



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

DIVISIÓN DE CIENCIAS ECONÓMICO-ADMINISTRATIVAS

**DOCTORADO EN CIENCIAS EN ECONOMÍA
AGRÍCOLA**

**RECURSOS NATURALES: EXTRACCIÓN DE PLATA Y
VALORACIÓN DEL AGUA EN ZACATECAS, MÉXICO**

TESIS

QUE COMO REQUISITO PARCIAL

PARA OBTENER EL GRADO DE:

DOCTORA EN CIENCIAS

PRESENTA:

JUANITA JAPHETH VALDIVIA CABRAL

**BAJO LA SUPERVISIÓN DE: DR. RAMÓN VALDIVIA
ALCALÁ**



CHAPINGO, ESTADO DE MÉXICO



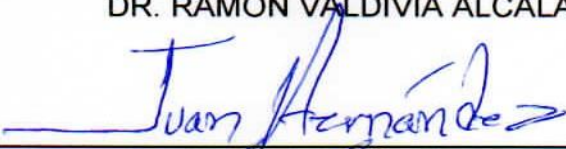
NOVIEMBRE DE 2022

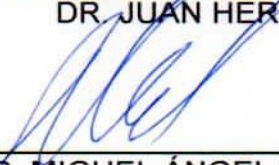
**RECURSOS NATURALES: EXTRACCIÓN DE PLATA Y
VALORACIÓN DEL AGUA EN ZACATECAS, MÉXICO**

Tesis realizada por **Juanita Japheth Valdivia Cabral** bajo la supervisión del Comité Asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

DOCTOR EN CIENCIAS EN ECONOMÍA AGRÍCOLA

DIRECTOR: 
DR. RAMÓN VALDIVIA ALCALÁ

ASESOR: 
DR. JUAN HERNÁNDEZ ORTIZ

ASESOR: 
DR. MIGUEL ÁNGEL MARTINEZ DAMIÁN

LECTOR EXTERNO: 
DRA. DORA MARÍA DE JESÚS SÁNCHEZ GERMAN JARQUÍN

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Variables empleadas para el modelo de Hotelling	57
Cuadro 2. Senda óptima de extracción de plata en México y Zacatecas.....	57
Cuadro 3. Análisis de sensibilidad en el modelo de Hotelling	59
Cuadro 4. Definición de las variables utilizadas en la investigación	68
Cuadro 5. Estadísticos descriptivos de las principales variables de la investigación	72
Cuadro 6. Estimación del modelo binario de elección discreta.....	74
Cuadro 7. Estimación de la disponibilidad a pagar por mejor calidad agua	74
Cuadro 8. Valoración económica de la calidad del agua de Zacatecas- Guadalupe, Zacatecas.....	76

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Senda de extracción de plata en México considerando existencias y precios en los diferentes escenarios.	59
Figura 2 Promedio de la disposición a pagar por municipio.	69
Figura 3 Promedio de la disposición a pagar según su nivel de estudios	70
Figura 4 Promedio de la disposición a pagar según su ocupación.	71
Figura 5 Principales problemas con respecto al medio ambiente percibidos por los encuestados	71

LISTA DE ABREVIATURAS

Acrónimo	Significado
CAMIMEX	Cámara Mexicana de Minería
CEPAL	Comisión Económica para América Latina
CONACyT	Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología
CONAGUA	Comisión Nacional del Agua
CONEVAL	Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social
DAA	Disposición a Aceptar
DAC	Disposición a Aceptar una Compensación
DAP	Disponibilidad a Pagar
DOF	Diario Oficial de la Federación
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación
INEGI	Instituto Nacional de Estadística y Geografía
INEGI	Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática
JIAPAZ	Junta Intermunicipal de Agua Potable y Alcantarillado de Zacatecas
LAN	Ley de Aguas Nacionales
MVC	Método de Valoración Contingente
OCDE	Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico
ONU	Organización de las Naciones Unidas
OMS	Organización Mundial de la Salud
RHA	Región Hidrológica Administrativa
SEMARNAT	Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales
SEGOB	Secretaría de Gobernación
TCM	Método de Costo de Viaje
UNAM	Universidad Nacional Autónoma de México
UNESCO	Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura
UNICEF	Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia

DEDICATORIAS

A mis papás Gloria y Mateo, por su apoyo incondicional durante toda mi formación académica, por creer en mí, por animarme a continuar, por no dejarme sola a pesar de la distancia y las dificultades que se presentaban, por ser un ejemplo de superación, de amor y respeto, por cuidarme siempre. Este logro es de ustedes.

A mis hermanos Gloria y Paco, tan increíbles y únicos, gracias por siempre hacerse presentes, por su paciencia y contención, por preocuparse y cuidar de mí, y por compartir conmigo un momento tan importante en mi vida. Gracias por confiar siempre en que lo conseguiría.

A Tito, por tu compañía, paciencia, contención, y amor, por motivarme a continuar aún en los días difíciles, por ayudarme hasta donde tus alcances lo permitieron, por creer siempre en mí, por ser el mejor compañero de aventuras.

A mi familia de Texcoco, Edna, Ramón y Rodri, por abrirme las puertas de su hogar, compartir su espacio y momentos especiales conmigo, por hacerme sentir como en casa, por los ánimos, enseñanzas y las risas compartidas durante las cenas.

A mi familia de Zacatecas, en especial a los que físicamente ya no están, gracias por brindarme un hogar a donde siempre puedo regresar, por sus bendiciones y buenos deseos, por creer en mí, por tenerme siempre presente en sus oraciones, por todos los momentos compartidos y los que nos hicieron falta, aunque sé que siempre me acompañan.

A mis amigos Ramiro, Cata y Fan, por brindarme sus conocimientos, alegrías y tristezas, por acompañarme en esta aventura que por momentos se tornó difícil, sin ustedes esto no hubiera sido posible.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por otorgarme el financiamiento que me permitió realizar mis estudios de doctorado y desarrollar la presente investigación.

A la Universidad Autónoma Chapingo por ofrecerme la oportunidad y el apoyo necesario para realizar mis estudios de doctorado.

A mi director de tesis el Dr. Ramón Valdivia Alcalá, por brindarme sus conocimientos, paciencia, dedicación y esmero para que mi investigación resultara de la mejor manera.

Al Dr. Juan Hernández Ortiz, el Dr. Miguel Ángel Martínez Damián y la Dra. Dora María de Jesús Sangerman Jarquín, por ayudarme a aclarar mis inquietudes intelectuales y por ampliar mi visión, no sólo sobre este tema sino sobre cómo abordar futuras investigaciones.

DATOS BIOGRÁFICOS

Nombre: Juanita Japheth Valdivia Cabral

Fecha de nacimiento: 25 de julio de 1991

CURP: VACJ910725MZSLBN06

Cédula profesional: 11496092

Desarrollo académico

Bachillerato: Colegio de Bachilleres del Estado de Zacatecas. Plantel 01 (2006-2009)

Licenciatura: Licenciada en Economía – Universidad Autónoma de Zacatecas (2009-2014)

Maestría: Maestría en Ciencias en Desarrollo Rural Regional – Universidad Autónoma Chapingo (2015-2017)

RESUMEN GENERAL

RECURSOS NATURALES: EXTRACCIÓN DE PLATA Y VALORACIÓN DEL AGUA EN ZACATECAS, MÉXICO¹

Resumen

Los recursos naturales son de vital importancia para el desarrollo de la vida y para cubrir las necesidades del ser humano. Para los recursos no renovables es importante determinar el ritmo de extracción. Para los renovables la valoración que de ellos se hace para su conservación. En el caso del estado de Zacatecas, es importante determinar la tasa de extracción de la plata, principal recurso minero del estado y; conocer la valoración del agua recurso vital para la existencia de la misma ciudad. El objetivo fue estimar con el precio en el mercado y el stock de la plata conocido, el ritmo de extracción y la disponibilidad a pagar de los consumidores del servicio del agua potable en los municipios de Guadalupe y Zacatecas. Se utilizaron la regla de Hotelling y el método de valoración contingente, para cada objetivo respectivamente. La aplicación de la regla de Hotelling en caso de la plata en México y Zacatecas mostró que, bajo el escenario actual de extracción, las reservas existentes de plata se agotarán en 28 años (2045) en el caso de incorporar nuevas reservas probadas de plata o no ocurra la aparición de algún mineral sustituto con las mismas funciones industriales de la plata. En el caso de la valoración del agua potable por parte de los usuarios de los municipios de Guadalupe y Zacatecas, se ubicó en una disposición a pagar de US\$ 145.2 anuales para mejorar este servicio público.

Palabras clave: valoración contingente, disposición a pagar, minería, regla de Hotelling

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

Autor: Juanita Japheth Valdivia Cabral.

Director de Tesis: Dr. Ramón Valdivia Alcalá.

GENERAL ABSTRACT

RECURSOS NATURALES: EXTRACCIÓN DE PLATA Y VALORACIÓN DEL AGUA EN ZACATECAS, MÉXICO²

Abstract

Natural resources are of utmost importance for humans' needs and development. When it comes to natural resources, it is important to determine the adequate extraction rates, and for renewables their correct assessment, in order to properly maintain them. In the case of Zacatecas, it is important to determine the extraction rates for silver, the state's primary resource from mining, as well as learning the status of water, which is vital for the city. The objective was to estimate silver's extraction rates, as well as the clean water consumers' willingness to pay, using its price on the market and its known stock in the Guadalupe and Zacatecas municipalities. Hotelling's rule and the contingent valuation method were used respectively. The application of Hotelling's rule, regarding silver in Mexico and Zacatecas, showed that under the current extraction scenario, existing silver reserves will be depleted in 28 years (2045) if no new silver reserves are incorporated, or if no other substitute mineral appears which possesses the same industrial purposes of silver. In regard to the clear water's willingness to pay assessment for consumers living in the Guadalupe and Zacatecas municipalities, it was found that they are willing to pay 145.2 USD per year in order to improve this public service.

Keywords: Contingent valuation, willingness to pay, mining, Hotelling rule.

² Thesis, Universidad Autónoma Chapingo

Author: Juanita Japheth Valdivia Cabral

Advisor: Dr. Ramón Valdivia Alcalá

CONTENIDO

ÍNDICE DE CUADROS	iv
ÍNDICE DE FIGURAS	v
LISTA DE ABREVIATURAS	vi
AGRADECIMIENTOS	vii
DEDICATORIAS	vii
DATOS BIOGRÁFICOS.....	ix
1. INTRODUCCIÓN GENERAL	1
1.1 Antecedentes.....	1
1.2. Problema de investigación.....	3
1.3 Justificación	4
1.4. Objetivos.....	6
1.4.1 Objetivo general	6
1.4.2 Objetivos específicos.....	6
1.5 Hipótesis.....	6
1.5.1 Hipótesis general.....	6
1.5.2 Hipótesis específicas.....	6
1.6. Estructura del documento	7
CAPÍTULO 2. REVISIÓN DE LITERATURA.....	8
2.1 Ecología y economía de los recursos naturales	8
2.1.1 Regla de Hotelling: recursos naturales no renovables y extracción óptima.....	10
2.1.2 Extractivismo y minería	13
2.1.3 Minería en México y Zacatecas	15
2.2. El concepto de valoración del agua	17
2.2.1 Método de valoración contingente, la disposición a pagar y la disposición a aceptar.....	22
2.2.2 Estado de los recursos hídricos de México y Zacatecas	27
2.2.3 Calidad del agua.....	29

Literatura citada	33
CAPÍTULO 3. DETERMINACIÓN DE LA SENDA ÓPTIMA DE EXTRACCIÓN DE LOS RECURSOS NATURALES NO RENOVABLES. EL CASO DE LA PLATA EN MÉXICO.	40
3.1 Introducción	42
3.2 Materiales y Métodos.....	44
3.3 Resultados.....	46
3.4 Discusión	49
3.5 Conclusiones	53
3.6 Conflicto de intereses	54
Literatura citada	55
CAPÍTULO 4. VALORACIÓN ECONÓMICA DE LA CALIDAD DEL AGUA POTABLE EN EL ÁREA METROPOLITANA ZACATECAS-GUADALUPE, MÉXICO.....	60
4.1 Introducción	62
4.2 Materiales y métodos.....	64
4.3 Resultados y discusión	68
4.3.1 Valoración económica de la calidad del agua	75
4.4 Conclusiones	77
Literatura citada.....	79
CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES GENERALES	81
5.1 Conclusiones	81
5.2 Recomendaciones	83

1. INTRODUCCIÓN GENERAL

1.1 Antecedentes

Los recursos naturales, son de gran importancia para las economías de la mayoría de los países, por lo que se debe ser cuidadoso en su concesión, aprovechamiento, sustentabilidad, forma de obtención, tiempo de vida y las utilidades que se puedan obtener de su manejo.

Por tal motivo, resulta importante realizar una valoración económica y conocer el estado actual y prever el futuro de los recursos naturales renovables y no renovables de México y Zacatecas, ya que son elementos sumamente importantes a la hora de planear y gestionar recursos económicos y energéticos y el entorno ambiental y social.

La industria minera a lo largo de la historia de México ha desempeñado un papel trascendental. Esta actividad se practica desde la época de la colonia, lo que hizo posible la creación de los Reales de Minas, y alrededor de ellos la fundación de importantes ciudades, que hasta ahora siguen siendo enclaves mineros de gran relevancia como son Zacatecas, San Luis Potosí, Taxco, y Pachuca, Hidalgo (Guevara, 2016).

Actualmente, México se ha convertido en una parte fundamental en la cadena de suministro de la industria minera de capital transnacional, tal y como sucede con otros países de América Latina.

El sector minero es muy importante para México, durante el 2018 representó el 8.2% del producto interno bruto (PIB) industrial y 2.4% del PIB (INEGI, 2018). México es el 1er lugar en la producción de plata a nivel mundial, el 2° lugar con el presupuesto de exploración más alto de América Latina y el 5° lugar a nivel mundial; además fue el 5° en la atracción de inversiones para minería durante

2018 de acuerdo con el informe anual S&P Global Market Intelligence (Secretaría de Economía [SE], 2022).

El medio ambiente y los recursos naturales que en él se encuentran, resultan de vital importancia para la existencia de la vida y el desarrollo de las actividades económicas, es así que el interés por el cuidado y preservación de éstos comenzó a tomar relevancia cuando en 1972, se realizó la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente, en la cual se plantea la necesidad de preservar y mejorar el medioambiente y posteriormente se retomaría ésta inquietud en el informe Brundtland (1987) y en los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) (2015) y los Objetivos del Milenio (ODM) (2020), mismos que hacen latentes la importancia de crear un equilibrio entre el desarrollo económico y social y la protección del medio ambiente, en aras de un desarrollo sostenible.

Dentro de este contexto el agua uno de los recursos naturales más importantes para la existencia y desarrollo de la vida sobre el planeta, ya que sin ella sería imposible desarrollar los procesos biológicos y físicos tanto de los seres humanos como de plantas y animales, y económicos y productivos de la sociedad, tanto del sector público y privado. El agua, es pues, esencial para la vida, por lo tanto, no tiene sustitutos absolutos; sin embargo, es un recurso vulnerable a externalidades, además de que puede ser utilizada en diferentes procesos y su valor económico es fluctuante dependiendo el lugar, el tiempo y las necesidades que cubra (Hanemann, 2006).

La calidad de vida de la sociedad dependerá de la cantidad, calidad y frecuencia con la que se suministre el servicio de agua potable (Comisión Nacional del Agua [CONAGUA], 2021). El uso y aprovechamiento del agua ha ido en aumento, esto debido al crecimiento poblacional, el desarrollo económico y los distintos modelos de consumo, y se espera que se dé un incremento de 20% al 30% del uso actual del agua, debido a las necesidades domésticas e industriales (Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura [UNESCO], 2019), lo que apremia a la necesidad de considerar la gestión del agua en los diferentes

sectores de la economía y un posicionamiento y ordenamiento más amplio de los recursos naturales para poder generar un equilibrio entre el desarrollo económico, social y la protección ambiental, lo que nos llevará a un desarrollo sostenible para ésta y las futuras generaciones.

En México, el servicio público del agua potable tiene una cobertura de 92.4% a nivel nacional de 96.1%, mientras que Zacatecas cuenta con una cobertura de 98.1% de este servicio (CONAGUA, 2020).

México posee trece regiones hidrológicas administrativas (RHA), Zacatecas se encuentra en la RHA VII, Cuencas Centrales del Norte, cuenta con 65 acuíferos, de los cuales 24 son sobre explotados, 18 se encuentran bajo el fenómeno de salinización de suelos y aguas subterráneas salobres y tiene 2 474 hm³ de recarga media anual (CONAGUA, 2019).

Con la información proporcionada por la CONAGUA (2019), se sabe que en México 75.7% del agua se utiliza para la agricultura, 14.7% para el abastecimiento público, 4.9% para la industria autoabastecedora y 4.7% para la electricidad, excluyendo la hidroelectricidad.

1.2. Problema de investigación

Los recursos naturales (renovables y no renovables) se ven amenazados por las actividades antropogénicas ocasionadas por el hombre; es importante conocer la tasa de extracción de plata mediante el uso de variables económicas en el estado de Zacatecas y en México. Zacatecas por ser zona región semi árida, presenta problemas referentes al agua potable, ya que es más escasa que en otras regiones, debido al crecimiento de la zona metropolitana lo que hace que se dé un aumento de la presión sobre el recurso hídrico, tanto en cantidad como en calidad, por lo que se debe conocer la valoración del agua potable que hacen los usuarios de los municipios de Guadalupe y Zacatecas.

1.3 Justificación

La extracción y aprovechamiento de recursos naturales tiene varios aspectos que afectan a las comunidades y a las áreas donde se localizan. En muchas ocasiones se tiene un efecto importante sobre el medio ambiente deteriorando el entorno. Se plantea la cuestión de sí, los recursos se están sobre explotando o si siguen una lógica económica.

El uso de los recursos naturales, como lo es el agua, resulta importante por lo que es necesario hacer una estimación de la disponibilidad a pagar por mejorar la calidad del agua en el servicio del recurso hídrico en los municipios cercanos al desarrollo de la industria minera.

A pesar de la importancia de la actividad minera en México y Zacatecas, hacen falta investigaciones de carácter económico y ambiental que permitan esbozar un panorama actualizado de las condiciones de los recursos naturales, sobre todo estudios que en conjunto permitan analizar, cuantificar y proponer acciones que ayuden a un mejor manejo de los recursos naturales.

Aunado a esto, un aspecto central que pretende cubrir esta investigación es la realización de estudios sobre las tasas óptimas de extracción de minerales y el uso de los recursos naturales y económicos que se emplean durante y después de su extracción, esto debido a que anteriormente sólo se han realizado estudios de carácter teórico, sin involucrar modelos matemáticos que ayuden a visualizar claramente la problemática, la cual es actual y tiene alcances transgeneracionales.

Debido a la alteración de los depósitos de agua para el desarrollo de las actividades industriales y humanas, se originan aguas residuales y desechos sólidos, lo que origina la contaminación de los recursos hídricos, por lo que el agua puede contener microorganismos, sustancias y desechos químicos. La contaminación del agua es un problema que se da en todos los órdenes

territoriales tanto nacional, estatal y local, lo que deriva en la limitación de la calidad del agua a la cual los usuarios pueden acceder.

El agua es uno de los recursos naturales más importantes para la existencia y desarrollo de la vida en el planeta, así como la civilización y sus economías se han desarrollado alrededor de la disponibilidad, cantidad y calidad de esta. Y, aunque la tierra está cubierta en un 71% de su superficie por agua, tan solo el 1% es apta para el consumo humano (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], 2012).

El consumo del agua en México, al igual que en la mayor parte del mundo, se divide en uso personal, de industria, y de agricultura. A nivel mundial, la industria utiliza 22%, contra 8% del consumo personal y 70% de la agricultura, según datos de la ONU. En México, según la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), la agricultura utiliza entre 68 y 70%, la industria y las hidroeléctricas cerca de 14%, mientras que el uso doméstico es de alrededor de 10% (Sistema Nacional de Información Ambiental y de Recursos Naturales [SNIARN], 2017).

Así pues, considerando el hecho de que el agua es un recurso estratégico para el país y el desarrollo de la vida, es necesario conocer y analizar su valoración para generar alternativas para un mejor uso y aprovechamiento.

Resulta importante profundizar en el análisis de la minería y el agua, en especial en regiones como Zacatecas, en donde los recursos naturales son escasos como en el caso del agua, por lo que es importante dadas estas condiciones, conocer el estado que guarda la valoración de la calidad del agua que hacen los usuarios de dicho servicio público en los municipios de Guadalupe y Zacatecas y así contar con actividades que prevean un financiamiento para el mejoramiento de este servicio en un futuro, en Zacatecas, además existen recursos naturales con un alto precio del mercado, como lo es la plata, cuya obtención de la tasa de extracción permite conocer el estado actual y futuro de este mineral, para contar

con provisiones y en el futuro se puedan buscar sustitutos para este mineral o para la población que se desempeña laboralmente en ésta industria.

1.4. Objetivos

1.4.1 Objetivo general

- Determinar la tasa de extracción de la plata, principal recurso minero del estado de Zacatecas y conocer la valoración del agua recurso vital para la existencia, en la zona metropolitana.

1.4.2 Objetivos específicos

- Estimar el valor y precio del stock de la plata en el mercado mediante el uso de la regla de Hotelling, lo que permitirá hacer una programación dinámica de la extracción.
- Estimar la disponibilidad a pagar (DAP) de los consumidores del servicio del agua potable a través del método de valoración contingente (MVC) en los municipios de Guadalupe y Zacatecas.

1.5 Hipótesis

1.5.1 Hipótesis general

- El uso de metodologías apropiadas permite determinar la tasa de extracción de plata, así como conocer la disposición a pagar por parte de la población para crear un fondo de mejora para el servicio de agua potable.

1.5.2 Hipótesis específicas

- La implementación de la regla de Hotelling permite optimizar económicamente la extracción de minerales, al comparar simultáneamente el valor económico producido por los flujos periódicos de la extracción y la tasa de interés, obteniendo una programación dinámica de la extracción.
- El consumidor del servicio de agua potable en Guadalupe y Zacatecas muestra una disponibilidad favorable a pagar por una mejor calidad de agua potable.

1.6. Estructura del documento

El presente documento de investigación se compone del primer capítulo que abarca una introducción general y cuatro capítulos principales. En la introducción general se describe la problemática del agua y la minería, para dar un marco de referencia al planteamiento del problema estudiado, así como a los objetivos e hipótesis planteadas.

El capítulo dos comprende una revisión de literatura de los temas principales a tratar en los capítulos tres y cuatro referentes a la regla de Hotelling y al método de valoración contingente.

En el capítulo tres se presenta un primer artículo científico referente al uso de la regla de Hotelling para la obtención de la tasa de extracción de plata en México y Zacatecas.

El capítulo cuatro corresponde al artículo de investigación sobre la valoración económica de la disponibilidad a pagar por los usuarios para acceder a una mayor calidad del agua potable suministrada por el ente regulador de dicho recurso en Guadalupe y Zacatecas.

Y finalmente, en el capítulo cinco se encuentra el apartado de conclusiones y recomendaciones.

CAPÍTULO 2. REVISIÓN DE LITERATURA

En este capítulo se efectúa una revisión de literatura enfocada al estudio de los recursos naturales renovables y no renovables, recurriendo a diferentes metodologías como la regla de Hotelling para abordar la práctica minera y la tasa de extracción de plata, y el método de valoración contingente para valorar un bien o servicio público, específicamente para la valoración económica de la calidad del agua potable.

El tema de minería se aborda desde discusiones más generales. Se identifican, primero los principales conceptos en el estudio de la minería y cuestiones referentes al uso y aprovechamiento de los recursos naturales que derivan en este proceso. Posteriormente se profundiza en las diferentes aproximaciones entorno a la minería en México y Zacatecas, así como lo referente a la valoración de un bien público.

Lo anterior es con la finalidad de conocer qué han referido otros autores acerca de ese tema, las distintas líneas de investigación que existen sobre el mismo y los autores principales que han publicado sobre la materia.

El tema de la valoración del agua, se discute el concepto de valor en general y en particular el valor del agua, sus características económicas, físicas y sociales, y los métodos que se emplean para valorar el agua de uso residencial

2.1 Ecología y economía de los recursos naturales

Debido a la importancia del estudio de los recursos naturales, su relación con el ser humano y las actividades que desarrolla en el medio ambiente, como su extracción y consumo, es relevante el estudio de la ecología política.

El término “ecología política” fue utilizado por primera vez por Throne (1935, posteriormente Wolf (1972), lo retomaría, lo usa para analizar cómo las reglas locales de herencia y propiedad se miden entre las presiones que surgen de la sociedad en general y las exigencias del ecosistema local.

Toledo (1991) señala que, cuando surge la problemática ecológica, como una problemática central del mundo, a la ecología política le corresponde estudiar los conflictos sociales y ecológicos que de ahí se deriven, investigando los procesos de explotación humana y de la misma naturaleza, tanto en las relaciones sociales de producción como la propia explotación que el humano realiza sobre la naturaleza.

Carlo y Ramos (2013), definen a la ecología como: “una herramienta teórico-analítica de relevancia cuyo uso se ve plasmado en el consumo desigual de energía y recursos, llevando a la generación de desechos cuyos impactos se ven reflejados en los crecientes conflictos socioambientales”.

Los recursos naturales son los bienes y servicios de los ecosistemas en sus estados naturales, en estados no modificados o brutos pueden ser insumos para producir algo de valor económico, entrando así en el mercado y adquiriendo un valor económico (Bergstrom y Randall, 2016).

Bergstrom y Randall (2016), dividen los recursos naturales de la siguiente manera:

a) No renovables (no pueden reponerse en un horizonte de tiempo significativo):

- Minerales metálicos.
- Minerales industriales no metálicos.
- Combustibles fósiles.

b) Renovables (puede ser renovado en un tiempo relativamente corto):

- Plantas.
- Agua.
- Aire.
- Suelo.

Martínez (2015) señala que: “el crecimiento de la población y las actividades económicas que desarrollan afectan de manera directa al medio ambiente, ya que esto lleva a la contaminación ambiental, ya que mientras más grande sea la

población, mayor será su consumo de recursos y los desechos que emita, por lo tanto se debe tener presente que no todos los individuos hacen igual uso del medio ambiente y tampoco se ven afectados de la misma manera por el aprovechamiento de estos y es de aquí de donde surgen los conflictos socioambientales”. La ecología política estudia cómo la política se involucra en los conflictos socioambientales, trayendo consigo conocer el déficit que se puede presentar entre los países ricos y los países pobres y los pasivos ambientales utilizados. La ecología política entonces estará fuertemente ligada a los movimientos de justicia ambiental y la sustentabilidad (Martínez Alier, 2015).

El desarrollo económico en todas sus manifestaciones, incluso la vida humana misma, lleva de manera implícita un uso y deterioro de los recursos naturales. Lo que la ciencia en general y en particular la economía le corresponde hacer, es identificar las técnicas de uso y extracción menos lesivas para el medio ambiente.

Le corresponde a la economía de los recursos naturales la utilización de instrumentos y conceptos de la economía neoclásica para participar con criterios de eficiencia en el uso de los recursos naturales renovables y no renovables. En el caso de los recursos mineros sea cual sea el tipo, son recursos no renovables, la plata es uno de ellos. Es importante determinar el ritmo de extracción económicamente eficiente. Un instrumento que se utiliza es la regla de Hotelling, misma que a continuación se trata.

2.1.1 Regla de Hotelling: recursos naturales no renovables y extracción óptima

Los recursos naturales poseen ciertas características que hacen que sean diferentes al resto de bienes y servicios que se encuentran en el mercado, y más aún cuando se trata de recursos naturales no renovables. Dichos recursos como los hidrocarburos y los minerales están a merced de las reservas con las que cada país o región tenga de ellos y se debe tomar en cuenta que en algún momento se agotarán. Por lo tanto, es importante conocer su stock actual, para posteriormente conocer su disponibilidad para futuras generaciones.

Sumado a esto Boadway y Keen (2010), exponen otras consideraciones que deben ser tomadas en cuenta:

- La incertidumbre generada, atribuida a los precios internacionales, al nivel de producción, a las nuevas reservas encontradas, a los costos de los insumos, a los conflictos sociales, políticos y económicos que pudieran surgir, derivado de la extracción de estos recursos.
- La asimetría de información (que normalmente favorece al inversor/productor) y que beneficia a la toma de decisiones al estado, dejando de lado a los habitantes de las regiones.
- Aumento de negocios adicionales, derivados del desarrollo de la industria extractiva del mineral o hidrocarburo en cuestión.
- El poder de mercado que pueden adquirir algunos inversores o productores al poseer una cantidad significativa de las reservas de estos bienes.

Como se señaló anteriormente, los recursos naturales no renovables son escasos, por lo que su agotamiento podría afectar el crecimiento económico.

Uno de los modelos propuestos para poder conocer la tasa óptima de extracción de los recursos naturales no renovables, es la regla de Hotelling. Este método fue presentado por Hotelling (1931), según el cual se puede alcanzar una tasa óptima de extracción de los recursos naturales no renovables, durante el periodo de producción no se extinguirá el recurso durante el tiempo equivalente al necesario para la extracción de este.

Tanto los consumidores como los productores (los que intentan maximizar la utilidad y los que intentan maximizar la ganancia, respectivamente), generan de manera automática una asignación óptima de bienes escasos, lo que conlleva a

que involuntariamente se den resultados social y económicamente deseables; Lo anterior sucederá solo cuando no existan externalidades (Costanza, 1999).

Otro supuesto importante que considera Ferreiro (1994) para la regla de Hotelling es que “el propietario conoce el stock de recurso, pero está consciente que esa cantidad puede variar si se llegaran a encontrar nuevos yacimientos, lo que cambiaría el precio inicial del recurso, y los periodos para la explotación, de tal forma que el recurso no renovable, pareciera tomar características de un recurso renovable, pero no se debe dejar de lado que, aunque aumente el stock, no se renueva, solo se encuentran nuevos yacimientos que igualmente a lo largo de los periodos de agotarán”.

La regla de Hotelling, liga directamente el precio de un recurso natural con el nivel de explotación, para que ambientalmente sea lo más sostenible a través de los periodos de tiempo en los que se extrae, este método permite que tanto en el presente como en el futuro se pueda hacer uso de ese recurso no renovable, bajo los supuestos de competencia perfecta y bajo un mercado monopolístico (Fernández, 2017).

Lo propuesto por Hotelling, es obtener una tasa de extracción óptima de un recurso natural no renovable, lo que significa que durante un periodo óptimo de tiempo se dé un periodo óptimo de agotamiento, y que la tasa de extracción óptima subsista el tiempo que sea necesario para la economía, lo anterior determinado por la demanda del bien, la tasa de interés, los avances tecnológicos y las reservas disponibles del mismo (Godoy, 2012).

La regla de Hotelling se basa en la maximización de los beneficios para determinar los precios asignados al consumo de los recursos naturales agotable, utilizando además, un supuesto referente a las preferencias adoptadas por diversas generaciones que utilicen ese bien, proponiendo que: el valor que se debe maximizar no es la ganancia que se pueda obtener en la generación presente mediante la explotación de los recursos, sino más bien el valor presente

de los flujos de dinero esperados de la explotación en un futuro, y por lo tanto para maximizar la ganancia derivada de la explotación éste recurso, su renta de escasez deberá crecer al mismo ritmo que la tasa de interés del mercado (Correa, 2015).

Las decisiones del pasado, así como las expectativas de precios se relacionan con los precios y costos futuros, siendo éste un costo de oportunidad, que se refiere a los beneficios y ganancias que se pueden obtener de la extracción del recurso en el periodo siguiente, lo que se denomina renta de escasez, la cual está dada por la diferencia entre el precio en el momento temporal correspondiente y el costo de extracción (Pearce y Turner, 1995).

Recapitulando, los recursos naturales no renovables, tienen como principal característica que la cantidad de ellos que se pueda extraer en un futuro dependerá de la cantidad que se extraiga en el presente. Entonces, si una cantidad de recurso se extrae en este periodo, se pierde la oportunidad de ser utilizado en un periodo futuro, lo que significa que la extracción actual de un bien o servicio no renovable puede afectar el bien de la sociedad futura.

Diversos estudios sobre recursos naturales no renovables, han utilizado la regla de Hotelling, como en Godoy (2012), se utilizó para analizar la explotación de cobre en Chile, (Franco *et al.*, 2010) calcularon la tasa óptima de extracción teniendo en cuenta los niveles de extracción de recursos carboníferos en Colombia, (Méndez *et al.*, 2016) enfocaron la aplicación de la regla de Hotelling al estudio del petróleo en Ecuador, (Lachaud y Maldonado, 2011) basaron su estudio referente al agotamiento del gas natural y el carbón realizando una interpretación de la regla de Hotelling.

2.1.2 Extractivismo y minería

Por extractivismo se puede entender diferentes técnicas y métodos para la obtención de materias primas, por mencionar algunas definiciones, se concibe como “extractivismo” al tipo de explotación de recursos naturales, en gran

volumen o alta intensidad, enfocado mayormente a la exportación de los recursos como materias primas, éstas pueden ser mínimamente procesadas o incluso sin ningún grado de procesamiento, lo que traerá consigo la especialización de algunas regiones como extractoras y productoras de materias primas y otras como desarrolladoras de bienes y servicios más elaborados (Acosta, 2012).

De igual forma, se habla sobre el extractivismo mencionando que se trata de un patrón de acumulación que se basa en la sobreexplotación de recursos naturales que cada vez resultan más escasos, y que en su mayoría son no renovables, así como en la expansión de las fronteras de aprovechamiento hacia territorios antes considerados como improductivos mediante obras y proyectos a gran escala (por ejemplo, la minería a cielo abierto, presas, etc.), llevándose dichos recursos a territorios con mayor desarrollo (Svampa, 2013).

Gudynas (2014), entiende por extractivismo como “la actividad de extracción de recursos naturales, cuya principal característica es su remoción en volúmenes elevados y cuyos procesos de alta intensidad se realizan con la finalidad de que dicha materia prima o también conocida como commodities, sea exportada (se considera que cuando es más de 50% o más del volumen obtenido”, también menciona que el extractivismo es: “un tipo de apropiación de recursos naturales en grandes volúmenes y/o la alta intensidad, donde la mitad o más son exportados como materias primas, sin procesamiento industrial o procesamientos limitados” (Gudynas E. , 2013).

El término de “extractivismo minero” fue empleado desde la década de 1950 por los economistas, haciéndolo popular en los países del sur, y siendo rápidamente adoptado por gobiernos, empresarios y agencias de desarrollo como el Banco Mundial (BM), todo esto con el fin de defender el extractivismo minero como una “industria” (Gudynas , 2013).

El extractivismo minero genera desechos al momento de extraer y transformar los minerales, deteriorando el paisaje, el suelo, el agua y el estilo de vida de los individuos que coexisten en donde se desarrolla dicha actividad.

La minería ha estado presente a lo largo de la historia, desarrollándose especialmente en América Latina, siendo una de las principales actividades económicas y con gran presencia en México y en Zacatecas, esta práctica se ha nutrido de las corrientes exportadoras y representa un papel esencial en la economía del país, pero al mismo tiempo ha estado también en el centro de fuertes polémicas debido a sus impactos económicos, sociales y ambientales.

Diversos estudios han analizado el extractivismo desde diferentes enfoques, algunos de ellos son: Rodríguez (2018), donde analiza la extracción de petróleo, gas natural y otros minerales para comprender su alcance en el desarrollo de México, Jacobo (2020) abordó el estudio del extractivismo explicando cómo los nuevos modelos extractivos pueden acumular con mayor facilidad los recursos naturales, Díaz, aborda el extractivismo del agua, para la creación de una presa (Díaz, 2014).

2.1.3 Minería en México y Zacatecas

México es el principal productor de plata a nivel mundial, y se ubica en los 10 primeros lugares en la producción de otros 17 minerales, es el segundo productor de fluorita, el tercero en sulfato de sodio y wollastonita, cuarto en celestita, el quinto productor de plomo, molibdeno, barita, diatomita y sulfato de magnesio, el sexto en zinc, el octavo en sal, cadmio feldespatos y oro y el décimo en cobre (SE, 2022).

La industria de la minería y la metalurgia contribuye con 2.05% del PIB nacional y 8.6% al PIB industrial, no es de extrañar si consideramos que las inversiones que se han realizado en este sector han ido en aumento, calculado que se dio un incremento de 36.1% del año 2021 al 2022, teniendo este último una inversión por 4 mil 809.6 millones de dólares (SE, 2022).

En México existen 3123 compañías dedicadas a la minería, dentro de las actividades que estas empresas pueden desempeñar, se encuentran: la extracción de minerales, de petróleo, gas, canteras, etc., de éstas 3123 empresas, 106 se ubican en el estado de Zacatecas (Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI], 2018).

La industria minera registró un número de 406,179 empleos en 2021 y aumentó su posicionamiento en atracción de inversiones extranjeras, colocándose en el lugar número 34, según el índice de atracción de inversión, a nivel Latinoamérica ocupa el sexto lugar, solo por debajo de San Juan (Argentina), Ecuador, Salta (Argentina), Colombia y Chile (Cámara Minera de México [CAMIMEX], 2021).

En el panorama nacional, Zacatecas ocupa el segundo lugar en producción de oro, con 18.2%, el primer lugar en producción de plata con 38% del total nacional, y es aquí donde se localizan las minas de plata más grandes del país: Peñasquito de la empresa Newmont, (la cual fue la mayor productora de éste mineral en el 2021, produciendo 31 millones de onzas), Saucito y Fresnillo de Fresnillo PLC, es el segundo productor de cobre con 8.7% de la producción nacional, primer lugar de la producción de zinc con 48.1%, productor número uno de plomo de 63% de la producción nacional (CAMIMEX, 2021).

Los estudios realizados sobre minería en México y Zacatecas son muy importantes, ya que muestran una perspectiva referente a los minerales, su situación, aprovechamiento, stock y condiciones que los envuelven, con la finalidad de tener un panorama claro respecto a estos recursos naturales tan importantes para el desarrollo de la economía del país, algunas de estas investigaciones son: Gaytán y Benita (2014), refieren sobre cuantificar y analizar los niveles de eficiencia técnica en la minería no petrolera de México, Jimenez (2017), que señala el panorama actual de la industria minera en México, Tetreault (2012), aborda desde otra perspectiva la minería, estudiando los conflictos sociambientales derivados de ésta actividad.

El estado de Zacatecas es de sumo interés para el estudio de la minería, por lo que también se han realizado diferentes estudios al respecto: (Maldonado *et al.*, 2012) realizan una comparación sobre el estado de la minería en Zacatecas con otros estados, para así medir su eficiencia económica, Gaytán (2016), desarrolla una investigación para conocer la vocación productiva y las sendas de crecimiento por actividad económica, destacando la minería, Garibay y Pánico, (2011), lo abordan desde el enfoque de los conflictos sociales y ambientales que se han derivado en las principales zonas mineras de Zacatecas.

2.2. El concepto de valoración del agua

La publicación de la “Riqueza de las Naciones” (Adam Smith, 1776), pone un ejemplo claro para distinguir entre valor y precio:

“No hay nada más sutil que el agua; pero con ella apenas se puede comprar cosa alguna ni recibir cosa a cambio. Por el contrario, un diamante apenas tiene valor de uso, pero generalmente se pueden adquirir, a cambio de él, una gran cantidad de otros bienes” (Smith, 1776).

Griffin (2006), hace referencia a esta paradoja diciendo:

¿Cómo puede ser que un recurso esencial como el agua tenga un precio mucho más bajo por unidad de peso o volumen que los diamantes? La respuesta a esta paradoja surge cuando sabemos que el precio de una mercancía está determinado no por sus aplicaciones más importantes sino por sus usos más marginales. El uso más marginal es uno que se eliminaría racionalmente si la oferta del producto se redujera en una unidad. El uso marginal del agua del hogar puede ser para una actividad como riego de césped o limpiar la acera. Por lo tanto, el valor del agua normalmente no está asociado con sus usos esenciales. Si la escasez alguna vez avanza hasta un punto en que los usos marginales del agua son usos esenciales, podemos ser testigos de una reversión de precios de los diamantes y el agua.

Por lo que se puede distinguir entre el valor de uso que determina que cada bien o servicio satisface una necesidad específica y el valor de cambio, que se

estimaré dependiendo lo que cueste producir un bien, siguiendo esta lógica el costo de un artículo no está determinado por la utilidad del artículo, sino por la capacidad de compra de un bien o servicio, teniendo en cuenta la equivalencia de otro para intercambiarlo para su transacción (Nicholson, 2008).

El término de valor fue utilizado en un principio por los economistas Adam Smith (1776) con la “Teoría del Valor”, David Ricardo (1817) “Principios de economía política y tributación”, John Stuart Mill (1848) “Principios de economía política” y Karl Marx (1867) “El Capital”.

Marshall (1892) define el excedente del consumidor como “la diferencia entre la cantidad máxima de dinero que un consumidor está dispuesto a pagar por un bien o servicio, y el precio que realmente paga. En este sentido, siempre hay un precio objetivo, de mercado, y un precio que el consumidor está dispuesto a pagar por un determinado bien”.

Dupuit (1844) basa su postura en el valor de uso, es decir, el valor de un bien se define en términos de compensación, la cual no está limitada a los bienes de mercado; puede darse entre dos bienes cualesquiera que sean independientemente de si tienen o no un precio de mercado.

Los recursos naturales tienen un valor económico cuando los usuarios de éstos, estén dispuestos a pagar para utilizarlos en lugar de prescindir de ellos, o cuando los usuarios están dispuestos a aceptar un pago por ceder o disminuir la cantidad del bien (Young y Loomis, 2014).

Al ser la economía la ciencia que administra los recursos, es la encargada de brindar herramientas adecuadas para la toma de decisiones, la implementación de indicadores y la que proporcione los valores para tomar decisiones en el mercado, sin embargo, los mercados no disponen de una asignación competitiva de precios en los que puedan basar la asignación de recursos que correspondan al agua (Griffin, 2006).

El agua, a pesar de ser un bien de no mercado, basa su valoración en el concepto de valor económico de Dupuit y Marshal, es decir, aunque no se comercialice en un mercado, la medida económica de la satisfacción de éste recurso es la cantidad monetaria que el usuario estaría dispuesto a cambiar por éste recurso si fuera posible, lo que genera una medida monetaria que representa el cambio en el bienestar de la persona, mediante el uso de su ingreso monetario, esto será equivalente al bien en medida de la satisfacción producida (Hanemann, 2006).

En 1992 se llevó a cabo la Conferencia Internacional sobre el Agua y el Medio Ambiente, en Dublín, Irlanda, en la cual se establecieron los “Principios de Dublín” y se abordaron temas relacionados a la situación del agua, ya que según consideraron los expertos reunidos ahí, el escenario hídrico mundial podría tornarse complicado, derivado de esta conferencia se dieron a conocer algunas recomendaciones en programas de acción sobre el agua y desarrollo sostenible, destacando las siguientes (Conferencia Internacional sobre el Agua y el Medio Ambiente [CNUMAD], 1992):

- El agua dulce es un recurso finito y vulnerable, esencial para sostener la vida, el desarrollo y el medio ambiente.
- El agua tiene un valor económico en todos sus diversos usos en competencia a los que se destina y debería reconocérsele como un bien económico.

Para Hanemann (2006), no queda duda que el agua es un bien diferente, tiene un significado especial que la mayoría de los demás bienes no tienen, lo que tiene consecuencias económicas, ya que sus propias características hacen que influya en los arreglos sociales, políticos, económicos que se puedan presentar para su demanda y valor.

El agua es un recurso natural indispensable, cuyo valor varía en función de su localización, uso, calidad, cantidad y disponibilidad, así como también de los beneficios que se puedan obtener de ella, para el uso humano podría tener un

valor subjetivo, ya que la propia naturaleza del agua y sus propiedades socioculturales hace difícil la asignación de un valor económico y a la vez puede ser que tenga el valor económico más alto (Organización de las Naciones Unidas [ONU], 2022)

Según Hanemann (2006), la disposición a pagar (DAP) y la disposición a aceptar (DAA), son “las medidas de valor utilizadas para cuantificar los cambios en la dotación de los recursos o en la calidad de los mimos, los recursos poseen un valor económico o producen beneficios para el usuario, siempre que estén dispuestos a pagar un precio por ellos en lugar de su uso, o en caso contrario, ser compensados por prescindir de este bien o servicio”.

Para la UNESCO (2021), los enfoques para valorar el agua podrían agruparse en las siguientes categorías:

1. Valoración de las fuentes de agua, los recursos hídricos y ecosistemas *in situ*.
2. Valoración de las infraestructuras hídricas para el almacenamiento, uso, reutilización o aumento del suministro del agua.
3. Valoración de los servicios hídricos, principalmente agua potable, saneamiento y aspectos relacionados con la salud humana.
4. Valoración del agua como insumo para la producción y actividad socioeconómica como alimentación y agricultura, energía e industria y, negocios y empleo.
5. Otros valores socioculturales del agua, incluyendo sus atributos recreativos, culturales y espirituales.

Al hablar de recursos naturales, el término de valor se utiliza principalmente de tres formas (UNESCO, 2021):

- a) Valor de intercambio: precio de un bien o servicio en el mercado.
- b) Utilidad: valor de uso de un bien o servicio.
- c) Importancia: aprecio o valor sentimental que le otorgamos a un bien o servicio.

La UNESCO (2021) categoriza de la siguiente manera los principales métodos para calcular los valores del agua:

1. Valor residual.
2. Programación matemática.
3. Costo/valor de reposición.
4. Valoración contingente.
5. Funciones de demanda.
6. Huella hídrica.

Young y Loomis (2014), realizaron una clasificación de las metodologías de valoración económica, dividiéndolas en: “métodos inductivos y métodos deductivos”:

Métodos inductivos:

- a) Observaciones de transacciones en mercados de agua.
- b) Estimación econométrica de funciones de producción y costos
- c) Estimación econométrica de funciones de demanda de agua municipal.
- d) Método de costo de viaje (TCM)
- e) Método de valor de propiedad hedónico (HPM)
- f) Método de comportamiento defensivo
- g) Métodos de costo de daños.
- h) Método de valoración contingente (CVM).
- i) Modelado de elección (EM).
- j) Transferencia de beneficios.
- k) Transferencia / metaanálisis de funciones de beneficios.

Métodos deductivos:

- a) Método residual básico.
- b) Variación de las rentas netas.
- c) Programación matemática.

- d) Valor añadido.
- e) Modelos de equilibrio general computable (CGE).
- f) Costo alternativo.

Para la valoración económica del agua doméstica, los autores Young & Loomis, (2014) sugieren el uso de las siguientes metodologías: Observaciones de transacciones en mercados de agua, estimación econométrica de funciones de demanda de agua municipal, método de valor de propiedad hedónico (HPM), método de valoración contingente (CVM), modelado de elección (EM), transferencia de beneficios. Aquí se usa valoración contingente para estimar el valor del agua de uso urbano en los municipios de Guadalupe y Zacatecas.

2.2.1 Método de valoración contingente, la disposición a pagar y la disposición a aceptar.

En su mayoría los recursos naturales, son considerados bienes públicos, o de acceso libre, lo que llevaría a pensar que no tienen un precio, por esta razón y según la teoría económica se considera que su utilización se llevará a cabo hasta que la última unidad de ese bien sea utilizada proporcionando una utilidad igual a cero, su nula, poca o sobreexplotación estará condicionada si el bien es deseado o no deseado, por lo tanto, es necesario estimar un valor monetario de estos bienes y servicios medioambientales para tener una asignación eficiente de su uso (Pérez, 2016).

Para poder estimar el valor monetario se han desarrollado diferentes metodologías, algunas basadas en las preferencias reveladas, es decir que se enfocan en un bien convenido previamente en un mercado con alguna conexión a un bien que no tiene precio de mercado, pero que es de interés para la política pública, o mediante preferencias declaradas a través de encuestas con respecto a bienes no mercadeables, éste último método, es conocido como “método de valoración contingente” (MVC) y normalmente se utiliza en el contexto de los servicios ambientales (Amorós, 2004).

El método de valoración contingente” (MVC), fue utilizado por primera vez de forma empírica por Ciriacy-Wantrup SV., (1947) y en 1963 fue utilizado por Robert Davis, en un estudio donde intentó encontrar el valor recreativo que tienen los bosques del estado de Maine en Estados Unidos para sus usuarios (Davis, 1963).

Mediante este método se obtienen las preferencias de los ciudadanos mediante la aplicación de los cuestionarios, es decir se estima la máxima disposición a pagar de cada sujeto para mejorar un bien que no es mercadeable o, en su caso la disposición a ser compensado (DAC) por la pérdida o disminución de aprovechar dicho bien que se desea valorar, para así producir una estimación de las preferencias de los individuos, así como de la ganancia del bienestar de los mismos por la transformación en el uso del bien ambiental o público.

Debido al incremento del uso de esta metodología, ha creado algunas controversias, siendo una de las más importantes: el derrame de petróleo de Exxon Valdez, ocurrido el 24 de marzo de 1989 y la importancia del MCV, para estimar el valor de los daños, esto escaló a tal grado que el estado de Ohio falló en contra del Departamento Interior de Estados Unidos de América, ordenando que se ampliara la encuesta para poder medir los daños a los recursos naturales que se vieron afectados, también conocidos como valores de no uso o de existencia, dando como resultado que se dictaminara que los estudios sobre MVC deben de ser diseñados y controlados cuidadosamente para que los resultados sean lo más fiables posibles y puedan ser un punto de partida en los procesos de evaluación de daños ambientales (Arrow *et al.*, 1993).

Para realizar el estudio de valoración contingente referente a esta afectación al medio ambiente, se diseñó una encuesta que se aplicó a nivel nacional a los estadounidenses, mediante la cual se estimó la disposición a pagar para evitar otro derrame de petróleo como el ocurrido en Exxon Valdez e interrogantes relacionadas con confiabilidad y validez de las estimaciones recibidas (Carson *et al.*, 2003).

Así pues, como lo mencionan Pearce y Turner (1995), para la aplicación del MVC se deben realizar preguntas a las personas, referente a lo que estarían dispuestos a pagar para obtener un beneficio e incluso, lo que estarían dispuestos a recibir en caso de requerir una compensación por tolerar un costo del uso de ese bien natural; para poder realizar estas preguntas, se pueden hacer mediante dos formas: 1) encuesta directa; y 2) mediante varias técnicas de estímulos en condiciones controladas.

La valoración económica puede ser una herramienta poderosa para mejorar la gestión del agua, por lo que el método de valoración contingente, ayuda a estimar monetariamente este tipo de bienes o servicios, que tienen como característica principal ser “públicos”, ya que, dada su condición y aplicación, ya sea de valoración o de disposición a pagar, pueden realizarse cambios o mejoras en los servicios y áreas públicas, derivado de las respuestas de los entrevistados, así como también denotar la situación actual y una posible condición futura de los mismos (Aylward, *et al.*, 2010 , Young y Loomis, 2014).

La valoración contingente MVC se fundamenta en la valoración de bienes públicos, dicho método resulta controversial debido a que implica preguntar de manera directa a los individuos sobre la valoración monetaria que asignan a dichos bienes, resulta un tanto polémico debido a que normalmente para dar paso a la valoración económica debe existir algún atractivo/beneficio en los bienes por los cuales se cuestiona (Veisten, 2007).

Algunas de las principales ventajas para el uso del MVC consisten en que con él se pueden cuantificar los valores de no uso, no requiere ningún supuesto previo, ni es necesario estimar la función de demanda de la persona, pero sí permite determinar la variación compensatoria, sin embargo, surge un problema derivado de la desconfianza que pueda surgir de las respuestas de los encuestados, ya que no existe alguna manera que contrastar la validez de los resultados, ya que la encuesta se basa en un mercado hipotético con incertidumbre (Azqueta, 2007).

El método se ha utilizado para estimar la DAP de los usuarios de agua potable en Leon, Gto., (Valdivia *et al.*, 2022); también para calcular la DAP por mejorar la calidad del agua en Zapopan (Briseño y Macedo, 2021); para estimar la DAP por la restauración ambiental del río Lerma en la Piedad, Michoacán (Ayala y Abarca, 2014); solo por mencionar algunos.

El MVC señala la elaboración del mercado de un bien a valorar mediante el planteamiento de preguntas directas de DAP para lograr mejorar o aceptar un empeoramiento de un bien o servicio, o la cesación del mismo, y para obtener esta información se les presenta a los usuarios de dichos bienes una situación inicial y una final, en las cuales se describen las condiciones actuales y posteriormente las condiciones que se presentarían en caso de que se den situaciones específicas que mejoren o empeoren el servicio, respectivamente Valdivia *et al.*, (2011).

Para poder desarrollar el MVC se deben de realizar cuestionarios para conocer la DAP de los encuestados, sin olvidar que son escenarios hipotéticos, y que, además se utiliza para poder otorgarle valores a bienes y servicios ambientales que no cuentan con un mercado (Carson, 2000; Portney, 1994)

Según Osorio y Correa (2009), señalan además de lo anterior, que, para poder registrar adecuadamente los resultados de las encuestas aplicadas, se deben tener en cuenta cuatro condiciones:

1. La diferencia entre la disposición aceptar de un individuo (DAA) por una pérdida ambiental y la disposición a pagar (DAP) por una mejora ambiental.
2. Los sesgos que se presentan ante la presencia de no respuestas.
3. El diseño de la encuesta.
4. El modelo econométrico para la estimación de las medidas de bienestar.

Mediante la encuesta de valoración que se aplica, se formulan diferentes escenarios que ofrecen al encuestado diferentes soluciones posibles que podrían suceder en el futuro, se les pregunta sobre sus preferencias con respecto a

diferentes dilemas o circunstancias, que, posteriormente se comparan con elecciones realizadas por consumidores de mercados reales. Para ambas situaciones el valor económico es obtenido de estas elecciones, tanto en el mercado hipotético como en el mercado real (Valdivia *et al.*, 2022).

Una vez realizada la encuesta y obtenida la información derivada de la misma, se estima la DAP o la DAA de los individuos involucrados, lo anterior mediante un mercado hipotético, en el cual se les proporciona una utilidad inicial a las personas, dicha situación al ser hipotética representa una disputa entre un mercado real y uno creado con supuestos e hipótesis, dentro del cual se corre el riesgo que los usuarios respondan con sesgos que afecten la estimación de la DAP o la DAA. Este tipo de sesgos en los instrumentos para la aplicación del MVC se deben, principalmente a los errores que se presentan en la forma en que se plantean las encuestas, ya que de eso depende la forma en la que el entrevistado puede reaccionar al suministrar la información para la DAP o la DAA (Chilton, 2007).

Según Valdivia *et al.*, (2011), ya que el MVC es parte de las metodologías de preferencias declaradas, fundamenta su desarrollo en la realización de preguntas directas de DAP, esto cuando hay una mejora en el bien o servicio, o una DAA, cuando hay un empeoramiento o disminución dicho bien, sin embargo, para ambas situaciones debe plantearse una condición inicial y una condición final, las cuales se le plantean al encuestado.

Respecto a lo anterior, diversos autores como (Hoehn y Randall, 1989; Carson, 2000), señalan que para poder elegir entre la DAA y la DAP, también se ven involucrados los derechos de propiedad de los bienes en cuestión, la DAA resultará más difícil de emplearse si se tratará de convencer a los usuarios o dueños de los bienes de renunciar a sus derechos o beneficios, ya que teóricamente, estarían cediendo sus derechos de propiedad, en cambio si dicho encuestado no posee algún título de propiedad del bien o servicio, deberá utilizarse un instrumento de encuesta destinado a obtener la DAP.

Algunas otras investigaciones han demostrado que cuando los encuestados no han realizado previamente ejercicios referentes a la valoración de bienes y servicios públicos, y tienen menor preferencia por el riesgo, otorgarán un mayor valor a la disposición a aceptar y una subestimación de la disposición a pagar, también se ha observado que la DAA disminuye conforme los encuestados se van relacionando con el MVC, en cambio la DAP permanece sin grandes cambios, lo que la vuelve un dato más confiable y preciso para valorar un bien o servicio ambiental (Coursey *et al.*, 1987; O'Doherty, 2001).

2.2.2 Estado de los recursos hídricos de México y Zacatecas

México es un país con grandes litorales, el Océano Pacífico, el Golfo de California, el Golfo de México y el mar Caribe, y cuenta con 11 122 km de costas, 15 000 km² de lagunas costeras y 29 000 km² de cuerpos de agua interiores, 653 acuíferos, 51 ríos principales por los que fluye el 87% del escurrimiento superficial y cuyas cuencas cubren 65% de la superficie del país, 70 lagos y ríos y arroyos constituyen una red hidrográfica de aproximadamente 633 mil km de longitud, además de 142 humedales; sin embargo, a pesar de su gran diversidad de fuentes hídricas, solo 58% de sus habitantes puede acceder al agua diariamente en sus hogares y al saneamiento básico, lo que vuelve crítica la situación, Programa Nacional Hídrico 2020-2024 (PNH) (Diario Oficial de la Federación [DOF], 2020)

Según PNH 2020-2024 (DOF, 2020), en las ciudades la población que puede acceder a estos servicios es de un 64% del total y en las áreas rurales tan solo un 39%, 14 estados de la república tienen un rezago en el acceso a los servicios hídricos, cuya población que cuenta con agua y saneamiento todos los días fluctúa entre 10% y 50%, entre estos estados se encuentra Zacatecas, con un 37%.

El PNH 2014-2018 (DOF, 2014), muestra que la disponibilidad per cápita del agua ha disminuido a lo largo del tiempo, ya que en 1950 era de 18,035 m³ por habitante por año y para el 2013 se ubicaba en 3 982 m³ por habitante por año.

El agua es utilizada en diversos sectores e industrias del país, siendo la agrícola, con un 76% del total, la que consume una mayor parte de este recurso, le sigue el abastecimiento público con un 14%, 5% la utiliza la industria abastecida y otro 5% se emplea en centrales termoeléctricas (DOF, 2020).

Según la Ley Nacional de Aguas (DOF, 2014), México se divide en 37 regiones hidrológicas administrativas de las cuales la que tiene un “muy alto” grado de presión es la RHA XIII Aguas del Valle de México, de ahí le siguen con un “alto” nivel de presión I Península de Baja California con 81%; II Noroeste con 85%; III Pacífico Norte con un 40%; IV Balsas con 50%; VI Río Bravo con un 75%; VII Cuencas Centrales del Norte con 48% y VIII Lerma Santiago Pacífico tiene un 45% y con un grado de presión "medio" la RHA IX Golfo Norte con un 21%. El resto del territorio se considera con "bajo" grado de presión o sin presión.

El estado de Zacatecas se ubica en la RHA número VII, Cuencas Centrales del norte (DOF, 2019), la cual tiene un nivel de presión del 48%.

México es un país altamente vulnerable a la sequía, principalmente los estados del norte como Chihuahua, Coahuila, Nuevo León, Durango y Zacatecas, donde el impacto de este fenómeno puede tener consecuencias desde leves hasta catastróficas. La diferenciación de ocurrencia de fenómenos de carencia y exceso de agua en el norte y sur de nuestro país, respectivamente, permite que ambos se puedan presentar simultáneamente con graves resultados (DOF, 2020).

Zacatecas cuenta con 34 acuíferos, de los cuales 14 se encuentran sobre explotados (Jerez, Benito Juárez, Villanueva, Ojocaliente, Aguanaval, Abrego, Guadalupe de las Corrientes, Puerto Madero, Calera, Chupaderos, Guadalupe Bañuelos, La Blanca, Loreto y Villa Hidalgo), lo que representa un déficit de agua

de 380 millones de metros cúbicos de para sus habitantes (Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales [SEMARNAT], 2014).

El estado de Zacatecas tiene 58 municipios, en una extensión territorial de 75 275.3 km², la disponibilidad de servicios y equipamiento relacionado con el agua potable se distribuye de la siguiente manera: 77.5% cuenta con agua entubada, 96.3% con drenaje, 97.1% con servicio sanitario, 99.3% con energía eléctrica, 89.1 con tinaco y 19.6% con cisterna o aljibe (INEGI, 2020), otro dato interesante es que, según el INEGI (2019), el agua renovable que reciben los habitantes del estado de Zacatecas es de 2,474 m³ por habitante al año.

2.2.3 Calidad del agua

El medio ambiente ha desempeñado un papel importante para el desarrollo de las sociedades y sus sistemas de producción, la naturaleza ha funcionado como la principal proveedora de materia prima e incluso como receptora de desechos derivados de la actividad humana, de ahí la importancia de cuidar, conservar y racionar los recursos que se obtienen de ella, por lo que es fundamental poner un valor económico al medio ambiente para que así la sociedad y el resto de actores económicos manifiesten cuánto están dispuestos a pagar o a aceptar para conservarlo, mejorarlo o sacrificarlo (Bergstrom y Randall, 2016).

A través de la historia de la humanidad, el agua a desarrollado un papel fundamental para el desarrollo de la vida, siendo indispensable para la existencia de los seres vivos, e incluso participando en los sistemas de producción. El agua es muy importante para el desarrollo de las sociedades, así como para la producción de bienes y servicios, por lo que es importante conocer su cantidad y calidad para poder aprovecharla de la mejor manera posible.

Se cree que a nivel mundial 80% de las aguas residuales son derramadas al medio ambiente sin ningún tratamiento previo, lo que trae consigo problemas para la salud humana, deterioro de los ecosistemas, daño del paisaje, entre otras problemáticas, normalmente los que contaminan el agua lo hacen mediante el

uso de grandes cantidades de agua dulce, para poder diluir dichos contaminantes, llevando a un nivel por encima de los estándares de calidad permitidos, provocando riesgos y afectaciones a la salud y al medio ambiente, así como un aumento en el estrés hídrico y en el costo del tratamiento del agua (UNESCO, 2017).

El crecimiento demográfico, el cambio climático y la contaminación mantienen en constante presión a los sistemas hidrológicos, y que nos hace pensar que no estamos conscientes de la magnitud de este recurso para la economía, el medio ambiente y el desarrollo de la vida del ser humano, ya que si fuera así comprenderíamos la importancia de conservarla y aprovecharla de manera óptima.

Debido al crecimiento demográfico se espera que la demanda mundial de agua aumente exponencialmente, aunado a esto, la agricultura requiere de alrededor de un 70% del agua mundial que se extrae, lo que conlleva a un incremento en la exigencia de la demanda de agua para la producción industrial y energética, y, por si fuera poco, la creciente urbanización, el aumento de suministro de aguas municipales y el saneamiento aumentan el estrés hídrico (UNESCO, 2021).

Las actividades humanas pueden modificar la composición de los cuerpos de agua, ya que al realizar descargas de residuos contaminantes alteran el equilibrio ecológico, ya que normalmente y en condiciones naturales, se dan procesos biológicos, químicos y físicos que mantienen un nivel óptimo de sustancias, partículas y microorganismos. (Gómez *et al.*, 2013).

Se deben considerar diferentes factores para valorar económicamente el agua, además de la calidad y cantidad disponible, en los cuerpos de agua se pueden encontrar microorganismos en diferentes proporciones, así como desechos y otros componentes que en concentraciones elevadas pueden perjudicar la salud y reducir los valores y utilidad del agua, es por esto que algunas variables como el grado de tratamiento del agua, el contenido de contaminantes y

microorganismos e incluso la falta de estos, así como los usos para los que sea necesaria pueden contribuir para determinar su valor (Young y Loomis, 2014).

La medida en que están presentes los microorganismos y los componentes disueltos o suspendidos varía mucho; en concentraciones suficientemente altas puede afectar la salud y reducir los valores estéticos y la productividad. Por lo tanto, el contenido de contaminantes o a la inversa, el grado en que se trata el agua para diversos usos, es importante para determinar su valor.

En México la CONAGUA (Comisión Nacional del Agua), es la encargada elaborar los planes y programas estratégicos en cuestiones hídricas, por lo tanto, es la encargada de la realización del PNH.

La Ley de Aguas Nacionales (LAN) de México, según su artículo 15°, contempla entre otras cosas que la formulación, implantación y evaluación de la planificación y programación hídrica es de carácter obligatorio para la gestión integrada de los recursos hídricos, la conservación de recursos naturales, ecosistemas vitales y el medio ambiente, así como la elaboración del PNH, programas hídricos para cada una de las cuencas hidrológicas, subprogramas de cuencas hidrológicas, acuíferos, estatales y sectoriales que permitan atender problemas de escasez o contaminación del agua, ordenar el manejo de cuencas y acuíferos o corregir la sobreexplotación de aguas superficiales y subterráneas, la clasificación de los cuerpos de agua, las estrategias y políticas para la regulación de la explotación, uso o aprovechamiento del agua y para su conservación, esto según la LAN (DOF, 1992)

El PNH 2020-2024, (DOF, 2020), tiene como eje rector cinco objetivos:

1. Garantizar progresivamente los derechos humanos al agua y al saneamiento, especialmente en la población más vulnerable.
2. Aprovechar eficientemente el agua para contribuir al desarrollo sostenible de los sectores productivos.

3. Aprovechar eficientemente el agua para contribuir al desarrollo sostenible de los sectores productivos.
4. Preservar la integralidad del ciclo del agua a fin de garantizar los servicios hidrológicos que brindan cuencas y acuíferos.
5. Mejorar las condiciones para la gobernanza del agua a fin de fortalecer la toma de decisiones y combatir la corrupción.

Literatura citada

- Acosta, A. (31 de Julio de 2012). Extractivismo y neoextractivismo: Dos caras de la misma maldición. *Más allá del desarrollo*.
- Amorós, J. (2004). Métodos de preferencias reveladas y declaradas en la valoración de impactos ambientales. *Ekonomiaz: Revista vasca de economía*, 12-29.
- Arrow , K., Solow, R., Portney, P., Leamer, E., Readner, R., & Schuman, H. (1993). Report of the NOAA Panel on Contingent Valuation, Federal Register,. 58(10), 4601-4614.
- Ayala, D., & Abarca, F. (2014). Disposición a pagar por la restauración ambiental del río Lerma en la zona metropolitana de La Piedad, Michoacán. *Economía, sociedad y territorio*, 769-798.
- Aylward, B., Seely, H, Hartwell, R, & Dengel, J. (2010). *The economic value of water for agricultural, domestic and industrial uses: A global compilation of economic studies and market prices*. Ecosystem Economics. .
- Azqueta, O. (2007). Introducción a la economía ambiental. Madrid: McGraw-Hill.
- Bergstrom, J., & Randall, A. (2016). *Resource economics an economic approach to natural resources and enviromental policy. Fouth edition*. Massachusetts, USA: Edward Elgar Publishing, Inc.
- Boadway, R., & Keen, M. (2010). *Theoretical perspectives on resource tax design*. Routledge.
- Briseño, H., & Macedo, E. (2021). Disposición a pagar para mejorar la calidad del agua en Zapopan. *Tecnología y ciencias del agua*, 402-434.
- Cámara Minera de México [CAMIMEX]. (2021). *Informe anual CAMIMEX 2021*. México. Obtenido de <https://www.camimex.org.mx/application/files/8816/6247/9890/info2022.pdf>
- Carlo, G., & Ramos, D. (2013). ¿Por qué es importante la ecología política? *Nueva sociedad*, 47-60.
- Carson, R. (2000). Contingent valuation: a user's guide. Science & Tecnology.
- Carson, R., Mitchell, R., & Hanemann, M. (2003). Contingent Valuation and Lost Passive Use: Damages from the Exxon Valdez Oil Spill. *Environmental and Resource Economics*, 25, 257-286.

- Chilton, S. (05 de 2007). Contingent valuation and social choices concerning public goods: an overview of theory, methods and issues. *Dalloz*, 117, 655 a 674. doi:DOI 10.3917/redp.175.0655
- Ciriacy-Wantrup SV. (1947). *Capital returns from soil conservation practices*. Journal of Farm Economics.
- Comisión Nacional del Agua [CONAGUA]. (2019). *Estadísticas del agua en México*. México. Obtenido de http://sina.conagua.gob.mx/publicaciones/EAM_2019.pdf
- Comisión Nacional del Agua [CONAGUA]. (12 de Febrero de 2020). Recuperado el 19 de 08 de 2022, de <https://www.gob.mx/conagua/articulos/consulta-para-el-del-programa-nacional-hidrico-2019-2024-190499>
- Comisión Nacional del Agua [CONAGUA]. (2020). *Programa Nacional Hídrico 2020-2024*. México: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- Comisión Nacional del Agua [CONAGUA]. (2021). *Situación del Subsector Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento*. Ciudad de México.
- Conferencia Internacional sobre el Agua y el Medio Ambiente [CNUMAD]. (1992). Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo, Dublín.
- Correa, F. (2015). *Economía del desarrollo sostenible: propuestas y limitaciones de la teoría neoclásica* (Vol. 6). México: Semestre económico. Obtenido de <https://revistas.udem.edu.co/index.php/economico/article/view/1367>
- Costanza, R. (1999). *Una introducción a la economía ecológica*. México: Cecsca.
- Coursey, D. L., Hovis, J., & Schulze, W. D. (1987). The disparity between willingness to accept and willingness to pay measures of value. *Quarterly Journal of Economics*, 102, 679-690.
- Davis, R. (1963). *The value of outdoor recreation: an economic study of the Maine Woods*. University of Harvard.: Tesis doctoral.
- Diario Oficial de la Federación [DOF]. (1992 Última reforma publicada 11-05-2022). *Ley de Aguas Nacionales*. Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión.
- Diario Oficial de la Federación [DOF]. (2014). *Ley de Aguas Nacionales*. (C. d. Unión, Editor, & Última reforma publicada DOF 11-05-2022) Obtenido de http://gisviewer.semarnat.gob.mx/aplicaciones/Atlas2015/agua_RH.html
- Diario Oficial de la Federación [DOF]. (2014). *Programa Nacional Hídrico 2014-2018*. Secretaría de Gobernación, México.

- Diario Oficial de la Federación [DOF]. (2019). *ACUERDO por el que se dan a conocer los resultados del estudio técnico de las aguas nacionales subterráneas del acuífero Guadalupe de las Corrientes, clave 3223, en el Estado de Zacatecas, Región Hidrológico-Administrativa VII, Cuencas Centrales del Norte*. México.
- Diario Oficial de la Federación [DOF]. (30 de Diciembre de 2020). *Programa Nacional Hídrico 2020-2024*. Secretaría de Gobernación. Recuperado el 19 de 08 de 2022, de Diario Oficial de la Federación: <https://www.gob.mx/conagua/articulos/consulta-para-el-del-programa-nacional-hidrico-2019-2024-190499>
- Díaz, V. (2014). Presa El Zapotillo, Jalisco, México: La resistencia de Temacapulín ante un proyecto extractivista inmerso en irregularidades e impunidad del gobierno mexicano. *Entretextos*, 18.
- Dupuit, J. (1844). On the measurement of the utility of public works. *International Economic Papers*, 2(1952), 83-110.
- Fernández, R. (2017). *Gestión óptima de los recursos naturales no renovables a través de la Regla de Hotelling*. España: Universidad de Valladolid.
- Ferreiro, A. (1994). Modelos de explotación de recursos no renovables. *Análisis económico y gestión de recursos naturales*, 163-180.
- Franco, G., Gallo, A., & Franco, E. (2010). El carbón colombiano y el modelo de Hotelling. *Revista EIA*(14).
- Garibay, C., & Pánico, F. (2011). Minería y territorio: una mirada al conflicto desde Mazapil, Zacatecas. *Dimensión Antropológica*, 52(0), 123-156.
- Gaytán, E. (2016). Configuración económico-productiva del estado de Zacatecas, México: un análisis de composición multisectorial. *Paradigma económico*, 8(2), 5-25.
- Godoy, C. (2012). *Modelo de Hotelling: poner en evidencia el cumplimiento de regla de Hotelling para la explotación de cobre en Chile*. Chile: Tesis Doctoral. Universidad Andrés Bello.
- Gómez, C. (1994). Desarrollo sostenible y gestión eficiente de los recursos naturales. *Análisis económico y gestión de recursos naturales*, Madrid.
- Gómez, S., Páez, L., & Flores-Díaz, A. (2013). *Comportamiento de los sólidos en suspensión y sedimentales en cuerpos de agua: búsqueda de métodos aplicables al monitoreo comunitario*. Memorias del Tercer Congreso Nacional de Manejo de Cuencas Hidrográficas., UNAM, Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental.

- Griffin, R. (2006). *Water resource economics: The analysis of scarcity, policies, and projects*. London, England: MIT Press.
- Gudynas, E. (2013). Extracciones, Extractivismos y Extrahecciones. Un marco conceptual sobre la apropiación de recursos naturales. *Observatorio del desarrollo*, 1-18.
- Gudynas, E. (2014). Conflictos y extractivismos: conceptos, contenidos y dinámicas. *Revista en Ciencias Sociales*, 79-115.
- Guevara González, B. (Mayo-Agosto de 2016). La inversión extranjera directa en la minería en México: el caso del oro. *Análisis Económico*, XXXI(77), 85-113.
- Hanemann, W. (2006). The economic conception of water. (U. o. California, Ed.) *Water Crisis: myth or reality*, 61, 74-76.
- Hoehn, J., & Randall, A. (1989). Too many proposals pass the benefit cost test. *The American Economic Review*, 79(3), 544-551.
- Hotelling, H. (1931). The economics of exhaustible resources. *Journal of political Economy*, 39(2), 137-175.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI]. (2018). *Cuéntame de México. Economía*. Obtenido de <https://cuentame.inegi.org.mx/economia/secundario/mineria/default.aspx?tema=e>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI]. (2020). *Panorama sociodemográfico de Zacatecas: Censo de Población y Vivienda 2020*. México: Instituto Nacional de Estadística y Geografía.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI]. (2021). *Aspectos geográficos Zacatecas 2021*. México. Obtenido de https://www.inegi.org.mx/contenidos/app/areasgeograficas/resumen/resumen_32.pdf
- Jimenez, L. (2017). Panorama de la Minería en México. FINGUACH. *Revista de Investigación Científica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Chihuahua*, 4(13), 6-7.
- Lachaud, M., & Maldonado, J. (2011). Aproximación al cálculo del crecimiento real de Colombia: aportes metodológicos para la inclusión en las cuentas nacionales de los impactos del agotamiento del carbón y del gas natural. *Revista de Economía del Rosario*, 14(1), 1-29.

- López Santiago, M. A., Valdivia Alcalá, R., Romo Lozano, J. L., & Villa, S. (2010). Valoración económica de una mina de arena. *Terra Latinoamericana*, 28(3), 255-263.
- Maldonado, F., Gaytán, E., & Rodallegas, M. (2012). Un estudio no paramétrico de eficiencia para la minería de Zacatecas, México//A Non-Parametric Approach to Efficiency for Mining in Zacatecas, Mexico. *Revista de Métodos Cuantitativos para la Economía y la Empresa*, 54-75.
- Marshall, A. (1892). The poor law in relation to State-aided pensions. *The Economic Journal*, 186-191.
- Martínez Alier, J. (2015). *Ecología política del extractivismo y justicia socio-ambiental*. México: Interdisciplina. doi:<https://doi.org/10.22201/ceiich.24485705e.2015.7.52384>
- Méndez, V., Zúñiga, M., Castro, N., & Palacios, O. (2016). El petróleo en el Ecuador: Un análisis del costo de agotamiento, aplicación del modelo hotelling. *Revista Científica y Tecnológica UPSE*, 3(3), 48-58.
- Nicholson, W. (2008). *Teoría microeconómica. Principios básicos y ampliaciones: principios básicos y ampliaciones. Teoría microeconómica. Principios básicos y ampliaciones: principios básicos y ampliaciones*. México.
- O'Doherty, R. (2001). The Contingent Valuation Method. *University of East Anglia and University*, 93-101.
- Organización de las Naciones Unidas [ONU]. (2022). *Acerca de la buena gobernanza y los derechos humanos*. Recuperado el 17 de 09 de 2022, de <https://www.ohchr.org/es/good-governance/about-good-governance>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO]. (2012). *El estado de los recursos de tierras y aguas del mundo para la alimentación y la agricultura*. Madrid, España: Ediciones Mundi-Prensa.
- Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura [UNESCO]. (2017). *Informe mundial de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos 2017: Aguas residuales: el recurso no explotado*. Francia: Programa mundial de la UNESCO de la evaluación de los recursos hídricos.
- Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura [UNESCO]. (2019). *Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos: No dejar a nadie atrás*.
- Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura [UNESCO]. (2021). *Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el*

- Desarrollo de los Recursos Hídricos 2021*. Francia. Obtenido de https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000375736_spa
- Osorio , J., & Correa , F. (2009). Un análisis de la aplicación empírica del método de valoración contingente. *Semestre Económico*, 12(25). Obtenido de http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-63462009000300002
- Pearce, D. W., & Turner, R. K. (1995). . *Economía de los recursos naturales y del medio ambiente*. España: Celeste Ediciones.
- Pérez, F. (2016). Medio ambiente, bienes ambientales y métodos de valoración. *Equidad y desarrollo*, 1(25), 119-158.
- Poder Legislativo del Estado de Zacatecas. (2010). *Ley de Desarrollo Metropolitano del Estado de Zacatecas*. Zacatecas. Obtenido de <https://www.congresoza.gov.mx/f/todofuridico&cat=LEY>
- Portney, P. (1994). The contingent valuation debate: why economists should care. *Journal of Economic perspectives*, 8(4), 3-17.
- Secretaría de Economía [SE]. (03 de Noviembre de 2022a). *Acciones y programas minería*. Obtenido de <https://www.gob.mx/se/acciones-y-programas/mineria>
- Secretaría de Economía [SE]. (20 de 10 de 2022b). Obtenido de Minería: <https://www.gob.mx/se/acciones-y-programas/mineria>
- Secretaría de Gobernación [SEGOB]. (2017). *Acuerdo por el que se dan a conocer los resultados del estudio técnico de las aguas nacionales subterráneas del acuífero Guadalupe Bañuelos, clave 3227, en el Estado de Zacatecas, región hidrológico-administrativ VII, cuencas centrales del norte*. Secretaría de Gobernación, DOF, México. Recuperado el 21 de 10 de 2022
- Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales [SEMARNAT]. (2014). *Estadísticas del Agua en México*. Obtenido de http://201.116.60.25/sina/index_jquery-mobile2.html?tema=acuiferos. Fecha de consulta: septiembre de 2016.
- Sistema Nacional de Información Ambiental y de Recursos Naturales [SNIARN]. (2017). *Informe del Medio Ambiente*. México. Obtenido de <https://apps1.semarnat.gov.mx:8443/dgeia/informe18/tema/cap6.html>
- Smith, A. (1776). *La riqueza de las naciones*.
- Svampa, M. (Marzo-Abril de 2013). Consenso de los Commodities y lenguajes de valoración en América Latina. *Nueva Sociedad*.

- Tetreault, D. (2012). La minería mexicana en el contexto internacional. *Observatorio del desarrollo*, 1(3).
- Throne, F. (1935). Nature rambling: We fight for grass. *The Science Newsletter*, 27(717), 5-14.
- Toledo, V. (1991). Hacia la construcción de una ecología política. *El jarocho verde*. Veracruz, México.
- Valdivia , R., Delgadillo, M., Sangerman-Jarquín, D., Hernández, J., Sandoval, F., & Garay, Á. (2022). Economic valuation of the quality of drinking water in León, Guanajuato. *Revista Mexicana Ciencias Agrícolas*, 13(3), 527-538.
- Valdivia-Alcalá, R., García-Avalos, E., López-Santiago, M., Hernández-Ortíz, J., & Rojano-Aguilar, A. (2011). Valoración económica por la rehabilitación del río Axtla, SLP. *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 17(3), 333-342.
- Veisten, K. (2007). Contingent valuation controversies: Philosophic debates about economic theory. *The Journal of Socio-Economics*, 204-232. doi:<https://doi.org/10.1016/j.socec.2005.11.049>
- Wolf, E. (1972). Ownership and political ecology. *Anthropological Quarterly*, 45(3), 201-205.
- Young, R., & Loomis, J.B. (2014). Determining the Economic Value of Water: Concepts and Methods. Routledge. doi:<https://doi.org/10.4324/9780203784112>

CAPÍTULO 3. DETERMINACIÓN DE LA SENDA ÓPTIMA DE EXTRACCIÓN DE LOS RECURSOS NATURALES NO RENOVABLES. EL CASO DE LA PLATA EN MÉXICO.

Artículo enviado a la revista: Acta Universitaria

Determination of the optimal path for the extraction of non-renewable natural resources. The case of silver in Mexico.

Juanita Japheth Valdivia Cabral

Estudiante del Programa de Doctorado de la División de Ciencias Económico Administrativas de la Universidad Autónoma Chapingo. Email: Juanita_valdiviac@hotmail.com. Teléfono 4921279311. Fax: 5959521500 ext. 1668

Ramón Valdivia Alcalá

Universidad Autónoma Chapingo. Email: ramvaldi@gmail.com. Teléfono/Fax: 5959521500 ext. 1668

Juan Hernández Ortiz

Universidad Autónoma Chapingo. Email: jhdzo@yahoo.com.mx. Teléfono/Fax: 5959521500 ext. 1668.

Miguel Ángel Martínez Damián

Universidad Autónoma Chapingo. Email: angel24559@gmail.com. Teléfono/Fax: 5959521500 ext. 1668.

Cristóbal Martin Cuevas Alvarado

Consultor/Investigador Independiente. Email: cuevas_cristobal@hotmail.com. Teléfono 5549489852. Fax: 5959211492

Resumen

México es el primer productor de plata. En 2018 este mineral representó 8.2% del Producto Interno Bruto (PIB) industrial y 2.4% del PIB total. El objetivo de trabajo es determinar la senda temporal de extracción y el nivel óptimo de extracción de este mineral. El método utilizado es la regla de Hotelling. Los flujos de precios a futuro se descontaron con una tasa de descuento del 15%. La senda óptima de extracción fue de 28 años y el año cero fue 2018. De las reservas probadas de 37 millones de toneladas de plata el nivel óptimo de extracción fue de 1'321,429 toneladas anuales que se agotarían en 2045. La conclusión es que el conocimiento de un horizonte de explotación permite conocer la senda de extracción óptima y el año en que se agotaran las reservas ayuda a la planeación de la búsqueda de nuevos yacimientos de plata a los tomadores de decisiones.

Palabras clave: regla de Hotelling, optimización intertemporal, tasa social de descuento, costos de extracción.

Summary

Mexico is the first silver producer. In 2018 this mineral share the 8.2% of the industrial Gross Domestic Product (GDP) and 2.4% of the total GDP. The objective of the work has been determines the temporary path of extraction and the optimal level of extraction of this mineral. The method used is the Hotelling's rule. Future price flows were discounted at a discount rate of 15%. The optimal extraction path was 28 years and year zero was 2018. Of the proven reserves of 37 million tons of silver, the optimal level of extraction was 1'321,429 tons per year that would be depleted in 2045. The conclusion is that the knowledge of an exploitation horizon allows to know the optimal extraction path and the year in which the reserves will be depleted helps decision-makers in the planning of the search for new silver deposits.

Keywords: Hotelling's rule, intertemporal optimization, social discount rate, extraction costs.

3.1 Introducción

De acuerdo con el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI, 2018) el sector minero en México es muy importante pues tan solo durante el 2018 representó el 8.2% del Producto Interno Bruto (PIB) industrial y el 2.4% del PIB total. México es el primer lugar en la producción de plata a nivel mundial, el segundo lugar con el presupuesto de exploración de América Latina y el quinto lugar a nivel mundial; además fue el quinto lugar en la atracción de inversiones para minería durante 2018 de acuerdo a la Secretaría de Economía (SE, 2020). El estudio de las reservas de los distintos minerales de importancia económica para el país es útil porque ayudan a determinar si la posición que hoy ocupan como fuentes de recursos para los agentes privados y la economía en general y la sociedad, es sostenible en el futuro próximo y determinar el posible horizonte de tiempo en que se agotarán. Esto permitirá realizar acciones de planeación para acelerar la búsqueda de yacimientos del mismo mineral o determinar reservas probables. Mientras no se descubran nuevas reservas o descubran potenciales minerales sustitutos que cumplan la misma función en este caso de la plata, determinar la forma óptima de extracción de dicho mineral no renovable es relevante y constituye el principal propósito de este trabajo (Perman *et al*, 2011; Gaudet, 2007; Huber, 1998). Uno de los primeros que abordaron el tema de la forma óptima de extraer los recursos naturales no renovables, fue Hotelling (2001, pp. 87-107), quién reflejó los temores de la sociedad de principios del siglo XX ante una escasez futura de dichos recursos. Sin embargo, el trabajo de Hotelling no fue tomado en serio al momento de su publicación, y no fue sino hasta 1970, que cobró relevancia debido a dos shocks económicos: el incremento de los precios del petróleo en la década de los años setenta del siglo pasado debido al embargo petrolero de los países árabes a los Estados Unidos por motivaciones políticas, la explosión demográfica y los límites del crecimiento (Correa, 2002).

Resulta importante conocer el estado actual y futuro de los recursos naturales no renovables de México, especialmente de los minerales, ya que son elementos importantes a la hora de planear y gestionar recursos económicos y energéticos de un país o región. Al no contar con estudios económicos que permitan estimar el valor monetario actual de las reservas minerales en México, podría derivar en la realización de un erróneo análisis de equilibrio estático a un problema que involucra incertidumbre, lo que desembocaría en mantener constante la tasa de explotación de un recurso agotable que por limitaciones físicas está obligada a descender.

La industria minera a lo largo de la historia de México ha desempeñado un papel trascendental. Esta actividad se practica desde la época de la colonia, lo que hizo posible la creación de los Reales de Minas y alrededor de ellos la fundación de importantes ciudades, que hasta ahora siguen siendo enclaves mineros de gran relevancia como son Zacatecas, San Luis Potosí, Taxco, e Hidalgo (Guevara, 2016, pp. 85-113). Este es el caso de la plata, dicho mineral ha sido de gran importancia en México desde la colonia, cuando se encontraron las primeras minas de plata en diferentes regiones de México como Zumpango, Taxco, Colima, Aguascalientes y Zacatecas.

Como se dijo antes, el principal productor a nivel mundial de plata es México. El cuál hasta 2019 se ha mantenido en esa posición por once años consecutivos, al proveer del 22.7% de la plata total mundial, aún y cuando la plata es uno de los minerales más importantes para las economías internacionales, reportó una disminución en su producción mundial, siendo el cuarto año consecutivo el 2019, de 1.3% respecto de 2018, alcanzando un volumen de 22,680 toneladas. The Silver Institute (TSI, 2020) lo atribuye a la menor producción en las minas de plata y a las pérdidas por interrupción en algunos de los principales productores de este metal debido a la pandemia del COVID-19 (TSI, 2020).

De acuerdo con el INEGI (2018) y la Cámara Mexicana de Minería (CAMIMEX, 2020) la producción de plata fue de 187.8 millones de onzas en 2019, 3.5% menos que la correspondiente a 2018 y además se reportó que a nivel nacional el principal productor de plata es Zacatecas (36.4%), seguido por Chihuahua (20.8%) y Durango (14%).

El objetivo de la presente investigación es estimar el valor del stock de la plata y del precio del mismo en el mercado mediante el uso de la regla de Hotelling, lo que permite hacer una programación dinámica de la extracción. Esta estimación se hizo para México y para Zacatecas para contrastar los resultados de ambos escenarios. En un mercado competitivo, la regla de Hotelling, implica que los precios (netos de extracción) de los recursos no renovables tenderán a crecer de forma monótona de acuerdo con el tipo de interés de la economía hasta que la cantidad demandada sea cero.

3.2 Materiales y Métodos

La regla de Hotelling, indica la pauta óptima de extracción de un recurso natural durante toda su vida útil. Es decir, durante todo el período de tiempo en que tal recurso es utilizado por la economía. La duración de ese período de tiempo, estará determinado, aparte de por la demanda y la tecnología de explotación, por la cantidad de reservas disponibles y la tasa social de descuento.

El principio fundamental del uso de los recursos no renovables, está relacionado a la regla de Hotelling; que se basa en un modelo de usos de los recursos a largo plazo, de cómo se explotan los recursos a lo largo de los años y de las condiciones bajo las que opera la conservación y la extinción. La idea central de la regla de Hotelling consiste en que la pauta óptima de explotación de los recursos no renovables se caracteriza en que, en el transcurso del tiempo, el beneficio marginal que se logra obtener con la explotación y venta

de los recursos no renovables debe tender a crecer al mismo ritmo que el tipo de interés (González, 2015; Montero, 2003; Robilliard, 2006).

En la economía de recursos naturales no renovables la regla de Hotelling describe, en términos generales, cómo estimar la senda óptima de agotamiento o extracción de un recurso natural tanto renovable como no renovable. De acuerdo con Franco *et al.* (2010) se deben tener en cuenta los tres elementos: el periodo óptimo de agotamiento; tasa óptima de extracción de un recurso natural; y, demanda, tecnología y reservas.

El modelo de Hotelling analiza la senda óptima de agotamiento de un recurso natural considerando tres supuestos: las reservas del mineral se extraen sin ningún costo, no hay adición de nuevas reservas y se mantiene la demanda; la cantidad extraída no afecta el precio; la oferta es elástica; y, como no hay costos, el beneficio es igual al ingreso por la venta del material.

La expresión analítica del modelo de Hotelling es la siguiente:

$$P_t = P_0 e^{it}$$

donde P_t es el precio del recurso respectivo en el periodo t , P_0 el precio del recurso respectivo en el periodo 0 , y además i es la tasa de descuento o tasa de interés respectiva.

Ahora considerando la función de demanda inversa dada por:

$$P_t = a - bq_t$$

con $b < 0$ dado que la función de demanda tiene pendiente negativa, y donde a es la ordenada al origen (intercepto), b es la pendiente de la función y q_t son las reservas probadas del recurso mineral de interés.

Con ayuda de las ecuaciones dos ecuaciones anteriores, las sustituciones algébricas apropiadas en la variable dependiente e independiente y de los parámetros a y b en el inventario de recurso natural disponible, q_t , es posible obtener el siguiente sistema de dos ecuaciones:

$$P_0 e^{it} = a$$

$$\frac{at}{b} + \frac{P_0}{ib}(1 - e^{it}) = q$$

Ahora bien, para llevar a cabo la aplicación de la regla de Hotelling de manera empírica es necesario conocer la tasa de interés y de los precios futuros. En el caso de tasa de descuento óptima que debe aplicarse en el modelo de Hotelling, en la teoría económica no existe una respuesta dado que implica preguntarles a las generaciones que no han nacido, lo que hace la respuesta irracional.

De acuerdo con el Servicio Geológico Mexicano (SGM, 2020) la plata en México tiene reservas probada de 37 millones de toneladas. Los datos que se utilizan corresponden a tres series de tiempo para un periodo de 39 años de la producción, valor de la producción y precios de la plata en México. Las fuentes de datos utilizadas se obtuvieron de INEGI (2018) y el SGM (2020). Los precios nominales de la plata fueron deflactados utilizando el Índice Nacional de Precios al Consumidor (INPC) obtenidos del sitio web del Banco de México (BM, 2021) cuya base es la segunda quincena del mes de julio de 2018 (2Q Jul 2018 =100). El periodo que abarca la serie de tiempo es de 1978 a 2018, por ser el periodo en el que las series de tiempo utilizadas están completas.

3.3 Resultados

Para poder determinar los valores iniciales de la senda óptima de extracción que corresponde al año inicial ($t = 0$) de la senda y extracción óptima de la

plata y del precio inicial (P_t) se dan valores a algunas de las constantes de las dos últimas ecuaciones, las cuales conforman un sistema de ecuaciones determinísticas. Análogo a como se hace en Franco *et al.* (2010) en el caso específico de Colombia, para México se toman los siguientes valores de las constantes definidas anteriormente y las mismas se muestran en el Tabla 1.

[Insertar la Tabla 1 en este sitio]

En el caso del valor de la ordenada al origen o intercepto de la función de demanda es la que se obtiene al estimar la función de demanda inversa del precio histórico de la plata en términos reales contra la cantidad producida de plata, según Franco *et al.* (2010).

La función de demanda inversa nacional estimada fue:

$$P_t = 8803554331 - 115192.52q$$

mientras que para Zacatecas fue:

$$P_t = 465796 - 0.3756282q$$

El coeficiente de determinación ajustado para el caso nacional fue $R^2 = 0.58$ y para Zacatecas $R^2 = 0.34$. Ahora bien, para una tasa de descuento del 15% para el caso nacional se tiene el siguiente sistema de ecuaciones determinísticas:

$$P_0 e^{0.15t} = 8803554331$$

$$\frac{8803554331}{115192} + \frac{P_0}{(0.15)115192} (1 - e^{0.15t}) = 37000000$$

Para el caso de Zacatecas al sustituir los parámetros calibrados en las respectivas ecuaciones dan lugar al siguiente par de ecuaciones:

$$P_0 e^{0.15t} = 465796$$

$$\frac{465796t}{0.37562828} + \frac{P_0}{(0.15)0.37562828}(1 - e^{0.15t}) = 1627322$$

Como se destacó anteriormente este par de sistemas de ecuaciones, cada uno es un sistema de ecuaciones no estocásticas.

En el caso nacional la solución muestra que el horizonte de tiempo es igual a 28 años ($t = 28$) a partir del último año posterior a las series de tiempo utilizadas. De esta forma al planear una extracción constante durante dicho periodo la cantidad extraída de plata sería de 1'321,429 toneladas por año con lo cual en el año 28 las reservas probadas de plata se habrían agotado. En el caso nacional el precio inicial por tonelada de plata fue de \$132'014,375 incrementándose anualmente según lo prevé la regla de Hotelling.

Para el caso de Zacatecas el procedimiento para determinar el horizonte de explotación y el precio inicial por tonelada fue análogo al del caso nacional. La solución del sistema de ecuaciones de esta entidad mostro que su horizonte de tiempo fue igual a cinco años ($t = 5$) y el precio inicial por tonelada de plata de resulto ser muy bajo. Ante este resultado se optó por considerar que la senda óptima de extracción para Zacatecas es igual a la nacional ($t = 28$) así como tambien el precio inicial ($p_0 = \$13,214,375$). Con ello el nivel óptimo de extracción de plata en dicha entidad por año sería de 58,119 toneladas por año.

Es importante remarcar que el horizonte óptimo de extracción se refiere a las reservas probadas; por lo que cualquier nuevo yacimiento descubierto o reservas probables no entran en consideración en los cálculos realizados.

3.4 Discusión

Los resultados de la senda óptima de extracción de un mineral no renovable como es la plata en México y Zacatecas y el nivel de extracción óptima, bajo los supuestos enunciados anteriormente, se muestran en la Tabla 2.

[Insertar la Tabla 2 en este sitio]

Como se puede observar bajo el supuesto de que no se descubrieran yacimientos de plata, las reservas probadas de plata en México se agotarían en 28 años considerando como el año de inicio ($t = 0$) el año de 2018 y como el año de agotamiento, cuando las reservas serían cero, al 2046.

La investigación realizada para determinar la senda óptima de extracción y la tasa óptima de extracción se basó en Franco *et al.* (2010), quien utiliza una variante que se ha desarrollado para resolver el modelo de Hotelling.

En Franco *et al.* (2010) se determina sendero óptimo de agotamiento de un recurso natural no renovable que es el carbón térmico. La senda temporal óptima para el carbón térmico colombiano fue de 46 años, siendo el año de 2056 cuando se agotarán las reservas de carbón térmico en base a las reservas probadas. En el caso de la plata en México se determinó una senda temporal para el agotamiento de la plata, con base en las reservas probadas de 37 millones de toneladas, de 28 años a una tasa de extracción del 3.6% anual.

En el caso de Tilton (2018) si bien enuncia y analiza la teoría subyacente en la regla de Hotelling para la explotación óptima de recursos naturales y la restricción que se le ha impuesto a dicha regla, como es el hecho de que el dueño del recurso mineral debe decidir cuál será el número de periodos en el que se va a dividir la extracción así como la cantidad a extraer en cada uno de los periodos, lo que lleva determinación del precio del recurso en cada periodo; por lo que de esta manera la regla de Hotelling permitirá encontrar el óptimo

de extracción sin agotar las reservas del recurso a la vez que se maximizan los beneficios del proyecto, aquí se hace operativa tanto la regla de Hotelling como la restricción enunciada, dentro del contexto de la metodología de proyectos de inversión.

Al incorporar la regla de Hotelling en el contexto de la metodología de análisis costo-beneficio Tilton (2018), sus resultados no permiten una comparación directa con los resultados de la investigación realizada.

En ambos estudios un supuesto crucial fue el de la ausencia de costos de extracción. Dicho supuesto se puede levantar con la introducción de un costo de extracción constante. No obstante, la complejidad de las ecuaciones se incrementaría por lo que pudiera no haber una solución analítica y de existir la misma no tener una solución en los números reales, que sería de poca utilidad.

La explotación de la plata es importante para la economía mexicana. Los resultados muestran que se cuentan con 28 años asegurados para la extracción de este mineral a una tasa de extracción del 3.6% de las reservas probadas durante 28 años tomando como referencia el año 2018 y hasta el 2046.

Los resultados obtenidos por Franco *et al.* (2010) son criticados por Tilton (2018) y Gaudet (2007) señalando que tales resultados no se comportan según lo predice la regla de Hotelling. Gaudet (2007) evalúa el comportamiento histórico de los precios de siete minerales (cobre, plomo, zinc, aluminio, estaño, níquel y plata) y tres tipos de minerales fuentes de energía fósil (gas natural, carbón y petróleo) no renovables para distintos periodos según la información disponible. En dicha investigación se corre tasa de cambio del precio (regresando) contra el tiempo (regresor). El resultado es que se observa una alta volatilidad en la tasa de cambio de esos precios y lo más significativo es el hecho de que esta volatilidad aparece centrada en cero y en ninguno de

los 10 caso la tasa media de cambio de precio significativamente es distinta de cero pues sus valores de probabilidad están en el rango 0.82 a 0.98.

Ante los resultados anteriores, Gaudet (2007) señala que es muy difícil detectar alguna tendencia en los niveles de precios reales de esos recursos y ciertamente no el tipo de tendencia positiva que sugiere la regla de Hotelling pero que sin embargo, esto no es suficiente para invalidar dicho principio pues cuando se ve como una condición de equilibrio de los mercados de activos, esta discrepancia observada significa que en realidad debe haber más en los retornos monetarios de la propiedad de las existencias de recursos naturales no renovables que simplemente la tasa de apreciación (capitalización) del precio. Para poder eliminar esa discrepancia entre la predicción de la regla de Hotelling y el comportamiento histórico del precio de recurso no renovable como la plata deben considerarse también los factores relacionados con los costos de extracción, la durabilidad del recurso, la estructura de los mercados y la incertidumbre para caracterizar correctamente la tasa de rendimiento de los recursos.

Como se mencionó anteriormente, en el caso de Zacatecas el precio inicial real (p_0) resulto ser muy bajo en pesos por tonelada de plata extraída lo cual es un resultado que no es consistente con el comportamiento histórico del precio por tonelada de plata en esa entidad. Por lo tanto, considerando la narrativa de Gaudet (2007) de que el resultado inconsistente de Zacatecas puede ocurrir por no estar considerando los costos de extracción, la durabilidad del recurso y posibles sustitutos del uso industrial de la plata, además de su uso más común como depósito de valor, la estructura de mercado y la incertidumbre y riesgo, fue que se decidió tomar para Zacatecas los valores de la senda óptima y cantidad de extracción nacionales.

Adicionalmente, para analizar cómo se comporta la senda óptima de extracción y el precio se realizó un análisis de sensibilidad cuando hay

variaciones de la tasa de descuento bajo el supuesto de precio y las reservas probadas permanecen con sus valores iniciales en el año cero. En el primer escenario se incrementó la tasa de descuento del 15% al 20% y como resultado se observó que el número de años de extracción se redujo de 28 a 21 años mientras que el precio se incrementó para todos los años.

En el segundo escenario se asumió una tasa de descuento del 10% que resultó en un mayor número de años en los que se agotan las reservas de plata aumentó de 28 a 42 años. Adicionalmente, en el escenario base la tasa óptima de extracción fue de 3.6% mientras que en el primer escenario correspondiente a una la tasa de descuento del 20% la tasa óptima de extracción fue del 4.8% y en el escenario de una tasa de descuento del 10% dicha tasa fue de 2.4%. Un punto importante a resaltar es que en el último año tanto del año base como de los dos escenarios simulados el precio en el año en que las reservas de plata se agotan fue el mismo; es decir, un precio de \$ 8'803,554,313 pesos por tonelada. Un resumen del escenario base y de los dos escenarios simulados se presenta en el Tabla 3.

[Insertar la Tabla 3 en este sitio]

Como se observa en la Tabla 3, es posible señalar que en la regla de Hotelling se cumple con distintas tasas de descuento. Se observa una relación inversa entre la tasa de descuento y el plazo en el cual se agota un recurso natural no renovable como es la plata. A mayor tasa de descuento, el número de años en el cual se agotan las reservas de plata es menor mientras que a menor tasa de descuento, el plazo en que se agotan las reservas iniciales de plata es menor pues como se ha señalado hay una relación inversa entre la tasa de descuento y el plazo de agotamiento de un mineral como la plata. Este comportamiento de ambos indicadores se muestra en la Figura 1.

[Insertar la Figura 1 en este sitio]

Un escenario que podría plantearse en un análisis de sensibilidad es aquel en el que podría suponerse que el precio del año cero pudiera permanecer a lo largo de un horizonte de planeación hasta agotar las reservas o existencias de plata. Sin embargo, esto implica que la tasa de descuento no se considera como tampoco el tiempo. Es posible analizar esto de la siguiente manera. La fórmula para determinar el precio en el año $t = 1, 2, \dots, n$ es la siguiente:

$$P_t = P_0 e^{it}$$

donde: P_0 es el precio en el año base, e es base de los logaritmos naturales y que se utiliza para la capitalización continua y cuyo valor aproximado a cuatro decimales es 2.718 y la tasa de descuento es i .

En el caso de considerar un escenario en el que el precio $P_t = P_0$ en cualquier año t entonces no se estaría considerando la capitalización del precio inicial del recurso natural no renovable, es decir el valor del dinero en el tiempo. Este hecho contradice por sí mismo el modelo de Hotelling donde es precisamente la capitalización del precio inicial del recurso natural no renovable en cuestión lo que caracteriza una explotación racional de tal recurso, en este caso de la plata.

Un escenario como el de permanecer constante el precio a lo largo de la senda óptima de explotación hasta que se agote el recurso es más propio de una economía centralmente planificada donde los precios son administrados y no determinados por las fuerzas de la oferta y la demanda de mercado.

3.5 Conclusiones

Si bien la explotación de minerales de gran importancia económica como la plata obedece a las fuerzas de la oferta y demanda, el conocimiento de un horizonte de explotación en el que se conoce la senda de extracción óptima para determinar el año en que se agotarán las reservas probadas y ayuda a

los tomadores de decisiones a la planeación de búsqueda de nuevos yacimientos de este mineral a los tomadores de decisiones. La aplicación de la regla de Hotelling al caso de la plata en México mostro que, bajo el escenario actual de extracción, las reservas existentes de plata se agotaran en 28 años (2045) en el caso de incorporar nuevas reservas probadas de plata o no ocurra la aparición de algún mineral sustituto con las mismas funciones industriales de la plata.

3.6 Conflicto de intereses

Los autores manifiestan no tener ningún tipo de conflicto de interés en el desarrollo de la presente investigación.

Literatura citada

Banco de México (2021). Sistema de información económica. Principales índices mensuales.

<https://www.banxico.org.mx/SieInternet/consultarDirectorioInternetAction.do?accion=consultarCuadro&idCuadro=CP154&locale=es>

Cámara Minera de México (CAMIMEX) (2020). Informe anual 2020. Situación de la minería en México 2019.

https://camimex.org.mx/application/files/5816/0204/8730/info_2020.pdf

Correa, R. F. (2002). Las dimensiones ambientales del crecimiento urbano. *Semestre Económico*, 5(10), 1-14.

<https://revistas.udem.edu.co/index.php/economico/article/view/1386>

Franco, G., Gallo, A. F. y Franco, E. (2010). El carbón colombiano y el modelo de Hotelling. *Revista EIA. Escuela de Ingeniería de Antioquia*. (14), 67-74.

Gaudet, G. (2007). Natural resource economics under the rule of Hotelling. *The Canadian Journal of Economics*. 40(4), 1033-1059. doi: <https://doi.org/10.2307/4620645>

González, C. (2015). La regla de Hotelling para la gestión óptima de recursos no renovables. [Tesis de Grado, Universidad de Valladolid]. Repositorio institucional de la Universidad de Valladolid <https://uvadoc.uva.es/bitstream/handle/10324/27253/TFG-E-346.pdf;jsessionid=F3597D9171BFBBF76864BF4E926B01CC?sequence=1>

Guevara, G. B. (2016). La inversión extranjera directa en la minería en México: el caso del oro. *Análisis Económico*, XXXI (77), 85-113.

<https://www.redalyc.org/pdf/413/41345703005.pdf>

Hotelling, H. (2001). Economía de los recursos agotables. *Gestión y Ambiente*, 4(1), 87-107.

<https://revistas.unal.edu.co/index.php/gestion/article/view/88829/75443>

Huber, C. (1998). The polluter pays versus the pollutee pays principle under Asymmetric Information. *Journal of Environmental Economics and Management*. 35(17), 69-87.

<https://doi.org/10.1006/jeem.1997.1017>

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2018). Sistema de cuentas nacionales de México.

https://www.inegi.org.mx/contenidos/programas/pibact/2013/metodologias/METODOLOGIA_CBYSB2013.pdf

- Montero, P., J. M. (2003). ¿Es posible el desarrollo sustentable en la minería? *Minería y Geología*, 19(1-2), 89-93
<http://revista.ismm.edu.cu/index.php/revistamg/article/download/235/219>
- Perman, R., Ma, Y., Common, M., Maddison, D. & McGilvray, J. (2011). *Natural resources and environmental economics* (4th ed.). Pearson Education.
- Robilliard, C. P. (2006). *Los ejes centrales para el desarrollo de una minería sostenible*. Santiago de Chile. Comisión Económica para América Latina
<https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/6306/1/S0600266es.pdf>
- Secretaría de Economía (SE) (2020). *Minería*.
<https://www.gob.mx/se/acciones-y-programas/mineria>
- Servicio Geológico Mexicano (2020). *Anuario estadístico de la minería mexicana, 2019*. Edición 2020.
http://www.sgm.gob.mx/productos/pdf/Anuario_2019_Edicion_2020.pdf
- Tilton, J. E. (2018). The Hubbert peak model and assessing the threat of mineral depletion. *Resources, Conservation & Recycling*. 139(12), 280-286. doi: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.08.026>
- The Silver Institute. (2020). *World silver survey 2020* (30th ed.)
<https://www.silverinstitute.org/wp-content/uploads/2020/04/World-Silver-Survey-2020.pdf>

Cuadro 1. Variables empleadas para el modelo de Hotelling

Constante	Notación	Valor del parámetro		Unidades
		Nacional	Zacatecas	
Tasa de descuento	i	0.15	0.15	Porcentaje
Intercepto de la función de demanda	a	8,803,554,331	465,796	Toneladas
Pendiente de la función de demanda	b	-115,192	- 0.37562828	Toneladas
Reservas probadas de plata	q	37,000,000	1,627,322	Toneladas

Fuente: elaboración propia.

Cuadro 2. Senda óptima de extracción de plata en México y Zacatecas

Año	Tiempo (t)	Precio (\$/ton)	Cantidad extraída		Stock disponible	
			Nacional (ton)	Zacatecas (ton)	Nacional (ton)	Zacatecas (ton)
2018	0	132,014,375	1,321,429	58,119	37,000,000	1,627,322
2019	1	153,378,821	1,321,429	58,119	35,678,571	1,569,203
2020	2	178,200,767	1,321,429	58,119	34,357,143	1,511,085
2021	3	207,039,753	1,321,429	58,119	33,035,714	1,452,966
2022	4	240,545,875	1,321,429	58,119	31,714,286	1,394,847
2023	5	279,474,434	1,321,429	58,119	30,392,857	1,336,729
2024	6	324,702,967	1,321,429	58,119	29,071,429	1,278,610
2025	7	377,251,026	1,321,429	58,119	27,750,000	1,220,492
2026	8	438,303,160	1,321,429	58,119	26,428,571	1,162,373

202			1,321,42		25,107,14	
7	9	509,235,621	9	58,119	3	1,104,254
202			1,321,42		23,785,71	
8	10	591,647,382	9	58,119	4	1,046,136
202			1,321,42		22,464,28	
9	11	687,396,188	9	58,119	6	988,017
203			1,321,42		21,142,85	
0	12	798,640,429	9	58,119	7	929,898
203			1,321,42		19,821,42	
1	13	927,887,798	9	58,119	9	871,780
203		1,078,051,81	1,321,42		18,500,00	
2	14	7	9	58,119	0	813,661
203		1,252,517,51	1,321,42		17,178,57	
3	15	7	9	58,119	1	755,542
203		1,455,217,74	1,321,42		15,857,14	
4	16	0	9	58,119	3	697,424
203		1,690,721,80	1,321,42		14,535,71	
5	17	1	9	58,119	4	639,305
203		1,964,338,48	1,321,42		13,214,28	
6	18	4	9	58,119	6	581,186
203		2,282,235,71	1,321,42		11,892,85	
7	19	5	9	58,119	7	523,068
203		2,651,579,60	1,321,42		10,571,42	
8	20	3	9	58,119	9	464,949
203		3,080,695,98	1,321,42			
9	21	1	9	58,119	9,250,000	406,830
204		3,579,258,08	1,321,42			
0	22	2	9	58,119	7,928,571	348,712
204		4,158,504,60	1,321,42			
1	23	3	9	58,119	6,607,143	290,593
204		4,831,493,04	1,321,42			
2	24	6	9	58,119	5,285,714	232,475
204		5,613,394,06	1,321,42			
3	25	5	9	58,119	3,964,286	174,356
204		6,521,833,44	1,321,42			
4	26	2	9	58,119	2,642,857	116,237

204		7,577,289,41	1,321,42			
5	27	8	9	58,119	1,321,429	58,119
204		8,803,554,31	1,321,42			
6	28	3	9	58,119	0	0

Fuente: elaboración propia.

Cuadro 3. Análisis de sensibilidad en el modelo de Hotelling

Escenario	Base	Uno	Dos
Precio inicial (\$/ton)	132,014,375	132,014,375	132,014,375
Existencias iniciales (ton)	37,000,000	37,000,000	37,000,000
Tasa de descuento (%)	15	20	10
Años de explotación	28	21	42
Precio final (\$/ton)	8,803,554,313	8,803,554,313	8,803,554,313
Tasa de extracción (%)	3.6	4.8	2.4

Fuente: elaboración propia.

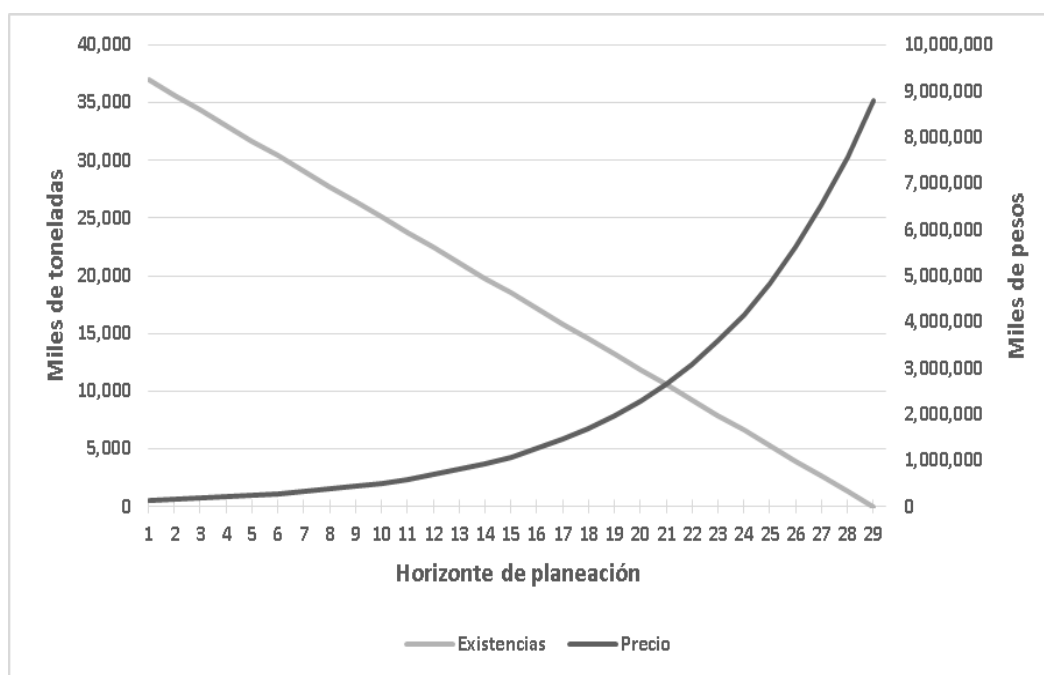


Figura 1. Senda de extracción de plata en México considerando existencias y precios en los diferentes escenarios.

Fuente: elaboración propia.

CAPÍTULO 4. VALORACIÓN ECONÓMICA DE LA CALIDAD DEL AGUA POTABLE EN EL ÁREA METROPOLITANA ZACATECAS-GUADALUPE, MÉXICO

Juanita Japheth Valdivia Cabral¹ Ramón Valdivia Alcalá^{1*} Juan Hernández Ortiz² Miguel Ángel Martínez Damián³, Cristóbal Martín Cuevas Alvarado⁴, Dora María de Jesús Sangerman Jarquín⁵.

¹Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Texcoco, Edo. de México, México. C. P. 56230.

^{1*}Autor para correspondencia. Universidad Autónoma Chapingo. Email: ramvaldi@gmail.com. C. P. 56230. Teléfono/Fax: 5959521500 ext. 1668

²Universidad Autónoma Chapingo. Email: jhdzo@yahoo.com.mx. C. P. 56230. Teléfono/Fax: 5959521500 ext. 1668.

³Universidad Autónoma Chapingo. Email: angel24559@gmail.com. C. P. 56230. Teléfono/Fax: 5959521500 ext. 1668.

⁴Consultor/Investigador Independiente. Email: cuevas_cristobal@hotmail.com. Teléfono 5549489852. Fax: 5959211492.

⁵Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias. Coatlinchan, Texcoco, Edo. de México, México. C. P. 56250.

Artículo enviado a La Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas (REMEXCA) del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias

Resumen

El problema de la escasez y la mala calidad del agua no es exclusivo de México particularmente en las áreas urbanas conurbadas. La búsqueda del desarrollo económico del país y bienestar para la población ha llevado a la alteración del ciclo hidrológico, contaminación y al agotamiento de este recurso natural debido a la actividad antropogénica. El objetivo de esta investigación fue la valoración económica de la calidad del agua que proporciona la Junta Intermunicipal de Agua Potable y Alcantarillado de Zacatecas en dos de los seis municipios (Zacatecas y Guadalupe) que conforman la zona metropolitana de la Ciudad de Zacatecas. A partir de una muestra de 207 entrevistados, con el empleo del modelo de elección discreta de valoración contingente y utilizando un modelo lineal de utilidad aleatoria, cuya expresión empírica fue un modelo de probabilidad de regresión logística. Se estimó la disponibilidad a pagar (DAP) por agua de mejor calidad de los usuarios domésticos que reciben el servicio de agua potable de JIAPAZ. La DAP estimada fue de US\$145 dólares por año por usuario. La valoración económica, excluyendo a

los usuarios comerciales, industriales y otros y considerando solo la proporción que respondió afirmativamente a la pregunta sobre la DAP (73%) fue de US\$10.611 millones de dólares. Esta cantidad que podría allegarse el JIAPAZ puede ser una fuente de recursos no fiscales que podrían utilizarse para el diseño de políticas públicas cuya meta sería la mejora de la infraestructura hídrica y desarrollo institucional para incrementar la calidad del agua potable del área motivo de estudio de este trabajo.

Palabras clave: política hídrica, modelo de utilidad aleatoria, disponibilidad a pagar, preferencias declaradas.

Summary

The problem of water quantity and quality is not exclusive to Mexico or its conurbation urban areas. The search for the economic development of the country and well-being for the population has led to the alteration of the hydrological cycle, pollution and even the depletion of this natural resource due to anthropogenic activity. The objective of the research was the economic assessment of the water quality provided by the Zacatecas Intermunicipal Drinking Water and Sewerage Board (JIAPAZ) in two of the five municipalities (Zacatecas and Guadalupe) that make up the metropolitan area of the City of Zacatecas. From a sample of 207 interviewees, using the contingent valuation discrete choice model and using a linear random utility model, whose empirical expression was a logistic regression probability model, willingness to pay (WTP) was estimated. of domestic users who receive drinking water service from JIAPAZ. The estimated WTP was US\$145 per year per user. The economic valuation, excluding commercial, industrial and other users and considering only the proportion that responded affirmatively to the question about the DAP (73%) was US\$10,611 million. This amount that JIAPAZ could collect could be a source of non-fiscal resources that could be used for the design of public policies whose goal would be the improvement of water infrastructure and institutional development to increase the quality of drinking water in the area under study in this study.

Key words: water policy, random utility model, willingness to pay, stated preferences.

4.1 Introducción

El agua es un recurso natural que es indispensable para el sostenimiento de la vida y todo proceso biológico vital, así como para el desarrollo de cualquier actividad económica, la higiene y las actividades domésticas. El agua potable para consumo humano debe tener cierta calidad en cuanto a minerales y determinada calidad microbiológica. No obstante, la calidad del agua subterránea y superficial en entornos rurales y urbanos se ve afectada tanto por procesos naturales como por influencias antropogénicas. Entre los procesos naturales que afectan la calidad del agua para consumo humano están meteorización de las rocas, la evapotranspiración, las deposiciones humanas y animales acarreadas por el viento y la lluvia, lixiviación del suelo, escorrentía debida a factores hidrológicos y procesos biológicos en el medio acuático. Estos procesos naturales provocan cambios en el pH y la alcalinidad del agua, así como la carga de fósforo, aumento del contenido de fluoruro y altas concentraciones de sulfatos (McIntyre, 2012). Entre los procesos antropogénicos que afectan la calidad del agua para el consumo humano están la operación de las grandes industrias, por ejemplo, la producción ganadera intensiva, las centrales hidroeléctricas, la agroindustria agroalimentaria, la industria manufacturera, y sin excepción, para todos aquellos procesos que hacen uso del agua para su desarrollo y continuidad además de su uso ordinario para usos sanitarios y de salud de viviendas y personas (Khatri & Tyagi, 2015). Los factores antropogénicos específicos del sector primario que alteran dramáticamente la calidad del agua para uso humano son las que figuran en el uso consuntivo y no consuntivo de este recurso escaso como son impactos por agricultura, uso de fertilizantes, abonos y pesticidas, actividades ganaderas, prácticas de riego ineficientes, deforestación de bosques, acuicultura, contaminación por efluentes industriales y aguas residuales domésticas, minería y actividades recreativas (Khatri & Tyagi, 2015).

Lo enunciado anteriormente es solo una mínima y superficial forma parte de la problemática del agua que tiene raíces históricas no solo en México, sino que es un común denominador en todo el planeta donde existen asentamientos humanos. Como señala Langford (2005) una mirada rápida a la historia del agua revela luchas milenarias sobre la propiedad del agua, la contaminación y el agotamiento de las fuentes de agua y los usos conflictivos del agua. De acuerdo con UNICEF & WHO (2019) en México las desigualdades de cobertura de acceso básico al agua potable se han reducido entre el año 2000 y 2017 entre los grupos más pobres de la población y los grupos más ricos tanto para el medio rural como el urbano. En el año 2000 la población de México era de 101 millones 720 habitantes de la cual el 75% correspondía a la población urbana y el 25% a la rural. En dicho año la población rural tenía una cobertura de acceso básico al agua potable del 73% mientras que para población urbana fue del 94%. Para el año 2017 la población mexicana fue de 129 millones 163 habitantes con un 80% como población urbana y un 20% como población rural. Para tal fecha la cobertura de acceso al agua de la población rural se elevó al 97% y la de la urbana a una cobertura mayor al 99%. En UNICEF & WHO (2019) también se dice que, si bien se han realizado progresos considerables en el logro del acceso universal al agua básica, el saneamiento y la higiene, existen enormes lagunas en la calidad de los servicios prestados. Se señala que el simple acceso a estos servicios no es suficiente pues si el agua no está limpia, no es segura para beber o está lejos, y si además el acceso a los retretes no es seguro o está limitado, entonces no se está cumpliendo con la misión en favor de la niñez y de la población del mundo en general.

De acuerdo con CONEVAL (2022) el indicador porcentual de carencia por acceso a los servicios básicos en la vivienda en el municipio de Zacatecas se incrementó en la última década pues en 2010 fue de 2.7% y en 2020 de 3.4% mientras que en el municipio de Guadalupe permaneció igual pues en 2010 fue de 2.7 y en 2020 también fue de 2.7%. A nivel nacional el municipio de

Zacatecas se halla en el lugar 349 de entre 4, 269 municipios reportados por CONEVAL (2022) respecto al indicador de carencia por acceso a los servicios básicos en la vivienda por lo que se puede considerar uno de los municipios con mayor problemática de respecto al problema de acceso al agua. El municipio de Guadalupe se ubica en el lugar 2,060 por lo que es uno de los municipios que menos problemas de acceso a los servicios básicos en la vivienda tiene. CONEVAL (2008) define el indicador de carencia por acceso a los servicios básicos en la vivienda con base en cuatro criterios. Uno de tales criterios es considerar a la población en situación de carencia por servicios básicos en la vivienda a las personas que residen en viviendas que obtienen el agua para consumo y satisfacción de sus necesidades sanitarias e higiene de un pozo, río, lago, arroyo, pipa; o bien, el agua entubada la adquieren por acarreo de otra vivienda, o de la llave pública o hidrante.

En este marco el objetivo de investigación fue la estimación de la disponibilidad a pagar por una mejor calidad del agua potable de los usuarios consumidores de agua potable doméstica, en dos de los cuatro municipios que forman parte del área metropolitana conurbada de la Ciudad de Zacatecas, para estimar la valoración económica agregada de la calidad del agua potable entregada por la Junta Intermunicipal de Agua Potable de Zacatecas, en dos de los cuatro municipios que atiende dicha junta, los cuales son los Zacatecas y Guadalupe del Estado de Zacatecas. Los otros dos municipios son: Morelos y Vetagrande.

En los procesos antropogénicos el agua es importante para el consumo humano, el acceso al agua y al saneamiento es un derecho humano y por lo tanto debe considerarse como un bien social y cultural y no como un bien meramente económico (McIntyre, 2012).

4.2 Materiales y métodos

México tiene una población de 126 014 024 habitantes, una Superficie de 1 960 646.7 km², cuenta con 32 entidades, siendo las más densamente

pobladas México, Ciudad de México y Jalisco. Según la información del INEGI (2021), tiene un total de 35 219 141 viviendas habitadas, de las cuales se distribuye de la siguiente manera: 77.7% de las viviendas cuentan con agua entubada, 95.5% con drenaje, 98.1% con servicio sanitario, 99% con energía eléctrica, 66.4% con tinaco y un 27.7 con cisterna o aljibe.

Según la CONAGUA (2020), en México existen 11,122 km de costas, 15,000 km² de lagunas costeras y 29,000 cuerpos de agua interiores, en el territorio nacional se registran 653 acuíferos, 51 ríos principales cuyas cuencas abarcan el 65% de la superficie nacional.

De acuerdo con el Programa Nacional Hídrico 2020-2024 Zacatecas cuenta con 33 acuíferos de los cuales 24 tienen carencia de agua y sobreexplotación (CONAGUA, 2020).

Zacatecas tiene 58 municipios, en una extensión territorial de 75 275.3 km², representando un total del 3.8% del territorio nacional, y una población total de 1 622 138, equivalente al 1.3% de la población nacional, siendo los municipios de Fresnillo, Guadalupe y Zacatecas los que cuentan con una mayor densidad poblacional. Su disponibilidad de servicios y equipamiento relacionado con el agua potable es el siguiente: 77.5% cuenta con agua entubada, 96.3% con drenaje, 97.1% con servicio sanitario, 99.3% con energía eléctrica, 89.1 con tinaco y el 19.6% con cisterna o aljibe (Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI], 2020).

Mediante la información proporcionada por la SEGOB (2017) en el Diario Oficial de la Federación, el acuífero Guadalupe Bañuelos con clave 3227, se encuentra en la cuenca hidrológica del mismo nombre, en la región central del estado de Zacatecas, la población que se beneficia de él es de alrededor de 108,063 habitantes, dando una cobertura a 3 localidades urbanas y 38 rurales, distribuyendo mayoritariamente el uso del recurso hídrico hacia el sector público urbano, con el 63.8% de la extracción de agua, la cual se realiza

principalmente mediante los sistemas de abastecimiento San Ramón, Bañuelos y Hormigueros, para el suministro de la zona urbana de las ciudades de Zacatecas y Guadalupe (Secretaría de Gobernación [SEGOB], 2017).

El segundo usuario de este acuífero es el sector agrícola, para el cual se destina un 35.5% del volumen total, y para el lapso del 2013 al 2015 se reportaron cerca de 19,612 hectáreas por año bajo explotación agrícola, dentro de las cuales 5,675 (equivalentes al 29%) son de riego, y el resto de temporal (SEGOB, 2017).

Según el INEGI (2020), el municipio de Guadalupe tiene una extensión territorial de 817.0 km², cuenta con una población de 211,740 habitantes, lo que representa un 13.1 % de la población estatal y se ubica a 22°44'48" de latitud norte, a 102° 31' 08" latitud oeste y a una altitud de 2 279 msnm (INEGI, 2021). Su población tiene acceso a servicios y equipamientos relacionados con el agua potable, de la siguiente manera: 92.5% agua entubada, 99.2% drenaje, 99.2% servicio sanitario, 99.5% energía eléctrica, 95.6% tinaco y el 22.5% cisterna o aljibe.

El municipio de Zacatecas, se encuentra ubicado en las coordenadas 22° 46' 34" latitud norte y 102° 34' 19" latitud oeste a una altura de 2 423 metros sobre el nivel del mar (Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI], 2021). Dicho municipio cuenta con una población total 149 607 habitantes, lo que representa un 9.2% de la población estatal, tiene una extensión territorial de 441.5 km², sus habitantes cuentan con servicios y equipamientos relacionados con el agua potable, de la siguiente manera: 94.4% agua entubada, 99.4% drenaje, 99.5% servicio sanitario, 99.7% energía eléctrica, 96.5% tinaco, 19.5 cisterna o aljibe (INEGI, 2020).

La aplicación de la encuesta para obtener información sobre el agua potable de uso doméstico se realizó en el área metropolitana de Zacatecas conformada por dos municipios (Zacatecas y Guadalupe) de los seis

municipios que conforman el área metropolitana de la Ciudad de Zacatecas (Fresnillo, General Enrique Estrada, Morelos, Vetagrande, Calera, Zacatecas y Guadalupe siete) (Poder Legislativo del Estado de Zacatecas, 2010). La selección de los hogares a los que se aplicó el cuestionario se realizó de forma aleatoria a partir de información disponible sobre el número de tomas de agua doméstica en la Junta Intermunicipal de Agua Potable y Alcantarillado de Zacatecas (JIAPAZ).

La muestra final utilizada para la investigación fue de 207 cuestionarios validados habiéndose descartado 43 de estos, para la aplicación del modelo por las razones que se argumentan a continuación. Al realizarse la validación de los cuestionarios se detectó que 13 entrevistados tuvieron un comportamiento de protesta a la pregunta sobre su disponibilidad a pagar; es decir, a la pregunta respondió afirmativamente, pero rechazó expresar una cantidad monetaria concreta de los que se le proponían según el diseño del cuestionario. Otros 12 cuestionarios también se descartaron porque, análogamente al caso anterior, se detectó que el entrevistado tenía un comportamiento estratégico pues respondía con una cifra muy alta del monto que estaría dispuesto a pagar, es decir, que con tal dicha cantidad su comportamiento mostraba que podía tener influencia en el hipotético proyecto de mejoras del agua potable que se le planteaba Valdivia *et al* (2022). Los restantes 18 cuestionarios se descartaron por tener errores de llenado por los responsables de la aplicación de la encuesta. Sin embargo, para las estadísticas básicas se utilizaron los 207 cuestionarios.

La captura de la información de interés contenida en los 207 cuestionarios se realizó en la hoja electrónica MS Excel y el procesamiento econométrico de la base de datos obtenida se hizo en el sistema estadístico SAS 9. La definición de las variables relevantes del estudio se indica en el Cuadro 1.

Cuadro 4. Definición de las variables utilizadas en la investigación

Variable	Descripción de las variables	Unidades	Escala
DAPCA	Disponibilidad a pagar por una mejor calidad del agua (No = 0, Si = 1)	Dicotómica	Ordinal
DAPES	Monto de la disponibilidad a pagar	Pesos	Discreta
INGHO	Ingreso del hogar	Pesos	Discreta
GENER	Género (0 = femenino, 1 = masculino)	Dicotómica	Ordinal
EDAD	Edad del entrevistado	Años	Discreta
NIVEST	Nivel de estudios	Años	Discreta
INTFA	Integrantes de la familia	Miembros	Discreta
DEPEC	Dependientes económicos	Miembros	Discreta
CUOAG	Cuota pagada de agua actualmente	Pesos	Discreta
ANEST	Años de estudios	Años	Discreta

Fuente: elaboración propia.

Los variables del monto de la disponibilidad a pagar por una mejor calidad del agua, ingreso del hogar y de cuota pagada de agua corresponden a datos mensuales.

4.3 Resultados y discusión

Los resultados se presentan en el orden siguiente: 1) perfil y características de los encuestados; 2) características del modelo. Del total de encuestas aplicadas, 45% corresponden al municipio de Zacatecas y 55% al municipio de Guadalupe, ambos ubicados en la zona metropolitana de la ciudad de Zacatecas.

Como se observa en la figura siguiente, en promedio los encuestados del municipio de Guadalupe estarían dispuestos a pagar 141 MXN, mientras que

los habitantes del municipio de Zacatecas tienen un promedio de DAP de 139 MXN.

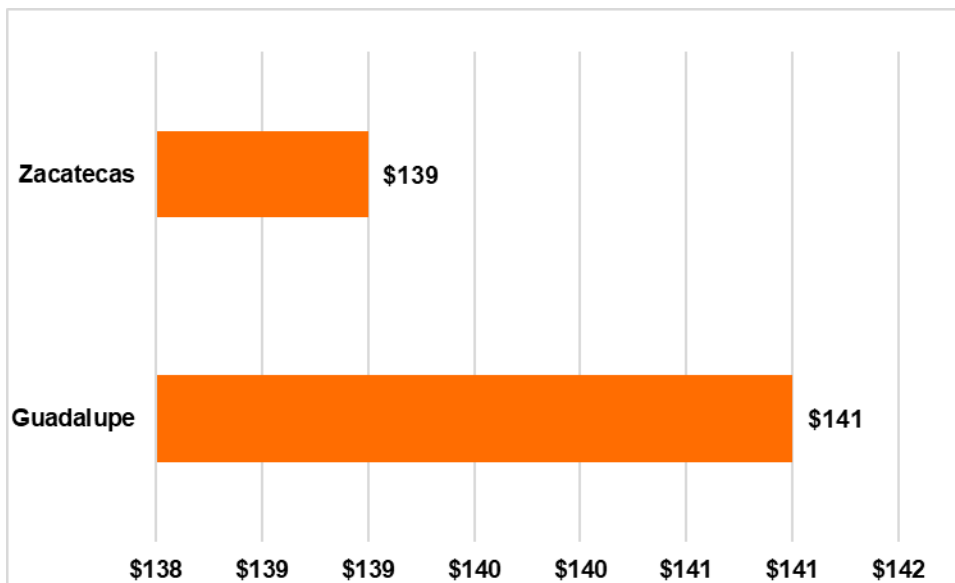


Figura 2 Promedio de la disposición a pagar por municipio.

Fuente: elaboración propia.

De la muestra de encuestados 31% cuentan con estudios de posgrado y un promedio de disposición a pagar por una mejora en el servicio de agua potable de 132 MXN, 45% tienen estudios universitarios y una disposición a pagar en promedio de 132 MXN, 14% tiene una carrera técnica y en promedio pagarían 135.00 MXN, 7% concluyeron sus estudios de preparatoria y sostienen un promedio de pago por mejorar el servicio público del agua potable de 134 MXN, 2% terminó su educación primaria y pagarían en promedio hasta 115 MXN.

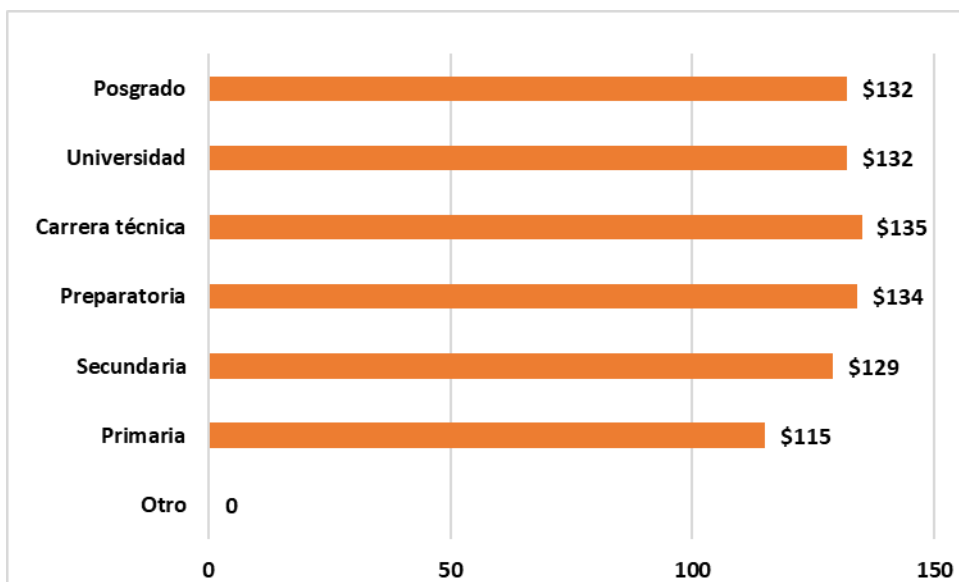


Figura 3 Promedio de la disposición a pagar según su nivel de estudios

Fuente: elaboración propia.

Ahora bien, según su ocupación, los encuestados que en promedio afirmaron estar dispuestos a pagar más por mejorar el servicio del agua potable en Guadalupe y Zacatecas fueron, en primer lugar los que se dedican a las actividades agropecuarias o forestales con 450 pesos mexicanos, los comerciantes 108 MXN, los estudiantes 129 MXN, los que desempeñan actividades como funcionarios o jefes 132 MXN, los encuestados que son jubilados o pensionados 41.00 MXN, los obreros 233 MXN, los profesionistas o técnicos 133 MXN, las personas que no cuentan con un empleo 134 MXN, y los que se dedican a otras actividades 132 MXN.

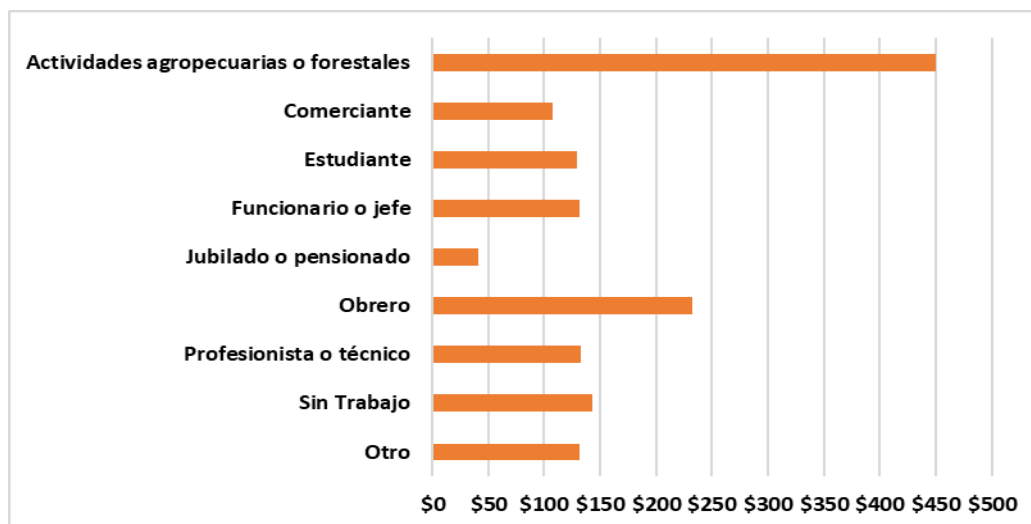


Figura 4 Promedio de la disposición a pagar según su ocupación.

Fuente: elaboración propia.

Dentro del cuestionario que se aplicó a los ciudadanos de los municipios de Guadalupe y Zacatecas, destaca la siguiente pregunta: Si hablamos de la problemática medioambiental, ¿Cuál de los siguientes aspectos que mencione es el de mayor importancia para usted?, dando los siguientes resultados:

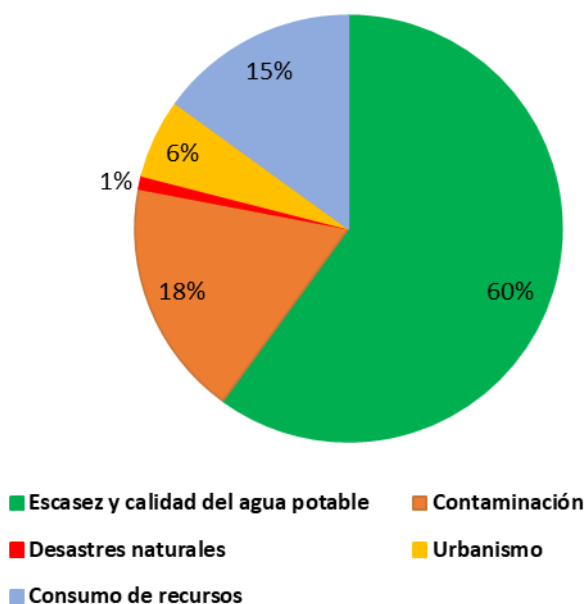


Figura 5 Principales problemas con respecto al medio ambiente percibidos por los encuestados

Fuente: elaboración propia.

Lo que hace evidente la preocupación de los usuarios por tan importante recurso natura, y la importancia de su cuidado, mejoramiento y preservación.

El porcentaje de usuarios del servicio de agua potable de la Junta Intermunicipal de Agua Potable y Alcantarillado de Zacatecas (JIAPAZ) que contestó afirmativamente sobre su disponibilidad a pagar por mejoras del agua potable fue de 73.4% mientras 26.6% contestó de forma negativa. El monto de la disponibilidad a pagar mensualmente es de 211 MXN por mes.

En un inicio se presentan los resultados de los principales estadísticos descriptivos de las variables relevantes del estudio (ver Cuadro 2).

Cuadro 5. Estadísticos descriptivos de las principales variables de la investigación

Variable	Media	Desviación		Valor	
		estándar	Valor máximo	mínimo	
DAPCA	0.73	0.44	1	0	
DAPES	211	152	700	5	
EDAD	40.30	12.09	70	19	
GENER	0.27	0.44	1	0	
NIVES	4.07	0.82	5	1	
INTFA	3.91	1.55	15	1	
DEPEC	1.62	1.35	6	0	
CUOAG	280	168	1,000	0	
ANEST	16.0	2.77	19	6	

INGRE	7,986	4,574	15,000	3,000
-------	-------	-------	--------	-------

Fuente: elaboración propia.

Haab & McConnell (2002, p.35) señalan que en el procedimiento para estimar un modelo de utilidad aleatorio como una función de utilidad lineal, como es en este caso y en el de Valdivia (2022), el ingreso del hogar debe ser excluido como covariante de las respuestas pues se asume que la utilidad marginal del ingreso es constante en todos los escenarios planteados por las preguntas de la valoración contingente. De aquí que en la estimación econométrica de la disponibilidad a pagar dicha variable regresora se excluye de la expresión especificada para la regresión logística corrida, tal cual se ve en los párrafos subsiguientes.

De acuerdo con Haab y McConnell (2002, p.35) el modelo de probabilidad a partir del cual se pueden recuperar los parámetros para la estimación de la disponibilidad a pagar esperada utilizando un modelo lineal de la utilidad aleatoria con base en el vector medio de variables exógenas, es la siguiente:

$$E_{\varepsilon}(DAP|\alpha, \beta, \bar{z}) = [(\alpha / \sigma) / (\beta / \sigma)] \bar{z}$$

donde E es el operador de valor esperado, α es el vector de los coeficientes de las variables en la matriz Z y representan la estimación de α / σ y el coeficiente asociado a la variable de la cantidad ofrecida al entrevistado sobre su disposición a pagar por una mejora de la calidad del agua es representado por β que es un estimado del parámetro teórico $-\beta / \sigma$.

El modelo de probabilidad empírico que hace operativo el anterior modelo general y del cual se recuperan los parámetros para estimar la disponibilidad a pagar es el siguiente:

$$P(\theta < (\alpha_0 - \beta DAPES + \alpha_1 EDAD + \alpha_3 CUOAG + \alpha_4 ANEST))$$

donde P denota probabilidad, α_i son los respectivos parámetros asociados a la ordenada al origen y a las variables observables $EDAD, CUOAG, ANEST$ las cuales se han definido en el Cuadro 1 mientras que β es el parámetro asociado a la variable $DAPES$.

El modelo empírico utilizado correspondió a una regresión logística que se corrió utilizando el procedimiento PROC LOGISTIC del sistema SAS 9.0. Los resultados estimados se muestran en el Cuadro 3.

Cuadro 6. Estimación del modelo binario de elección discreta

Variable	Ordenada al origen	DAPES	EDAD	CUOAG	ANEST
Parámetro	3.1548	-0.00276	-0.0227	-0.00168	-0.0678
Error estándar	(1.2555)	(0.00106)	(0.0136)	(0.000925)	(0.0612)
Probabilidad	0.0010	0.0089	0.0948	0.0689	0.2675
Pseudo-R ² de Mcfadden = 0.0727					

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 7. Estimación de la disponibilidad a pagar por mejor calidad agua

Variable	Parámetro	Valor	Media	Producto
(a)	(b)	(c)	(d)	(c)*(d)
1 ORDENADA AL ORIGEN	α_0	3.1548	-	3.1548
2 DAPES	β	-0.00276	-	-
3 EDAD	α_1	-0.0227	40.30	-0.91148
4 CUOAG	α_2	-0.00168	280	-0.4704
5 ANEST	α_3	-0.0678	16	-1.0848
6	-	-	$\alpha = \sum \alpha_i$	0.68479

Fuente: elaborado en base a Haab y McConnell (2002, p.18)

De acuerdo con Haab & McConell (2002) la disponibilidad a pagar se estimó como sigue:

$$DAP = -\left(\frac{\alpha_i}{-\beta}\right) = \frac{0.68479}{0.00276} = 248.1123 \approx \$248$$

Los \$248 corresponden a la disponibilidad a pagar por una mayor calidad del agua potable de los usuarios del servicio de agua potable que proporciona la Junta Intermunicipal de Agua Potable y Alcantarillado de Zacatecas (JIAPAZ) a la zona metropolitana de los municipios de Zacatecas-Guadalupe.

4.3.1 Valoración económica de la calidad del agua

De acuerdo con el micrositio de la JIAPAZ, este organismo atiende a cuatro cabeceras municipales (Zacatecas, Guadalupe, Morelos y Vetagrande) y 23 de sus comunidades del área metropolitana de la Ciudad de Zacatecas atendiendo a una población de 362 mil habitantes con 121 mil tomas de agua (JIAPAZ, 2022). De las 121,000 tomas de agua 113,000 corresponden a tomas domésticas. Dado que esta información es agregada, para poder estimar las tomas correspondientes a los municipios de Zacatecas y Guadalupe se siguió procedimiento y supuestos explicados a continuación. De acuerdo con el Censo de Población y Vivienda 2020 la población de los cuatro municipios que JIAPAZ señala atender fue de 343,119 habitantes (INEGI, 2022) aun cuando dicho organismo menciona atender a 362,000 habitantes. La población de los municipios de Zacatecas y Guadalupe es de 319,636. Bajo el supuesto de que las tomas de agua por municipio de distribuyen proporcionalmente según su población por municipio, entonces de los cuatro municipios a los que atiende la JIAPAZ y por una regla de tres simple se estima que 100,131 tomas domesticas corresponden a los municipios de Zacatecas y Guadalupe.

Dado que la encuesta se aplicó a usuarios de hogares con toma domesticas la valoración económica se realiza para este tipo de usuarios por lo que a diferencia de Valdivia *et al.* (2022) se excluyen las tomas comerciales,

industriales y de otro tipo. Ahora bien, dado que de los 207 entrevistados a los que se les aplicó el cuestionario solo el 73% (151 entrevistados) manifestó afirmativamente estar dispuesto a pagar por mejoras en la calidad del agua potable, para la valoración económica se consideró dicha proporción de las 100,131 tomas domesticas; es decir, solo 73,096 tomas domésticas tal como se puede observar en el Cuadro 5.

Cuadro 8. Valoración económica de la calidad del agua de Zacatecas-Guadalupe, Zacatecas

Tomas de agua	Número	DAP anual (\$)	Valoración económica (\$)
Domesticas	73,096	2,976	217'533,696
Total	73,096	2,976	217'533,696

Fuente: elaboración propia.

De la valoración económica es posible observar que los \$217.533 millones un monto alto por lo que la JIAPAZ dispondría de los recursos necesarios para garantizar una mejora en la calidad del agua potable distribuida para consumo de la población del área metropolitana de los municipios Zacatecas-Guadalupe del estado de Zacatecas.

Los resultados obtenidos en la presente investigación pueden ser discutidos a la luz de otras investigaciones que evalúan la calidad del agua utilizando alguna de las variantes de los métodos de preferencias declaradas. Para hacer las cantidades de la disponibilidad a pagar y la valoración económica comparables entre estudios las mismas se convierten a dólares de los Estados Unidos (US\$) al tipo de cambio promedio de 2020 (MX\$20.5 por US\$1).

En esta investigación para el área metropolitana de Zacatecas-Guadalupe, la mejora en la calidad del agua potable, estimó una DAP de 145 USD al año y una valoración económica total por este concepto de 10'611,400 USD al año; Lucich y Gonzales (2015) utilizando los experimentos de elección realizaron la valoración económica de la calidad de los servicios de agua potable Tarapoto,

San Martín, Perú, el atributo de calidad del agua se operacionalizo como la turbiedad del agua. Los resultados del experimento de elección mostraron que los usuarios están dispuestos a pagar 20.78 USD anuales por una mejora en la calidad del servicio de abastecimiento de agua potable.

Vázquez et al, (2009), su estudio lo hicieron en Parral, Chihuahua para conocer la DAP por agua potable segura las 24 horas, obteniendo una DAP de 4.7 USD al año; Avilés et al. (2010) en La Paz, Baja California Sur, calculó una DAP de 6.2 USD y una valoración económica de 353,124 USD por el uso de agua municipal y la valoración del acuífero de la Paz; y Koss & Khawaja (2001), hicieron lo propio en 10 Distritos de agua de California para estudiar las restricciones sobre la disponibilidad y uso del agua potable, obteniendo una DAP de 174.4 USD; Valdivia et al. (2022) realizaron la valoración económica de la calidad del agua potable que entrega a los hogares el Sistema de Agua Potable y Alcantarillado de León a la zona metropolitana de León, Guanajuato. El estudio utilizó el modelo de utilidad aleatoria lineal y estimó una disponibilidad a pagar por mejoras en la calidad del agua de 182 pesos mensuales (US\$101.4 por año).

Como se puede observar, los montos de la disponibilidad a pagar por el atributo de calidad del agua varían considerablemente entre los distintos estudios, no obstante, ello muestra que la problemática de la calidad del agua potable es un problema que afecta a los usuarios domésticos de este líquido vital.

4.4 Conclusiones

El método de valoración contingente, permite realizar una valoración económica de los bienes y servicios medioambientales brindando la posibilidad de asignarles valores cuantitativos, aunque en un principio estos no tengan precios de mercado.

Es importante contar con datos precisos que permitan estimar la disposición a pagar por parte de los usuarios del servicio público de agua potable para

mejorar dicho servicio, y así conocer el recurso que podría “recaudarse” por la Junta Intermunicipal de Agua Potable y Alcantarillado de Zacatecas (JIAPAZ), lo que posteriormente sería una fuente de recursos no fiscales que podrían utilizarse para el diseño de políticas públicas para mejorar la infraestructura y desarrollo institucional necesario para incrementar la calidad del agua potable del área motivo de estudio de esta investigación.

El agua es un recurso vital para el desarrollo de la vida, por lo tanto, su manejo, distribución y cuidado, debe ser tema de interés de futuras investigaciones para poder coadyuvar en el desarrollo de planes y programas que ayuden a mejorar su manejo.

Literatura citada

- CONAGUA. Comisión Nacional del Agua (30 de diciembre de 2020). Programa Nacional Hídrico 2020-2024.
- CONEVAL (2008). Consejo Nacional de la Evaluación de la Política Social. La carencia por acceso a los servicios básicos en la vivienda: evolución 2010-2016 y apuntes sobre el acceso al agua en el medio rural. https://node2.123dok.com/dt02pdf/123dok_es/001/601/1601739.pdf.pdf
- CONEVAL (2022). Consejo Nacional de la Evaluación de la Política Social. Medición de la pobreza. Pobreza a nivel municipio 2010-2020. https://www.coneval.org.mx/Medicion/Documents/Pobreza_municipal/2020/Concentrado_indicadores_de_pobreza_2020.zip
- Hernández, A., Valdivia, R., Romo, J., Hernández, J., & Cuevas, C. (2018). Valoración económica para un mejoramiento ambiental en León, Guanajuato. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 9(1).
- Haab, T. C. & McConnell, K. E. 2002. Valuing environmental and natural resources. *The econometrics of non-market valuation*. Edward Elgar. Northampton, MA, USA. 343 p.
- INEGI. (2020). Panorama sociodemográfico de Zacatecas: Censo de Población y Vivienda 2020. México: Instituto Nacional de Estadística y Geografía.
- INEGI. (2021). Aspectos geográficos Zacatecas 2021. México: Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Obtenido de https://www.inegi.org.mx/contenidos/app/areasgeograficas/resumen/resumen_32.pdf
- INEGI. 2022. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Censo de Población y Vivienda 2020. <https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2020/>
- Khatri, N. & Tyagi, S. 2015. Influences of natural and anthropogenic factors on surface and groundwater quality in rural and urban areas. *Frontiers in Life Science*, 8(1): 23-39, doi: 10.1080/21553769.2014.933716

- Koss, P. & Khawaja, M., S. (2001), 'The value of water supply reliability in California: a contingent valuation study. *Water Policy* 3(2): 165–74. doi: 10.1016/S1366-7017(01)00005-8
- Langford, M. 2005. The United Nations Concept of water as a human right: A new paradigm for old problems? *Water Resources Development*, 21(2): 273–282. doi: <http://dx.doi.org/10.1080/07900620500035887>
- Lucich, L., I. M. y Gonzales, K. K., K. 2015. Valoración económica de la calidad y confiabilidad de los servicios de agua potable en Tarapoto a través de experimentos de elección. https://www.conservation-strategy.org/sites/default/files/field-file/Valoracion_del_servicio_agua_Ivan_y_Karin.pdf
- McIntyre, O. 2012 The human right to water as a creature of global administrative law. *Water International*, 37(6): 654-669. doi: 10.1080/02508060.2012.710948
- Poder Legislativo del Estado de Zacatecas. (2010). Ley de Desarrollo Metropolitano del Estado de Zacatecas. Zacatecas. Obtenido de <https://www.congresozaac.gob.mx/f/todojuridico&cat=LEY>
- SEGOB. (2017). Acuerdo por el que se dan a conocer los resultados del estudio técnico de las aguas nacionales subterráneas del acuífero Guadalupe Bañuelaso, clave 3227, en el Estado de Zacatecas, región hidrológico-administrativ VII, cuencas centrales del norte . Secretaría de Gobernación, DOF, México. Recuperado el 21 de 10 de 2022
- UNICEF & WHO. 2019. United Nations Children's Fund (UNICEF) and World Health Organization. Progress on household drinking water, sanitation and hygiene 2000-2017: Special focus on inequalities. <https://data.unicef.org/resources/progress-drinking-water-sanitation-hygiene-2019/>
- Valdivia, A., R.; Delgadillo, V., M. A.; Sangerman, J., D. M.; Hernández, O., J.; Sandoval, R., F. y Garay, J., A. S. 2022. Valoración económica de la calidad del agua potable en León, Guanajuato. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 13(3): 527-538. <http://cienciasagricolas.inifap.gob.mx/index.php/agricolas/article/view/3168/4808>
- Vázquez, W., Mozumder, P., Hernández-Arce, J., & Berrens, R. (2009). Willingness to pay for safe drinking water: Evidence from Parral, Mexico. *Journal of environmental management*, 3391-3400.

CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES GENERALES

5.1 Conclusiones

Los recursos naturales (renovables y no renovables), desempeñan un factor trascendental para el desarrollo de la sociedad. La preservación del medio ambiente debe ser una tarea primordial para todos los actores sociales (estado, sociedad, industrias), y se debe encaminar el uso de estos bienes y servicios naturales a un manejo racional, en aras de fomentar el desarrollo sustentable.

El agua es el recurso natural más importante para la existencia de la vida, y es la encargada de regular el medio ambiente, se encuentra presente en todos los procesos productivos, económicos, sociales y ambientales de nuestro día a día, sin embargo, y a pesar de su importancia es un recurso frágil, por lo que se debe tener una planificación sobre su uso, aprovechamiento, mejora y cuidado.

Los municipios de Guadalupe y Zacatecas, al encontrarse en un estado semidesértico, en donde además se desarrolla la actividad minera y otras industrias, y que, por si fuera poco, se ubican en la zona metropolitana, están expuestos a una serie de circunstancias que pone en riesgo su acceso al agua potable.

Resulta importante destacar que los ciudadanos están conscientes de la escasez del vital líquido, y que además no son ajenos a las problemáticas medioambientales que pueden derivarse de la actividad humana, agrícola, ganadera e industrial.

Y que, por lo anterior, están dispuestos a pagar por mejorar la calidad en el servicio del agua potable hasta US\$ 145.2 anuales, esto sin dejar de lado que consideran que el agua que reciben en las tomas de sus hogares no es suficiente y que podría mejorar el tandeo de la misma.

Esta investigación además abordó el estudio de uno de los minerales más importantes para la industria, ya que no solo se utiliza en los aparatos electrónicos, sino en la fotografía, en la medicina e incluso en la purificación del agua.

Por lo anterior, resulta importante conocer el estado actual y futuro de su extracción, para poder dimensionar el escenario posible para las futuras generaciones. Mediante el uso de la regla de Hotelling, se llegó a la conclusión que el conocimiento de un horizonte de explotación permite conocer la senda de extracción óptima y el año en que se agotaran las reservas ayuda a la planeación de la búsqueda de nuevos yacimientos de plata a los tomadores de decisiones.

Según lo estimado por el modelo, siguiendo los niveles de extracción y utilizando como base de la información las reservas actuales probadas, se puede inferir que quedan 28 años de extracción de plata en México y Zacatecas.

El crecimiento económico conduce, necesariamente, a una disminución de los stocks disponibles de recursos naturales y a una degradación general del medio ambiente.

5.2 Recomendaciones

Sería conveniente que, para futuras investigaciones, se pudiera estudiar la disposición a aceptar por ceder el derecho al uso del agua potable, así como también incluir al resto de los municipios que conforman la Junta Intermunicipal de Agua Potable y Alcantarillado de Zacatecas.

Se podría realizar una comparación entre los distintos municipios para conocer su disposición a pagar por mejorar los servicios de agua potable y alcantarillado.

El estudio de la plata y otros minerales, debe ser estratégico, por lo que se sugiere ampliar el uso de modelos como la regla de Hotelling en otros minerales, para poder trazar estrategias que permitan que futuras generaciones puedan seguir utilizándolos.

El estudio de los recursos naturales, debería de priorizarse, y darle continuidad para posteriormente poder presentar propuestas claras a los tomadores de decisiones y creadores de políticas, e incluso poder convertirnos en uno.