

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA
FACULTAD DE CIENCIAS MARINAS
FACULTAD DE CIENCIAS
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES OCEANOLÓGICAS**



**ESPECIALIDAD EN GESTIÓN AMBIENTAL
“VALORACIÓN ECONÓMICA DEL AGUA EN VALLE DE GUADALUPE”**

Trabajo Terminal

Presenta: Carolina Uscanga Tejeda

Ensenada, B.C. AGOSTO 2018

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA
FACULTAD DE CIENCIAS MARINAS
FACULTAD DE CIENCIAS
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES OCEANOLÓGICAS

“VALORACIÓN ECONÓMICA DEL AGUA EN VALLE DE GUADALUPE”
TRABAJO TERMINAL

QUE PARA OBTENER EL DIPLOMA DE
ESPECIALIDAD EN GESTIÓN AMBIENTAL
PRESENTA

CAROLINA USCANGA TEJEDA

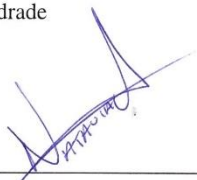
APROBADA POR



Dr. Roberto Ramón Enríquez Andrade
Director



L.E. Ángel Vela Cárdenas
Sinodal



Dra. Natalia Alejandra Rodríguez Revelo
Sinodal

AGRADECIMIENTOS

Agradezco al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por la beca de manutención otorgada durante la realización de esta Especialidad.

Al Dr. Roberto Enríquez, por aceptar ser mi director de proyecto, darme su apoyo, mostrar paciencia y regalarme enseñanzas invaluables en economía ambiental a lo largo de este año de trabajo en clase y asesoría.

Al economista Ángel Vela por aceptar ser mi sinodal, abrirme las puertas como colaboradora practicante en el Instituto Municipal de Investigación y Planeación de Ensenada (IMIP-ENS), sus importantes aportaciones sin las que este trabajo no se hubiera logrado concretar, su apoyo incondicional en lo profesional, así como por brindarme su amistad y apoyo en cada situación académica, profesional y personal.

A la Dra. Natalia Rodríguez por aceptar ser mi sinodal, enseñarme la maravilla de los servicios ecosistémicos, y por su apoyo incondicional en lo académico, profesional y personal en este año de trabajo.

A la Dra. Ileana Espejel por considerarme dentro de su equipo de trabajo, motivarme a realizar el gran reto de este trabajo, por el apoyo que mostró durante el periodo que fungió como mi sinodal brindándome sus oportunos consejos, regaños y comentarios, por ser un gran apoyo como mi profesora y tutora académica, así como su apoyo en lo personal.

También agradezco al Mtro. César Vázquez, a la Mtra. Lina Carreño y a la Dra. Mariana Villada por su apoyo en la recopilación de información, puntos de vista, comentarios y sugerencias sin las cuáles no me hubiera sido posible enriquecer este trabajo.

A todos mis profesores de la Especialidad por formarme como Gestora Ambiental e iluminar mi camino hacia la sustentabilidad. A mis compañeros de generación; amiguitos codependientes que me ayudaron a crecer como profesionista y persona. A todo el equipo del IMIP-ENS que de manera calidad abrieron sus puertas y me integraron como una más del equipo en sus actividades.

A la Dra. Concepción Arredondo, quién siempre mostró ser mucho más que sólo una profesora, compartiendo sus conocimientos académicos y de vida sin los cuales la aventura de ser foránea en la ciudad sería de color gris. Gracias por su amistad, es invaluable para mí.

Al Dr. Roberto González Acolt, por acercarme a la economía ambiental, apoyarme en todo momento durante mi formación como economista y motivarme a la realización de este diplomado. Al Ing. Francisco Jiménez Nava por su apoyo, confianza y motivación para continuar preparándome como economista y especialista en gestión ambiental.

A los integrantes del proyecto *Evaluación de riesgos bioeconómicos debido a la sobreexplotación de acuíferos en regiones áridas y costeras, urbanas y agrícolas*, liderado por la Universidad Autónoma de México en conjunto con la Universidad Técnica de Braunschweig (Alemania) y la Universidad Autónoma de Baja California. Gracias por involucrarme en su investigación.

DEDICATORIAS

En Aguascalientes.

A mis papás; mi hermana y su familia: lo son todo para mí.

A quienes en la distancia siempre busqué, pero, sobre todo,

a quienes se dejaron encontrar cada vez que los necesité:

mis amigos.

En Ensenada:

A todos y cada uno de los que me vieron llover.

RESUMEN

El Valle de Guadalupe se ubica al norte del municipio de Ensenada, Baja California, y entre sus actividades económicas destaca la producción de vid, olivo, cítricos y hortalizas; además de actividades pecuarias, industriales, turísticas y de viticultura. Las virtudes del valle han generado una fuerte presión ambiental con impactos en el desarrollo socioeconómico de sus habitantes, por lo que se han implementado instrumentos de ordenamiento ecológico y desarrollo sectorial a nivel estatal y municipal para el aprovechamiento de sus recursos, preservación de su vocación agrícola y evitar la transformación del paisaje rural; pero la realidad es que dichos lineamientos de política pública no se han aplicado de manera exitosa, particularmente para el manejo y sustentabilidad del servicio ecosistémico de aprovisionamiento del agua, tema prioritario de esta investigación. En esta situación, resulta oportuno realizar ejercicios de valoración económica con el fin de dar mayores elementos de decisión a los actores públicos y privados que tienen influencia en el área de estudio y mejorar la gestión del recurso hídrico. El objetivo general de este trabajo fue calcular el precio sombra del líquido vital con relación al valor agregado de la producción desde la perspectiva de servicios ecosistémicos. Para ello, se determinó cuáles son los servicios que ofrece la cuenca Guadalupe; se describió la situación del valle respecto al consumo hídrico sus diferentes actividades socioeconómicas; se determinaron tres escenarios de provisión de agua en el acuífero que abastece al valle; y finalmente, se definió el modelo matemático de valoración y sus variables a considerar haciendo uso de la metodología de programación lineal. Entre los principales resultados, se determinó que existen 19 servicios ecosistémicos reconocidos en la cuenca; así como tres escenarios de disponibilidad hídrica los cuales responden al volumen concesionado de extracción en el acuífero, su recarga media anual y la estimación de recarga media anual en condición de sequía por efectos de cambios climático, además de la estimación del precio sombra del agua como servicio ecosistémico en 0.84 pesos/m³ incrementando hasta 25.52 pesos/m³ en situación cambio climático. Estos resultados sugieren la necesidad de integrar de la visión ecosistémica en la generación de datos e instrumentos de planeación para mantener la vocación del valle bajo el criterio de maximizar su aprovechamiento considerando el valor del recurso hídrico y la estructura económica que caracterizan el Valle de Guadalupe.

Palabras clave: Servicios ecosistémicos, planeación regional, precio sombra.

ÍNDICE GENERAL

I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. ANTECEDENTES	2
2.1. SERVICIOS ECOSISTÉMICOS.....	2
2.2. PLANEACIÓN Y POLÍTICAS PÚBLICAS PARA LA GESTIÓN DE SERVICIOS ECOSISTÉMICOS.	3
2.2.1. <i>El agua como elemento de planeación de política pública</i>	6
2.3. VALORACIÓN ECONÓMICA DE LOS SERVICIOS ECOSISTÉMICOS	10
2.4. EL VALLE DE GUADALUPE	15
2.4.1. <i>Crisis hídrica en el Valle</i>	17
III. OBJETIVOS	20
IV. METODOLOGÍA	20
V. RESULTADOS	29
5.1. SERVICIOS ECOSISTÉMICOS EN VALLE DE GUADALUPE.....	29
5.2. REALIDAD HÍDRICA DE VALLE DE GUADALUPE.....	30
5.2.1. <i>Agricultura</i>	30
5.2.2. <i>Ganadería</i>	31
5.2.3. <i>Industria</i>	32
5.2.4. <i>Turismo y servicios</i>	33
5.2.5. <i>Uso Público y Urbano</i>	34
5.3. ESCENARIOS DE DISPONIBILIDAD HÍDRICA	36
5.4. PRECIO SOMBRA DEL AGUA.....	36
5.4.1. <i>Agricultura</i>	39
5.4.2. <i>Industria</i>	41
5.4.3. <i>Turismo y servicios</i>	41
5.4.4. <i>Uso doméstico y público-urbano</i>	43
VI. DISCUSIONES.....	44
6.1. SERVICIOS ECOSISTÉMICOS EN VALLE DE GUADALUPE.....	44
6.2. REALIDAD HÍDRICA DEL VALLE DE GUADALUPE.....	45
6.3. ESCENARIOS DE DISPONIBILIDAD HÍDRICA	48
6.4. PRECIO SOMBRA DEL AGUA.....	48
VII. CONCLUSIONES	53
VIII. REFERENCIAS	55
ANEXOS	62
ANEXO 1. PROCESO DE PLANEACIÓN.....	63
ANEXO 2. SERVICIOS ECOSISTÉMICOS	65
ANEXO 3. MODELOS DE PROGRAMACIÓN LINEAL.....	68
ANEXO 4. RESULTADOS DEL MODELO DE PROGRAMACIÓN LINEAL EN LINGO 10.....	69

I. INTRODUCCIÓN

La importancia del agua subterránea en la región vitivinícola del Valle de Guadalupe en Ensenada, Baja California, recae principalmente en su papel de insumo para la producción de uva y vino, siendo el clúster vitivinícola uno de los atractivos turísticos más relevantes en el municipio. La presión del crecimiento socioeconómico en la zona ha sobrepasado los instrumentos de política pública para su manejo, convirtiéndolo en un elemento crucial para la toma de decisiones para los reguladores y usuarios. Siendo así, resulta oportuno realizar ejercicios de valoración económica de los servicios ecosistémicos en Valle de Guadalupe y sugerir aplicaciones en materia de política ambiental para la gestión del recurso hídrico.

Este tipo de valoración de recursos naturales es recomendada por varias instituciones en el ámbito internacional, tal como la Organización de las Naciones Unidas, quienes han marcado el camino a seguir con directrices, recomendaciones y marcos metodológicos para efectuar dichos cálculos y su correcta interpretación en la integración de políticas públicas, evaluación de proyectos y gestión del ambiente.

Utilizando como referencia el valor agregado de la producción, en este trabajo se pretende determinar el precio sombra del servicio ecosistémico de provisión de agua del acuífero para la satisfacción de necesidades hídricas de los diferentes usuarios en Valle de Guadalupe, por lo que se presentan los antecedentes del agua como elemento para la planeación de política pública, la integración de los servicios ecosistémicos como un instrumento de valoración económica; se describe de manera breve el contexto ambiental del Valle de Guadalupe, así como la situación de crisis hídrica que enfrenta, la cual se expresa en el déficit entre el volumen de agua captado por el acuífero mediante recarga media anual y el volumen concesionado para su extracción y uso. Entre los objetivos establecidos, se encuentra el identificar cuáles son los servicios ecosistémicos que oferta la cuenca Guadalupe, describir la dinámica de consumo hídrico entre los sectores socioeconómicos que coexisten en el valle, definir los escenarios de disponibilidad hídrica actuales y a futuro en el acuífero Guadalupe, así como establecer el modelo económico para estimar el precio sombra del recurso en dicho cuerpo de agua subterránea. Se presentan resultados y discusiones pertinentes con la literatura consultada; finalizando con las conclusiones y sugerencias sobre futuras líneas de investigación.

II. ANTECEDENTES

2.1. Servicios ecosistémicos

Los factores ambientales que caracterizan cada paisaje potencializan los usos que el ser humano puede hacer con los recursos naturales, siendo así la manera de determinar la aptitud y factibilidad de las actividades antropogénicas que la sociedad demanda en un territorio. Las funciones ecológicas ocurren de manera natural en el ambiente y se caracterizan por los procesos biogeoquímicos que el ecosistema presenta aún y a pesar de la intervención del ser humano; los servicios ecosistémicos -también llamados servicios ambientales- son los beneficios del propio ecosistema aprovechados por el hombre y que no tendrían importancia si no fuera por la propia valoración de uso que le imprime la sociedad (Latterra, et al., 2015).

Espejel y colaboradores (2016) recalcan que existen diferencias sustanciales en las definiciones de estos servicios y no pueden ser utilizados como sinónimos ya que fueron creados desde diferentes perspectivas. Recopilando varias definiciones, indicaron que los servicios ecosistémicos no requieren de los factores de capital para proveer los beneficios de su funcionamiento al no haber sido transformados; en cambio, los servicios ambientales necesitan inversión para que continúen existiendo después de que el ecosistema ha sido degradado y cuyo monto que deberá ser restado como un costo al momento de hacer los cálculos para valorizar la prestación del servicio.

De acuerdo con diferentes autores (Costanza et al., 2017; Galán et al., 2012; Liqueste et al., 2012; Tosto, et al., 2015) es importante demostrar que los servicios ecosistémicos y el estudio de sus interrelaciones ecológico-sociales ayuda a comprender las consecuencias del deterioro ambiental sobre la economía, problemática que se une a la importancia del bienestar social descrito en la teoría económica convencional.

Históricamente, las sociedades han modificado los ecosistemas buscando maximizar el potencial que tienen para proveer servicios ecosistémicos, por lo que se ha aprendido a obtener e incrementar la producción de materia prima (Galán et al., 2012). Estas alteraciones tienen múltiples impactos en el ambiente, por lo que es difícil saber el punto de retorno antes de causar deterioro en las estructuras funcionales que provoquen una pérdida irreversible en sus capacidades de proveer servicios. La omisión de estos problemas en la creación de políticas lleva a que la toma de decisiones sea irracional en términos de economía y bienestar social, ya que no se contabiliza la principal fuente de recursos que sustenta a la vida misma (Latterra et al., 2015; CONANP, 2015; Garrido & Calatrava, 2010).

El funcionamiento de los ecosistemas se encuentra al margen del comportamiento de los mercados, los cuales ejercen presión para la extracción de las materias primas necesarias con propósitos productivos. En el lenguaje de los economistas, se presenta el concepto de externalidades, entendidas como las consecuencias de las decisiones de los agentes económicos particulares en la sociedad. Las externalidades pueden ser positivas o negativas, dependiendo de la consecuencia que asuman las partes no involucradas en la decisión. En general, los servicios ecosistémicos son considerados externalidades positivas, mientras que el deterioro ambiental es concebido como una externalidad negativa por lo que la valoración económica de los servicios ecosistémicos es primordial para la toma de decisiones económicas relacionadas a cuestiones ambientales (Latterra et al., 2015; CONANP, 2015; Garrido & Calatrava, 2010).

2.2. Planeación y políticas públicas para la gestión de servicios ecosistémicos.

Incorporar información sobre el funcionamiento de los ecosistemas en el proceso de toma de decisiones, así como las causas y consecuencias de su transformación en las distintas escalas espaciales y temporales, son objetivos prioritarios en la tarea de gestión pública que descansa en mayor medida en el Estado, sus organismos sectoriales en los distintos niveles de gestión y en las políticas públicas que se definan (Galán et al, 2012; Liqueste, et al., 2012).

Para la toma de decisiones, se considera importante involucrar a todos los sectores de la sociedad (académicos, organizaciones de la sociedad civil, comunidades y al sector privado) con el fin de desarrollar visiones integrales para la conservación y gestión del uso sustentable del capital natural. Esta composición con el sector público permitirá presentar soluciones de política económicamente viables que se puedan ejecutar con éxito para fortalecer la contabilidad económica y apoyarse en los ecosistemas para impulsar el bienestar de la sociedad (CONANP, 2015; SEMARNAT, 2017).

De los esfuerzos por hacer efectivas las actividades de planeación, México ha sido pionero en la aplicación de instrumentos económicos, políticos y administrativos sobre sus recursos naturales. Algunos ejemplos son las unidades de manejo ambiental; programas de pago por servicios ambientales; planes de ordenamiento territorial, ecológico y de reforestación de cuencas; sin embargo, las políticas de desarrollo económico han fallado en reconocer

los límites biofísicos al crecimiento, generando fallas que conducen a la degradación y sobreexplotación del ambiente (SEMARNAT, 2017; Lique et al., 2012; CONANP, 2015).

En el país, la ejecución de las políticas de planeación ambiental que se llevan a cabo en niveles de gestión federal y estatal recae en los municipios debido a las alteraciones por los cambios de uso de suelo, discontinuidades en la morfología causadas por las manchas urbanas y la aglomeración implícita de la población y sus actividades productivas (COPLADEM, 2006; SEDATU, 2017b).

Los Programas Municipales de Desarrollo Urbano (PMDU) contienen las disposiciones jurídicas para planear y regular los asentamientos humanos en el territorio municipal con el objetivo de establecer políticas y estrategias para el desarrollo urbano mediante la zonificación, destinos, normas de uso y aprovechamiento de suelo, así como establecer acciones de conservación, mejoramiento y crecimiento de los centros de población (SEDATU, 2017).

En los *Lineamientos Conceptuales para la Elaboración y Actualización de Programas Municipales de Desarrollo Urbano* se describen dos tipos de directrices (ver Ilustración 1): a) Los lineamientos territoriales, enfocados a los sistemas hídricos, natural-forestales, agropecuarios y urbano-rurales; y b) los lineamientos urbanos, referidos a la gestión del suelo urbano (SEDATU, 2017a).

Estos lineamientos son reconocidos en tres escalas de trabajo: 1) contexto natural, entendido como límite ambiental bajo el concepto de subcuenca o microcuenca en escala geográfica 1:250mil; 2) nivel de aglomeración o municipio a 1:100mil; y finalmente 3) área urbana, en un análisis espacial de 1:50mil o 1:20mil. En el proceso de planeación (ver anexo 1) se incluyen trabajos de percepción remota, análisis temporal, así como la elaboración de indicadores y mapeos específicos que representen la realidad del territorio (SEDATU, 2017b).

Lineamientos territoriales	Lineamientos urbanos
☐ 1. Reconocer al municipio en su área urbana y definir la aglomeración de municipios que participa en ella.	☐ 1. Recondicionar el modelo urbano actual hacia un modelo consolidado, no disperso, con densidades medias y un equilibrio en la distribución de usos y servicios.
☐ 2. Reconocer al sistema hidrológico como límite ambiental de la aglomeración de municipios y sus balances hídricos.	☐ 2. Favorecer vivienda asequible y diversidad social en el suelo urbano consolidado.
☐ 3. Establecer al sistema natural como el elemento estructural del ordenamiento territorial y como condicionante al sistema urbano.	☐ 3. Proteger y preservar el patrimonio construido, y fortalecer el carácter de la ciudad.
☐ 4. Potenciar y proteger al sistema agropecuario como motor económico del municipio identificando el suelo con valor productivo.	☐ 4. Promover usos mixtos en el tejido habitacional, distribuir de forma policéntrica y equilibrada los equipamientos y servicios.
☐ 5. Contener al sistema urbano en base a su área urbana y a un concepto de distancia a su centro y subcentros, establecer subcentros en agrupaciones de localidades rurales.	☐ 5. Configurar una red de áreas verdes y espacios públicos libres.
☐ 6. Estructurar las vías de comunicación en forma eficiente entre el centro y los subcentros urbanos y los subcentros rurales.	☐ 6. Gestionar de forma eficiente los recursos (agua y energía) y residuos sólidos.
☐ 7. Maximizar el uso eficiente del suelo a través del reordenamiento de las actividades productivas.	☐ 7. Equilibrar el modelo de movilidad para alcanzar un reparto más equitativo entre los desplazamientos no motorizados, transporte público y viajes de conexión.
☐ 8. Asegurar la protección y puesta en valor sobre los recursos patrimoniales; naturales y urbano-arquitectónicos.	☐ 8. Incorporar la perspectiva de género.
☐ 9. Conocer y anticipar los principales riesgos ambientales y naturales, establecer estrategias y reducir la vulnerabilidad territorial.	☐ 9. Asegurar la participación de todos los agentes afectados e implicados en el proceso de ordenamiento urbano.
☐ 10. Establecer una lista de 10 proyectos estratégicos o de grandes infraestructuras a 10 años.	☐ 10. Garantizar la gestión, ejecución y evaluación proceso de planeación.

Ilustración 1. Lineamientos para la elaboración y actualización de PMDU

Fuente: Elaboración propia con información de SEDATU (2017a).

Otra alternativa de metodología para la planeación es propuesta por el documento de *Integración de los Servicios Ecosistémicos en la Planificación del Desarrollo* (ISE, Galán et al, 2012). Mediante el seguimiento de seis pasos, dicha alternativa busca especificar los temas de política de interés, identificar los servicios ecosistémicos más relevantes, analizar la información disponible, seleccionar y ponderar las opciones de política pertinentes para finalizar con la evaluación prospectiva de las medidas implementadas (ver Ilustración 2).



Ilustración 2. Enfoque de seis pasos para la Integración de Servicios Ecosistémicos

Fuente: Galán et al. (2012) p. 6

Dentro del propio manual de esta iniciativa se han identificado los escenarios para su aplicación:

- ❖ Formulación y revisión de objetivos de desarrollo.
- ❖ Procesos de planificación sectorial y/o espacial.
- ❖ Desarrollo de proyectos y formulación de propuestas.
- ❖ Evaluaciones de consultoría externa de medio ambiente y clima.
- ❖ Redes sectoriales y grupos de trabajo.

A pesar de que la metodología ISE se encuentra enfocada principalmente al sector empresarial así como a la implementación de proyectos a diferentes escalas, sus elementos pueden ser considerados para las políticas de planeación.

2.2.1. El agua como elemento de planeación de política pública

En el contexto internacional, el agua es considerada como un recurso esencial para el desarrollo social y económico. Para garantizar la seguridad hídrica, en los *Objetivos de Desarrollo del Milenio* se propone la mejora en la gestión de los recursos hídricos encaminada a la satisfacción de necesidades mediante el encause de las políticas públicas en cuatro objetivos generales presentados en la Ilustración 3 (WWAP, 2012).



Ilustración 3. Objetivos generales de las políticas públicas de acuerdo con los ODM en materia de recursos hídricos. Fuente: Elaboración propia con información de WWAP (2012).

Implementar estas directrices a nivel país, conlleva a la necesaria integración de mediciones, estadísticas y cuentas ambientales comparables a nivel mundial. Los datos existentes carecen de información desagregada debido a su origen en censos y encuestas nacionales, diversidad de definiciones y escalas, falta de continuidad en sus series históricas y falta de compatibilidad entre conceptos (WWAP, 2012; UN, 2012).

Ante esta situación, la Organización de las Naciones Unidas propuso en el 2007 el *Sistema de Contabilidad Ambiental y Económica para el agua* (SCAE-Agua) y en 2010 las *Recomendaciones Internacionales para las Estadísticas del Agua* (RIEA) con la finalidad de identificar los temas de atención a nivel social, económico y ambiental para realizar el seguimiento de las políticas pertinentes. Para cada uno de los objetivos generales, el SCAE-Agua propone indicadores específicos mediante datos y estadísticas de recursos hídricos. Dichos lineamientos ya han sido integrados en más de 50 países en el cálculo de sus cuentas nacionales. En México, estas estadísticas se encuentran en fase preliminar (WWAP, 2012).

Entre las finalidades del SCAE-Agua se encuentra informar a los responsables de políticas públicas mediante indicadores, estadísticas descriptivas y bases de datos acerca de:

- ❖ Stocks y flujos de recursos hídricos en los ecosistemas.
- ❖ Presiones de la economía sobre el medio ambiente respecto a la extracción de agua y emisiones de contaminantes en las aguas residuales.
- ❖ Suministro y utilización del recurso hídrico como insumo en el proceso productivo y en los hogares.
- ❖ Reutilización del agua en la economía.
- ❖ Costos de captación, depuración, distribución y tratamiento, así como los costos por servicios que paga el usuario para obtener el recurso.
- ❖ Financiación de costos y quienes son los usuarios que deben pagar por ellos.
- ❖ Pago por permisos de extracción o descarga.
- ❖ Inversiones de infraestructura hidráulica, así como stocks de almacenamiento.

Con esta información se busca lograr la coordinación entre los recursos de tierra y agua (tanto a nivel superficial como subterráneo); las cuencas fluviales y ambientes marino-costeros; además de la integración entre los intereses de las diferentes escalas de ejecución de políticas gubernamentales (UN, 2012), como se muestra en la Ilustración 4.

Dentro de este mismo marco estadístico, se propone que la unidad para la integración de datos sea el “distrito de cuenca fluvial”, considerado el ámbito de gestión más alto a nivel ambiental; sin embargo, se reconoce que esta zonificación no coincide con las unidades político-administrativas, que son las que determinan la contabilidad de captación fluvial.

El estudio de Grizzetti y colaboradores en 2015, indica que el mejor análisis espacial del territorio para la planeación es desde la perspectiva de ecosistemas acuáticos. Grizzetti y sus colaboradores determinaron tres tipos de escala (Ilustración 5) para realizar este análisis en la Unión Europea sobre los servicios ecosistémicos propios de este tipo de ambientes: suministro de agua para actividades productivas, agua potable, provisión de alimentos, purificación del agua, prevención de la erosión, protección contra inundaciones, hábitat para crianza y desarrollo de especies, secuestro de carbono y servicios recreativos.

La delimitación de cuencas hidrográficas bajo los criterios de la integración de la red hidrológica, el respeto al comportamiento del sistema ambiental, los patrones de distribución de suelos, la cobertura vegetal y las regiones biogeográficas a gran escala permiten que la división de cuencas sea un instrumento de planeación (Cruz, 2003).



Ilustración 4. Propósitos de las estadísticas del agua en planeación y políticas públicas

Fuente: Elaboración propia con información de UN (2012).

	Continente	• Localización de tendencias regionales, efectos de degradación y evaluación de políticas públicas.
	Cuenca	• Mapeo del ciclo hidrológico mediante regionalización de subcuencas • Implementación y evaluación de planes de manejo en diferentes escenarios
	Cuerpo de agua	• Mapeo de servicios ecosistémicos

Ilustración 5. Propuesta de análisis espacial de los servicios ecosistémicos en la Unión Europea desde el enfoque de ecosistema acuático. Fuente: Elaboración propia con información de Grizzetti et al. (2015)

2.3. Valoración económica de los servicios ecosistémicos

Desde la perspectiva de territorio, las actividades humanas se realizan en espacios que poseen una gran complejidad ambiental. Muchas veces, estas características son utilizadas como descriptores y no son consideradas como factores determinantes durante el proceso de planeación, por lo que la toma de decisiones resulta en la no optimización de recursos naturales. En la actualidad es común encontrar paisajes productivos y multifuncionales con usos de suelo más simples, convertidos en lotes baldíos o, por el contrario, territorios con altos grados de presión sobre su oferta ambiental a niveles insostenibles (De Groot et al., 2005; Leyva & Espejel, 2017).

De Groot y colaboradores (2005) indicaron que el primer paso para analizar la complejidad ecológica del territorio es determinar las funciones del sistema ambiental que proporcionan los bienes y servicios que los humanos aprovechan en su día a día. A pesar de las múltiples clasificaciones de servicios ecosistémicos que existen en la literatura, Farreras (2014) resalta que lo relevante es que su funcionamiento afecta el bienestar de la sociedad y, por consiguiente, dichos servicios tienen un valor que es necesario cuantificar. El reconocer que un servicio ecosistémico es importante por los beneficios que brinda a la sociedad y a la economía, es tan sólo el primer paso para su valoración económica (Costanza et al., 2017).

De manera general, la valoración de los servicios ecosistémicos resulta útil para brindar información sobre los costos y beneficios monetarios relacionados con los impactos al ambiente durante la ejecución de planes, programas o proyectos en el territorio y así poder suministrar evidencias y argumentos para convencer a los encargados de la toma de decisiones sobre la necesidad de enfocar los objetivos de planeación en el cuidado de los ecosistemas (Galán et al., 2012).

Tradicionalmente, el concepto de servicios hídricos era definido como el costo de construir y mantener la infraestructura para el suministro de agua a los diferentes sectores socioeconómicos (Garrido & Calatrava, 2010), pero con el paso del tiempo se propuso incorporar el valor económico de los servicios ecosistémicos a nivel de cuenca mediante el análisis de costo-beneficio, es decir, traducir este valor en términos que los actores de decisión conocen y manejan en el día a día (CONANP, 2015).

Asignar un valor a los recursos hídricos ha sido una de las muchas herramientas utilizadas en la planeación y gestión integral de cuencas considerando que se debe reflejar la escasez

del recurso, desmotivar el derroche y promover el ahorro (Lahlou, 2005; Becerra-Pérez et al., 2006).

En el sistema de contabilidad ambiental propuesto por Naciones Unidas (2012) se recomienda la valoración del recurso hídrico de acuerdo con sus valores de uso, siendo esta una clasificación -de manera implícita- de los servicios proporcionados por los ecosistemas acuáticos:

- ❖ Valores de uso directo: El uso directo de recursos hídricos para consumo, como insumos agrícolas y de manufacturas, uso por los hogares; usos distintos del consumo como generación de energía hidroeléctrica, recreación, navegación y actividades culturales.
- ❖ Valores de uso indirecto: Servicios ambientales indirectos proporcionados por el agua como absorción de residuos, protección del hábitat, biodiversidad y funciones hidrológicas.
- ❖ Valor de opción: El valor de mantener la posibilidad del uso directo o indirecto del agua en el futuro.
- ❖ Valor de legado: El valor de la naturaleza que heredan para su beneficio las futuras generaciones.
- ❖ Valor de no uso: El valor intrínseco del agua y de los ecosistemas hídricos, incluida la biodiversidad; valor que las personas asignan simplemente a saber que, por ejemplo, existe un río en zonas agrestes, aun cuando nunca lo visiten.

La valoración económica es el proceso de asignar un valor monetario a los bienes y servicios el cual puede ser aplicado a los recursos naturales y servicios ecosistémicos. Lo que se busca es determinar el valor económico total del ecosistema, el cual está conformado por varios tipos de valores como se muestra en la Ilustración 6:



Ilustración 6. Componentes del valor económico total de los ecosistemas. Fuente: Galán et al. (2012) p. 74

Por esta razón, es de esperarse que existan diferentes metodologías de valoración económica para cada tipo de uso que se le dé a los recursos de interés como se muestra en la Ilustración 7. Varios documentos de la literatura describen estas técnicas, resaltando las propuestas por el SCAE-Agua (Ilustración 8), en las cuales se obtienen los valores medios y/o marginales del agua respecto al comportamiento observado de los usuarios ya sea en el mercado o en situaciones hipotéticas. Todas estas metodologías son adaptables al contexto del espacio territorial que se requiera analizar, por lo que la comparación de diferentes estudios y metodologías es aceptada en marcos internacionales siempre y cuando se expresen a detalle los metadatos y limitaciones en el cálculo de sus valores.

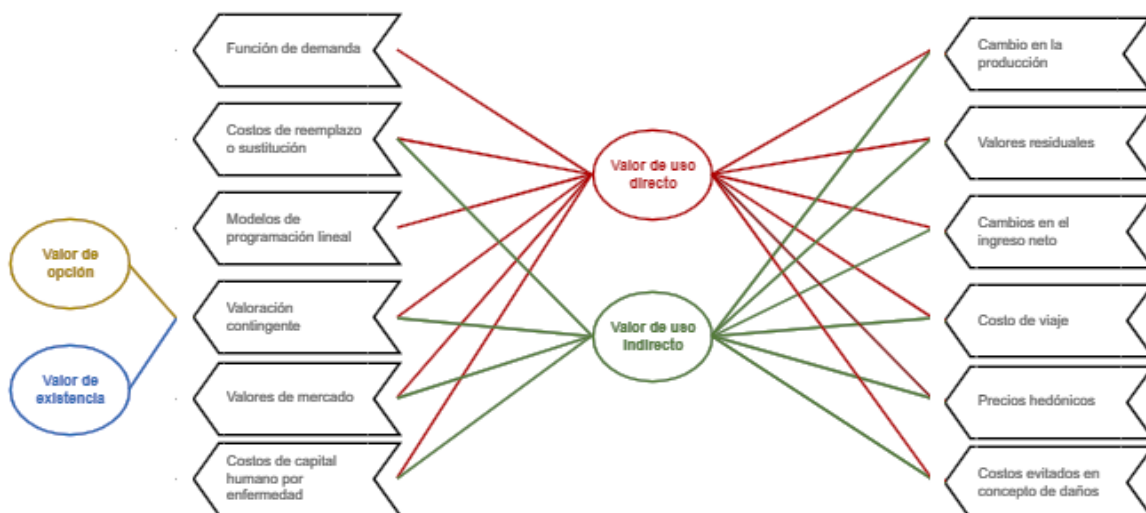


Ilustración 7. Tipo de metodología de valoración económica de acuerdo con el valor del ecosistema estudiado. Fuente: Elaboración propia con información de Galán et al. (2012) y UN (2012).

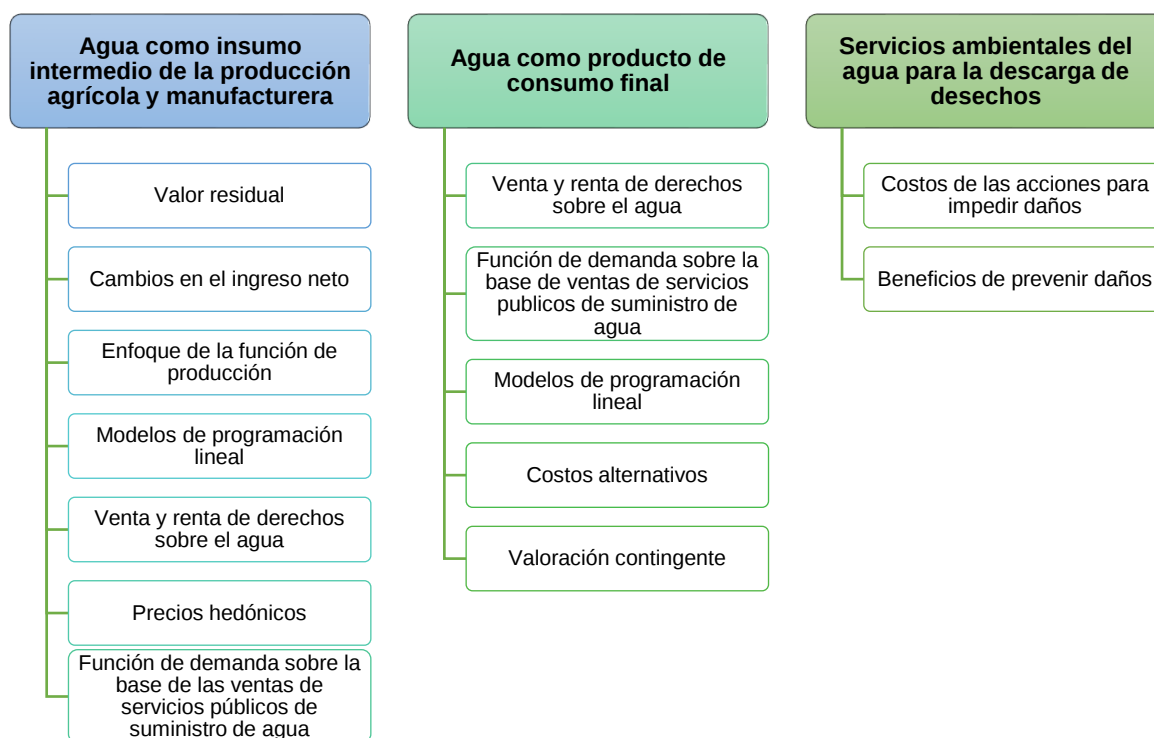


Ilustración 8. Técnicas y enfoques de valoración del agua propuestas por el SCAE-Agua. Fuente: Elaboración propia con base en UN (2012)

Los resultados de estos procesos métricos por lo general son representados en términos monetarios, por lo que es fácil confundir la información que esta medición revela. El concepto de valor puede ser expresado en términos monetarios, temporales, laborales o relativos ya sea utilizando indicadores sobre el número de personas beneficiadas, sus preferencias, los costos de uso o por preservar los servicios ecosistémicos, aunque este concepto también es utilizado y confundido como un sinónimo de apreciación (Latterra et al., 2015).

El precio y el valor son dos conceptos utilizados por igual pero que, desde la perspectiva económica, son diferentes. Samuelson & Nordhaus (2006) rescatan en su obra la paradoja del valor planteada en 1766 por Adam Smith en *La Riqueza de las Naciones*:

“Nada es más útil que el agua, pero su valor es escaso para intercambiarlo por otros bienes. En cambio, el valor del diamante es casi nulo, pero una gran cantidad de bienes son intercambiados por ellos”.¹

Siendo así, Samuelson & Nordhaus definen que el valor es un término utilizado para referirse a la importancia y uso de los bienes y servicios disponibles en el mercado, mientras que precio lo precisan como su costo expresado en términos monetarios.

En la literatura académica de valoración de servicios ecosistémicos, es común encontrar el concepto de precio sombra, referido al costo económico de mantener el equilibrio ambiental ante la presencia de impactos, por lo que son considerados como precios de oportunidad y no de mercado (Azqueta et al., 2007; Nión, 2015). El cálculo del precio sombra puede ser calculado con la metodología de modelos de programación lineal (anexo 3) , el cual es recomendado para la estimación de los servicios ecosistémicos de uso directo, por ejemplo el agua como insumo de la producción (Ilustración 7 e Ilustración 8) y se expresa en las variaciones marginales, es decir, en los cambios que presenta la función objetivo ante variaciones en el recurso -en este caso, recurso natural- de interés (Godínez-Montoya et al., 2007; Azqueta et al., 2007; Zetina et al., 2013).

De manera particular, el agua subterránea para uso consuntivo posee las características de ser un bien cuasi-público, en el que existe rivalidad por su consumo y sin embargo no presenta rasgos de exclusión, por lo que no se puede llegar a su precio eficiente mediante mercados de competencia perfecta. Desde esta perspectiva, la valoración económica

¹ Samuelson & Nordhaus (2006) p. 93,

puede realizarse con un enfoque social mediante estimaciones de precio sombra y disponibilidad a pagar por el recurso, contrario al enfoque privado que establece sus precios en mercados de competencia bien definidos (Latererra et al., 2015).

En cuanto al valor de uso del agua, este se encuentra determinado por los sectores demandantes: industria, comercio, uso doméstico y actividades agropecuarias, siendo estas últimas las que ejercen mayor presión sobre el recurso. La ineficiente asignación del agua subterránea y superficial entre dichos usuarios ha provocado su consumo excesivo, la disminución en su calidad y cantidad, además del deterioro en el ambiente (Sánchez-Brito et al., 2013).

A pesar de que la mayor parte de los estudios de valoración económica del recurso hídrico en México se centran en la provisión de agua para agricultura, existen otros que presentan una visión integral en los servicios ecosistémicos, como lo es el estudio de Silva-Flores y colaboradores en (2010), quienes establecen que las sociedades se preocupan por el servicio de distribución de agua en las ciudades en zonas áridas y semi-áridas, pero no existen muchos trabajos que aborden la problemática de provisión ni la valoración cuantitativa del servicio ambiental.

2.4. El Valle de Guadalupe

La zona de estudio comprende una extensión de 66,353 hectáreas y se localiza a 25 km al norte de la ciudad de Ensenada y a 85 km al sur de la ciudad de Tecate. Es un valle de origen fluvial a través del cual corre el arroyo Guadalupe y se encuentra flanqueado por cerros entrecortados por diversas cañadas, los cuales alcanzan altitudes de 600 metros al noroeste y hasta de 1,300 metros al sureste. Cuenta con una población de 7,917 habitantes, representando el 1.6% de la población total del municipio de Ensenada, distribuida en las localidades de San Antonio de las Minas, El Porvenir, Ignacio Zaragoza y Francisco Zarco (IMIP, 2009; Leyva & Espejel, 2013).

El acceso al valle por vía terrestre es a través de la Carretera Federal No. 3 que comunica con las ciudades de Tecate y Ensenada, además de la conexión con las Carreteras Federales 1 y 2; asimismo cuenta con caminos y brechas al interior de la región que comunican a las poblaciones menores. La principal actividad económica es la agrícola, con cultivos de tipo mediterráneo como la vid, olivo, cítricos, variedad de frutales, algarrobo, diversidad de hortalizas, flores y hierbas de olor. Otras actividades que se desarrollan son

el turismo recreativo, ecoturismo, conservación, agroindustria, rancherías, conjuntos habitacionales y actividades relacionadas con el sector comercial y de servicios, así como ganadería extensiva. Con sus características tormentas de invierno y veranos secos, la precipitación media anual va de 200 a 350 mm en la zona costa y en las cimas de los cerros costeros hasta 400 mm propiciado el crecimiento de matorral costero y chaparral como vegetación dominante (IMIP, 2009; Leyva & Espejel, 2013).

El valle se ubica en la Región Hidrológica Número 1, Baja California Noroeste, dentro de la Subcuenca C conocida como Río Guadalupe (Ilustración 9) la cual tiene una superficie de 2,435 Km² y se caracteriza por ser de tipo exorreica, ya que descarga su escorrentía superficial hacia el mar. En esta subcuenca se encuentran las microcuencas de Real de Castillo, al oriente; Guadalupe al centro y, al poniente desembocando en el océano Pacífico, La Misión. La microcuenca de Guadalupe (Ilustración 10) tiene una superficie de 896 Km², representando el 36.7% de superficie total de la subcuenca. Los resultados de estudios geohidrológicos indican que el acuífero subyacente está compuesto por dos fosas de origen tectónico de diferente profundidad y extensión que en su conjunto presentan una capacidad de almacenamiento de 218.1 Millones de metros cúbicos (Mm³): a) La Fosa Calafia, localizada al noroeste; y b) La Fosa El Porvenir, ubicada en la zona suroeste del valle (SPA, 2017).

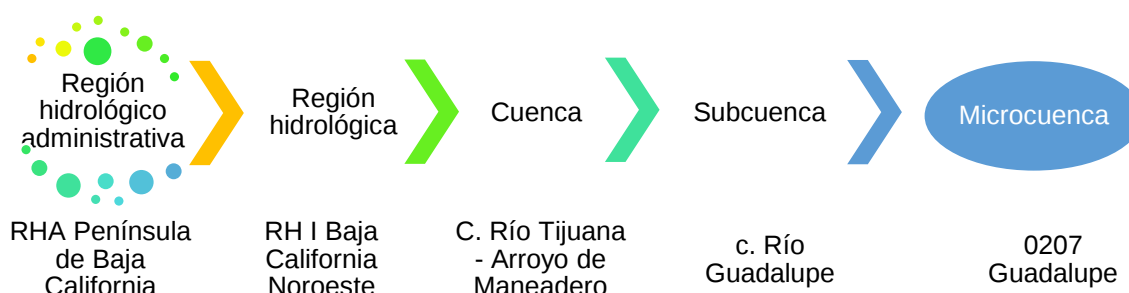


Ilustración 9. Ubicación del acuífero Guadalupe a nivel de región hidrológico-administrativa

Fuente: Elaboración propia basado en SPA (2017)

La captación de agua que recibe el acuífero Guadalupe se origina de las precipitaciones pluviales que ocurren en la cuenca y que alcanzan el cuerpo de agua en sentido vertical y horizontal. La recarga vertical se asocia a la infiltración de agua de lluvia en el valle e infiltración a lo largo de los arroyos principales, mientras la recarga horizontal se asocia al flujo subterráneo que incide en el acuífero y que se infiltra por las fracturas de las rocas o a

través del pie de monte. De manera inducida, la infiltración de los excedentes del riego agrícola, el agua residual producto de las descargas urbanas y las fugas en la red de distribución de agua potable, constituyen otra fuente de recarga al acuífero. El volumen de recarga media anual estimado es de 25.4 Mm³ (SPA, 2017).

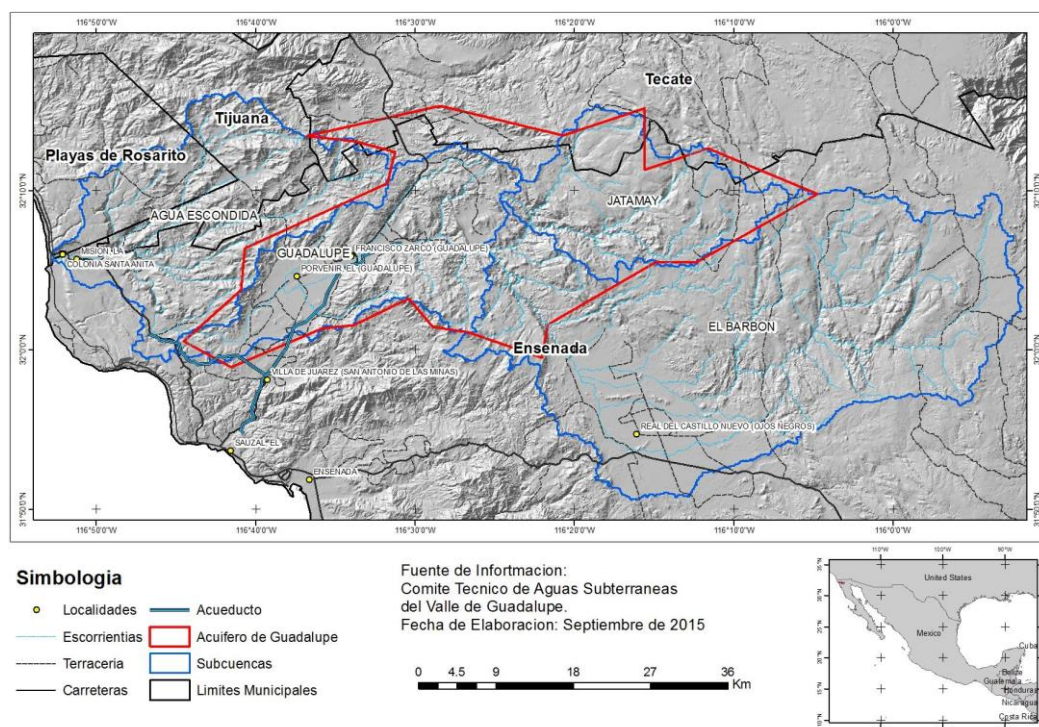


Ilustración 10. Ubicación y delimitación geográfica del acuífero Guadalupe.

Fuente: Extraído de Armenta (2015) p. 28

2.4.1. Crisis hídrica en el Valle

Los asentamientos humanos y el desarrollo de las actividades productivas giran en torno al aprovechamiento del agua subterránea del acuífero Guadalupe, para el que se tienen antecedentes de la fuerte presión de la que ha sido objeto desde la década de los 70. A lo largo del tiempo, el acuífero ha representado la única fuente de agua para los habitantes del valle y poblaciones colindantes, de igual manera para el desarrollo de la agricultura, que representa la actividad económica preponderante (SPA, 2017).

Se sabe que en el Valle de Guadalupe ocurre el crecimiento de la industria vitivinícola, el desarrollo de agricultura diferente a la vid, ganadería y actividades turísticas como principales anclas de actividad económica; además del crecimiento de sus poblaciones: El Provenir, Francisco Zarco y San Antonio de las Minas. Dichas actividades se realizan

gracias a la disponibilidad de agua en el acuífero Guadalupe por lo que es fundamental satisfacer las necesidades hídricas de cada sector.

La problemática del Valle de Guadalupe es compleja y extensa (ver Ilustración 11). Los actores clave en la zona de estudio han reconocido varios conflictos como lo son la situación de sequía en la zona, extracción de arenas, falta de cultura del agua y reglamentación, la necesidad de fortalecer al consejo de cuenca, sobreconcesión de aprovechamientos, la sobreexplotación, la falta de medidores volumétricos, la necesidad de técnicas de riego que incrementen eficiencia en el uso del agua, ausencia de participación ciudadana, la provisión de agua a Ensenada desde el acuífero Guadalupe y la invasión urbana en el área rural (Armenta, 2015).

Respecto a los usuarios del acuífero, los títulos concesionarios con derecho de extracción de agua que integran el Registro Público de Derechos de Agua de la Comisión Nacional del Agua (REPDA, CONAGUA 2017) respaldan el aprovechamiento de 36.79 Mm³ en siete tipos de usos como se muestra en la Tabla 1 y los cuales generan un déficit aproximado de 12 Mm³ respecto al volumen de recarga media natural anual (SPA, 2017).

Tabla 1. Usos y volúmenes de agua concesionados en el acuífero de Guadalupe, 2017

Uso	Número de títulos	Mm ³	%
Agrícola	306	21.03	57.15
Diferentes usos	247	9.24	25.13
Público-urbano	13	6.33	17.19
Industrial	3	0.13	0.36
Domestico	84	0.04	0.10
Pecuario	15	0.01	0.03
Servicios	4	0.01	0.03
Total concesionado	672	36.79	100%

Fuente: Elaboración propia con datos de COANGUA (2017).

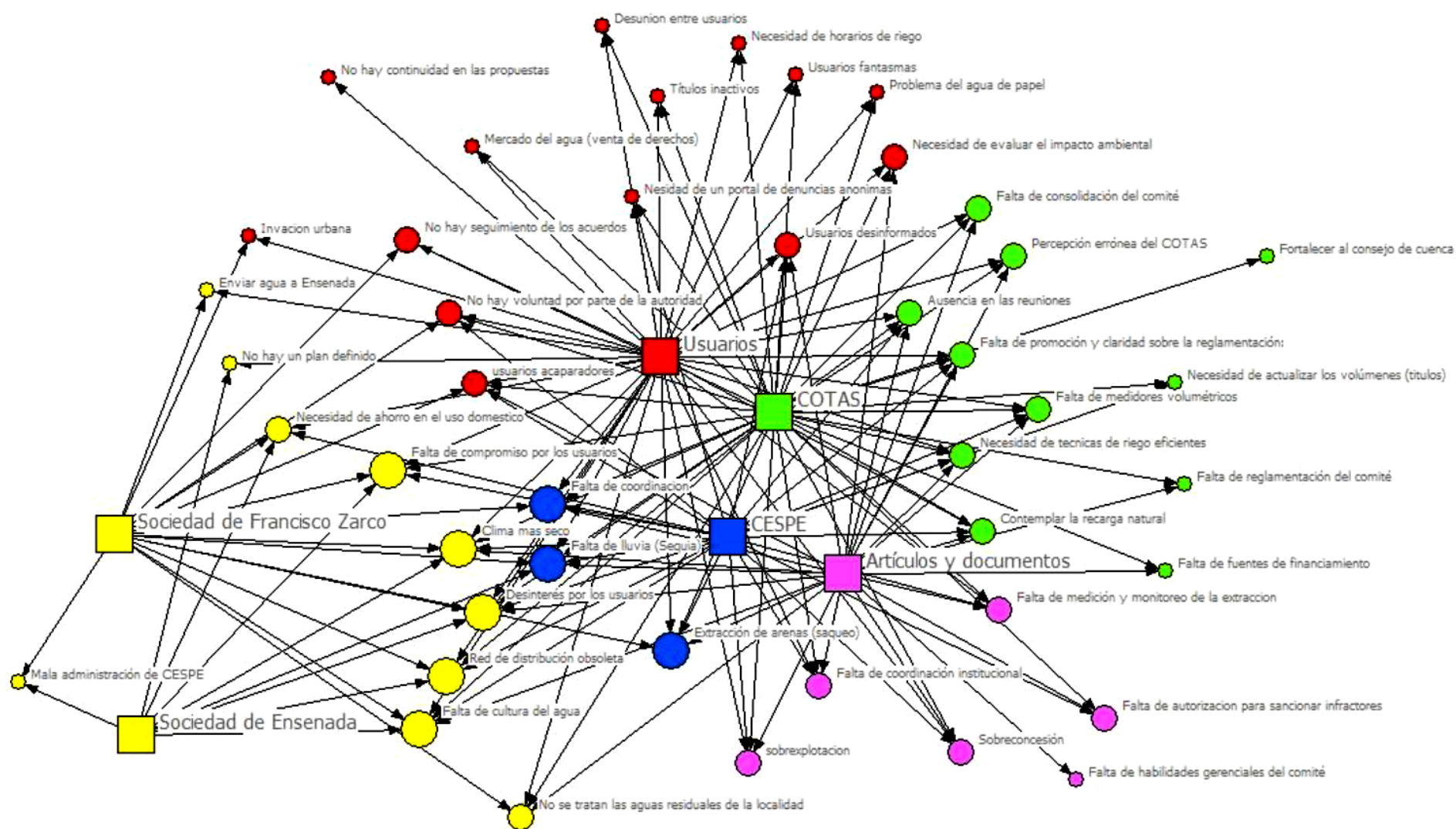


Ilustración 11. Diagrama relacional de los problemas referentes al agua identificados por los actores en el Valle de Guadalupe. Fuente: Tomado de Armenta (2015) p. 68

III. OBJETIVOS

El objetivo general de este trabajo es estimar el precio sombra del servicio ecosistémico de aprovisionamiento de agua en Valle de Guadalupe, el cual se clasifica como un valor de uso directo en el ecosistema y se aborda desde el enfoque privado, considerando el monto de valor agregado que cada m³ de agua aporta a la economía del Valle, así como en específico para cada actividad socioeconómica. Se espera que esta información sea útil en la planeación regional y generación de políticas públicas. Como objetivos particulares:

1. Hacer un listado de los servicios ecosistémicos existentes en Valle de Guadalupe.
2. Describir la realidad hídrica del valle respecto al servicio ecosistémico de provisión de agua.
3. Establecer escenarios de disponibilidad hídrica del acuífero Guadalupe.
4. Definir las variables y el modelo matemático para estimar los precios sombra por m³ de agua considerando las restricciones del acuífero Guadalupe.

IV. METODOLOGÍA

Listado de servicios ecosistémicos

Se hizo una revisión bibliográfica referente al área de estudio haciendo uso de las palabras clave “Guadalupe Valley Ensenada”, “Guadalupe Valley” y “Baja California” en las siguientes bases de datos:

- ❖ EBSCO
- ❖ Elsevier
- ❖ Catálogos de las bibliotecas de la Universidad Autónoma de Baja California (UABC), Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (CICESE), El Colegio de la Frontera Norte (COLEF)
- ❖ Buscador GOOGLE

Se obtuvieron 121 publicaciones; se filtraron 68 documentos que explícitamente estudiaron el área de interés y se clasificaron conforme al listado de servicios ecosistémicos presentado por De Groot (2006, ver anexo 1). De igual manera, se detectaron los servicios ecosistémicos implícitos en los siguientes instrumentos y políticas de planeación ya establecidos de manera oficial en el Valle de Guadalupe:

1. Directrices de Desarrollo: Corredor San Antonio de las Minas-Valle de Guadalupe, publicado en 2003.
2. Programa de Ordenamiento Ecológico del corredor San Antonio de las Minas-Valle de Guadalupe, publicado en 2006.
3. Programa sectorial de Desarrollo Urbano-Turístico de los Valles Vitivinícolas de la Zona Norte del Municipio de Ensenada (Región del Vino), BC, publicado en 2006.
4. Programa de desarrollo regional: Región del Vino, publicado en 2010.
5. Programa ambiental estratégico de la región vitivinícola de Valle de Guadalupe, municipio de Ensenada, Baja California México, publicado en 2016.

Descripción de la realidad hídrica

Referente a la descripción de la realidad hídrica en el Valle de Guadalupe, se realizó trabajo de gabinete revisando datos proporcionados por el Instituto de Investigación y Planeación de Ensenada (IMIP-ENS) de las principales actividades económicas existentes en el valle: agricultura, ganadería, producción industrial y servicios turísticos. Para complementar esta información se realizaron tres salidas de campo: 1) el día primero de diciembre de 2017 se realizó un recorrido con el personal del IMIP-ENS con el fin de validar información sobre el sector agrícola y ganadero en las localidades de San Antonio de las Minas, El Provenir y Francisco Zarco, particularmente con productores de uva, aceituna, queso, leche y carne; 2) el día 16 de abril del 2018 se acudió a las oficinas de la Comisión Estatal de Servicios Públicos de Ensenada (CESPE) para indagar con el personal del Departamento de Sub-recaudación Adscrita sobre los montos y estructura tarifaria de suministro de agua en la zona de estudio; finalmente, 3) el día 18 de abril del 2018 se visitaron las oficinas en Ensenada de la Secretaría de Desarrollo Agropecuario del estado (SEDAGRO), así como la Unión Ganadera Regional de Baja California con el fin de validar datos referentes a la producción ganadera en el Valle de Guadalupe.

El resto de la información utilizada para esta descripción se obtuvo de diversas fuentes las cuales fueron seleccionadas bajo el criterio de información oficial proveniente de instituciones federales y estatales relacionadas con el tema de interés, validando los datos con diferentes técnicas estadísticas. Bajo este contexto, es necesario tomar en cuenta las siguientes observaciones.

Con información proporcionada por SEDAGRO se determinaron los principales cultivos de Valle de Guadalupe tomando como criterio la superficie cultivada. Se tomó como supuesto

de necesidad hídrica las láminas de riego por cultivo propuestas por el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) debido a que no se encontraron datos para las tecnologías implementadas en valle de Guadalupe como lo son *keyline* y el riego por goteo para cada uno de los cultivos considerados en el estudio. El personal ocupado en estas actividades representa un estimado del número de trabajadores que se necesitan al año trabajando en turno completo tomando en cuenta el número de jornales, los 220 días laborales al año y descartando la estacionalidad de las épocas de siembra y cosecha. El valor agregado de la producción agrícola se calculó con el precio pagado en parcela por tipo de cultivo durante el 2016 el cual fue proporcionado por SEDAGRO y llevado a precios de 2017 utilizando el deflactor de precios base 2010.

Para el sector pecuario, no se encontró información suficiente para estimar la demanda hídrica real que ocurre en Valle de Guadalupe, por lo que para determinar la dinámica del sector sólo se consideró el estudio técnico, desarrollado por la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA, s/f), donde en conjunto con el Colegio de Postgraduados (COLPOS) presentan las estimaciones de la demanda de agua por tipo de especie ganadera.

A pesar de que la zona de estudio mantiene actividades de elaboración de aceite de oliva y producción de bebidas alcohólicas a base de uva, no se encontró información suficiente para describir el escenario de consumo hídrico en las almazaras. Los datos considerados como descriptores de la actividad de producción de bebidas alcohólicas fueron tomados del Censo Económico 2014 del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), partiendo del supuesto que el tamaño y el número de unidades económicas no ha incrementado para 2017. También se consideró que el valor de la producción se mantuvo constante a excepción de los incrementos inflacionarios, por lo que el valor agregado censal bruto disponible para el año 2014 fue deflactado con precios constantes 2010 y llevado a precios 2017.

Para el sector turismo y de servicios, se consideraron las mismas ramas de actividad económica que el IMIP-ENS refiere como representativas del sector turístico de acuerdo con el código del Sistema de Clasificación Industrial de América del Norte 2013 (SCIAN), además de la agregación de las ramas de actividad económicas dedicadas al comercio y servicios profesionales como se muestra en la Tabla 2:

Tabla 2. Actividades económicas en el sector turismo y servicios consideradas en el modelo de programación lineal propuesto para Valle de Guadalupe por código SCIAN.

Código	Actividad económica
721111	Hoteles con otros servicios integrados
721190	Cabañas, villas y similares
722511	Restaurantes con servicio de preparación de alimentos a la carta o de comida corrida
722512	Restaurantes con servicio de preparación de pescados y mariscos
722513	Restaurantes con servicio de preparación de antojitos
722514	Restaurantes con servicio de preparación de tacos y tortas
722515	Cafeterías, fuentes de sodas, neverías, refresquerías y similares
722517	Restaurantes con servicio de preparación de pizzas, hamburguesas, hot dogs y pollos rostizados para llevar
722518	Restaurantes que preparan otro tipo de alimentos para llevar
Actividades agregadas en el subsector de comercio y servicios profesionales	
311511	Elaboración de leche líquida
311520	Elaboración de helados y paletas
311812	Panificación tradicional
312112	Purificación y embotellado de agua
312131	Elaboración de bebidas alcohólicas a base de uva
315229	Confección en serie de otra ropa exterior de materiales textiles
327330	Fabricación de tubos y bloques de cemento y concreto
434111	Comercio al por mayor de fertilizantes, plaguicidas y semillas para siembra
434112	Comercio al por mayor de medicamentos veterinarios y alimentos para animales, excepto mascotas
434211	Comercio al por mayor de cemento, tabique y grava
434311	Comercio al por mayor de desechos metálicos
435110	Comercio al por mayor de maquinaria y equipo agropecuario, forestal y para la pesca
461110	Comercio al por menor en tiendas de abarrotes, ultramarinos y misceláneas
461130	Comercio al por menor de frutas y verduras frescas
461150	Comercio al por menor de leche, otros productos lácteos y embutidos
461160	Comercio al por menor de dulces y materias primas para repostería
461190	Comercio al por menor de otros alimentos
462112	Comercio al por menor en minisupers
463112	Comercio al por menor de blancos
463211	Comercio al por menor de ropa, excepto de bebé y lencería
463215	Comercio al por menor de bisutería y accesorios de vestir
464111	Farmacias sin minisúper
465311	Comercio al por menor de artículos de papelería
466212	Comercio al por menor de teléfonos y otros aparatos de comunicación
466312	Comercio al por menor de plantas y flores naturales
466410	Comercio al por menor de artículos usados
467111	Comercio al por menor en ferreterías y tlalpaleras
468211	Comercio al por menor de partes y refacciones nuevas para automóviles, camionetas y camiones
468212	Comercio al por menor de partes y refacciones usadas para automóviles, camionetas y camiones
468411	Comercio al por menor de gasolina y diesel
468412	Comercio al por menor de gas l. p. en cilindros y para tanques estacionarios
532230	Alquiler de videocasetes y discos
532291	Alquiler de mesas, sillas, vajillas y similares
561432	Servicios de acceso a computadoras
561510	Agencias de viajes
611100	Escuelas de educación básica, media y para necesidades especiales
811111	Reparación mecánica en general de automóviles y camiones
811112	Reparación del sistema eléctrico de automóviles y camiones
811119	Otras reparaciones mecánicas de automóviles y camiones
811191	Reparación menor de llantas
811192	Lavado y lubricado de automóviles y camiones
812110	Salones y clínicas de belleza y peluquerías
812321	Administración de cementerios pertenecientes al sector privado
813230	Asociaciones y organizaciones civiles

Fuente: Elaboración propia con información de INEGI (2014).

El número de empresas con los mencionados giros de actividad fue determinado con las unidades registradas en el Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas (DENUE) que se encuentran dentro del polígono del acuífero Guadalupe recuperado de la página web de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). Dicho polígono incluye en sus límites el área que es considerada por el IMIP-ENS en sus estudios como área de planeación.

Las necesidades hídricas se estimaron utilizando la variable gasto en consumo de agua en miles de pesos reportado en el Censo Económico 2014 del INEGI, eliminando la inflación y cruzándolo con las tarifas de cobro de agua por volumen definidas por la Comisión Estatal del Agua del Estado de Baja California (ver Tabla 3) partiendo del supuesto de que estas son aplicables para todo el municipio de Ensenada, obteniendo el estimado de consumo de agua por actividad económica a nivel de municipio y se calculó el consumo marginal por persona ocupada para cada rama de actividad considerando este dato como ponderador representativo del sector turismo y servicios del municipio de Ensenada.

Tabla 3. Tarifas de agua para uso no doméstico en el centro poblacional de Ensenada y su zona rural en pesos por bloque de consumo hídrico, 2012.

Bloques de agua (m ³)	Tarifas uso no doméstico en pesos para el año 2012	
	Ensenada	Rural
0-5	369.05	221.44
5-10	32.59	19.55
10-15	44.59	26.78
15-20	52.53	31.53
20-25	61.65	37.01
25-30		
30-40	62.8	37.01
40-50	65.95	39.54
50-60	67.26	40.36
60----	70.48	42.3
+ de 10,000	46.24	27.73

Fuente: Elaboración propia basado en CEABC (2016)

Dicho ponderador fue multiplicado por el personal ocupado en las unidades económicas definidas en el DENUE. El valor agregado de cada actividad se determinó utilizando la variable valor agregado censal bruto en miles de pesos reportado en el Censo Económico 2014 del INEGI, eliminando la inflación y determinando su valor por persona ocupada para cada rama de actividad, considerando este dato como ponderador representativo del sector turismo y servicios del municipio de Ensenada. Dicho ponderador fue multiplicado por el

personal ocupado en las unidades económicas definidas en el DENU. No se encontró información para establecer con seguridad el número de tomas y volúmenes de agua utilizados en todas las comunidades de Valle de Guadalupe, por lo que se tomaron los datos de volumen de extracción concesionados de los registros del REPDA y con datos obtenidos de INEGI (2017a, 2017b) se describieron de manera general las actividades socioeconómicas que existen en Valle de Guadalupe. Lo mismo para el sector doméstico y público-urbano.

Escenarios de disponibilidad hídrica

Para establecer los escenarios de disponibilidad hídrica en el acuífero Guadalupe, se tomará como escenario base el volumen de agua concesionado en los títulos de extracción del REPDA, así como los escenarios de recarga media anual y recarga media anual en situación de cambio climático propuestos en el documento *Programa ambiental estratégico de la región vitivinícola de Valle de Guadalupe, municipio de Ensenada, Baja California México* (SPA, 2017).

Con toda la información anterior, se creó una base de datos con 24 registros integrando las actividades agrícolas, industriales, de servicios turísticos, consumo doméstico de agua y consumo público-urbano (Tabla 4). Las magnitudes de las variables en la base de datos asociadas a estas actividades se consideraron como variables predefinidas en el modelo de programación lineal y que incluyen la siguiente información: hectáreas destinadas a la producción por tipo de producto agrícola, consumo de agua anual medido en metros cúbicos, valor agregado de la producción en precios corrientes 2017 y personal ocupado por actividad.

Tabla 4. Actividades económicas descriptivas de Valle de Guadalupe.

n	Cultivos	n	Actividades socioeconómicas
1	Vid	13	Elaboración de bebidas alcohólicas
2	Olivo	14	Hospedaje
3	Algarrobo	15	Restaurantes de comida corrida
4	Cilantro	16	Restaurantes en general
5	Cítricos	17	Restaurantes de antojitos
6	Tomate	18	Restaurantes de tacos y tortas
7	Frutales	19	Cafeterías / fuentes de soda
8	Florales	20	Restaurantes de pizza
9	Alfalfa achicalada	21	Restaurantes otros
10	Rabanitos	22	Comercio y servicios profesionales
11	Ejote	23	Sector doméstico
12	Pepino	24	Sector público urbano

Paso siguiente, se buscó establecer el modelo para estimar el precio sombra, el cual puede ser calculado utilizando modelos de programación lineal. De acuerdo con Ni3n (2015), la t3cnica matemática de programación lineal permite la optimización de una función objetivo a través de la aplicación de diversas restricciones a sus variables, constituyéndose así los componentes como funciones lineales en los términos de la variable en cuestión.

Todo problema de optimización (también llamado primal), tiene un problema asociado denominado problema dual con la misma solución. Si el primal es un problema de minimización, el problema dual será de maximización y viceversa; el problema dual tendrá tantas variables y restricciones como el primal utilizadas de manera inversa, esto es, los coeficientes de la función objetivo de uno serán utilizadas como restricciones en el otro (Goic, 2007).

Los valores del modelo dual corresponden a las tasas marginales de variación de la función objetivo ante variaciones de una restricción y representan el precio económico del recurso escaso que se quiere optimizar y se le conoce como precio sombra. Esto quiere decir que la solución para cada restricción planteada en el modelo representa un precio sombra asociado a la sensibilidad en los cambios de dicha condición (Zetina-Espinosa et al., 2013; Goic, 2007; Boirivant, 2009).

Un ejemplo de valoración utilizando la técnica de programación lineal para determinar el precio sombra del agua, es el de Godínez-Montoya y colaboradores (2007), donde muestran un estudio desarrollado en la Comarca Lagunera para el sector agrícola considerando sus factores de producción (trabajo, tierra, agua) y así obtener los beneficios relacionados con el agua de bombeo obteniendo una estimación de \$0.73 pesos/m³ para el agua de pozo y \$0.25 pesos/m³ para el agua de gravedad, en contra de los \$0.05 pesos/m³ pagados por el derecho de extracción y uso. Otro caso es el de Zetina-Espinoza et al. (2013), quienes calcularon el precio sombra del agua de riego para 37 cultivos en el distrito de riego 044 en Jilotepec, Estado de México, concluyendo que el precio varía dependiendo del cultivo y la época del año (primavera-verano, otoño-invierno) entre los \$0.03 y 5.72 pesos por m³.

Con el fin de lograr el objetivo particular número 4, se tomó como base el modelo no publicado de programación lineal propuesto por el equipo de trabajo del IMIP-ENS (enero 2017, comunicación personal) el cual tenía como objetivo calcular el precio sombra por metro cúbico de agua que optimizara las asignaciones de agua para las actividades

económicas características del valle. Dicho modelo se basó en la cantidad de agua consumida por el personal ocupado de cada rama de actividad distintiva del valle y se consideró como una primera aproximación para estimar el valor real del agua proveniente del acuífero Guadalupe.

Ya que la metodología de programación lineal es una herramienta versátil, el objetivo del modelo propuesto por el IMIP-ENS fue modificado en el presente estudio: en lugar de considerar el personal ocupado por metro cúbico de agua, se tomó como base el valor agregado censal bruto generado por cada metro cúbico de recurso hídrico utilizado en las actividades económicas del valle y las cuáles se encuentran restringidas por la disponibilidad de agua en el acuífero, por lo que se plantearon tres escenarios de acuerdo con lo descrito en los resultados del objetivo particular 3.

Se determinó que la medida de valor monetario considerada en este modelo, al igual que en la propuesta del IMIP-ENS, sería el valor agregado censal bruto y no la producción bruta total (equivalente al ingreso neto, como lo recomienda la literatura de modelos de programación lineal), ya que el valor agregado censal bruto (o para este trabajo referido sólo como *valor agregado*) se define como el valor de la producción que se añade mediante los factores de la producción (personal ocupado, el capital y la organización), ejercidos sobre los materiales que se consumen en la realización de la actividad económica, en este caso agua, y resulta de restar el consumo intermedio de la producción bruta total; siendo que este consumo intermedio representa el importe de los bienes y servicios consumidos por la unidad económica para el desarrollo de sus actividades, tanto los materiales que se integraron físicamente a los productos, como todos aquéllos que proporcionaron las condiciones propicias para llevar a cabo la producción (INEGI, 2014).

Para este nuevo modelo, se estimaron los coeficientes de valor marginal del agua (a_n) referidos al año 2017 con el cociente del valor agregado de la actividad n sobre la cantidad de agua utilizada anualmente en la misma actividad.

$$a_n = \frac{\text{Valor agregado}_n}{(\text{consumo de agua en m}^3)_n}$$

Estos coeficientes fueron utilizados para expresar el problema de optimización siguiente:

$$\max \sum_{n=1}^{24} a_n \cdot x_n$$

Sujeto a:

- | | | |
|---------------------------------|---------------------------|---|
| 1) $\sum_{n=1}^{24} x_n \leq W$ | 11) $x_{10} \leq 50,320$ | 21) $x_{20} \leq 738$ |
| 2) $x_1 \leq 15,618,400$ | 12) $x_{11} \leq 20,880$ | 22) $x_{21} \leq 153$ |
| 3) $x_2 \leq 5,084,800$ | 13) $x_{12} \leq 19,530$ | 23) $x_{22} \leq 911,035$ |
| 4) $x_3 \leq 77,200$ | 14) $x_{13} \leq 258,287$ | 24) $x_{23} = 40,000$ |
| 5) $x_4 \leq 145,662$ | 15) $x_{14} \leq 26,154$ | 25) $x_{24} = 6,325,555$ |
| 6) $x_5 \leq 340,500$ | 16) $x_{15} \leq 1,321$ | Restricción de no negatividad
$x_n \geq 0$ |
| 7) $x_6 \leq 152,240$ | 17) $x_{16} \leq 186$ | |
| 8) $x_7 \leq 114,800$ | 18) $x_{17} \leq 349$ | |
| 9) $x_8 \leq 150,000$ | 19) $x_{18} \leq 311$ | |
| 10) $x_9 \leq 110,000$ | 20) $x_{19} \leq 417$ | |

Donde n indica cuál de las 24 actividades se está analizando, a_n es el coeficiente estimado de beneficio marginal para el 2017 (pesos/m³) de la actividad n ; x_n representa la cantidad de agua asignada a la actividad n medida en metros cúbicos anuales y finalmente W expresa la disponibilidad por año del agua en el acuífero cada escenario propuesto.

En otras palabras, el modelo de programación lineal propuesto en este estudio tiene como objetivo maximizar el valor agregado por m³ de agua asignado a cada actividad socioeconómica del Valle de Guadalupe, obteniendo como resultado 25 precios sombra: uno para cada restricción de agua, siendo que la solución de la primera restricción representará el precio sombra agregado del servicio ecosistémico de provisión de agua en el acuífero y las soluciones al resto de restricciones serán los precios del agua específicos para cada una de las actividades definidas en el modelo.

Para realizar los cálculos del modelo de programación lineal, se utilizó del software de optimización matemática LINGO en su versión 10.

V. RESULTADOS

5.1. Servicios ecosistémicos en Valle de Guadalupe

Del análisis de 68 publicaciones académicas recopiladas de la zona de estudio se identificaron 11 servicios ecosistémicos que oferta la cuenca del Valle de Guadalupe como se muestra en la Ilustración 12.

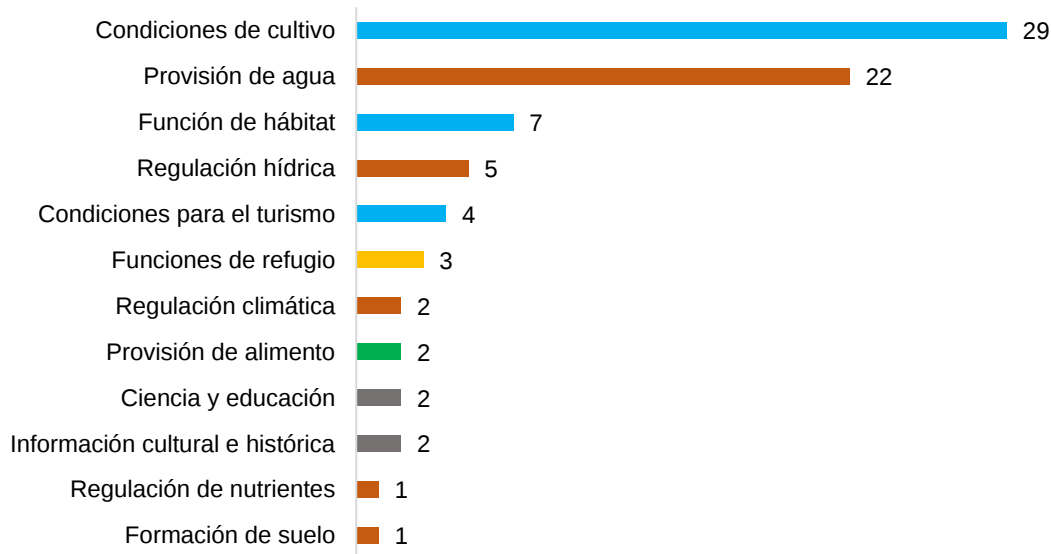


Ilustración 12. Número de publicaciones académicas de acuerdo con los servicios ecosistémicos detectados en el Valle de Guadalupe.

Si unimos los resultados del análisis en publicaciones académicas con los encontrados en materia de planeación (ver Ilustración 13), los servicios ecosistémicos con mayor reconocimiento en el valle son: suministro de agua, cultivo, facilidades turísticas y hábitat coincidiendo con lo descrito por Sánchez-Brito y colaboradores (2013).

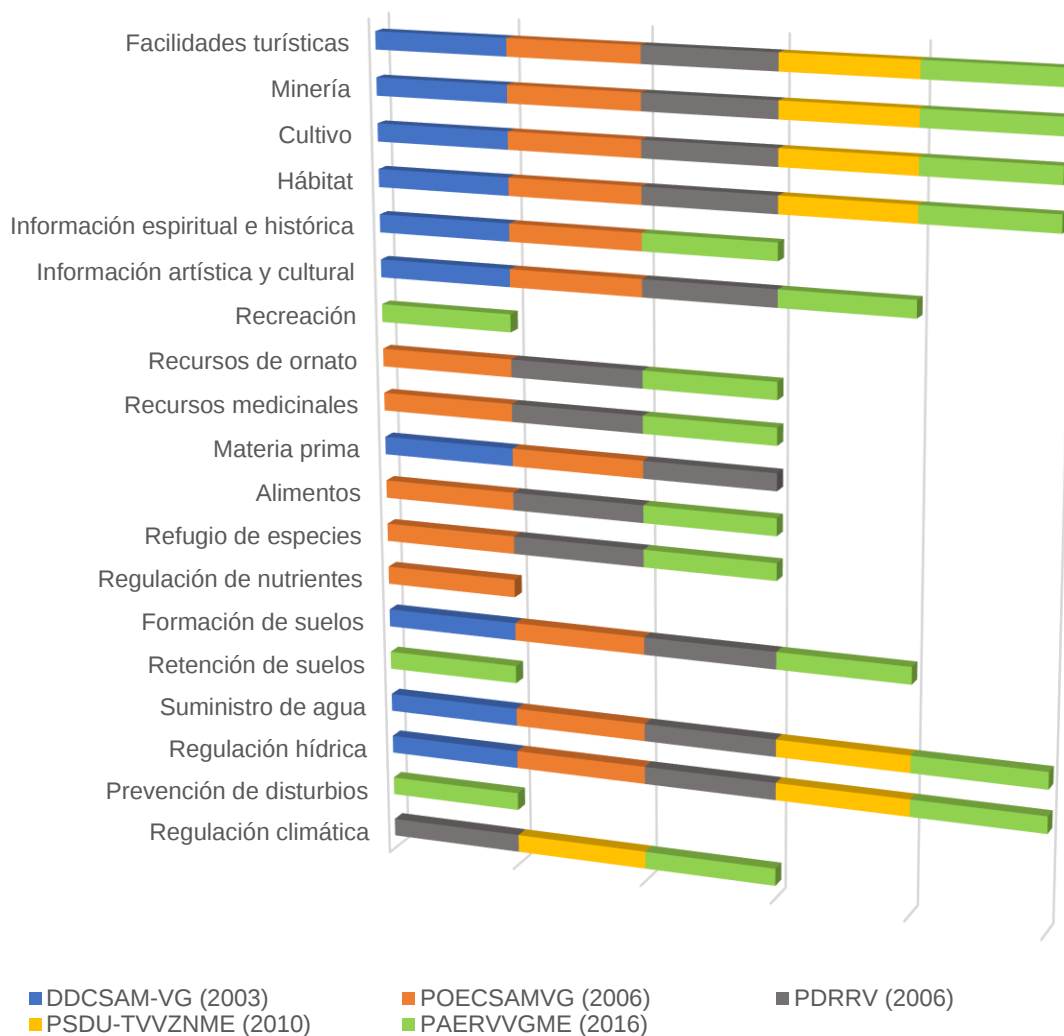


Ilustración 13. Servicios ecosistémicos reconocidos en los planes, programas y proyectos aplicados en Valle de Guadalupe.

5.2. Realidad hídrica de Valle de Guadalupe

5.2.1. Agricultura

Para el sector agrícola se ha determinado que sus principales cultivos son: vid, olivo, algarrobo, cilantro, cítricos, tomate, una diversidad de árboles frutales, flores comestibles y de ornato, alfalfa achicalada, rabanitos, ejote, pepino y zanahoria (SEDAGRO, 2015). En la Tabla 5 se muestran para cada cultivo las necesidades hídricas por hectárea, personal ocupado y valor agregado de cada plantío estimado para el 2017.

Tabla 5. Características de los principales cultivos agrícolas presentes en Valle de Guadalupe estimados para el 2017.

Sector	Nombre	Hectáreas cultivadas	Necesidades hídricas (m³/ha/año)	Personal ocupado	Valor agregado 2017 (miles de pesos)
Agrícola	Vid	2,231.2	7,000	5,598	216,422.5
	Olivo	635.6	8,000	1,086	5,924.7
	Algarrobo	77.2	1,000	7	385.9
	Cilantro	59.6	2,444	173	5,396.7
	Cítricos	45.4	7,500	92	8,374.1
	Tomate	17.3	8,800	111	24,492.8
	Frutales	16.4	7,000	31	1,845.4
	Florales	12.5	12,000	272	1,770.4
	Alfalfa achicalada	10.0	11,000	2	1,135.9
	Rabanitos	7.4	6,800	21	2,152.5
	Ejote	3.6	5,800	17	57.9
	Pepino	3.1	6,300	68	690.6

Fuente: Elaboración propia con datos de INIFAP (2008), SEDAGRO (2011).

5.2.2. Ganadería

En la salida de campo realizada en diciembre de 2017, se detectó la existencia de corrales con ganado bovino, porcino, caprino y ovino, así como la práctica de cunicultura y avicultura en las cercanías de los poblados El Porvenir, Francisco Zarco y San Antonio de las Minas.

De acuerdo con información de la SEDAGRO (2015), la presencia del sector pecuario en el valle de Guadalupe es mínima comparada con el sector agrícola. Para el 2012 se estimaba la existencia de 1,955 cabezas de ganado bovino productores de leche, carne y con doble propósito.

En los últimos años, la producción lechera y cárnica ha sido decreciente en la zona, continuando sólo con la crianza de becerros para su venta a otros valles de la región. Respecto al año 2017, no se cuentan con estimaciones confiables respecto a la cantidad de animales existentes en el Valle² por lo que se intentó contactar el presidente de la Asociación Ganadera de Valle de Guadalupe con la mediación de la Unión Ganadera Regional de Baja California, sin éxito. Para ilustrar las necesidades hídricas del sector, en la Tabla 6 se presentan la demanda diaria de agua para las especies de interés en el Valle,

² Con información brindada por la SEDAGRO en la delegación municipal de Ensenada, se confirmó la existencia de datos por unidad ganadera compilada en los Censos Agropecuarios de dicha dependencia, pero agregados a nivel de municipio.

donde claramente se puede observar las variaciones en el recurso hídrico por especie dependiendo de su edad o peso vivo.

Tabla 6. Demanda diaria de agua por especie en el Valle de Guadalupe

Sector	Especie	litros/día/cabeza
Pecuario	Vacas adultas secas	57
	Vacas adultas productoras	90-130
	Lechones de 1 kg	0.5
	Cerdos en crecimiento de 13.6kg	2.6
	Cerdos última etapa de crecimiento (54.5kg)	6.8
	Cerdos en finalización de crecimiento, 100kg.	8-12
	Ovinos en crecimiento	3
	Ovinos a 1 mes de gestación	3
	Ovinos a 2 meses de gestación	4.2
	Ovinos 3 meses de gestación	4.5
	Ovinos a 4 meses de gestación	5.4
	Ovinos a 5 meses de gestación	6.6
	Cabras productoras de carne	4.2
	Cabras productoras de leche	11.2
	Conejas a 8 semanas de parto	4.5
	Conejos 8 semanas de edad	0.5
	Conejos machos adultos	0.5
	Conejas preñadas	0.5
	Pollos de 0.4 kg	0.6
	Pollos de 1.3 kg	1.6
	Gallinas de 1.3 kg	3.3
	Gallinas de 2.2 kg	5.5
	Gallinas de 4 kg	10

Fuente: SAGARPA (s/f). Nota: No se encontraron demandas de agua para la crianza de becerros.

5.2.3. Industria

Para el sector industrial se detectaron dos ramas económicas: las empresas dedicadas a la producción de aceite de oliva (almazaras) y las destinadas a la elaboración de bebidas alcohólicas.

En el caso de la producción de aceite de oliva, SEDAGRO (2011a) publicó el *Estudio estadístico y geográfico del olivo en Baja California*. En este documento, se estima que el 56% de las aceitunas producidas en 2010 en el municipio de Ensenada fueron transformadas en aceite de oliva por el mismo productor, mientras el resto fue destinado a su curtido o venta para la producción de aceite en su destino de compra.

En el área de interés, el documento no especifica el número de almazaras o litros de aceite producidos. De acuerdo con datos del DENU, no se tienen registros de empresas dedicadas a la elaboración de aceites y grasas vegetales comestibles para el año 2014. En

salida de campo, se confirmó la existencia de por lo menos nueve almazaras en el Valle de Guadalupe, pero no se logró obtener información de esta actividad que sea representativa sobre el consumo hídrico en el área de estudio.

A pesar esto, es conocido que el proceso productivo de aceite de oliva sigue una proporción 5:1, es decir, que se necesitan 5 kilogramos de frutos oleaginosos para producir un litro de aceite y, a unido a información de estudios de eficiencia en almazaras, se determinó que el proceso de limpieza y lavado de aceitunas requiere de entre 10 y 30 litros de agua por cada 100 kilogramos de olivas, o en otras palabras, para la producción de 20 litros de aceite (Baptista, et al., 2014).

Para la actividad de elaboración de bebidas alcohólicas, el DENUE 2014 presenta 24 unidades económicas dedicadas a la producción de vino. En la Tabla 7 se muestran las estimaciones de los descriptores de la actividad en Valle de Guadalupe.

Tabla 7. Características de la actividad de elaboración de bebidas alcohólicas en Valle de Guadalupe estimados para el 2017.

Sector	Nombre	Unidades económicas	Necesidades hídricas de la actividad (m³/año)	Personal ocupado	Valor agregado 2017 (miles de pesos)
Industrial	Elaboración de bebidas alcohólicas	24	258,287	443	14,459.4

Fuente: Elaboración propia con información de INEGI (2014, 2014a).

5.2.4. Turismo y servicios

En turismo, se detectaron dos subsectores: las unidades de alojamiento y los servicios restauranteros. De ellos se derivaron las ramas de actividad económica consideradas como representativas de las actividades en el Valle bajo los criterios de que el tipo de experiencia gastronómica y hotelera que ofrece cada empresa a los turistas presenta diferencias significativas en la derrama económica.

Por otro lado, también se incluyeron las actividades de servicios en general, por lo que se agregaron los valores de empresas dedicadas al comercio al por menor de diferentes productos como medicamentos, abarrotes, ropa, papelerías, ferreterías, talleres mecánicos, gasolineras, entre otros.

En el DENUE 2014 se establece un total de 25 unidades económicas en el Valle de Guadalupe dedicadas a los tres sectores, sin embargo, el IMIP-ENS ha detectado más de 200 locales y establecimientos con giros turísticos o de servicios mediante fotointerpretación y recorridos en campo durante el 2017, de los cuales no se ha realizado la validación correspondiente. Aun así, la información del Censo Económico 2014 del INEGI permite vislumbrar el panorama de este sector en cuanto a su personal ocupado y valor agregado, los cuales se muestran en la Tabla 8.

Tabla 8. Características principales de las actividades de alojamiento y servicios restauranteros en Valle de Guadalupe estimados para el 2017.

Sector	Nombre	Necesidades hídricas de la actividad (m³)	Personal ocupado	Valor agregado 2017 (miles de pesos)
Turismo y servicios	Hospedaje	26,154	90	8868.186
	Restaurantes de comida corrida	1,322	19	1,514.506
	Restaurantes	187	3	309.410
	Restaurantes de antojitos	350	9	540.124
	Restaurantes de tacos y tortas	311	6	451.957
	Cafeterías / fuentes de soda	417	9	598.390
	Restaurantes de pizza	738	15	1,226.542
	Restaurantes otros	154	3	166.943
	Comercio y servicios profesionales	911,036	26,620	65,040.940

Fuente: Elaboración propia con datos de CONAGUA (2016), INEGI (2014, 2014a), Melguizo (1994) y Rico-Amorós (2007).

5.2.5. Uso Público y Urbano

En cuanto a los habitantes del Valle, la información proporcionada por el INEGI establece una población total de 7,917 habitantes para el año censal 2010, considerando los principales centros poblacionales, localidades y rancherías en el área de estudio. Otra manera de expresar esta información es el número de hogares conformados en el valle, el cual se estima de 1,876 (INEGI, 2010).

Se sabe que la mayor parte de la población satisface sus necesidades de agua potable ya sea mediante conexiones con la red provista el CESPE, o comprando agua en bloque, o bajo un derecho de extracción de agua directamente de pozo. Cada una de estas fuentes de suministro de agua tienen aspectos importantes a considerar en la gestión de recurso hídrico.

Para el caso del agua potable en hogares, en comunicación directa vía telefónica con personal del Comité Técnico de Aguas Subterráneas de Valle de Guadalupe A.C. (COTAS Guadalupe) se identificó que el suministro de agua en la red pública es administrado por los *Comités de Uso Público Urbano* ubicados en las localidades de El Provenir, El Zapata, San Antonio Nécua y El Zaragoza. En ellos, las comunidades tienen permisos de uso de recurso hídrico y designan las tarifas de cobro por el suministro de agua. En el caso de Francisco Zarco, el cobro es realizado por el comité comunitario con ayuda administrativa por parte de CESPE.

Por otro lado, es de conocimiento general que el suministro de agua mediante pipas abastece a la población y algunos agricultores; medida que ha sido motivada por el limitado acceso al recurso hídrico mediante pozo o red pública. Se posee el dato de que el precio por pipa de agua es de 600 pesos (Hernández, 2016), pero no se encontraron datos confiables sobre cuántas empresas se dedican a la provisión de este servicio; si el recurso es extraído del acuífero Guadalupe o de algún otro; bajo qué tipo de título de derecho se realiza la extracción de este recurso; cuánto es volumen consumido de esta fuente por tipo de usuario; áreas de suministro, etcétera.

Como referencia para estos usos, el pago que se realiza ante la CONAGUA por el derecho de extracción de aguas subterráneas determinado en la Ley Federal de Derechos en sus disposiciones aplicables en materia de aguas nacionales (DOF, 2016; Molano, 2007) se muestra en la Tabla 9. El pago de estos derechos incluye la emisión del título concesionario y tarifas por volumen de recurso hídrico extraído.

Tabla 9. Características principales del agua para uso doméstico y público urbano en Valle de Guadalupe.

Sector	Uso	Número de títulos (2017)	Volumen de agua concesionado (m ³ /año)	Pago por emisión de título	Pago por cada 1000m ³
Doméstico y público urbano	Doméstico	84	40,000	3,535	55.30
	Público urbano	13	6,325,555	3,535	55.30

Fuente: Elaboración propia en base a información de DOF (2016) y CONAGUA (2017).

5.3. Escenarios de disponibilidad hídrica

Con la información del REPDA y el documento *Programa ambiental estratégico de la región vitivinícola de Valle de Guadalupe, municipio de Ensenada, Baja California, México* (SPA, 2017) fueron seleccionados tres escenarios de disponibilidad de agua en el acuífero Guadalupe:

- i. Escenario actual: Se ha determinado que el acuífero de Guadalupe posee concesiones de extracción de hasta por 37 Mm³ al año. Sin embargo, 9.6 Mm³ corresponden a títulos concesionarios de uso diverso y uso pecuario los cuales no serán integrados en el modelo de programación lineal, por lo que la disponibilidad del recurso en este escenario será considerada en 26.4 Mm³ como límite legal respaldado en los títulos de concesión del REPDA en el año 2017.
- ii. Escenario de recarga media anual: Volumen de agua estimado en SPA (2017) donde se establece que el acuífero Guadalupe logra recargar anualmente 25.4 Mm³ mediante procesos de recarga vertical, horizontal e inducida.
- iii. Escenario de cambio climático: Volumen de recarga media anual estimado en 17.4 Mm³ por Campos-Gaytán en 2014 y que es considerado por SPA (2017) como escenario de cambio climático ya que dicho volumen se calculó tomando en cuenta una reducción del 40% en la precipitación anual respecto al valor medio de las lluvias registradas en el periodo 1999-2006.

5.4. Precio sombra del agua

Todas las actividades anteriormente mencionadas, se manejaron como demandantes del recurso hídrico, por lo que con la información disponible se integraron 24 registros como usuarios de agua y a los cuales se les asignó un coeficiente estimando de valor marginal por m³ de agua utilizado (a_n) los cuales se muestran en la Tabla 10.

Con estos valores fue posible calcular el precio sombra para cada uno de los escenarios propuestos y los cuales se muestran en la Tabla 11. En el escenario actual, el precio sombra del agua es de \$0.84 por metro cúbico. En el escenario de recarga natural anual no se mostró diferencia al precio estimado en el escenario anterior y finalmente, en el escenario

de cambio climático con menor provisión de agua en el acuífero, el precio sombra mostró un incremento de 2,938.09% respecto al escenario actual.

Tabla 10. Coeficientes de valor marginal del agua en pesos por m³ estimados para el Valle de Guadalupe

n	actividad	a_n
1	Vid	25.53
2	Olivo	0.85
3	Algarrobo	5.00
4	Cilantro	37.05
5	Cítricos	24.59
6	Tomate	161.25
7	Frutales	18.75
8	Florales	11.83
9	Alfalfa achicalada	11.34
10	Rabanitos	42.93
11	Ejote	2.81
12	Pepino	35.04
13	Elaboración de bebidas alcohólicas	53.46
14	Hospedaje	323.78
15	Restaurantes de comida corrida	1,094.35
16	Restaurantes	1,581.96
17	Restaurantes de antojitos	1,475.05
18	Restaurantes de tacos y tortas	1,385.87
19	Cafeterías / fuentes de soda	1,370.16
20	Restaurantes de pizza	1,586.42
21	Restaurantes otros	1,038.34
22	Comercio y servicios profesionales	284.09
23	Doméstico	0.00
24	Público urbano	0.00

Nota: Los usos del agua en hogares y gobierno no generan valor agregado.

Tabla 11. Precio sombra del agua en Valle de Guadalupe por escenario de disponibilidad.

Escenarios	Restricción de agua Mm3	Precio sombra (pesos/m3)
Actualidad	26.4	0.84
Recarga media anual	25.4	0.84
Cambio climático	17.4	25.52

Otro resultado importante es que los precios sombra poseen un rango o umbral de asignación del recurso en el cual la restricción del modelo puede variar sin provocar un cambio en los valores óptimos de los precios estimados, los cuales se observan en la Tabla 12. La disponibilidad hídrica supuesta en el escenario actual y en el escenario de recarga media anual se encuentran integrados dentro de los rangos del precio sombra de \$0.84, motivo por el cual no se muestran diferencias entre sus valoraciones.

Tabla 12. Umbrales óptimos del recurso agua en el Valle de Guadalupe para el precio sombra estimado por escenario propuesto.

Escenario	Precio sombra (pesos/m3)	Límite superior (m3)	Límite inferior (m3)
Actualidad / Recarga media anual	0.84	28,264,402	23,179,601
Cambio climático	25.52	23,179,602	7,647,822

Para el resto de las restricciones, se calculó el promedio los precios sombra por sector en cada escenario propuesto como se muestra en la Ilustración 14. Los promedios de precio sombra sectoriales presentan una tendencia decreciente al restringir el recurso hídrico disponible ya que cada vez que disminuya la disponibilidad del recurso agua, la cantidad de metros cúbicos asignada a cada actividad será menor. En general para todos los sectores, el escenario actual y el escenario de recarga media anual no muestran cambios significativos comparados con las variaciones resultantes en el escenario de cambio climático. Por otro lado, la evidencia muestra que el sector turismo y servicios es el de mayor productividad. A pesar de que el sector público-urbano no genera valor agregado, el modelo le asigna un monto para optimizar la asignación del recurso.

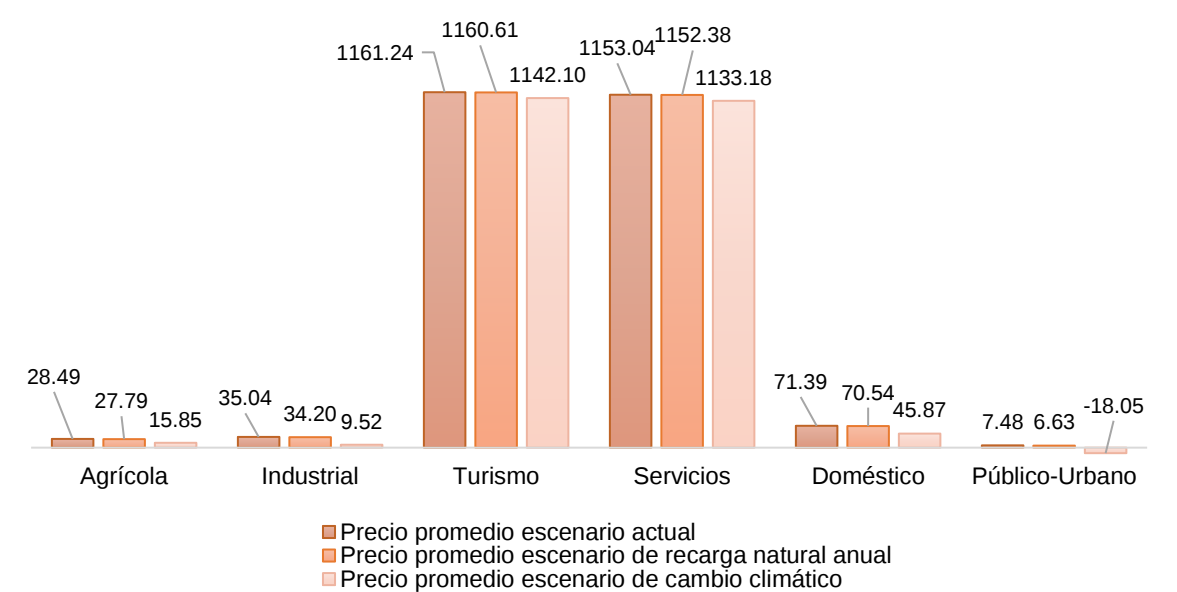


Ilustración 14. Precios sombra promedio en pesos por m³ de agua por sector económico y escenario de disponibilidad hídrica.

5.4.1 Agricultura

Vid y olivo

Los cultivos más representativos de Valle de Guadalupe son la vid y el olivo; por ende, son los que consumen la mayor cantidad de agua. En la Ilustración 15 se puede observar que, para el cultivo de uvas, la disminución en el agua disponible para su riego sucederá sólo en el escenario de cambio climático. Por el contrario, los olivos sufrirán de una restricción mayor al 50% en la primera reducción proyectada de la disponibilidad hídrica actual contra la estimada de recarga media anual, para después eliminar definitivamente la asignación de agua a este cultivo en el escenario de cambio climático. Es decir, el cultivo de aceituna es la actividad más sensible en modelo ante un escenario de menor disponibilidad hídrica.

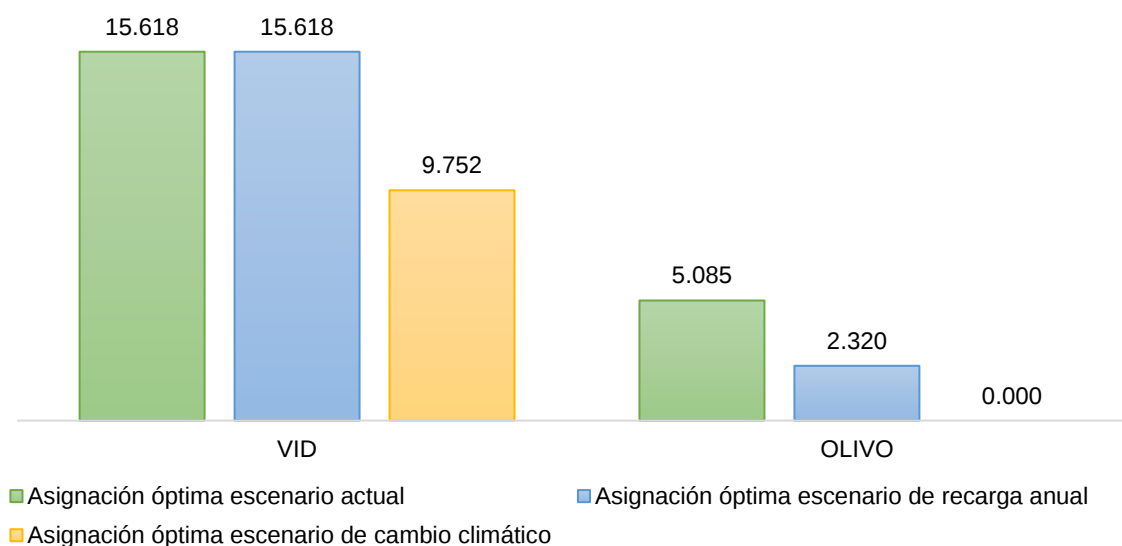


Ilustración 15. Distribución de agua en Mm³ para los principales cultivos agrícolas en Valle de Guadalupe por escenario de disponibilidad hídrica.

En la Ilustración 16, es posible apreciar que el precio sombra del agua que optimiza el valor agregado a la producción de olivo es de 0.85/ m³, motivo por el cual no soporta los cambios en el precio sombra estimado para la disponibilidad hídrica del recurso, caso opuesto al de la vid, que aún presenta niveles óptimos de precio sombra en el escenario de recarga media anual. Sin embargo, la disminución abrupta de la disponibilidad hídrica planteada en el escenario de cambio climático no permite la asignación de un nuevo precio, por lo que, en el modelo, la actividad pierde su rentabilidad económica.

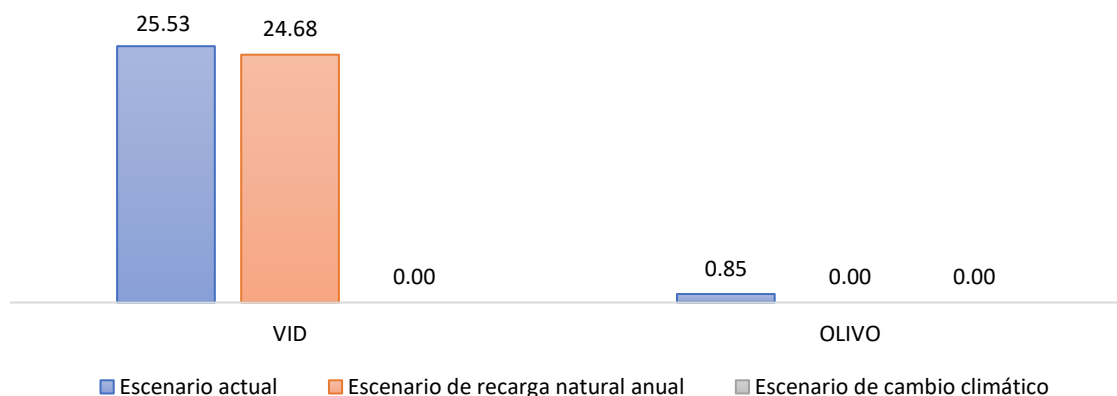


Ilustración 16. Precio sombra estimado en pesos por m³ de agua en los principales cultivos de Valle de Guadalupe por escenario de disponibilidad hídrica.

Otros cultivos

Para el resto de los productos agrícolas, los cuales no demandan más de 500,000m³ de agua por cultivo, se presentan situaciones similares. En la Ilustración 17, la decena de productos restantes de la actividad primaria no muestran variaciones significativas entre la distribución de agua actual y la restricción de recarga media anual. Sin embargo, de presentarse reducciones en la temporada de lluvias, el modelo estima que los únicos cultivos viables serán los de cilantro, tomate, rábano y pepino.

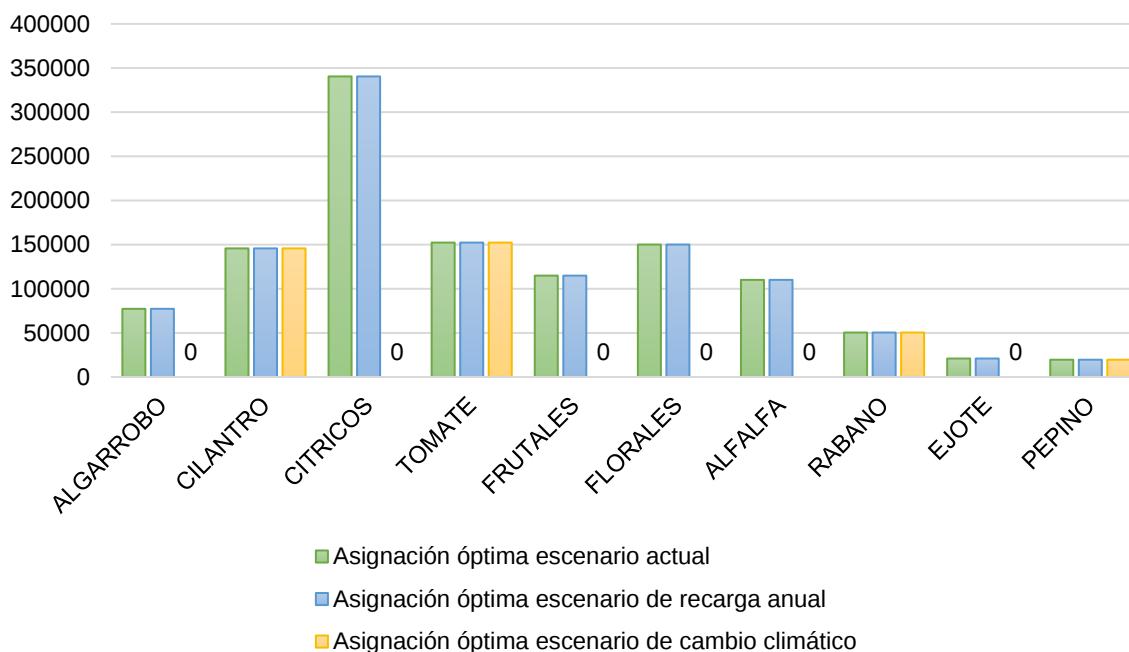


Ilustración 17. Distribución de agua en m³ para otros cultivos agrícolas en Valle de Guadalupe por escenario de disponibilidad hídrica.

En cuanto a la estimación de precio sombra, en la Ilustración 18 se observa que las variaciones entre el escenario actual y el escenario de recarga media anual no son significativas, además de que existe correspondencia entre la asignación de agua para el escenario de cambio climático y la estimación de su valor: al no existir una asignación del recurso agua, la actividad pierde rentabilidad.

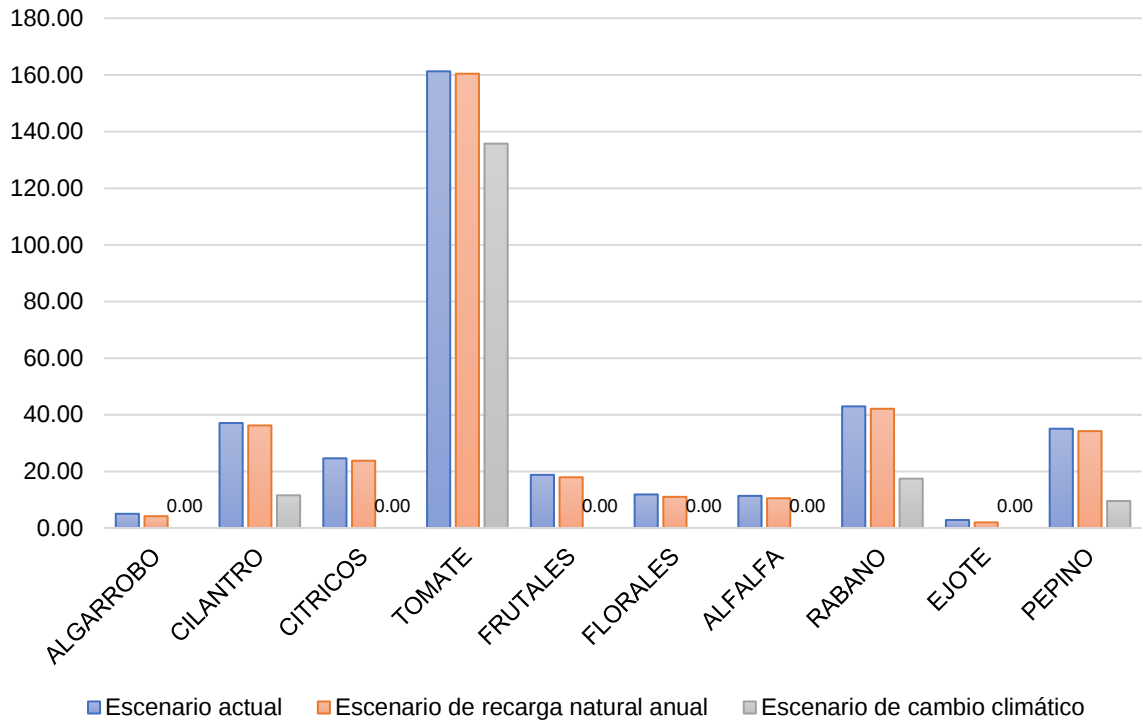


Ilustración 18. Precio sombra estimado en pesos por m³ de agua para otros cultivos de Valle de Guadalupe por escenario de disponibilidad hídrica.

5.4.2 Industria

La única actividad considerada en este sector fue la elaboración de bebidas alcohólicas la cual no presenta variaciones ante la reducción de agua en los tres escenarios planteados en este estudio. Desde el escenario actual, se estima que la actividad tendrá a su disposición 258, 287 m³ de agua proveniente del acuífero Guadalupe con precios sombra oscilantes entre los \$35.04/m³ a los \$9.52/m³ como se observó en la Ilustración 14.

5.4.3 Turismo y servicios

En las actividades turísticas y de servicios ocurre una situación similar en cuanto a las asignaciones de agua se refiere, ya que el modelo no presenta variaciones en la cantidad de agua suministrada a dichas actividades y las cuales se muestran en la Tabla 13. A

primera vista, las actividades de comercio y servicios profesionales parecieran ser las mayores beneficiadas en cuanto al reparto de agua, sin embargo, es necesario recalcar que dicha variable ha sido manejada como sectorial debido a la agregación de todas las actividades de pequeños locales comerciales (abarrotes, farmacias, talleres, etcétera).

Tabla 13. Asignación de agua óptima para las actividades de turismo y servicios en Valle de Guadalupe para todos los escenarios de disponibilidad hídrica propuestos.

Actividad económica	m³
Hospedaje	26,154
Restaurantes de comida corrida	1,322
Restaurantes	187
Restaurantes de antojitos	350
Restaurantes de tacos y tortas	311
Cafeterías / fuentes de soda	417
Restaurantes de pizza	738
Restaurantes otros	154
Comercio y servicios profesionales	911,036

En cuanto a la estimación de precio sombra, en la Ilustración 19 se muestra que la diferencia entre los montos es mínima. El que restringir el acceso al agua del escenario actual para sólo utilizar la disponible por la recarga del manto freático es mínima. El cambio relativamente mayor ocurre cuando sólo se dispone de la cantidad de 17.4 Mm³ en el escenario proyectado de cambio climático. Es decir, que a pesar de que la cantidad de agua asignada a estas actividades sea la misma en los tres escenarios, el beneficio marginal por metro cúbico de agua disminuirá en escenarios de escasez.

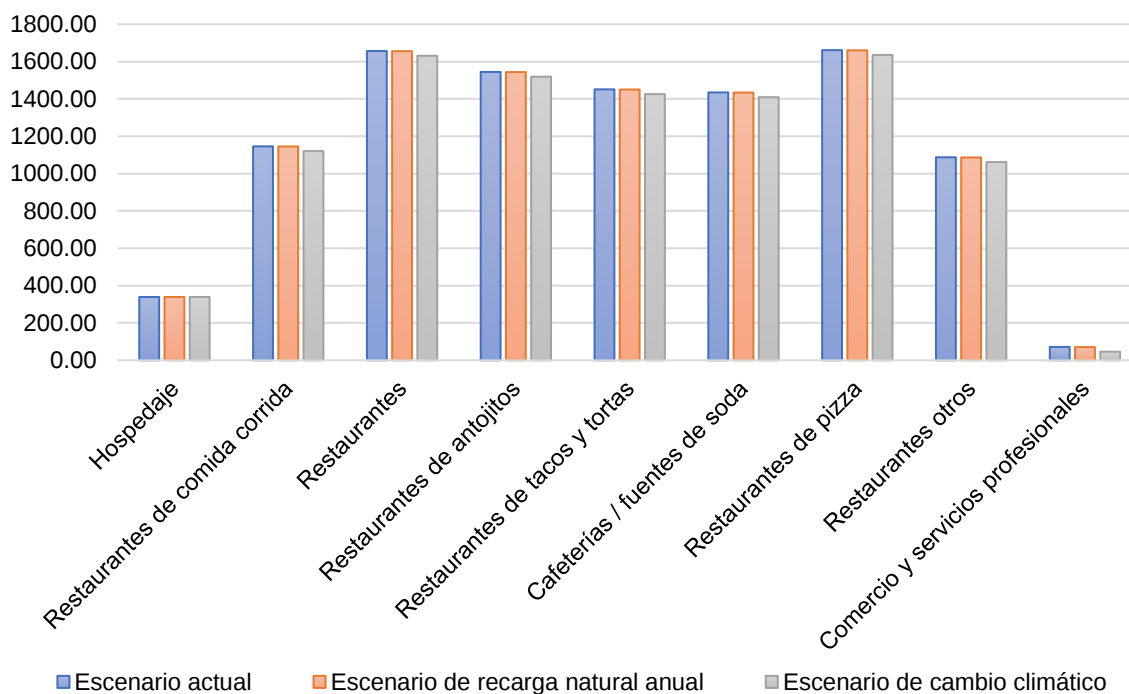


Ilustración 19. Precio sombra estimado en pesos por m³ de agua en actividades turísticas y de servicios en Valle de Guadalupe por escenario de disponibilidad hídrica.

5.4.4 Uso doméstico y público-urbano.

En las restricciones del modelo se indicó que la disponibilidad de agua se mantendría constante para el uso doméstico y público urbano con el fin de asegurar el abastecimiento de estas necesidades hídricas como prioritarias en la economía del Valle de Guadalupe, respondiendo a los lineamientos y principios del proceso de planeación territorial urbana marcados en la literatura consultada (SEDATU, 2017a) para cada uno de los tres escenarios planteados, mostrando variaciones en el precio sombra como se observó líneas arriba en la Ilustración 14.

Los precios estimados para dichos sectores se interpretan como las variaciones que el precio sombra del servicio ecosistémico tendría al variar en una unidad la asignación de agua en cada uno de los escenarios. Es decir, por cada metro cúbico de agua que se le asigne al uso doméstico en un escenario de cambio climático (por poner un ejemplo) el precio del servicio ecosistémico aumentaría en 45.87 pesos/m³, mientras que en el caso del sector público urbano, el incrementar en una unidad el volumen de agua asignado a este uso en el mismo escenario de cambio climático, se estima que disminuirá en 18.05 pesos/m³ el precio del servicio ecosistémico.

En general, los cambios en el precio de estos sectores son mínimos comparando los escenarios de asignación actual y recarga media anual, mientras que en el escenario de cambio climático ocurren caídas abruptas en el precio por metro cúbico de agua. Lo más interesante de estos valores es que para mantener constante el precio estimado de agua disponible en el escenario de cambio de cambio climático, debería considerarse la reducción en la asignación de agua destinada a cubrir estas necesidades.

VI. DISCUSIONES

6.1. Servicios ecosistémicos en Valle de Guadalupe

Al realizar la revisión documental para la identificación de los servicios ecosistémicos que se reconocen en materia de planeación e investigación para la cuenca de Guadalupe, se detectaron 19 servicios ecosistémicos. En ambas perspectivas, se presenta un fuerte sesgo de reconocimiento por destacar y estudiar los servicios de provisión como lo son las condiciones de cultivo presentes en la zona, seguido de la obtención de agua en el acuífero. Por otra parte, los planes, programas y proyectos revisados resaltan a la minería por el aprovechamiento de arena en el arroyo Guadalupe, los servicios de hábitat a diversas especies de flora y fauna, así como el potencial turístico que el paisaje provee. Algunos servicios ecosistémicos que no han sido abordados en la literatura consultada y podrían ser potenciales de estudio en el Valle son el tratamiento de desechos y su eliminación, la polinización, el control biológico y la protección de germoplasma. Estos resultados concuerdan con Galán y colaboradores (2012) quienes comentan que los servicios de provisión de un ecosistema son los más reconocibles debido a su importancia para sustentar la vida y las actividades socioeconómicas desarrolladas sobre el territorio en estudio.

Sánchez-Brito y colaboradores (2013) consideran que los servicios hidrológicos son la base para el funcionamiento de los demás servicios en el ecosistema, siendo que los instrumentos de manejo enfocarán sus esfuerzos en gestionar la demanda de agua para que su uso sea eficiente, racional y productivo. Para esta investigación en el Valle de Guadalupe, la provisión de agua subterránea proveniente del acuífero es considerado como el servicio ecosistémico más importante ya que sustenta la actividad agrícola, la cual funge como motor para el resto de las actividades económicas y el desarrollo de sus comunidades; sin embargo, se considera que también es uno de los servicios con mayor potencial de sustitución o de convertirse en servicio ambiental con el aprovechamiento de otros cuerpos de agua en la misma subcuenca o cuenca mediante la inversión en infraestructura hidráulica para suministrar agua donde se necesite o mejorando las prácticas de aprovechamiento del recurso haciendo uso de nuevas tecnologías e innovaciones para su uso eficiente en las actividades que lo requieran.

Costanza y colaboradores (2017) realizan una fuerte crítica al hecho de que el reconocimiento y estudio de estos servicios -en todos los ecosistemas- no ha generado grandes cambios en la visión para el manejo de los ecosistemas en políticas públicas. Sin

embargo, diversos autores (Galán et al., 2012; CONANP, 2015; Farreras, 2014; Becerra-Pérez et al., 2006; Liqueste et al., 2012; Perevochtchikova et al., 2003) reconocen que esto se debe a la falta de un vínculo efectivo entre los generadores de información y los actores en las esferas de decisión; la incompatibilidad entre los datos disponibles y la falta de información necesaria para el planeamiento de directrices y acciones ha resultado en un conjunto de políticas fallidas, así como el progresivo deterioro del ecosistema en cuestión.

Para el caso de Valle de Guadalupe, ésta situación se comprueba con el trabajo presentado por Arámburo y colaboradores (2016) donde concluyen que para la integración de los programas de ordenamiento vigentes en el valle se han realizado estudios para describir la realidad social, económica y ambiental de la zona, pero el incumplimiento de los lineamientos estipulados en dichos instrumentos así como la falta de un ente que coordine y compruebe su efectiva aplicación, han resultado desfavorables para el desarrollo de la región.

Aunque no fue uno de los objetivos de esta investigación, se considera también importante el estudio de los servicios ecosistémicos detectados para determinar su calidad y desempeño ambiental, así como las externalidades que su degradación y conservación para incrementar la comprensión del territorio y la visión prospectiva con la que cuentan los actores y tomadores de decisiones.

6.2. Realidad hídrica del Valle de Guadalupe

El número de estudios en el valle que brindan una panorámica integral sobre la situación del recurso agua es escaso (por ejemplo, Armenta 2015; Leyva & Espejel, 2013, 2017). La abundancia relativa de información se encuentra en investigaciones disciplinarias sobre el funcionamiento ambiental de la cuenca, además de estudios sectoriales destacando el sector vitivinícola desde la perspectiva económica y social.

En los resultados de este trabajo fue posible describir la demanda de agua de las actividades socioeconómicas seleccionadas encontrando situaciones interesantes. Por un lado, se ha registrado evidencia de la falta de información a detalle en la zona sobre el consumo de agua para todos sectores para el área de estudio, por lo que se tuvo que recurrir a fuentes de información con detalle de nivel nacional, estatal o en su mejor caso municipal, bajo el supuesto de que los datos referidos a todo el municipio de Ensenada son aplicables en las particularidades de Valle de Guadalupe. Un ejemplo de esta situación son

las láminas de riego, las cuales implican la inundación del terreno de cultivo, siendo que en el valle el riego de los productos agrícolas es por goteo.

Para el sector agrícola, en la Tabla 5 se muestra que la mayor cantidad de hectáreas se destina a la producción de vid y olivo, mientras que la producción de ejotes y pepinos ocupan el mínimo de tierras. En cuanto al consumo de agua de cada plantío, el INIFAP (2008) establece que la producción de flores y de alfalfa achicalada demandan más de 10,000m³ por hectárea al año, dato que comparado con las necesidades de agua en la producción de uva, aceituna y algarrobo se considera como derroche. Los principales cultivos del valle también son los que ocupan la mayor cantidad de trabajadores, además de que la actividad vitícola genera más de 200 millones de pesos al año en valor agregado, seguido de la producción de tomate cuyo valor agregado se estima en 24 millones de pesos al año. La sumatoria del volumen de consumo hídrico para todos los cultivos considerados en el estudio es de 21.8 Mm³, valor que se aproxima a los volúmenes de extracción autorizados por los títulos concesionarios registrados en el REPDA y los cuales fueron presentados en la Tabla 1.

Después de los recorridos en campo y en con la información brindada por SEDAGRO, se determinó que la ganaerdía existe como actividad extensiva y tradicional desde la formación de los ejidos en la zona, al igual que la producción lechera y cárnica como ya lo comentan Leyva & Espejel (2013, 2017). La cantidad de agua autorizada para su aprovechamiento en estas actividades representa sólo el 0.03% del volumen hídrico concesionado en el acuífero, repartido en 15 títulos de extracción en pozo. La baja representatividad de este sector en la economía del Valle repercute en la poca información disponible para el polígono de la cuenca Guadalupe. Los vacíos de información no permitieron determinar su demanda hídrica real; la búsqueda de datos resultó en conteos de ganado desactualizados, información sobre el valor de la producción agregada a nivel municipal o estatal, así como la no respuesta de los representantes del gremio sectorial.

En cuanto a la actividad industrial definida por la producción de vino y aceite de oliva ocurrió una situación similar. La información disponible para las almazaras existentes en el valle se encuentra desactualizada, teniendo el *Estudio estadístico y geográfico del olivo en Baja California* (SEDAGRO, 2011a) como el más reciente y sin describir a mucho detalle la dinámica de esta actividad en Valle de Guadalupe. La información descriptiva del proceso productivo de las almazaras se obtuvo mediante estudios técnicos en la instalación de empresas dedicadas a esta actividad, mostrando que dicha industria es considerada de alto

consumo hídrico, demandando entre 10-30 litros de agua por cada 20 litros de aceite. Sin embargo, al no saber el volumen de producción ni el valor agregado de la actividad, no fue posible estimar la demanda del sector referido únicamente al valle. Por otro lado, la información disponible para la producción de bebidas alcohólicas fue extraída de la base de datos del DENUe estableciendo que dicha actividad demanda en 24 unidades económicas establecidas de manera formal aproximadamente 258, 287 m³ de agua al año.

Para el sector turismo, en la Tabla 8 se muestra que las unidades económicas dedicadas al hospedaje poseen el mayor consumo de agua estimado. Este resultado es fácil de ser mal interpretado si se compara con la demanda que el agregado en comercio y servicios profesionales, actividad que consume casi el millón de metros cúbicos de agua al año con más de 26,000 empleados; sin embargo, es necesario recordar que este registro incluye más de 40 tipos de actividades económicas en las que, de manera individual, su consumo hídrico no posee la misma magnitud que el resto de las actividades consideradas en el sector. Los establecimientos dedicados a la venta de alimentos son los más productivos en el sector turístico, específicamente los registrados como preparación y venta de comida corrida y de elaboración de pizza, cuyo valor agregado referido al 2017 se estima por arriba del millón de pesos al año.

Para el sector de usuarios domésticos y público-urbano, en la Tabla 9 se muestra la diferencia entre el número de concesiones para cada uso. Mientras que el sector público urbano posee la autorización de más de seis millones de metros cúbicos de agua proveniente del acuífero Guadalupe mediante 13 títulos concesionarios, los 84 usuarios domésticos que poseen acceso al mismo cuerpo de agua se reparten sólo 40, 000 m³, considerando que de acuerdo con la *Ley Federal de Derechos en materia de aguas nacionales* se establece que el cobro por la emisión de ambos tipos de título concesionario es el mismo.

En este mismo sector, la falta de información respecto al abastecimiento de agua por medio de pipas y del número de tomas conectadas al servicio proporcionado por el CESPE o por los *Comités de Uso Público Urbano* de cada localidad es preocupante debido a que no existe manera de saber si las necesidades de líquido vital en la población residente en el valle están siendo atendidas y de qué manera por las autoridades correspondientes, ya que, de no ser así, tampoco es posible estimar las externalidades que las personas deben pagar por esta situación.

6.3. Escenarios de disponibilidad hídrica

Los escenarios propuestos disponibilidad en el acuífero Guadalupe son un vistazo a los múltiples futuros que la cuenca puede presentar en cuanto a flujo del recurso agua. Sin embargo, estos cálculos siguen siendo estimaciones conocidas como “agua de papel” por lo que no se cuenta con información real sobre el volumen de recarga, extracción y disponibilidad real de agua en el acuífero; además de que no consideran situaciones de abundancia hídrica ya sea por fenómenos meteorológicos que causen el incremento extraordinario de precipitaciones o por la asimilación de un nuevo volumen de agua proveniente de descargas con diferente origen los de la cuenca. El escenario actual carece de información disponible para validar el consumo pecuario y de diferentes usos, por lo que no integrarlo en la perspectiva sesga la información a considerar; sin embargo, esto se determinó como pertinente debido al criterio de utilizar sólo información oficial.

6.4. Precio sombra del agua

A pesar de que la metodología usada para el modelo matemático parte del supuesto que la situación hídrica de Valle de Guadalupe presenta condiciones de linealidad y deja fuera todas aquellas situaciones que no han sido especificadas como pudieran ser la inversión de capital, mejoramiento en eficiencia hídrica, etcétera; el uso de la programación lineal permite comprar soluciones alternativas y analizar sus consecuencias, mostrando información suficiente para realizar combinaciones eficientes en la asignación de agua, permite la objetividad y la toma de decisiones basándose en datos duros con información conocida presentando versatilidad al poder incrementar o disminuir las especificaciones del modelo de acuerdo con la información que el tomador de decisiones tenga disponible.

El definir como medida monetaria el valor agregado censal bruto en lugar de la producción bruta total de las actividades económicas fue el resultado de basar el modelo propuesto en el desarrollado por el IMIP-ENS, además de que este valor excluye las variaciones en el consumo intermedio que caracterizan las diferencias en cada actividad en los sectores económicos considerados en el modelo, por lo que no se considera la cadena de valor que cada industria podría asignar al recurso agua como lo hace el trabajo de González y Fuentes (2013) quienes utilizan la metodología de matriz insumo-producto para la región vitivinícola de Baja California.

Respecto a los coeficientes de valor marginal del agua (a_n) referidos al año 2017, el valor de un metro cúbico de agua utilizado para el riego de tomate es mucho mayor (161.25

pesos/m³) que si se utiliza para regar cultivos de olivo (0.85 pesos/m³) o incluso que otro tipo de actividades, como lo es la elaboración de vinos, cuyo uso brinda a la misma unidad de agua un valor de 53. 46 pesos/m³. Por otro lado, el sector restauranero del valle determina los valores más altos a cada unidad de agua utilizada en la preparación de alimentos, siendo que todos los coeficientes estimados se encuentran por encima de los 1,000 pesos/m³, situación que explica las fuertes motivaciones por el sector turístico por modificar la vocación agrícola del valle mediante un ordenamiento urbano-turístico de la región (Leyva & Espejel, 2017) partiendo de la idea en que el turismo genera una derrama económica mayor comparada con la producción agrícola, idea la cual no es del todo cierta.

Meraz (2014) describe en su tesis de doctorado que las características de herencia cultural, social, y patrimonial; el tener elementos de que aseguren la calidad en el consumo de productos regionales y característicos de la cultura vitivinícola; las experiencias recreativas entre otras particularidades que ofrecen los valles vitivinícolas de México son las ventajas competitivas que mantiene el interés y flujo de visitantes en estas regiones. A lo largo de todo su trabajo, Meraz repetidamente destaca la conservación del paisaje agrícola y rural que caracterizan las regiones vitivinícolas y sin las cuáles el clúster turístico del vino no existiría. Desde esta perspectiva, el priorizar la asignación del agua en actividades terciarias como las actividades comerciales, turísticas y de servicios, sería iniciar la cuenta regresiva para acabar con las características del ecosistema existentes en Valle de Guadalupe, provocando su degradación y merma en la generación de ganancias.

Los resultados del precio sombra para la primera restricción del modelo de programación lineal determina que el valor del agua disponible para el escenario actual y el escenario de recarga media anual es de 0.84 pesos/m³ entendido como el costo que implica la utilización del agua proveniente del acuífero Guadalupe. Al disminuir la cantidad de agua en una situación de cambio climático, se estima que dicho costo se elevará en casi 3,000%, lo que implica que las ganancias generadas por usar este recurso en situación de escasez crítica disminuirán el beneficio obtenido en el valor de la producción de las actividades económicas, además de reducir el bienestar de los usuarios domésticos y del uso público-urbano.

La Tabla 12 muestra los umbrales óptimos de disponibilidad hídrica para mantener el precio del agua bajo el supuesto de que la demanda de agua en el contexto del valle se mantuviera constante, ya que de lo contrario, al modificarse los escenarios de necesidades y consumo hídrico, el precio estimado para el servicio ecosistémico cambiará. Esta situación

consistente con el principio de escasez de la teoría económica, el cual establece que, al incrementar el valor de uso de un recurso este se volverá más escaso, por lo que su precio incrementará. Por el contrario, estos umbrales también expresan que, a mayor disponibilidad hídrica, el precio del recurso tenderá a reducirse, como se observa al cambiar de escenario de cambio climático por otro como el de la recarga media anual, donde el precio tiende a cero.

Para el caso del sector agrícola, el promedio del precio sombra del agua destinado a los 12 cultivos se mantiene entre los 29 y los 27 pesos/m³ para el escenario de demanda actual y el restringido a la recarga media anual. Sin embargo, en situación de cambio climático, este precio cae en casi el 50% de su valor, lo que implica que el beneficio que se obtiene actualmente de las actividades agrícolas se desplomaría de igual manera en la estructura del modelo planteado.

Una caída más abrupta es la que ocurre en el sector industrial definido por la elaboración de vino, donde para los escenarios de oferta hídrica actual y de recarga media anual el valor supera los 30 pesos/m³, y al reducir la cantidad de agua disponible en el acuífero, su valor desciende a 9.52 pesos/m³.

Para el sector turismo y de servicios, las variaciones en la cantidad de agua no generan cambios abruptos en el precio promedio del agua ya que, para los tres escenarios propuestos, su valor se mantiene por arriba de los \$1,100 pesos/m³. Esta situación es considerada como grave debido a que las actividades terciarias no reflejan la importancia del recurso agua durante sus procesos.

En el caso del precio sombra estimado para los usuarios domésticos, debido a que la asignación de agua se mantuvo como constante a lo largo del ejercicio de valoración y en realidad no genera algún beneficio monetario, su valor estimado se considera como un costo que el resto de las actividades deben cubrir para mantener el precio del servicio que brinda el acuífero de provisión de agua a estos usuarios. Es decir, en la situación actual de extracción de agua, el valor de cada metro cúbico asignado a los hogares es de 71.39 pesos, reduciéndose a 70.54 pesos/m³ si sólo se contara con el agua disponible de la recarga media anual, o este precio se reduciría a 45.87 pesos/m³ en escenario de cambio climático.

Para el agua destinada al servicio público-urbano ocurre un fenómeno similar, donde el precio sombra estimado en la actualidad es de 7.48 pesos/m³ y al reducir la disponibilidad

de agua a la recarga media anual su valor desciende a 6.63 pesos/m³. Para la situación de cambio climático, el modelo arroja un precio sombra negativo de -18.05 pesos/m³ el cual es considerado como una pérdida de valor en el precio del servicio ecosistémico y el cual representa que por cada m³ que incremente la asignación de agua en este tipo de uso el precio del agua estimado disminuirá en esa cantidad y viceversa.

Observando los resultados de manera desagregada, el sector agrícola presenta diferencias importantes entre las cantidades de agua óptimas asignadas a cada cultivo. En la Ilustración 15 se muestra que el volumen de agua asignado en el escenario actual a los cultivos de vid y olivo supera los 20 Mm³; en situación de recarga media anual, la cantidad de agua asignada a ambos cultivos se reduce a poco menos de 18 Mm³; y finalmente, en situación de cambio climático el modelo estima que la asignación óptima de agua al cultivo de vid es de 9.752 Mm³, mientras que la producción de olivo se verá eliminada del sector. En cuanto los precios sombra estimados para cada cultivo, en la Ilustración 16 es notable como el valor asignado al mismo recurso presenta grandes diferencias por el tipo de producto agrícola que se cultiva. En la producción de uva, el precio sombra estimado en el escenario actual es de 25.53 pesos/m³; mientras que para el escenario de recarga media anual se reduce a 24.68 pesos/m³. Esta reducción corresponde a los 0.84 pesos/m³ que se estimaron para el agua como servicio ecosistémico presentado en los resultados, por lo que se demuestra que, aunque de un escenario de disponibilidad hídrica a otro no exista diferencia en el precio sombra del agua proveniente del acuífero, sí existen variaciones en el valor estimado para las actividades en el que este recurso se utiliza. Esta situación se repite para el escenario de cambio climático, donde el precio sombra del servicio ecosistémico se estima en 25.52 pesos/m³, el precio para la misma cantidad de agua se vuelve cero, es decir, la producción de variedades de uva no será rentable por unidad de agua consumida, situación que también ocurre para el olivo y el resto de los cultivos en el valle. A pesar de que en la Ilustración 17 y en la Ilustración 18 se demuestra que en los escenarios de poca disponibilidad hídrica el uso del agua debería priorizarse a la producción de cilantro, tomate, rábano y pepino para lograr la optimización planteada en el modelo; la vocación agrícola del Valle de Guadalupe es vitivinícola como lo menciona Meraz (2014), Leyva & Espejel (2013, 2017). La producción de variedades de uva para elaboración de vinos y todo el clúster económico que esta actividad desarrolla brinda elementos suficientes para continuar con la producción de vides en lugar de vegetales, a diferencia de otros valles agrícolas en el estado como lo son San Quintín y el Valle de Mexicali, enfocados a la producción hortícola.

Las actividades industriales, turísticas y de servicios en el valle presentan el mismo fenómeno en cuanto a las variaciones el precio sombra a nivel de rama económica en los escenarios propuestos. A pesar de que las asignaciones del recurso hídrico en estos sectores se mantengan constantes para los tres escenarios, el precio del agua en dichas actividades sufre las mismas variaciones que los cultivos agrícolas al reducir el precio por m³ en la misma magnitud que se incrementa el precio estimado para el servicio ecosistémico; sin embargo, estos cambios no modifican la rentabilidad de las actividades debido a que el valor agregado generado por el uso del agua en la industria, turismo y servicios supera por mucho el precio sombra del recurso agua.

En cuanto a la asignación de agua para uso doméstico y público-urbano del agua, esta se determinó constante debido a que en la literatura consultada (WWAP, 2012; UN, 2012; SEDATU, 2017a) se consideran estos usos como prioritarios en los ejercicios de valoración económica y planeación. El no considerar el abastecimiento de las necesidades hídricas del sector público urbano y doméstico por su condición no generadora de valor agregado, sería subvaluar el verdadero precio e importancia que el servicio de provisión representa en la zona de estudio.

En la Ilustración 14 se demuestra que si el acuífero Guadalupe redujera los niveles de disponibilidad hídrica para extraer agua del manto freático, las consecuencias se reflejarían en la pérdida de valor en precio; sin embargo se desconocen los verdaderos efectos sociales que dicha situación pudieran desencadenar en la población que cubre sus necesidades de agua mediante la explotación de dicha fuente.

Estos resultados indican el valor que el servicio ecosistémico de provisión de agua tiene para la dinámica económica del Valle de Guadalupe y la importancia de su adecuada gestión para mantener y mejorar las condiciones del ecosistema. Sin embargo, es importante considerar que éste es sólo el valor de uno de los 19 servicios reconocidos en la cuenca, por lo que el estimar el precio del resto de ellos incrementará el valor total del ecosistema.

En general, la estimación del precio sombra de un recurso natural no implica que este valor se convierta en una tarifa de cobro por parte de las autoridades a quienes corresponde su manejo; en el caso del agua, este precio elimina los vacíos de información que existen por tratarse de un bien cuasi-público, por lo que nos encontramos a un paso más cerca de la asignación eficiente del escaso líquido vital.

VII. CONCLUSIONES

Existen 19 servicios ecosistémicos reconocidos entre la literatura académica, así como en los instrumentos de planeación implementados en el Valle de Guadalupe lo cual refiere el interés por describir los factores ambientales de la cuenca, aunque esto no significa la integración la perspectiva ecosistémica en la creación y aplicación de dichos instrumentos.

No existen suficientes datos oficiales disponibles para realizar balances de oferta y demanda de agua proveniente del acuífero. La información oficial agregada a nivel municipio dificulta extraer las particularidades de Valle de Guadalupe, las cuales se lograron describir como diversas en sus intensidades de consumo hídrico, así como en la magnitud del valor agregado que generan, por lo que los datos obtenidos en campo son los más cercanos a la realidad.

El modelo de programación lineal propuesto refleja correspondencia con la situación real del valle, sin embargo, su característica linealidad entre la demanda y el consumo de agua omite los matices externos a los factores considerados en la problemática en la zona de estudio. En términos de su contribución al valor agregado, el modelo estima que la contribución marginal (precio sombra) de cada metro cúbico de agua es de alrededor de 0.84 pesos/ m³ para los escenarios actual y de recarga media y de 25.52 pesos/ m³ para el escenario de cambio climático, lo cual sugiere que si no se implementan medidas adecuadas de mitigación la reducción en la disponibilidad natural de agua representa un gran impacto potencial en el valor de la producción en el valle.

En situación de crisis hídrica, cambiar asignación de agua hacia las actividades más rentables para la economía del Valle podrían repercutir en efectos negativos para el crecimiento y desarrollo de este ya que, al modificar la asignación del agua hacia las actividades turísticas, el clúster vitivinícola y sus encadenamientos decaerían al igual que toda la estructura económica y turística del valle.

Para evitar dicho escenario, este estudio aporta de nuevos elementos para la gestión de oferta y demanda de los recursos hídricos; adaptación a fenómenos hidrometeorológicos extremos; vinculación entre la disponibilidad del agua y su uso; así como la asignación eficiente del recurso, lo cual se respalda en los propuesto por los *Objetivos del Desarrollo del Milenio* y los propósitos del *Sistema de Contabilidad Ambiental y Económica para el Agua*.

En materia de planeación, los resultados apoyan la elaboración y futura actualización de los Programas Municipales de Desarrollo Urbano de la región brindando información para los lineamientos territoriales sobre el reconocimiento del sistema hidrológico de la micro cuenca y sus servicios como límite ambiental; priorizar el sistema agrícola enfocado a la viticultura como motor económico en la región; encaminar esfuerzos para la protección del servicio ecosistémico de provisión de agua y conocer los posibles riesgos económicos en caso de siniestros climatológicos, como podría ser una situación de sequía extrema.

Entre las tareas faltantes que complementarían este estudio y las futuras líneas de investigación, se propone realizar una priorización de todos los servicios ecosistémicos detectados bajo el criterio de utilidad para el desarrollo y crecimiento económico del valle; definir las interrelaciones de dichos servicios a nivel ecológico para definir los servicios clave que caracterizan el ecosistema; realizar mapeos referentes a las zonas prioritarias de conservación y restauración de servicios ecosistémicos para maximizar sus beneficios; elaborar y ejecutar un proceso de evaluación de eficiencia en el uso de los recursos naturales a los proyectos existentes en el territorio con el fin de motivar a la innovación y desarrollo en tecnologías para mejorar su aprovechamiento; evaluar de manera crítica la implementación de nuevos proyectos y sus afectaciones a las condiciones actuales del ecosistema para evitar un aceleramiento en la degradación o modificación en las características del valle; y finalmente, diversificar el abanico de actividades económicas para invertir en aquellas que respeten la identidad cultural de la región y la oferta de recursos por parte del medio ambiente.

VIII. REFERENCIAS

- Arámburo, G., Espejel, I., García, A., Martínez, C., Peña S., C. A. & Reyes, O., M. (2016). *Análisis de los instrumentos referentes al Ordenamiento del Desarrollo Sustentable de la Región Del Vino de la Zona del Valle De Guadalupe en el norte de Ensenada*, Baja California. Documento de trabajo. SEDARGO, UABC.
- Armenta, P, F. (2015). *Diagnóstico integral del acuífero Guadalupe y recomendaciones para la implementación de reglas operativas de apropiación*. Tesis de Especialidad, UABC.
- Azqueta, D., Alviar, M., Domínguez, L., & O’Ryan, R. (2007). *Introducción a la Economía Ambiental*.
- Baptista, F., Murcho, D. & Silva, L.L (2014). *Manual de eficiencia energética en Almazaras*. TESLA Project, UE. Disponible en: <http://teslaproject.chil.me/download-doc/63909>
- Becerra P. M., Sáinz S. J., Muñoz P. C. (2006) Los conflictos por agua en México. *Diagnóstico y análisis Gestión y Política Pública*, (XV)1 pp. 111-143
- Boirivant, A. J. (2009). La programación lineal aplicación de la pequeñas y medianas empresas. *Reflexiones* 88(1): 89-105.
- Comisión Estatal del Agua de Baja California (2016). *Indicadores de Gestión. Informe junio 2016*. Disponible en www.ceabc.gob.mx.
- Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (2015). *Valoración de servicios ecosistémicos: Un enfoque para fortalecer el manejo de las áreas naturales protegidas federales de México*. CONANP, SEMARNAT: México
- Comisión Nacional del Agua (2016). *Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento: Datos básicos para proyectos de agua potable y alcantarillado*. SEMARNAT, CONAGUA: México.
- Comisión Nacional del Agua (2017). *Registro Público de Derechos de Agua*. Base de datos consultada en abril 2018. Disponible en <http://app.conagua.gob.mx/Repda.aspx>
- Comité de Planeación para el Desarrollo Municipal. (2006). *Programa de Desarrollo Regional: Región del Vino*. COPLADEM, CEYPSE, BC, México.

- Costanza, R., De Groot, R., Braat, L., Kubiszewski, I., Fioramonti, L., Sutton, P. & Grasso, M. (2017). Twenty years of ecosystem services: How far have we come and how far do we still need to go? *Ecosystem Services*, 28, 1–16. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2017.09.008>
- Cruz, B.G. (2003). La cuenca como unidad de planeación ambiental. En Castillo, I. (2003) *Seminario sobre Instrumentos Económicos para Cuencas Ambientales*. Pp. 7-11.
- Damania, R., Desbureaux, S., Hyland, M., Islam, A., Moore, S., Rodella, A., Russ, J. & Zaveri, E. (2017). *Agua inexplorada: La nueva economía de la escasez y la variabilidad del agua*. Banco Mundial.
- De Groot, R. (2005). Function-analysis and valuation as a tool to assess land use conflicts in planning for sustainable, multi-functional landscapes. *Landscape and Urban Planning*, 75(3–4), 175–186. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2005.02.016>
- Diario Oficial de la Federación (2016). *Ley Federal de Derechos. Disposiciones aplicables en materia de aguas nacionales*. Consultado en mayo 2018. Disponible en: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/105138/Ley_Federal_de_Derechos.pdf
- Espejel, I., Díaz, de L. S., Moreno-Casassola, P., Vázquez-González, C. & Hernández, M.E. (2016). Servicios ecosistémicos de los bosques costeros. En P. Moreno-Casassola (Ed.) *Servicios Ecosistémicos de las Selvas y Bosques Costeros de Veracruz*. INECOL, ITTO, CONAFOR. INECC. Disponible en: [http://www.inecol.mx/inecol/libros/Servicios Ecosistémicos de las Selvas y Bosques Costeros de Veracruz.pdf](http://www.inecol.mx/inecol/libros/Servicios_Ecosistémicos_de_las_Selvas_y_Bosques_Costeros_de_Veracruz.pdf)
- Farreras, V. (2014). Valoración económica de los efectos de la presión antrópica sobre el pie de monte mendocino. Una aplicación de los experimentos de elección discreta. *Revista FCA UNCUYO* 46(2) PP. 113-133.
- Galán, C., Balvanera, P., & Castellarini, F. (2012). *Políticas públicas hacia la sustentabilidad: integrando la visión ecosistémica*. CONABIO, México.
- Garrido, A., & Calatrava, J. (2010). *Agricultural water pricing: EU and México*. Consultant report prepared for the OECD. OECD, Paris. Disponible en <https://www.oecd.org/portugal/45015101.pdf>

- Godínez-Montoya, L., García-Salazar, J.A., Fortis-Hernández, M., Mora-Flores, J. S., Martínez-Damián, M.A., Valdivia-Alcalá, R., Hernández-Martínez, J. (2007) Valor económico del agua en el sector agrícola de la Comarca Lagunera Terra Latinoamericana, *Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo*, (25)1 pp. 51-59
- Goic, M. (2007). *Clase auxiliar: Dualidad y análisis de sensibilidad*. Facultad de Ciencias físicas y Matemáticas. Universidad de Chile. Disponible en https://www.u-cursos.cl/usuario/e4ec9e12c4e47e3de09b0ff5dbe14eb0/mi_blog/r/dualidad.pdf
- Gonzales Andrade, S., & Fuentes Flores, N. A. (2013). Matriz de insumo-producto vitivinícola de Baja California, México. *Revista de Economía*, XXX (81), 57–88. Retrieved from <http://www.revista.economia.uady.mx/2013/XXX/81/2.pdf>
- Grizzetti, A. B., Lanzaova, D., Liqueste, C., & Reynaud, A. (2015). *Cook-book for water ecosystem service assessment and valuation*. European Commission Disponible en <https://doi.org/10.2788/67661>
- Hernández, N., L. (12 de diciembre 2016). *Guerra por el agua en Valle de Guadalupe*. La Jornada. Recuperado de: <http://www.jornada.com.mx/2016/12/12/politica/044n1pol>
- Instituto Municipal de Investigación y Planeación de Ensenada. (2009). *Programa Sectorial de Desarrollo Urbano-Turístico de los Valles Vitivinícolas de la Zona Norte del Municipio de Ensenada (Región del Vino), Estado de Baja California*. Gobierno Municipal de Ensenada, Gobierno Del Estado de Baja California, FONATUR, SECTUR, IMIP.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2010). *Principales resultados por localidades, ITER. Censo de Población y Vivienda 2010*. Consultado abril 2018. Disponible en: http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/ccpv/cpv2010/iter_2010.aspx
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2014). *Sistema Automatizado de Información Censal. Censo Económico 2014*. Consultado abril 2018. Disponible en <http://www.beta.inegi.org.mx/app/saic/>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2014a). *Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas. Censo Económico 2014*. Consultado abril 2018. Disponible en <http://www.beta.inegi.org.mx/app/mapa/denue/>

- Lahlou, A.A. (2005) Water Valuation. En Baroudy, Abid, & Attia, (eds.) *Managing Water Demand: Policies, practices and lessons from the Middle East and North Africa forums*. IWA Publishing, pp. 25-38.
- Lattera, P., Jobbágy, E. G., Paruelo, J. M., Abdo, M., Achinelli, M. L., Alcaraz-Segura, D., & Zamora, J. P. (2015). *Valoración de servicios ecosistémicos en Argentina* <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Le Quesne T., Pegram, G & Von Der Heyden, C. (2007). *La asignación de agua cuando es escasa: Guía sobre la asignación, los derechos y los mercados de agua*. Serie Hídrica WWF Vol.1 Disponible en <https://agua.org.mx/biblioteca/la-asignacion-de-agua-cuando-es-escasa-guia-sobre-la-asignacion-los-derechos-y-los-mercados-de-agua/>
- Leyva A., J. C., & Espejel C., M. I. (2013). *El valle de Guadalupe: Conjugando Tiempos*. Disponible en [http://webfc.ens.uabc.mx/documentos/El Valle de Guadalupe.pdf](http://webfc.ens.uabc.mx/documentos/El%20Valle%20de%20Guadalupe.pdf)
- Liquete, C., Maes, J., Notte, A. La, & Bidoglio, G. (2012). Securing water as a resource for society: an ecosystem services perspective. *Ecohydrology & Hydrobiology*, 11(3–4), 247–259
- Melguizo, B. S. (1994) *Fundamentos de Hidráulica e Instalaciones de abasto en las edificaciones*. Centro de Publicaciones Universidad Nacional Medellín 1994. Quinta edición, primera parte, pág. 165, 318-326.
- Molano, R., M.J. (2007). Hacia la corrección de conductas de demanda en la asignación del recurso agua en México: Aguas nacionales, agrícolas, industriales y municipales. En Martínez P.F., Bourguett V.J., Donath E. & Cruz F.V. (eds). *Gestión y regulación de los servicios de agua potable y saneamiento. La experiencia mexicana e internacional* IMTA, México
- Naciones Unidas (2012). *Sistema de Contabilidad Ambiental y Económica para el agua (SCAE-Agua)*. Departamento de Asuntos Económicos y Sociales. División de Estadística. Disponible en http://unstats.un.org/unsd/envaccounting/seeaw/seea_w_spa.pdf
- Nión, V. S. (2015). *Programación Lineal. Aplicaciones a la Economía y a la Empresa*. Tesis de Maestría: Universidad de La Coruña. España

- Perni, A., Martínez-Carrasco, F., Martínez-Paz, J.M. (2011). Valoración económica de la restauración ambiental de lagunas costeras: el Mar Menor (SE, España). *Ciencias Marinas* 37(2): 175–190
- Rico-Amorós, A. M. (2007). Tipologías de consumo de agua en abastecimientos urbano-turísticos de la comunidad valenciana. *Investigaciones Geográficas* (42), pp. 5-34.
- Rodríguez R., N. A. (2017). *Los servicios ecosistémicos que proveen las dunas costeras de la Península de Baja California como un instrumento para la toma de decisiones*. Tesis de doctorado, Universidad Autónoma de Baja California: México.
- Samuelson, P., & Nordhaus, W. (2006). *Economía*. Decimoctava edición. México, DF.
- Sánchez-Brito, I., Almendarez-Hernández, M. A., Morales-Zárate, M. V., & Salinas-Zavala, C. A. (2013). Valor de existencia del servicio ecosistémico hidrológico en la Reserva de la Biosfera Sierra La Laguna, Baja California Sur, México. *Frontera Norte*, 25, 97–129.
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (s/f). *Estimación de las demandas de consumo de agua*. Colegio de Postgraduados. Disponible en: http://www.sagarpa.gob.mx/desarrolloRural/noticias/2012/Documents/FICHAS%20TECNICAS%20E%20INSTRUCTIVOS%20NAVA/INSTRUCTIVO_DEMANDAS%20ODE%20AGUA.pdf
- Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano (2017) *Nueva Metodología para la Elaboración y Actualización de Programas Municipales de Desarrollo Urbano*. SEDATU, SERMANT, Cooperación Alemana Deutsche Zusammenarbeit, GIZ. Disponible en <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/263178/NuevaMetodologiaPMDU.pdf>
- Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano (2017a). *Lineamientos Conceptuales. Elaboración y Actualización de Programas Municipales de Desarrollo Urbano*. SEDATU, SERMANT, Cooperación Alemana Deutsche Zusammenarbeit, GIZ. Disponible en https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/263169/PMDU2017_Lineamientos.pdf

Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano (2017b). *Guía Metodológica. Elaboración y Actualización de Programas Municipales de Desarrollo Urbano*. SEDATU, SERMANT, Cooperación Alemana Deutsche Zusammenarbeit, GIZ. Disponible en https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/263177/PMDU2017_Guiametodologica.pdf

Secretaría de Desarrollo Agropecuario (2011). *Estudio estadístico sobre la producción de uva en Baja California*. SEFOA. Dirección de Planeación Sectorial y Seguimiento a la Inversión Pública. Oficina Estatal de Información para el Desarrollo Rural Sustentable. Disponible en: http://www.oeidrus-bc.gob.mx/oeidrus_bca/biblioteca.php

Secretaría de Desarrollo Agropecuario (2011a). *Estudio estadístico y geográfico del olivo en Baja California*. SEFOA. Dirección de Planeación Sectorial y Seguimiento a la Inversión Pública. Oficina Estatal de Información para el Desarrollo Rural Sustentable. Disponible en: http://www.oeidrus-bc.gob.mx/oeidrus_bca/biblioteca.php

Secretaría de Desarrollo Agropecuario (2015). *Panorama general de “Valle de Guadalupe” Baja California, 2015*. SEFOA. Dirección de Planeación Sectorial y Seguimiento a la Inversión Pública. Oficina Estatal de Información para el Desarrollo Rural Sustentable. Disponible en: http://www.oeidrus-bc.gob.mx/oeidrus_bca/biblioteca.php

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (2017). *Visión Nacional de Manejo Integrado del Paisaje y Conectividad*. SEMARNAT, CONABIO, CONAFOR & CONANP: México.

Secretaría de Protección al Ambiente (2017). *Programa Ambiental Estratégico de la región vitivinícola de Valle de Guadalupe, municipio de Ensenada, Baja California, México*. Reporte técnico final. Gobierno del Estado de Baja California.

Silva-Flores, R., Pérez-Verdín, G. & Návar-Cháidez, J.J. (2010). Valoración económica de los servicios ambientales en El Salto, Pueblo Nuevo, Durango. *Madera y Bosques* 16(1) pp. 31-49.

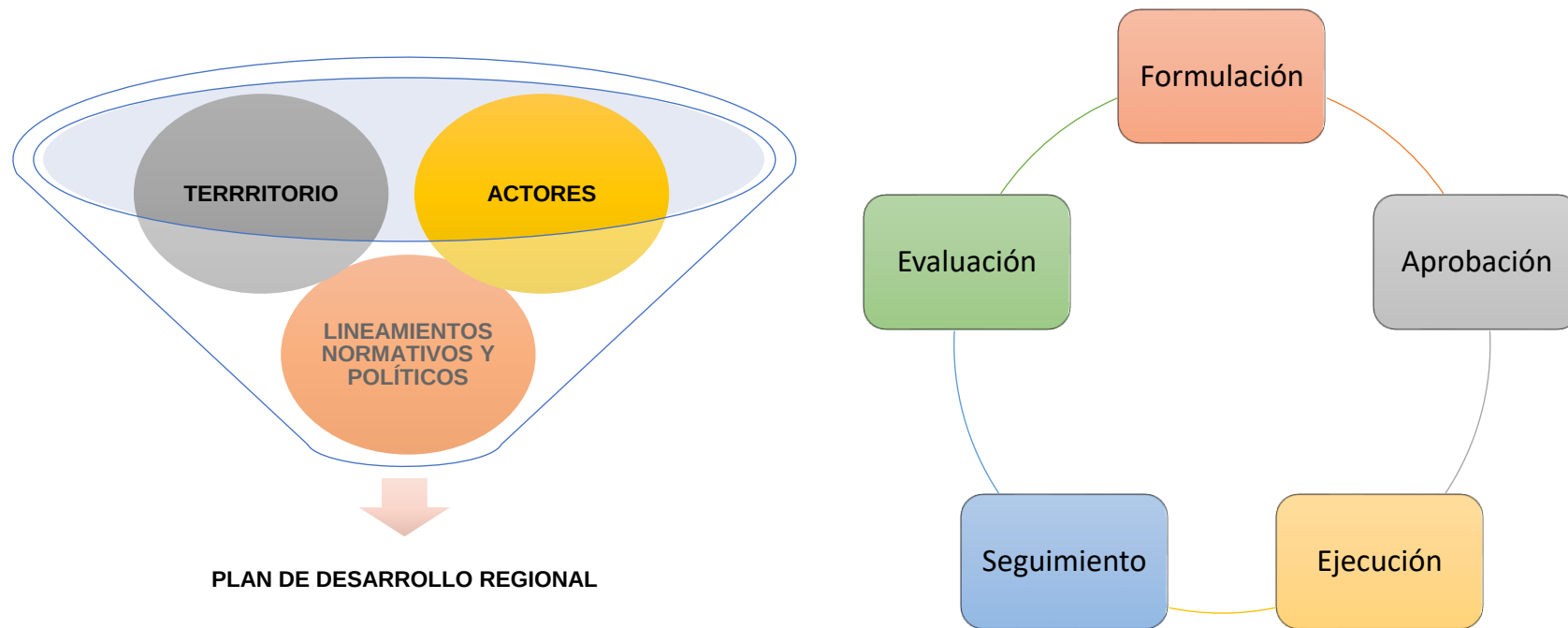
- Tosto, S., Belarmino, L., Romeiro, A., & Rodrigues, C. (2015). *Valoração de serviços ecossistêmicos: metodologias e estudos de caso*. Embrapa Monitoramento por Satélite-Livro científico (ALICE).
- World Water Assessment Program (2012). *Marco para el monitoreo de las políticas hídricas. Nota informativa. Programa Mundial de Evaluación de los recursos hídricos*, División de estadísticas de las Naciones Unidas. UNESCO - WWAP y UNSD. Disponible en http://unstats.un.org/unsd/envaccounting/WWAP_UNSD_WaterMF_S.pdf
- World Wide Fundation (2015). *Reservas del agua para hoy y mañana: La importancia del caudal ecológico*. Comisión Nacional del Agua, Banco Interamericano de Desarrollo: México, CDMX
- Zetina-Espinosa, A.M., Mora-Flores, J.S., Martínez-Damián, M.A., Cruz-Jiménez, J. & Téllez-Delgado, R. (2013). Valor económico del agua en el distrito de riego 044, Jilotepec, Estado de México. *Agricultura, sociedad y desarrollo* (10) pp. 139-156.

ANEXOS

Anexo 1. Proceso de planeación

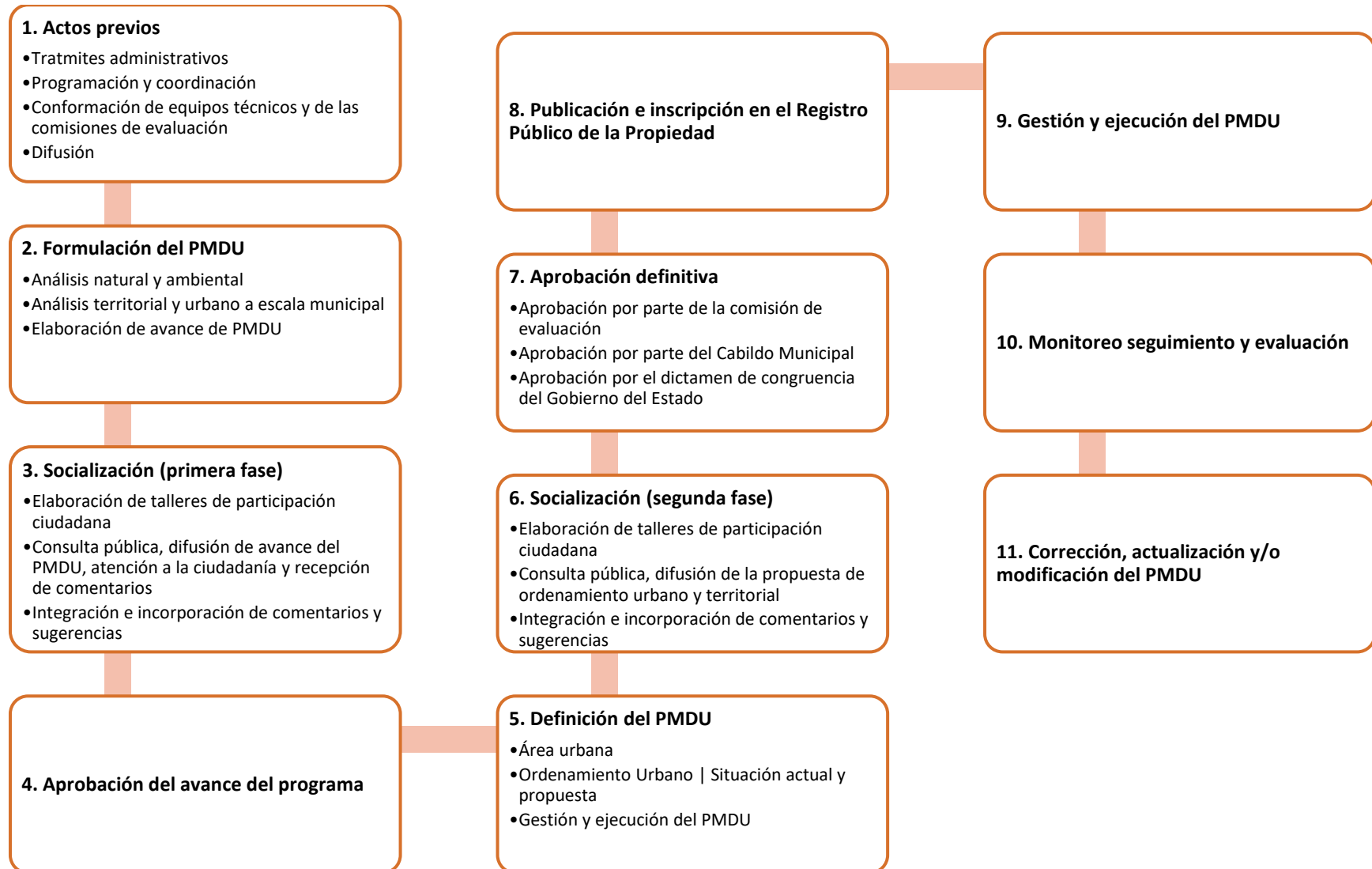
De manera general, la planeación es un proceso sistemático necesario para establecer objetivos, coordinar acciones, evaluar alternativas, identificar oportunidades, seleccionar estrategias y minimizar riesgos para lograr los objetivos planteados desde la perspectiva integral del territorio de interés.

El proceso de planeación se caracteriza por la mezcolanza de los intereses de los actores sectoriales, la oferta ambiental del territorio (caracterizado a nivel regional) y los criterios de regulación para lograr la compatibilidad entre las actividades humanas tratando de minimizar el impacto en el ecosistema. Dicho proceso consta de cinco fases: formulación, aprobación, ejecución, seguimiento y evaluación. El proceso es continuo y puede contener tantas fases intermedias como sea necesario.



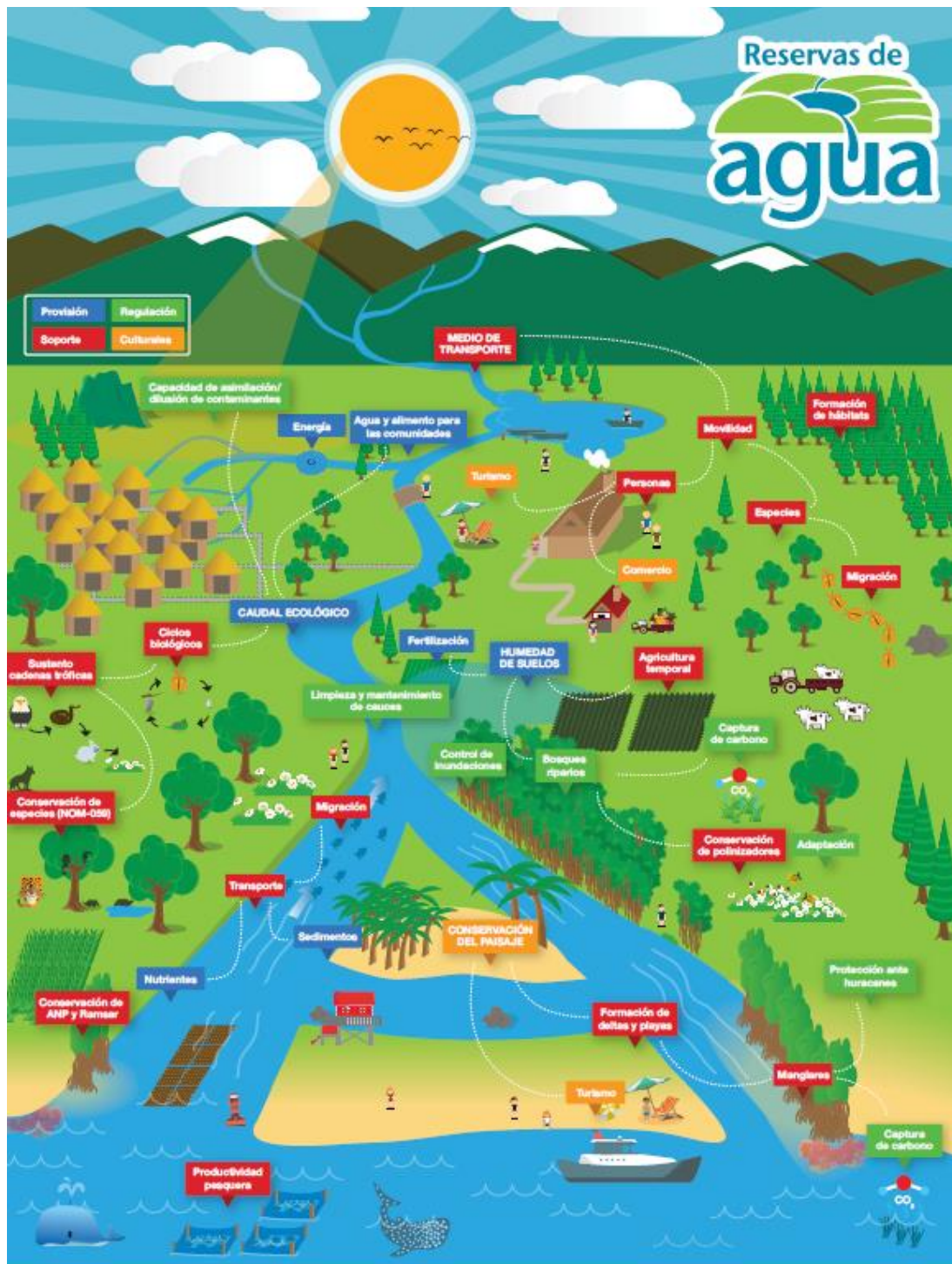
Un ejemplo de proceso de planeación es el presentado en los Lineamientos Conceptuales para la *Guía metodológica: Elaboración y actualización de programas municipales de desarrollo urbano* (SEDATU, 2017b) el cual se muestra a continuación:

Proceso de planeación para la elaboración y actualización de Programas Municipales de Desarrollo Urbano



Fuente: Elaboración propia con información de SEDATU (2017b).

Anexo 2. Servicios Ecosistémicos



Fuente: Extraído de *Reservas de agua para el ambiente* (WWF, 2015)

2.1. Listado de SE

Clave	Funciones ecosistémicas	Proceso ecosistémico y sus componentes	Bienes y servicios ecosistémicos
I Funciones de producción		Provisión de recursos naturales	
1	Alimentos	Conversión de la energía solar en las plantas y animales comestibles	1.1. Plantas, animales, hongos, comestibles 1.2. Agricultura, forraje y fertilizantes (e.g. hojas, hojarasca y crustáceos como carnada para pesca)
2	Oferta de agua	Filtración, retención y almacenamiento de agua dulce (e.g. en acuíferos).	2.1. Agua para el consumo, cantidad y calidad (e.g. uso doméstico, de riego e industrial)
3	Materias primas	Conversión de la energía solar en la biomasa para la construcción humana y otros usos.	3.1 Construcción y manufacturas (e.g. maderas y pieles) 3.2 Energía y combustible (e.g. leña, materia orgánica)
4	Recursos genéticos	Material genético y evolución de plantas y animales silvestres.	4.1 Drogas y productos farmacéuticos 4.2 Modelos químicos y herramientas 4.3 Pruebas y ensayos con organismos
5	Recursos médicos	Variedad de sustancias bioquímicas para usos medicinal y natural de la biota.	5.1 Sustancias bioquímicas para usos medicinales y natural de la biota (Taninos, plantas medicinales).
6	Recursos ornamentales	Variedad de la biota en ecosistemas naturales con potencial de uso ornamental.	6.1. Recursos para la moda, artesanías, joyería, mascotas, ceremonias espirituales, decoración y souvenir (pieles, plumas, orquídeas, mariposas, peces, conchas, arena)
II. Funciones de regulación		Mantenimiento de procesos ecológicos esenciales y sistemas de soporte de vida	
7	Regulación de la calidad del aire	Rol de los ecosistemas en ciclos biogeoquímicos (e.g. balance de CO ₂ /O ₂ , capa de ozono, etc.).	7.1 UVb-protección por O ₃ (prevención de enfermedades) 7.2 Buena calidad de aire. 7.3 Influencia sobre el clima general y en especial del microclima
8	Regulación climática	Influencia de la cobertura de suelo y biológica mediante procesos (e.g. producción de DMS) sobre el clima.	8.1 Mantenimiento de un clima favorable (temperatura, precipitación, etc.) por ejemplo, desarrollo de la vida humana, salud y cultivos
9	Moderación de disturbios	Influencia de la estructura ecosistémica por la disminución de disturbios ambientales.	9.1 Protección contra tormentas (manglares y dunas) 9.2 Prevención de inundaciones (e.g. por humedales y bosques)
10	Regulación del flujo de agua	Rol de la cobertura de suelo en regular la escorrentía y descarga de ríos.	10.1 Drenado e irrigación natural 10.2 Medio de transporte
11	Tratamiento de desechos	Rol de la vegetación y la biota en la remoción o separación de los nutrientes y componentes.	11.1 Control de la contaminación 11.2 Filtración de partículas
12	Prevención de la erosión	Role de la vegetación y raíces, y la biota del suelo en la retención de sedimentos.	12.1 Mantenimiento de un suelo cultivable
13	Mantenimiento de la fertilidad del suelo	Desgaste de rocas y acumulación de materia orgánica. Rol de la biota en el almacenaje y reciclaje de nutrientes (e.g. N, P y S).	13.1 Mantenimiento de la productividad del suelo
14	Polinización	Rol de la biota en el movimiento de los gametos de la flora.	14.1 Polinización y dispersión de semillas de plantas silvestres 14.2 Polinización de cultivos
15	Control biológico	Control de la población a través de las relaciones y dinámica trófica.	15.1 Control de pestes y enfermedades 15.2 Reducción de los daños a cultivos
III. Funciones de hábitat		Proveer hábitat (espacio adecuado para vivir) para especies de animales, plantas, hongos, algas silvestres.	

16	Servicio de refugio	Espacio adecuado para la vida de plantas y animales silvestres.	16.1 Mantener la diversidad genética y biológica (y de esta forma la base para otras funciones) 16.2. Mantenimiento de las especies comerciales cultivadas
17	Protección del banco de germoplasma	Adecuado lugar para la reproducción de especies	17.1 Caza, pesca de autoconsumo, comercial y deportiva, y recolección de frutas
IV. Función de información y cultura		Proveer oportunidades para el desarrollo del conocimiento y la cultura.	
18	Información estética	Paisaje atractivo.	18.1 Disfrute del escenario (carreteras escénicas, casas, etc.)
19	Recreación	Variedad de paisajes con potencial para uso recreacional.	19.1 Viajes a ecosistemas naturales para ecoturismo y deportes al aire libre
20	Inspiración para la cultura y el arte	Variedad de figuras naturales con valor cultural y artístico	20. 1 Uso de la naturaleza en libros, cine, pintura, festivales folklóricos, símbolos nacionales, arquitectura y anuncios.
21	Experiencia espiritual	Variedad de figuras naturales con valor espiritual e histórico.	21.1. Uso de la naturaleza para propósitos históricos y/o religiosos, como el valor cultural y de herencia, de los ecosistemas naturales
22	Desarrollo cognitivo	Variedad en la naturaleza con valor científico y educativo.	22.1. Uso de los sistemas naturales para excursiones escolares y para la investigación científica.
23	Ciencia y educación	Variedad en la naturaleza con valor científico y educativo	23.1 Uso de la naturaleza para la investigación científica
V. Funciones de aprovisionamiento		Proporcionar un sustrato o medio adecuado para actividades humanas e infraestructura	
24	Habitación	Dependiendo del tipo específico de uso de la tierra, se aplican diferentes requisitos a la fertilidad, la calidad del aire y del agua, la topografía, el clima, la geología, etc.)	24.1 Espacio vital (desde pequeños asentamientos hasta áreas urbanas)
25	Cultivo		25.1 Alimentos y materias primas de tierras de cultivo y acuicultura
26	Conversión de energía		26.1 Instalaciones energéticas (solar, eólica, acuática, etc.)
27	Minería		27.1 Minerales, petróleo, oro, etc.
28	Eliminación de desechos		28.1 Espacio para la eliminación de desechos sólidos
29	Transporte		29.1 Transporte por tierra y agua

Anexo 3. Modelos de Programación Lineal

De acuerdo con Nión (2015), se conoce como programación lineal la técnica de la matemática que permite la optimización de una función objetivo a través de la aplicación de diversas restricciones a sus variables. Son modelos compuestos por una función objetivo y sus restricciones, constituyéndose todos estos componentes como funciones lineales en las variables en cuestión. Este tipo de problemas podría resolverse de forma gráfica, aunque sólo es aplicable a aquellos problemas con dos variables, por lo que problemas más complejos se resuelven de forma aritmética mediante el método SIMPLEX o el método de dos fases. Un problema resuelto con ambos métodos debe brindar el mismo resultado.

Desde el punto de vista técnico, hay cinco supuestos que debe cumplir todo problema de programación lineal:

- ❖ Supuesto de certidumbre. Los coeficientes, tanto de la función objetivo como de las restricciones, son conocidos con exactitud y además no varían durante el período de tiempo analizado.
- ❖ Proporcionalidad entre el número de variables y el número de restricciones.
- ❖ Independencia entre las variables y restricciones hacia la función objetivo.
- ❖ Las soluciones del problema serán, en general, números reales no necesariamente enteros
- ❖ Las variables de nuestro modelo tomarán siempre valores positivos.

Un **programa lineal** que tiene alguna solución factible se llama **factible**, y se dice no factible en otro caso. Un **programa lineal** factible que no tiene solución óptima se dice que es **no acotado**.

Definición.- Se dice que un **programa lineal** de minimización está formulado en **forma canónica** si todas las restricciones son del tipo " $\geq$ " y todas las variables son no negativas:

$$\begin{array}{ll} \min & c_1x_1 + c_2x_2 + \dots + c_nx_n \\ \text{s. a:} & a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1n}x_n \geq b_1 \\ & a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \dots + a_{2n}x_n \geq b_2 \\ & \vdots \\ & a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + \dots + a_{mn}x_n \geq b_m \\ & x_1 \geq 0, x_2 \geq 0, \dots, x_n \geq 0 \end{array} \quad \Leftrightarrow \quad \begin{array}{ll} \min & c \cdot x \\ \text{s. a:} & Ax \geq b \\ & x \geq 0 \end{array}$$

Definición.- Se dice que un **programa lineal** de maximización está formulado en **forma canónica** si todas las restricciones son del tipo " $\leq$ " y todas las variables son no negativas:

$$\begin{array}{ll} \max & c_1x_1 + c_2x_2 + \dots + c_nx_n \\ \text{s. a:} & a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1n}x_n \leq b_1 \\ & a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \dots + a_{2n}x_n \leq b_2 \\ & \vdots \\ & a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + \dots + a_{mn}x_n \leq b_m \\ & x_1 \geq 0, x_2 \geq 0, \dots, x_n \geq 0 \end{array} \quad \Leftrightarrow \quad \begin{array}{ll} \max & c \cdot x \\ \text{s. a:} & Ax \leq b \\ & x \geq 0 \end{array}$$

Fuente: Nión (2015), p12.

Anexo 4. Resultados del Modelo de Programación Lineal en LINGO 10.

Escenario actual (Disponibilidad de agua 26,400,000 m3)					
Global optimal solution found.					
Objective value:			0.5413014E+09		
Total solver iterations:			1		
Variable	ASIGNACIÓN OPTIMA	BRECHA	Row	BALANZA DE AGUA	PRECIO
X1	1.56E+07	0	1	5.41E+08	1
X2	2320398	0	AGUA DIPONIBLE	0	0.8473982
X3	77200	0	VID	0	25.52632
X4	145662.4	0	OLIVO	0	0.8473982
X5	340500	0	ALGARROBO	0	5
X6	152240	0	CILANTRO	0	37.05417
X7	114800	0	CITRICOS	0	24.59055
X8	150000	0	TOMATE	0	161.2523
X9	110000	0	FRUTALES	0	18.75
X10	50320	0	FLORALES	0	11.83333
X11	20880	0	ALFALFA	0	11.33785
X12	19530	0	RABANO	0	42.93314
X13	258287.1	0	EJOTE	0	2.806936
X14	26154.44	0	PEPINO	0	35.04414
X15	1321.53	0	ALCOHOL	0	55.98164
X16	186.7678	0	HOSPEDAJE	0	339.0701
X17	349.6618	0	RCORRIDA	0	1146.025
X18	311.4116	0	RALIMENTOS	0	1656.66
X19	417.0369	0	RANTOJITOS	0	1544.705
X20	738.2891	0	RTACOS	0	1451.318
X21	153.5287	0	RCAFETERIAS	0	1434.862
X22	911035.9	0	RPIZZA	0	1661.331
X23	40000	0	ROTROS	0	1087.378
X24	6325555	0	COMERCIO	0	71.39229
X13X14	0	0.8473982	DOMESTICO	0	7.479004
			PYU	0	0.06298828

Escenario de recarga media anual (Disponibilidad de agua 25,400,000 m3)					
Global optimal solution found.					
Objective value:			0.5413014E+09		
Total solver iterations:			1		
Variable	ASIGNACIÓN OPTIMA	BRECHA	Row	BALANZA DE AGUA	PRECIO
X1	1.56E+07	0	1	5.40E+08	1
X2	1320398	0	AGUA DISPONIBLE	0	0.8473982
X3	77200	0	VID	0	24.67892
X4	145662.4	0	OLIVO	3764402	0
X5	340500	0	ALGARROBO	0	4.152602
X6	152240	0	CILANTRO	0	36.20677
X7	114800	0	CITRICOS	0	23.74315
X8	150000	0	TOMATE	0	160.4049
X9	110000	0	FRUTALES	0	17.9026
X10	50320	0	FLORALES	0	10.98594
X11	20880	0	ALFALFA	0	10.49046
X12	19530	0	RABANO	0	42.08574
X13	258287.1	0	EJOTE	0	1.959538
X14	26154.44	0	PEPINO	0	34.19675
X15	1321.53	0	ALCOHOL	0	55.98164
X16	186.7678	0	HOSPEDAJE	0	339.0701
X17	349.6618	0	RCORRIDA	0	1145.178
X18	311.4116	0	RALIMENTOS	0	1655.813
X19	417.0369	0	RANTOJITOS	0	1543.858
X20	738.2891	0	RTACOS	0	1450.471
X21	153.5287	0	RCAFETERIAS	0	1434.015
X22	911035.9	0	RPIZZA	0	1660.483
X23	40000	0	ROTROS	0	1086.531
X24	6325555	0	COMERCIO	0	70.54489
X13X14	0	0.8473982	DOMESTICO	0	6.631606
			PYU	0	-0.7844099

Escenario de Cambio Climático (Disponibilidad de agua 17,400,000 m3)					
Global optimal solution found.					
Objective value:			0.3755997E+09		
Total solver iterations:			0		
Variable	ASIGNACIÓN OPTIMA	BRECHA	Row	BALANZA DE AGUA	PRECIO
X1	9752178	0	1	3.76E+08	1
X2	0	24.67892	AGUA DISPONIBLE	0	25.52632
X3	0	20.52632	VID	5866222	0
X4	145662.4	0	OLIVO	5084800	0
X5	0	0.9357648	ALGARROBO	77200	0
X6	152240	0	CILANTRO	0	11.52786
X7	0	6.776316	CITRICOS	340500	0
X8	0	13.69298	TOMATE	0	135.726
X9	0	14.18846	FRUTALES	114800	0
X10	50320	0	FLORALES	150000	0
X11	0	22.71938	ALFALFA	110000	0
X12	19530	0	RABANO	0	17.40683
X13	258287.1	0	EJOTE	20880	0
X14	26154.44	0	PEPINO	0	9.517828
X15	1321.53	0	ALCOHOL	0	55.98164
X16	186.7678	0	HOSPEDAJE	0	339.0701
X17	349.6618	0	RCORRIDA	0	1120.499
X18	311.4116	0	RALIMENTOS	0	1631.134
X19	417.0369	0	RANTOJITOS	0	1519.179
X20	738.2891	0	RTACOS	0	1425.792
X21	153.5287	0	RCAFETERIAS	0	1409.336
X22	911035.9	0	RPIZZA	0	1635.804
X23	40000	0	ROTROS	0	1061.852
X24	6325555	0	COMERCIO	0	45.0247
X13X14	0	25.52632	DOMESTICO	0	45.86598
			PYU	0	-18.04756