a 1 (\$ 10001-\$ 15000); de 1 a 2 (\$ 15001-\$ 20000); de 2 a 3 (más de \$ 20000) que la probabilidad de tener disponibilidad a pagar aumenta en 12%. Las otras variables con un mayor efecto marginal son tener apoyo del gobierno federal (28 %), tener apoyo del gobierno estatal (11 %), y el tipo de cultivo (11%) pasando de forraje a granos, de granos a frutales; de frutales a hortalizas (Cuadro 3).

Cuadro 5-3. Efectos marginales de cada variable

variable	EFFECTO MARGINAL
Constant	-0.85671
MONDAP	-.00555
INGREHOG	0.12633
EDAD	.00749
NIVEST	.05783
APGOBFED	.28364
APGOBEST	.11440

CULT	.10864
------	--------

Fuente: Elaboración propia con datos del programa NLOGIT

Los usuarios del DR 023 san Juan del Río, en promedio están dispuestos a pagar \$ 64.7 por ha / riego independientemente del cultivo y con las consideraciones hechas al inicio de este apartado. Hérivaux y Rinuado (2016) reportaron para la protección de acuíferos en Francia 40 euros anuales por hogar y 30 euros anuales por hogar en Bélgica. Estos mismos autores presentan una larga lista de resultados de la DAP para restaurar o mejorar la calidad de acuíferos en diferentes lugares y años y tres para aumentar el nivel del acuífero, en Canadá para 1997 con 40 \$ CAN hogar año, Nueva Zelanda 183 \$ USA hogar año y China 2004 con 0.39 euros por hogar por año, con la menor cantidad. Se tienen resultados relativos a conservación de acuíferos que se pueden usar como comparativo, aunque no se refiera al uso del agua para la agricultura están los siguientes: Roy y Chakraborty (2014) encontraron que, en la India para realizar acciones para descontaminar acuíferos, están dispuestos a pagar entre 1.00 y 4.03 dólares al mes, donde el promedio ponderado de la DAP es de 2.50 dólares mensuales por hogar.

Brunet et al. (2010) encontraron que los individuos están dispuestos a pagar cantidades que oscilan entre 30 y 80 pesos MX mensuales por hogar, para conservar servicios ambientales hidrológicos en el parque nacional del Nevado de Toluca. Sánchez B., et al. (2013) estimaron la disposición a pagar (DAP) fue de 93 a 114 pesos MX, para conservar el valor de existencia del servicio ecosistémico hidrológico en la Reserva de la Biosfera Sierra La Laguna, Baja California Sur, México, que es la principal fuente de abastecimiento de agua en la región sur del estado. Larqué-Saveedra et al., (2004) estimaron la disposición a pagar por servicios ambientales del bosque del municipio de Ixtapaluca, Méx., y aunque no se separó la cosecha de agua de los otros, identificaron una disposición a pagar utilizando la mediana de \$ 100 MX, medida a la que le atribuyeron más bondades que al promedio.

Conclusiones

Con los resultados obtenidos, se puede concluir que, de los encuestados, el 60 % expresó su disposición a pagar por riego por hectárea, lo que orienta en lo referente a la inclusión de los

usuarios de agua de riego subterránea en políticas de protección y recarga del acuífero.

Las variables más importantes fueron los apoyos de los gobiernos federal y estatal, el tipo de cultivo que desarrollan, la edad y el nivel de estudios. Se sugiere en próximos estudios explicar con más detalle el significado de un acuífero como activo natural y las implicaciones de su sobreexplotación.

El diseño de un medio de pago eficiente, la inclusión de otros usuarios de agua del acuífero en la cooperación, la incorporación de representantes de los involucrados en la figura creada para planear y ejecutar las obras necesarias, acompañado de un programa de concientización, permitirían instrumentar una estrategia de recuperación del acuífero con la participación de todos los involucrados.

La investigación se limitó a conocer la DAP de los usuarios de agua agrícola del distrito de riego, sería interesante conocer la DAP de los usuarios agrícolas de las unidades de riego del acuífero y de otros usuarios como los industriales y los urbanos.

Referencias:

- Aguilar-Boroja, S. 2005. Fórmulas para el cálculo de la muestra en investigaciones de salud. Salud en Tabasco. 11(1-2):333-338.
- Brunett E., Baró J. E., Cadena E. y Esteller M. V. (2020). Pago por servicios ambientales hidrológicos: caso de estudio Parque Nacional del Nevado de Toluca, México. Revista Ciencia ergo-sum, ISSN 1405-0269, Vol. 17, Nº. 3, págs. 286-294
- Carson, R. T, Mitchell R.C., Hanemann. M., Kopp, R. J., Presser, S., and Ruud, P. A. (2003). Contingent Valuation and Lost Passive Use: Damages from the Exxon Valdez Oil Spill. Environmental and Resource Economics 25: 257–286, 2003. © 2003 Kluwer Academic Publishers. Printed in the Netherlands
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). (2023a). Estadísticas del agua en México. México 2023. Agua. Obtenido de https://sinav30.conagua.gob.mx:8080/port_publicaciones.html

Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) (2023b). Actualización de la disponibilidad Media Anual de Agua en el Acuífero Valle de San Juan del Río (2023), Estado de Querétaro.

Comité Técnico de Aguas Subterráneas del Acuífero Valle San Juan del Río, A. C. (COTAS). (2022). Análisis piezométrico Acuífero del Valle de San Juan del Río. Reporte Técnico. Análisis Piezométrico 2022.

FAO. 2021. El estado de los recursos de tierras y aguas del mundo para la alimentación y la agricultura - Sistemas al límite. Informe de síntesis 2021. Rome. <https://doi.org/10.4060/cb7654es>

Habb T. C., McConell K. E. (2002). Valuing Environmental and Natural Resources: The Econometric of Non-Market Valuation. Cheltenham, UK and Northampton, MA: Edward Elgar.

Hanemann, M. (1984). Welfare evaluations in contingent valuation experiments with discrete responses. Am. J. Agric. Econ. 66 (1), 332-341. doi: <https://doi.org/10.2307/1240800>

Hanemann, W.M. 2006. The Economic conception of water. In: Rogers, P. P., M. R. Llamas & L. Martínez, 4 C. (Eds.). Water Crisis: Myth or Reality. Taylor & Francis. London, UK. pp: 61-92.

Henderson J. E.; Dunn M. A.; and Guidry Kurt M. (2004) Landowner a Willingness to Accept Fee-Based Recreation and the Influence of Institutional Change in the Louisiana Delta. Publication No. FO390 of the Forest and Wildlife Research Center, Mississippi State University. <https://www.isfre.msstate.edu/docs/papers/Henderson09.pdf>

Hérivaux C. and Rinuado J-D. (2016). Integrated Assessment of Economic Benefits of Groundwater Improvement with Contingent Valuation, in A.J. Jakeman et al. (eds.), Integrated Groundwater Management. Pp 523, 535-537. DOI 10.1007/978-3-319-23576-9_21

- Imandoust, S. B.; Gadam S. N. (2007). Are people willing to pay for river water quality, contingent valuation. *Int. J. Environ. Sci. Tech.*, 4 (3): 401-408.
- Gregory, R. and FURBY, L. (1987) Auctions, experiments and contingent valuation. *Public Choice* 55:273-289. Martinus Nijhoff Publishers (Kluwer), Dordrecht - Printed in the Netherlands
- Loomis J. and McTernan J. (2014). Economic Value of Instream Flow for Non-Commercial Whitewater Boating Using Recreation Demand and Contingent Valuation. *Methods. Environmental Management* (2014) 53:510–519. Springer Science Business Media New York. DOI 10.1007/s00267-014-0232-z
- Larqu -Saavedra B. S., Valdivia-Alcal  R., Islas-Gutiérrez F. y Romo- Lozano J. L. (2004). Valoración económica de los servicios ambientales del bosque del municipio de Ixtapaluca, Estado de México. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental* 20 (4) 193-202.
- MITCHELL, R. C.; CARSON, R. T. (2005). Using Surveys to Value Public Goods: The Contingent Valuation Method. *Resources for the Future*, Cuarta impresión. Washington, D.C., USA.
- Riera, P. (1994). Manual de valoración contingente (pp. 103-167). Ministerio de Economía y Hacienda, Instituto de Estudios Fiscales. <http://132.247.70.115/profesores/blopez/valoracion-manual.pdf>.
- Roy, M. and Chakraborty, S. (2014). Developing a sustainable water resource management strategy for a fluoride-affected area: a contingent valuation approach. *Clean Techn Environ Policy* (2014) 16:341–349. DOI 10.1007/s10098-013-0624-4
- Sandoval R. F, Valdivia A. R, Cuevas A., C. M., Hernández O., J., Medellín A. J. y Hernández A. A. (2016). Valoración económica del agua potable en la delegación Iztapalapa, D. F. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* Vol.7 Núm.6 14 de agosto - 27 de septiembre, 2016 p. 1467-1475

Valdivia, R., García, E., López, M.A., Hernández, J., & Rojano, A. (2011). Valoración económica por la rehabilitación del río Axtla, S.L.P. Revista Chapingo serie ciencias forestales y del ambiente, 17(3), 333-342. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-40182011000300005&lng=es&tlng=es.

Venkatachalam L. The contingent valuation method: a review. (2004). Environmental Impact Assessment Review Volume 24, Issue 1, January 2004, Pages 89-124. [https://doi.org/10.1016/S0195-9255\(03\)00138-0](https://doi.org/10.1016/S0195-9255(03)00138-0)

World Meteorological Organization (WMO). (1992). Conferencia internacional sobre el agua y el medio ambiente: cuestiones de desarrollo para el siglo 21, 26-31 enero de 1992, Dublín, Irlanda: la declaración de Dublín e informe de la conferencia. World Meteorological Organization. Geneva, Switzerland.

Young R. A. and Loomis J. B. (2014). Determining the Economic Value of Water. Concepts and Methods. Second Edition. RFF PRESS. Resources for the Future

6. CONCLUSIONES

El recurso hídrico en México y a nivel global se encuentra bajo una enorme presión debido a un aumento constante en la demanda para usos domésticos, agrícolas e industriales, sumado a la contaminación de ríos, lagos y acuíferos. A esto se añaden los efectos del cambio climático, como sequías más frecuentes e intensas, y problemas en la gestión del agua.

Se abordó el tema de gobernanza multinivel en el acuífero de San Juan del Río, Querétaro, los efectos de la sequía en el ingreso agrícola y la productividad del agua de uso agrícola, así como la valoración del agua subterránea que hacen los productores agrícolas en condiciones de sequía en el DR023. Las metodologías usadas fueron: la gobernanza multinivel propuesta por la OCDE; la programación matemática y la valoración contingente.

Se estructuró en diversos capítulos. El Capítulo 2, está dedicado a la revisión de la literatura, se subdividió en cuatro apartados. El primero sobre la temática del agua, el segundo sobre la metodología empleada en el primer manuscrito relativo a la gobernanza, el tercero sobre la metodología del segundo manuscrito enfocado en la programación lineal, y el cuarto sobre la metodología del tercer manuscrito concerniente a la valoración contingente.

El capítulo 3 está enfocado al primer manuscrito teniendo el nombre de “Gobernanza del agua en el acuífero valle de san juan del río, Querétaro”. El estudio revela que la gestión del agua en el acuífero de San Juan del Río requiere de un esfuerzo colaborativo entre todos los actores involucrados. Se concluye por los resultados obtenidos la necesidad de abordar de manera urgente los problemas de contaminación y financiamiento, así como de fortalecer los mecanismos de coordinación entre actores

El capítulo 4 se centra en el manuscrito “Efectos económicos de la sequía en el DDR 023 San Juan del Río, Querétaro” Los hallazgos de esta investigación revelan la vulnerabilidad del sector agrícola ante la sequía y la consiguiente

necesidad de valorar de manera adecuada el recurso hídrico subterráneo. Ya que los resultados sugieren comprender los impactos económicos de la escasez de agua en el DDR023, para diseñar estrategias de gestión hídrica que favorezcan la sostenibilidad del sector agrícola de esa región para tener una gestión eficiente del agua para priorizar aquellos usos agrícolas que maximicen la productividad y la rentabilidad, minimizando al mismo tiempo la presión sobre los acuíferos.

El capítulo 5 se concentra en el tercer manuscrito “Valoración por parte de los agricultores de las aguas subterráneas para riego en condiciones de sequía en el distrito de riego 023, San Juan del Río Querétaro” Se puede concluir que los resultados de la encuesta proporcionan una base sólida para el diseño de políticas orientadas a la protección y recarga del acuífero de San Juan del Río. Estos hallazgos respaldan la implementación de mecanismos de pago por servicios ecosistémicos como una herramienta eficaz para la gestión sostenible del acuífero.

En resumen, se permitió conocer la situación actual de la gobernanza del agua en el acuífero 023, cuantificar las pérdidas económicas asociadas a la escasez hídrica y la valoración del agua subterránea que hacen los usuarios agrícolas.

7. BIBLIOGRAFÍA

- Aquino-López, V. Donají; Aguilar-Sánchez Genaro. 2019. Gobernabilidad ambiental en el uso del agua distrito de riego 023-san juan del río. Agricultura, Sociedad y Desarrollo. Número 16. DOI: 10.22231/asyd.v16i3.1233
- Arrow, K. J. (2008). George Dantzig in the development of economic analysis. Discrete Optimization, 5(2), 159–167. <https://doi.org/10.1016/j.disopt.2006.11.007>
- Beneke, R. R., & Winterboer, R. (1984). Programación lineal. Aplicación a la agricultura. Traductor Pares, OJ Ed. Aedos-Barcelona. España.
- Bengochea-Morancho, A., Fuertes-Eugenio, A. M., & del Saz-Salazar, S. (2005). A comparison of empirical models used to infer the willingness to pay in contingent valuation. Empirical Economics, 30(1), 235-244.
- Binger Brian R. and Hoffman Elizabeth. (1988). Microeconomics with Calculus. Scott, Foresman and Company. Glenview, Illinois
- Botello-Aguillón, C., Valdivia-Alcalá, R., Hernández-Ortiz, J., Sangermán-Jarquín, D. M., & Gutiérrez-García, F. G. (2022). Reallocation of water in agricultura under drought conditions as economic efficiency maximizer. Agro Productividad. <https://doi.org/10.32854/agrop.v15i8.2191>
- Carson, R. T, Mitchell R.C., Hanemann. M., Kopp, R. J., Presser, S., and Ruud, P. A. (2003). Contingent Valuation and Lost Passive Use: Damages from the Exxon Valdez Oil Spill. Environmental and Resource Economics 25: 257–286, 2003. © 2003 Kluwer Academic Publishers. Printed in the Netherlands

Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) (2023b). Actualización de la disponibilidad Media Anual de Agua en el Acuífero Valle de San Juan del Río (2023), Estado de Querétaro.

CONAGUA (2015). Determinación de la disponibilidad media anual de agua en el acuífero valle de San Juan del Río Querétaro, Estado de Querétaro. *Comisión Nacional de Agua*.

CONAGUA (2017). Comisión Nacional del Agua. Estadística del agua en México. Secretaría del Medio ambiente y de los recursos naturales. Edición 2017. <https://files.conagua.gob.mx/conagua/publicaciones/Publicaciones/EA-M-2017.pdf>

CONAGUA (2023). Comisión Nacional del Agua. Actualización de la Disponibilidad Media Anual de agua en el Acuífero Valle de San Juan del Río (2023), Estado de Querétaro. https://sigagis.conagua.gob.mx/gas1/Edos_Acuiferos_18/queretaro/DR_2203.pdf

CONAGUA. (2018) Comisión Nacional del Agua. Atlas del agua en México. Secretaría del Medio ambiente y de los recursos naturales. Edición 2018. <https://agua.org.mx/biblioteca/atlas-de-agua-en-mexico/>

CONAGUA. (2023a). Comisión Nacional del Agua Estadísticas del agua en México. México 2023. Agua. Obtenido de https://sinav30.conagua.gob.mx:8080/port_publicaciones.html

COTAS (2022). Comité Técnico de Aguas Subterráneas del Acuífero Valle San Juan del Río, A. C. Análisis piezométrico Acuífero del Valle de San Juan del Río. Reporte Técnico. Análisis Piezométrico 2022

Delgadillo, V. M. (2021) Gobernanza y Valoración Económica del Agua en el Acuífero del Valle de León, Guanajuato [tesis de Doctorado, Universidad Autónoma Chapingo]. <https://repositorio.chapingo.edu.mx>

Diario Oficial de la Federación (DOF). (30 de diciembre de 2020). Programa Nacional Hídrico 2020-2024. Secretaría de Gobernación. Recuperado el 19 de 08 de 2022, de Diario Oficial de la Federación: <https://www.gob.mx/conagua/articulos/consulta-para-el-del-programa-nacional-hidrico-2019-2024-190499>

Diario Oficial de la Federación (DOF). (DOF, 3/03/ 2016). Ley de Aguas Nacionales. Consultada en: http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/16_240316.pdf, 3 de marzo 2022.

Diario Oficial de la Federación [DOF]. (2014). Ley de Aguas Nacionales. (C. d. Unión, Editor, & Última reforma publicada DOF 11-05-2022) Obtenido de http://gisviewer.semarnat.gob.mx/aplicaciones/Atlas2015/agua_RH.html

FAO (1993). Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. El estado mundial de la agricultura y la alimentación. Las políticas de recursos hídricos y la agricultura. Food & Agriculture Org. <https://www.fao.org/3/t0800s/t0800s.pdf>

FAO (2004). Política de desarrollo agrícola. Conceptos y principios. Capacitación en Política agrícola y alimentarias 2. Roma.

FAO (2013). Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Afrontar la escasez de agua: Un marco de acción para la agricultura y la seguridad alimentaria (Informe sobre temas hídricos). Food & Agriculture Org. <https://www.fao.org/3/i3015s/i3015s.pdf>

- FAO. (2021). El estado de los recursos de tierras y aguas del mundo para la alimentación y la agricultura - Sistemas al límite. Informe de síntesis 2021. Rome. <https://doi.org/10.4060/cb7654es>
- Florencio-Cruz, V., Valdivia-Alcalá, R., & Scott, C. A. (2002). Productividad del agua en el distrito de riego 011, Alto Río Lerma. *Agrociencia*, 36(4), 483-493.
- Garay Jácome, Á. S., Valdivia Alcalá, R., Hernández Ortiz, J., & Sandoval Romero, F. (2022). Estimación de la huella hídrica de la producción de caña de azúcar para los ingenios de la cuenca del Papaloapan. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 13(1), 103-113.
- Gregory, R. and Furby, L. (1987.) Auctions, experiments and contingent valuation. *Public Choice* 55:273-289. Martinus Nijhoff Publishers (Kluwer), Dordrecht - Printed in the Netherlands
- Griffin, R. (2006). *Water resource economics: The analysis of scarcity, policies, and projects*. London, England: MIT Press.
- GWP. (2000). *Integrated Water Resources Management*. In *Tec Background Papers No. 4. Global Water Partnership*. Retrieved from www.gwpforum.org
- Hanemann, W.M. (2006). The Economic conception of water. In: Rogers, P. P., M. R. Llamas & L. Martínez. C. (Eds.). *Water Crisis: Myth or Reality*. Taylor & Francis. London, UK. pp: 61-92.
- Hardin G. (1968). "The Tragedy of Commons" en *Science*, v. 162 pp. 1243-1248. Traducción de Horacio Bonfil Sánchez. *Gaceta Ecológica*, núm. 37, Instituto Nacional de Ecología, México, 1995. <http://www.ine.gob.mx/>.
- Harou, J. J., Pulido-Velazquez, M., Rosenberg, D. E., Medellín-Azuara, J., Lund, J. R., & Howitt, R. E. (2009). Hydro-economic models: Concepts, design, applications, and future prospects. In *Journal of Hydrology* (Vol. 375, Issues 3–4, pp. 627–643). <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2009.06.037>

- Hazell, P. B. R., & D. Norton, R. (1986). *Mathematical Programming for Economic Analysis In Agriculture*. (R. D. Norton, Ed.). New York, NY: Macmillan.
- Henderson J. E.; Dunn M. A.; and Guidry Kurt M. (2004) *Landowner a Willingness to Accept Fee-Based Recreation and the Influence of Institutional Change in the Louisiana Delta*. Publication No. FO390 of the Forest and Wildlife Research Center, Mississippi State University. <https://www.isfre.msstate.edu/docs/papers/Henderson09.pdf>
- Henderson J. M. & Quant. R. E. (1980). *Microeconomic Theory. A Mathematical Approach*. McGraw-Hill Book Company.
- Hérivaux C. and Rinuado J-D. (2016). Integrated Assessment of Economic Benefits of Groundwater Improvement with Contingent Valuation, in A.J. Jakeman et al. (eds.), *Integrated Groundwater Management*. Pp 523, 535-537. DOI 10.1007/978-3-319-23576-9_21
- Hernández A. A., Valdivia A. R., Romo L. J. L. Y Cuevas A. C. M. (2018). Valoración económica para un mejoramiento ambiental en León, Guanajuato. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* volumen 9 número 1 01 de enero - 14 de febrero, 2018
- Hernández, F., Urkiaga, A., de las Fuentes, L., Bis, B., Chiru, E., Balazs, B., & Wintgens, T. (2006). Feasibility studies for water reuse projects: An economical approach. *Desalination*, 187(1–3), 253–261. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2005.04.084>
- Hernández, V. M. S.; Valdivia, A. R. y Hernández, O. J. (2019). Valoración de servicios ambientales y recreativos del Bosque San Juan de Aragón, Ciudad de México. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*. Vol. 10 (54). <https://doi.org/10.29298/rmcf.v10i54.557>.
- IICA (2015). Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura *Innovación y gestión del agua para el desarrollo sostenible en la agricultura*. <http://www.iica.int>

- Imanduost B. S and Gadam N. S. (2007). Are people willing top ay for river wáter quality, contingent valuation. International Journal of Environmental Tech. 4 (3): 401-408
- Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. (2015). Innovación y gestión del agua para el desarrollo sostenible en la agricultura: documento para ser presentado por la Dirección General del IICA ante la Junta Interamericana de Agricultura (JIA) : México. IICA.
- Kaiser, H. M., & Messer, K. D. (2011). Mathematical programming for agricultural, environmental and resource economics. John Wiley and Sons, Inc.
- Krström, B. (1993). Comparing continuous and discrete contingent valuation questions. Environmental and Resource Economics 3, 63–71. <https://doi.org/10.1007/BF00338320>
- Llamas M.R. y Martínez-Santos, P. (2006). Importancia de la Revolución Silenciosa del uso intensivo de aguas subterráneas en la política mundial del agua. Water Crisis: Myth or Reality. Edited by Peter P. Rogers; Ramón Llamas y Luis Martínez-Cortina. Taylor & Francis. London, UK. pp: 163-180.
- Lugo S. M., Valdivia A. R., Hernández O. J., Monroy H. R., Sandoval R. F. y Contreras C. J. M. (2020). Valoración económica de los servicios ambientales del Monte Tláloc, Texcoco, Estado de México. Revista Mexicana de Ciencias Forestales Vol. 11 (61). DOI: <https://doi.org/10.29298/rmcf.v11i61.672>
- Medellín-Azuara, J., Harou, J. J., & Howitt, R. E. (2010). Estimating economic value of agricultural water under changing conditions and the effects of spatial aggregation. Science of the Total Environment, 408(23), 5639–5648. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2009.08.013>

- MITCHELL, R. C.; CARSON, R. T. (2005). Using Surveys to Value Public Goods: The Contingent Valuation Method. Resources for the Future, Cuarta impresión. Washington, D.C., USA.
- Molina V. M. B, Chalita T. L. E., Valdivia A. R. y Portillo V. M. (1992). Factibilidad económica de la transferencia de la operación y la administración de un distrito de riego a los productores: caso de estudio Distrito de riego y aavenamiento Núm. 1, Zapotitan, República del Salvador. Agrociencias, Serie Socioeconomía Volumen 3, Número 3.
- Nicholson W. & Synder C. (2007). Intermediate Microeconomics, and its applications. 10th Edition. Thomson, South-western.
- Nicholson, W. (2008). Teoría microeconómica. Principios básicos y ampliaciones: principios básicos y ampliaciones. Teoría microeconómica. Principios básicos y ampliaciones: principios básicos y ampliaciones. México.
- North D. (1993). Instituciones, cambio Institucional Desempeño Económico. Fondo de Cultura Económica. México.
- North Douglas C. (1986). La Nueva economía institucional. Journal of Institutional and Theoretical Economics, vol. 142.
- North Douglas C. (1990). Instituciones, Cambio Institucional y Desempeño Económico. Fondo de Cultura Económico. México.
- OCDE (2011), Water Governance in OECD Countries: A Multi-Level Approach, OECD Publishing, París
- OCDE (2012), Gobernabilidad del Agua en América Latina y el Caribe: Un enfoque multinivel, Editions OCDE.
<http://dx.doi.org/10.1787/9789264079779-es>
- OCDE (2015), Organización para la Cooperación y Desarrollo Económicos. Principios de gobernanza de la OCDE.

- ONU (2021). Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2021: El valor del agua. UNESCO, París.
<https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000378890>
- ONU. (1992). Dublin-Rio Principles. In International Conference on Water and the Environment (ICWE).
- Ostrom E. (2000). El Gobierno de los Bienes Comunes. La evolución de las Instituciones de Acción Colectiva. Universidad nacional Autónoma de México; Centro regional de Investigaciones Multidisciplinarias; Fondo de Cultura Económica. Primera Edición en español.
- Ostrom, Elinor (1990). Governing the Commons. The Evolution of Institutions for Collective Action. Cambridge: Cambridge University Press
- Pacheco-Vega R. (2014). Ostrom y la gobernanza del agua en México. Revista Mexicana de Sociología 76, Número especial (septiembre, 2014): 137-166. México, D.F. ISSN: 0188-2503/14/076-especial-05.
- Pérez, H. C. (2020) Gobernanza del Agua en la Cuenca Del Valle de Jovel, Chiapas [tesis de Maestría, Universidad Autónoma Chapingo].
<https://repositorio.chapingo.edu.mx>
- Perry, C. J.; Rock, M.; Seckler, D. (1997). Water as an economic good: A solution, or a problem? Colombo, Sri Lanka: International Irrigation Management Institute (IIMI); IWMI. v, 16p. (IIMI Research Report 14 / IWMI Research Report 14) [doi: 10.3910/2009.014]
- Pindyck Robert S. y Rubinfeld Daniel L. (2009). Microeconomía. Séptima edición. Pearson educación S. A. Madrid. Pp 888.
- Pineda Espejel, M. I. (2019). Efectos en el uso del agua en un distrito de riego, ante cambios de política agrícola y mejoras de la investigación para la adaptación al cambio.

- Ramírez Barraza, B. A., González Estrada. A, Valdivia Alcalá R., Salas González, J. M., García Salazar, J. A. (2019) Tarifas eficientes para el agua de uso agrícola en la Comarca Lagunera. vol.10, n.3, pp.539-550. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas volumen 13 número 3.
- Rasmussen Svend. (2011). Production Economics. The Basic Theory of Production Optimisation.
- Riera, P. (1994). Manual de valoración contingente (pp. 103-167). Ministerio de Economía y Hacienda, Instituto de Estudios Fiscales. <http://132.247.70.115/profesores/blopez/valoracion-manual.pdf>.
- Rodríguez H. F. R., Chalita T. L. E. y Valdivia A. R. (1993). Probable efecto en el ingreso agrícola en el distrito de desarrollo 151, Cardenas, Tab. Agrociencia, serie Socioeconomía Volumen 4, Número 1.
- Rodríguez, J. M., Medellín, J., Valdivia, R., Arana, O. A. and García-Sánchez, R. C. (2019). Insights from a Calibrated Optimization Model for Irrigated Agriculture under Drought in an Irrigation District on the Central Mexican High Plains. *Water*, 11(4), 858. <https://doi.org/10.3390/w11040858>
- Rogers, P. (2002). Gobernanza del agua en América Latina y el Caribe. Reunión Anual del Banco Interamericano de Desarrollo en Fortaleza.
- Rogers, P. (2006). Water Governance, Water Security and Water Sustainability. In: Rogers, P. P., M. R. Llamas & L. Martínez, C. (Eds.). *Water Crisis: Myth or Reality*. Taylor & Francis. London, UK. pp: 61-92.
- Rogers. P and Hall A. W. (2003). Effective Water Governance. Tec Background Papers No. 7. Published by the Global Water Partnership.
- Roy, M. and Chakraborty, S. (2014). Developing a sustainable water resource management strategy for a fluoride-affected area: a contingent valuation approach. *Clean Techn Environ Policy* (2014) 16:341–349. DOI 10.1007/s10098-013-0624-4

- Rubiños-Panta, J.E., Martínez-Damián, M. A., Palacios-Vèlez, E. Hernández-Acosta, E., Valdivia-Alcalá, R. (2007). Valor Económico del Agua y análisis de las transmisiones de Derechos de Agua en Distritos de Riego en México. Terra Latinoamericana, Vol. 25, Núm. 1, enero-marzo 2007. Universidad Autónoma Chapingo. México
- Sandoval R. F, Valdivia A. R, Cuevas A., C. M., Hernández O., J., Medellín A. J. y Hernández A. A. (2016). Valoración económica del agua potable en la delegación Iztapalapa, D. F. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas Vol.7 Núm.6 14 de agosto - 27 de septiembre, 2016 p. 1467-1475
- Scheierling, S. M., Treguer, D. O., Booker, J. F., & Decker, E. (2014). How to Assess Agricultural Water Productivity? Looking for Water in the Agricultural Productivity and Efficiency Literature (Water Global Practice Group and Agriculture Global Practice Group No. 6982). Policy Research Working Papers.
- Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. Ley de Aguas Nacionales y su Reglamento (2017).
- Solanes, M. (2015). Gobernanza del agua. Caracas: CAF. Retrieved from <https://scioteca.caf.com/handle/123456789/785>
- Valdivia Alcalá R.; Delgadillo V. M. A; Dora Ma. Sangermán Jarquín; Juan Hernández Ortiz; Fermín Sandoval Romero; Ángeles Suhgey Garay Jácome. (2022). Economic valuation of the quality of drinking water in León, Guanajuato. Revista Mexicana Ciencias Agrícolas volume 13 number 3.
- Valdivia, R., García, E., López, M.A., Hernández, J., & Rojano, A. (2011). Valoración económica por la rehabilitación del río Axtla, S.L.P. Revista Chapingo serie ciencias forestales y del ambiente, 17(3), 333-342. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-40182011000300005&lng=es&tlng=es.
- Varian, H. R. (2010). Microeconomía Intermedia: Un enfoque actual (5a ed.)

- Venkatachalam L. The contingent valuation method: a review. (2004). Environmental Impact Assessment Review Volume 24, Issue 1, January 2004, Pages 89-124. [https://doi.org/10.1016/S0195-9255\(03\)00138-0](https://doi.org/10.1016/S0195-9255(03)00138-0)
- Williamson, Oliver E. (2007): Transaction Cost Economics: An Introduction, Economics Discussion Papers, No. 2007-3, Kiel Institute for the World Economy (IfW), Kiel
- Williamson. (2001). La nueva economía institucional: balance y perspectivas. Revista BCF, XV(1), 6-34. Disponibilidad de agua.
- Williamson. (2001). La nueva economía institucional: balance y perspectivas. Revista BCF, XV(1), 6-34.
- WMO (1992). World Meteorological Organization Conferencia internacional sobre el agua y el medio ambiente: cuestiones de desarrollo para el siglo 21, 26-31 enero de 1992, Dublín, Irlanda: la declaración de Dublín e informe de la conferencia. World Meteorological Organization. Geneva, Switzerland.
- Yacov T. & Dinar, A. (1995). Efficiency and Equity Considerations in Pricing and Allocating Irrigation Water. The World Bank. Agriculture and Natural Resources Department. Agricultural policies Division.
- Young Robert A. and Loomis John B. (2014). Determining the Economic Value of Water. Concepts and Methods. Second Edition. RFF PRESS. Resources for the Future.