



Integración de Valoración Múltiple de
Servicios Ecosistémicos En Herramientas y
Decisiones de Planeación de Tres Ciudades
Mexicanas: El Caso De León

**DOCUMENTO
DE TRABAJO**

Diciembre 2020



DOCUMENTO DE TRABAJO

Diciembre 2020

Conservación Estratégica

Integración de Valoración Múltiple de Servicios Ecosistémicos En Herramientas y Decisiones de Planeación de Tres Ciudades Mexicanas: El Caso De León

Daniel Revollo

Alfonso Malky

Cecilia Simon

Este proyecto fue desarrollado por Conservation Strategy Fund (CSF), en el marco del Programa Protección del Clima en la Política Urbana de México (CiClim) de la GIZ, financiado por el Ministerio de Medio Ambiente, Seguridad Nuclear y Protección de la Naturaleza BMU del Gobierno de Alemania.

Foto: Programa CiClim - Programa Protección del Clima en la Política Urbana de México

Este documento se puede descargar de forma gratuita desde www.conservation-strategy.org



Por encargo de:



Ministerio Federal de Medio Ambiente, Protección de la Naturaleza y Seguridad Nuclear

de la República Federal de Alemania

ACERCA DE ESTE INFORME

El presente informe fue desarrollado por Conservation Strategy Fund (CSF) y presenta los resultados del estudio *Integración de valoración múltiple de Servicios Ecosistémicos en herramientas y decisiones de planeación de tres ciudades mexicanas*, en este caso para el municipio de León, Guanajuato, dentro del Programa de Protección del Clima en la Política Urbana Mexicana (CiClim), financiado por IKI e implementado por la Cooperación Alemana al Desarrollo Sustentable en México (GIZ).

El proyecto CiClim busca apoyar a los municipios en la planeación integral, brindando asesoramiento técnico y apoyo estratégico para fomentar el desarrollo urbano sostenible. Dentro de los temas medioambientales, una de las acciones es brindar acompañamiento a un proceso de gobernanza y sensibilización para integrar los servicios ecosistémicos (SSEE) en la planeación urbana. El presente estudio tiene como objetivo identificar y estimar el valor de los SSEE que juegan un papel relevante en el municipio de León, así como asesorar a actores clave para que los valores identificados puedan incluirse en instrumentos de planeación. A su vez, el estudio propone un mecanismo de financiamiento que tiene como objetivo contribuir con la conservación de los SSEE identificados.

El documento comienza con una introducción a los conceptos clave como son los SSEE y la valoración económica (Sección 1). Posteriormente se tiene una presentación del contexto donde se presenta el área de estudio, la problemática atender, los SSEE identificados y los actores clave relacionados con el SSEE (Sección 2). La Sección 3 presenta el enfoque metodológico utilizando, seguido por la Sección 4 de resultados. En la Sección 5 se discute de manera general los elementos para el diseño de un mecanismo de financiamiento para asegurar la provisión del SSEE identificado, en este caso un mecanismo de pago por servicios ambientales. Finalmente, en la Sección 6 se presenta una discusión de los resultados obtenidos, así como recomendaciones puntuales que puedan contribuir con la planeación urbana del municipio.

Las opiniones reflejadas en el documento son responsabilidad de los autores y no necesariamente reflejan la opinión de los financiadores.

CONTENIDO

Acerca de este informe	1
Resumen ejecutivo	4
Acrónimos y Abreviaciones	9
1. Introducción	10
1.1. ¿Qué son los servicios ecosistémicos?	10
1.2. ¿Qué es la valoración económica?	10
2. Contexto General	13
2.1. Área de Estudio	13
2.2. Problemática identificada - Escasez de agua y cambio de uso de suelo	15
2.3. Actores y Servicios ecosistémicos identificados	19
2.4. Objetivo de la valoración	20
3. Enfoque Metodológico	21
3.1. Escasez de agua - crecimiento de la demanda urbana	21
3.2. Calidad del aire - crecimiento del parque automotor	25
3.3. Disponibilidad a pagar por los SSEE de provisión de agua y calidad del aire	27
4. Resultados	30
4.1. Escasez de agua y análisis comparativo de costos	30
4.2. Calidad del aire e impacto en el costo en la salud de las personas	32
4.3. Análisis de la disponibilidad a pagar	36
4.3.1. Modelos univariados y multivariados	37
4.3.2. Demanda de la disponibilidad a pagar	37
5. Esquema de un potencial mecanismo de financiamiento	43
5.1. Introducción	43
5.2. Análisis de la demanda	44
5.3. Análisis de la oferta	45
5.4. Mecanismo financiero	45
5.4.1. Mecanismo de recaudación	46
5.4.1.1. Forma de cobro	46
5.4.2. Instrumento financiero	47
5.4.3. Desembolso	48
5.4.4. Monitoreo y evaluación	49
6. Conclusiones y recomendaciones	49
7. Referencias Bibliográficas	53
Anexo 1: Datos de costos CONAGUA e IMDEC de la Presa El Zapotillo	56
Anexo 2: Encuesta aplicada SSEE provisión de agua y calidad de aire	58
Anexo 3: Estadísticas descriptivas de algunas preguntas de la encuesta aplicada	63
Anexo 4: Taller Diseño de un programa de Pagos por Servicios Ambientales en la Ciudad de León, Guanajuato (viernes 7 de febrero de 2020, 9:00-13:00, instalaciones del IMPLAN-León)	65

TABLAS

Tabla 1. Información de la ANP y de los municipios que la conforman	15
Tabla 2. Uso del agua según el REPDA - Acuífero del Valle de León	16
Tabla 3. Crecimiento parque automotor en los principales municipios de Guanajuato..	18
Tabla 4. Actores y servicios ecosistémicos identificados para escasez de agua	19
Tabla 5. Actores y servicios ecosistémicos identificados para calidad del aire	20
Tabla 6. Análisis de sensibilidad para la provisión de agua para el municipio de León a través del Proyecto Presa El Zapotillo	31
Tabla 7. Remoción de contaminantes del aire en zonas boscosas.....	33
Tabla 8. Cantidad de contaminantes removidos por el ANP-SL	34
Tabla 9. Resultados en muertes y enfermedades de diferentes escenarios calidad de aire – León.....	36
Tabla 10. Resultados en costos de diferentes escenarios calidad de aire – León.....	36
Tabla 11. Ingresos potenciales anuales según aporte y porcentaje de usuarios que participarían de un esquema de PSA para garantizar la provisión de agua	39
Tabla 12. Ingresos potenciales anuales según el aporte adicional y el porcentaje de usuarios que participarían de un esquema de PSA para garantizar la calidad de aire	40
Tabla 13. Modelo econométrico para determinar las variables que afectan la disponibilidad a aportar por el ssee de provisión de agua	41
Tabla 14. Modelo econométrico para determinar las variables que afectan la disponibilidad a aportar por ssee de calidad de aire.....	42
Tabla 15. Ventajas y desventajas de los diferentes mecanismos de recaudación	46

FIGURAS

Figura 1. Modelo conceptual que relaciona servicios ecosistémicos y bienestar humano	11
Figura 2. Valor Económico Total	12
Figura 3. Ubicación del Área Natural Protegida Sierra de Lobos (León, San Felipe, Ocampo, Silao en el Estado de Guanajuato)	14
Figura 4. Costos de producción unitarios	21
Figura 5. Volumen facturado por año.....	21
Figura 6. Ubicación geográfica de la Presa El Zapotillo	22
Figura 7. Probabilidad de un escenario cuando los costos de la Presa el Zapotillo aumentan en un 40% y 100%	32
Figura 8. Remoción de contaminantes por árboles (Kg/ha/año) de diferentes estudios	34
Figura 9. Curva de demanda: aporte y porcentaje de hogares que están dispuestos a aportar para el SSEE de provisión de agua	37
Figura 10. Curva de demanda: aporte y porcentaje del parque automotor que están dispuestos a aportar para el SSEE de calidad de aire	38

Figura 11. Curva de ingreso: monto a recaudar de los hogares que están dispuestos a aportar para el SSEE de provisión de agua	39
Figura 12. Curva de ingreso: monto a recaudar del parque automotor que están dispuestos a aportar para el ssee de calidad del aire.....	39
Figura 13. Cambios en el monto de la disponibilidad a aportar dependiendo de la cantidad del SSEE provisto - provisión de agua	43
Figura 14. Cambios en el monto de la disponibilidad a aportar dependiendo de la cantidad del SSEE provisto – calidad de aire	43
Figura 15. Mecanismo financiero - pago por servicios ambientales	44
Figura 16. Zonas prioritarias donde se encuentra las principales áreas de recarga profunda de toda la sierra norte que incluye el ANP-SL y zonas de recarga en el municipio de León para el PSA.....	45
Figura 17. Opciones de recaudación de fondos según percepción de los usuarios del agua.....	46

RESUMEN EJECUTIVO

El municipio de León se encuentra situado al norte del estado de Guanajuato. La superficie municipal comprende 1,183.20 km², equivalente al 3.87 % de la superficie total del estado (IMPLAN, 2014). León cuenta con aproximadamente 1.6 millones de habitantes (con 3,241 habitantes/km²) lo que la convierte en la localidad más poblada del estado y una de las ciudades con mayor densidad poblacional a nivel nacional (IMPLAN, 2014).

El Área Natural Protegida Sierra de Lobos (ANP-SL) se ubica en los municipios de León (32.8%), San Felipe (50.3%), Ocampo (16%) y Silao (0.9%) en el estado de Guanajuato, abarcando una extensión de 127 mil hectáreas (IMPLAN, 2014). Los cuatro municipios que comparten el ANP-SL presentaron una tasa de crecimiento demográfico del 7.3% promedio para los últimos cinco años, siendo el municipio de León uno de los que presenta la mayor tasa de crecimiento (7.6%) (IMPLAN, 2012).

La importancia de la ANP-SL radica en la provisión de una serie de servicios ecosistémicos (SSEE) que ofrece a la población, incluyendo la captación, infiltración y recarga de aguas subterráneas y/o aguas superficiales, funciones de regulación como la absorción de bióxido de carbono y calidad del aire, recreación, hábitat de fauna silvestre, entre otros.

El ANP-SL presenta una serie de problemas relacionados con el manejo y uso de los recursos naturales. Por ejemplo, un problema recurrente es el cambio de uso de suelo, tanto al interior del ANP, como en sus áreas de influencia. En el primer caso, el cambio de uso de suelo responde a actividades de ganadería o agricultura en pequeña escala; mientras que, en el segundo caso, a una alta presión de crecimiento urbano, principalmente por el establecimiento de asentamientos irregulares y por la concesión de cambio de uso de suelo en zonas periféricas al ANP (IMPLAN, 2012).

La provisión de agua para varios de los municipios del estado de Guanajuato, y principalmente en el municipio de León, proviene de fuentes subterráneas o acuíferos (85%), las cuales son complementadas con fuentes superficiales (15%) (IMPLAN, 2014). En el caso del

municipio de León, el 90% del agua que se consume proviene del acuífero Valle de León que provee al año aproximadamente 155 millones de m³ que son consumidos por diferentes sectores socio-económicos. Casi el 90% de los acuíferos de donde proviene el agua están en condición de sobreexplotados. A su vez, el crecimiento poblacional origina un incremento en la demanda urbana por el consumo de agua potable.

Por otro lado, de los cuatro municipios asociados al ANP-SL, León y Silao están entre los diez municipios (de un total de veinte) que engloban la mayor cantidad de unidades del parque automotor del Estado. Así mismo, los cuatro municipios que forman parte del ANP-SL están entre los municipios del estado de Guanajuato con la mayor cantidad de vehículos per cápita. De igual manera, los diferentes municipios de Guanajuato, en especial León, se caracterizan por tener un elevado número de empresas manufactureras en constante crecimiento y aportando de sobremanera a la economía de la región. Este crecimiento vehicular y el número de empresas, además de otras fuentes, genera cambios en la calidad del aire en los diferentes municipios, lo cual se ve reflejado en mayor medida en un aumento del número de pre-contingencias ambientales ocasionada por la afectación del aire a causa de mayores niveles de concentración de partículas suspendidas (lo que se conoce como PM10¹) incidiendo de manera negativa en el bienestar de la sociedad.

Con base a estas problemáticas identificadas, escasez de agua y contaminación del aire, el presente estudio identificó como servicios ecosistémicos la provisión de agua para el uso doméstico y la remoción de aire contaminado (calidad del aire) que puede aportar una zona boscosa, como es el caso de la ANP-SL. Se realizaron cuatro ejercicios de valoración económica, i) análisis de alternativas de reemplazo y sensibilidad de la actual fuente de provisión de agua que tiene el municipio de León, ii) estimación del costo evitado por la muertes prematuras y tratamientos evitados por enfermedades respiratorias agudas (ERA) y iii-iv) valoración de la disponibilidad a aportar que tendrían los habitantes de León para la conservación de dicha ANP en relación a los SSEE de provisión de agua y calidad de aire.

En el primer análisis de alternativas de reemplazo para la provisión de agua, se identificó la Presa el Zapotillo como mejor opción para sustituir el SSEE ofrecido por el acuífero del Valle de León. Sin embargo, existe mucha incertidumbre con relación a la finalización de la construcción y operación de la obra. Esta incertidumbre se debe a los costos de inversión y operación, los impactos ambientales, cuestiones políticas y la reactivación de conflictos sociales. El siguiente estudio presenta de manera cuantitativa, a través de un análisis de sensibilidad y riesgo probabilístico, cómo varía la factibilidad financiera del proyecto ante cambios en los costos.

El análisis de sensibilidad, donde se compara la situación actual con una situación hipotética, identificó que un aumento del 40% en los costos de inversión harían que el proyecto tenga un Valor Actual Neto negativo; es decir, sea un proyecto no viable. A su vez, el análisis de riesgo probabilístico realizado, evidencia que, si las variables del Análisis Costo Beneficio tienen una variación del 40%, la probabilidad de tener un proyecto viable es de un 75%; mientras que, si se tiene una variación del 100% en los costos, la probabilidad de tener un proyecto viable es solo del 3.7%. Tanto el análisis de sensibilidad como la probabilidad de tener un proyecto viable expresa que el proyecto El Zapotillo es altamente sensible a modificaciones en los costos de

¹ Las partículas en suspensión que tienen un tamaño menor de 10µm se denominan PM10, y pueden estar constituidas por multitud de diferentes contaminantes.

inversión. Considerando que estos rangos de variación en costos son factibles (con potenciales incrementos de entre 100% y 350% como lo indica la investigación del Instituto Mexicano para el Desarrollo Comunitario, con base en los datos de Transparencia Presupuestaria 2019), y considerando las demoras en las obras, y otros costos aspectos sociales y políticos, existe una alta probabilidad de que el proyecto no se concluya.

Una alternativa adicional a la presa es promover la recarga del acuífero del Valle de León, incorporando medidas para la conservación de zonas donde se realiza la captación e infiltración de agua, como son las áreas verdes (ANP-SL). Esto no solo contribuye con la provisión de agua, sino de otros SSEE de los que se beneficia la población como son la captura de carbono, hábitat de biodiversidad, ecoturismo, calidad del aire, entre otros.

En cuanto a la valoración económica de la calidad del aire, la literatura establece que una hectárea de área boscosa, como puede ser del ANP-SL, tomando en cuenta su tipo de vegetación, tiene la capacidad de remover en promedio entre 20 - 80 kg de PM10 al año (Szkop, 2016; Manes et al., 2014; Baró, et al., 2014, entre otros). Esta remoción genera una reducción de los costos por muertes y enfermedades respiratorias agudas (ERA). Se estimó que un aumento del 10% en la cobertura forestal incrementa el número de hectáreas con bosque en 23,516.97, las cuales tendrían una capacidad de remoción adicional de 255.83 toneladas de PM10 al año. Si se considera que el presupuesto para el ANP fue de aproximadamente \$12.7 millones de MXN en el 2018 se puede estimar que el costo de inversión por hectárea es de aproximadamente \$300 MXN. Por otro lado, se estima que los costos de reforestación en el ANP-SL oscilan entre \$8 mil y \$13.5 mil MXN (costos del 2014) por hectárea, por lo que es necesario generar un mecanismo financiero (por ejemplo, un pago por servicios ambientales - PSA) que pueda contribuir con el financiamiento para incrementar la cobertura forestal del ANP a fin de garantizar la permanencia de los múltiples beneficios que esta genera para la sociedad. Considerando únicamente el SSEE de calidad del aire proporcionado por el ANP, un aumento del 10% en la cobertura forestal se traduciría en un ahorro para la sociedad de entre \$10 y \$13 millones de MXN al año.

En cuanto al análisis de disponibilidad a pagar o aportar, los resultados obtenidos indican que casi el 72% de los usuarios, tanto de consumo de agua, como dueños de vehículo automotores, estarían dispuestos a realizar una contribución monetaria adicional en su boleta de agua o en la verificación vehicular, a fin de contribuir en la conservación de zonas boscosas como las que se tiene en la ANP-SL. Los resultados se presentan en las siguientes tablas, tanto para el servicio de provisión de agua, como para calidad de aire.

INGRESOS POTENCIALES ANUALES SEGÚN EL APORTE ADICIONAL Y EL PORCENTAJE DE USUARIOS QUE APORTARÍAN PARA EL SERVICIOS ECOSISTÉMICOS DE PROVISIÓN DE AGUA

Aporte (MXN)	Porcentaje	Número de usuarios que aportarían una cantidad adicional	Ingresos potenciales anuales (MXN)
\$1.00	71%	273,028	\$3,276,337
\$2.00	57%	220,184	\$5,284,415
\$3.00	44%	170,643	\$10,238,554
\$10.00	33%	127,707	\$15,324,803
\$15.00	19%	74,863	\$13,475,258
\$20.00	9%	36,330	\$8,719,285

Fuente: Elaboración propia, 2019.

INGRESOS POTENCIALES ANUALES SEGÚN EL APOORTE ADICIONAL Y EL PORCENTAJE DE USUARIOS QUE APORTARÍAN PARA EL SERVICIOS ECOSISTÉMICOS DE CALIDAD DEL AIRE

Aporte (MXN)	Porcentaje	Número de usuarios que aportarían una cantidad adicional	Ingresos potenciales anuales (MXN)
\$1.00	72%	359,059	\$718,117
\$2.00	56%	282,938	\$1,131,753
\$3.00	45%	224,053	\$2,240,527
\$10.00	30%	152,241	\$3,044,818
\$15.00	20%	99,100	\$2,973,006
\$20.00	11%	57,449	\$2,297,976

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Según los resultados obtenidos, se sugiere la capacidad máxima de recaudación a través del establecimiento de un pago por los servicios ambientales de provisión de agua y calidad del aire se alcanzaría con un valor de \$10 MXN ya sea para agua (aporte al mes) o aire (aporte al semestre). Si se establece un pago de \$10 MXN se podrían recaudar entre \$15 y \$3 millones de MXN por año, los cuales se utilizarían para financiar proyectos que garanticen la provisión de agua y calidad del aire respectivamente. Estas estimaciones sobre la capacidad de recaudación están sujetas a las siguientes condiciones:

- El pago se lleve a cabo de manera obligatoria. Un esquema voluntario es probable que tenga una recaudación menor.
- No existan modificaciones a la tarifa actual, que sean diferentes al aporte obligatorio o voluntario que realicen los usuarios de los SSEE. Es decir, si existe un aumento a las tarifas actuales, o se establece otro tipo de cobro que afecte a los usuarios, la disponibilidad a pagar por un programa de conservación de SSEE disminuiría.

A partir de los resultados obtenidos, el Instituto Municipal de Planeación de León (IMPLAN) junto con otros actores como la Dirección General de Medio Ambiente (DGMA), el Sistema de Agua Potable y Alcantarillado de León (SAPAL) y la Secretaría de Medio Ambiente y Ordenamiento Territorial (SMAOT) coincidieron en la importancia de diseñar un mecanismo de Pago por Servicios Ambientales (PSA). Para ello se sugirió que en el corto plazo la recaudación se lleve a cabo a través de un donativo voluntario de los usuarios, con un monto fijo de \$10 pesos. Los donativos se podrán realizar en las oficinas de cobro de la Tesorería del municipio y/o SAPAL y/o centros de verificación vehicular. En una segunda fase del proyecto se podría incluir a otros sectores económicos como industria o agricultura como usuarios de dichos SSEE. El objetivo de mediano plazo sería migrar a un esquema de pago obligatorio, donde los usuarios realicen el pago a través del recibo de agua y la verificación vehicular.

Es importante mencionar que, para que un mecanismo voluntario pueda ser exitoso, es necesario que se acompañe con campañas de difusión y concientización. Un bajo nivel de información e interés de los usuarios puede llevar a una baja recaudación, y esto puede poner el riesgo los planes de largo plazo (mecanismo obligatorio). La información generada y presentada en este informe, ofrecer argumentos suficientes para el diseño de las estrategias de difusión y concientización que sean necesarias.

El instrumento financiero identificado para la implementación del PSA es el Fondo Ambiental Municipal (FAM) del municipio de León. Dicho Fondo ya está constituido y cada gestión emite sus reglas de operación y la identificación de los proyectos prioritarios a ser financiados. Así mismo, el FAM ya tiene constituido un Comité Técnico y un Fiduciario (Banco Bajío AC). En tal sentido, el PSA podría ser parte de dicho Fondo y apoyar a proyectos a mediano y largo plazo (por lo menos cinco años) para beneficiarios que realicen actividades de conservación o restauración de áreas verdes urbanas y ANPs.

En el diseño de un PSA es necesario identificar las áreas prioritarias para la captación de agua y/o calidad de aire. El municipio de León, por medio del IMPLAN, ya tiene información relacionada con el uso de suelo y proyecciones de cambio de uso de suelo. A su vez, ha identificado las zonas prioritarias para la implementación de actividades clave que aseguren la provisión de agua y otros servicios ecosistémicos.

ACRÓNIMOS Y ABREVIACIONES

ANP - Área Natural Protegida

ANP-SL – Área Natural Protegida Sierra de Lobos

CONAGUA - Comisión Nacional del Agua

CSF - Conservation Strategy Fund

Dirección General de Medio Ambiente (DGMA)

ERA – Enfermedades Respiratorias Agudas

SSEE - Servicios ecosistémicos

GIZ - Cooperación Alemana al Desarrollo Sustentable en México

IMDEC – Instituto Mexicano para el Desarrollo Comunitario

IMPLAN - Instituto Municipal de Planeación

INEGI - Instituto Nacional de Estadística y Geografía

m³ - Metro cúbico

SAPAL - Sistema de Agua Potable y Alcantarillado de León

Secretaría de Medio Ambiente y Ordenamiento Territorial (SMAOT)

PM₁₀ - Partículas de diámetro aerodinámico equivalente menor a 10 micras

PSA - Pago por Servicios Ambientales

1. INTRODUCCIÓN

La siguiente sección presenta una introducción a dos conceptos importantes, la primera parte describe qué son los servicios ecosistémicos y la segunda la valoración económica. Ambos conceptos son la base para comprender los análisis y resultados presentados en este estudio.

1.1. ¿QUÉ SON LOS SERVICIOS ECOSISTÉMICOS?

Todos dependemos de los ecosistemas y de los servicios que estos nos proporcionan (MEA, 2005). Los servicios ecosistémicos (SSEE) se definen como aquellos beneficios que las personas obtienen de los ecosistemas (MEA, 2005). En otras palabras, los SSEE son los beneficios que la naturaleza nos da y hacen posible la vida humana al proporcionar alimentos, agua limpia, regular el clima y al proporcionar actividades culturales y recreativas, entre muchos otros servicios (FAO, 2018).

Existen cuatro categorías de SSEE identificados por la Evaluación de los Ecosistemas del Milenio (MEA por sus siglas en inglés), incluyendo:

- Servicios de provisión: beneficios materiales que las personas obtienen de los ecosistemas, por ejemplo, agua, fibras, madera, etc.
- Servicios de regulación: beneficios que se obtienen de un ecosistema que controla procesos naturales como el clima, la erosión, los flujos de agua, etc.
- Servicios culturales: beneficios no materiales como la recreación, belleza escénica y valores espirituales.
- Servicios de soporte: los procesos que se llevan a cabo como el ciclo de nutrientes y producción primaria que mantienen los otros servicios.

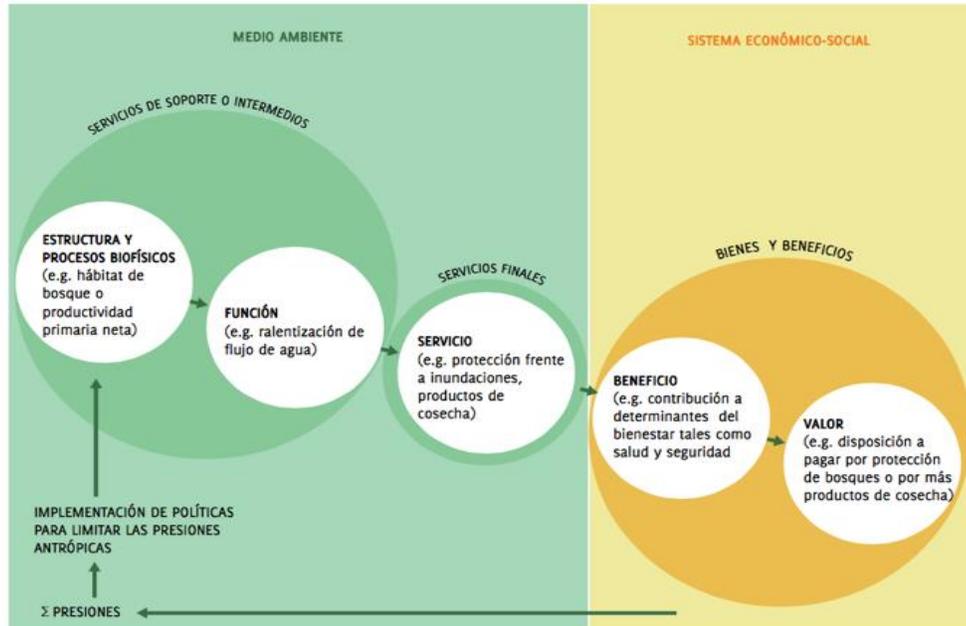
La Evaluación de los Ecosistemas del Milenio (2005), una síntesis del estado de los ecosistemas a nivel global menciona que el 60% de los SSEE están siendo degradados o usados de manera no sostenible, afectando a los más pobres. El reto de revertir la degradación de los ecosistemas mientras que se siguen satisfaciendo las necesidades humanas implica que se requieren cambios importantes en las políticas, instituciones y prácticas (MEA, 2005).

1.2. ¿QUÉ ES LA VALORACIÓN ECONÓMICA?

La valoración económica busca determinar el valor económico de los SSEE para los individuos. A diferencia de los indicadores que se miden, por lo general, en unidades físicas (lo que los hace difícil de comparar), la valoración económica se mide en términos económicos (Polasky, 2012). Para realizar una valoración económica es importante entender cómo diferentes acciones impactan (positiva o negativamente) las condiciones ecológicas o funciones ecosistémicas (por ej., ciclo hidrológico de agua), cómo los cambios en condiciones ecológicas conllevan a cambios en la provisión del SSEE (por ej., cantidad de agua) que afectan directamente a las personas. Es decir, cómo los cambios en la provisión de SSEE afectan el bienestar humano (De Groot et al., 2010; Olander et al., 2015; Polasky, 2012). La Figura 1 muestra gráficamente esta relación. Cabe

mencionar que es clave en el proceso identificar los cambios marginales² en el valor que pueden ocurrir debido a diferentes opciones de manejo, presiones o intervenciones (Haines-Young and Potschin, 2009).

Figura 1. Modelo conceptual que relaciona servicios ecosistémicos y bienestar humano

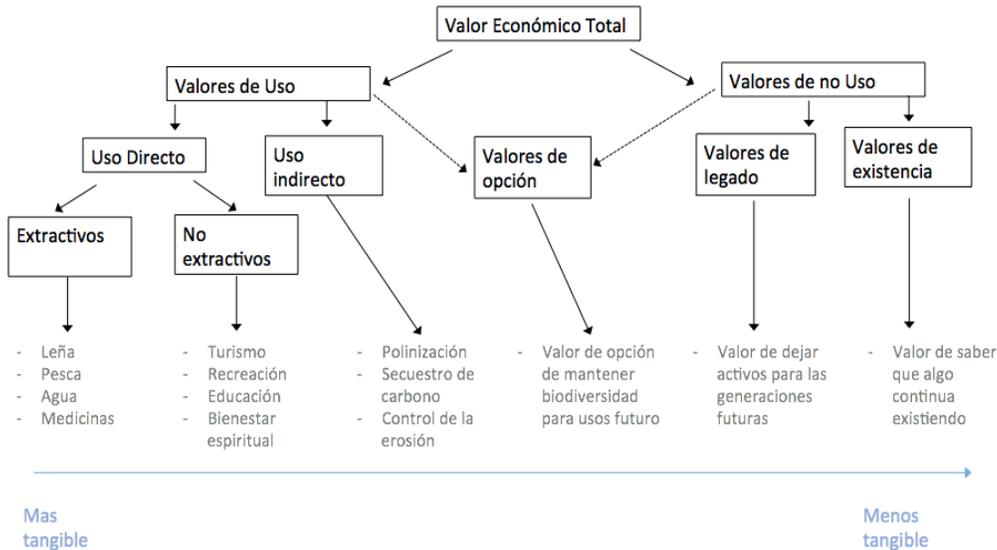


Fuente: Ministerio del Medio Ambiente de Chile (sin fecha) adaptado de Haines-Young y Potschin (2012)

La valoración económica se puede llevar a cabo para valores de uso (beneficios de usar el activo, como el uso de agua para riego), que pueden ser directos o indirectos. Estos valores incluyen tanto beneficios planeados como posibles usos en el futuro (también conocido como valores de opción). A su vez, pueden identificarse los valores de no uso (activos que no son usados directamente por las personas pero que se quieren preservar para otros, futuras generaciones o simplemente por su valor de existir) (OECD, 2007) (Figura 2).

² Un cambio marginal se refiere a los efectos de pequeños cambios en las variables relevantes.

Figura 2. Valor Económico Total



Fuente: Adaptado de OECD, 2007.

Existen diferentes métodos que pueden aplicarse para llevar a cabo una valoración económica los cuales se describen a continuación:

- Métodos de mercado: Se basan en precios de mercados existentes. Entre estos se encuentran los precios de mercado, enfoque de costos (costos evitados, costos de reemplazo, costos de restauración) y función de producción.
- Métodos de preferencias reveladas: Se basan en la observación de las elecciones que hacen los individuos en mercados existentes que se relacionan con los SSEE que se van a valorar. Entre estos se encuentran los métodos de costos de viaje y los precios hedónicos.
- Métodos de preferencias declaradas: Se basan en la simulación de un mercado y demanda por un SSEE a través de encuestas en cambios hipotéticos en la provisión de algún servicio. Entre estos se encuentra la valoración contingente y los modelos de elección.
- Transferencia de beneficios: Se basan en la estimación del valor de los SSEE al transferir el valor estimado existente de un ecosistema similar que fue previamente estudiado y se adapta al ecosistema en cuestión. Esta metodología se basa en revisión de literatura.

A continuación, se presenta el contexto general del proyecto, así como el SSEE identificado a valorar, el enfoque metodológico y los resultados del estudio.

2. CONTEXTO GENERAL

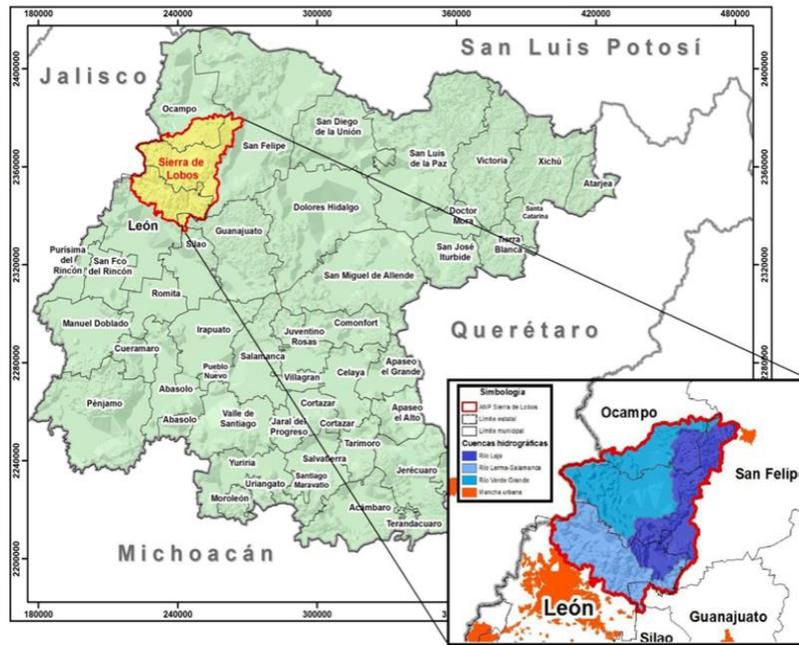
El siguiente capítulo presenta el contexto general en el que se basa el estudio, incluyendo una breve descripción del Área Natural Protegida Sierra de Lobos (ANP-SL) ubicada en los municipios de León, San Felipe, Ocampo y Silao, así como algunas de las problemáticas más importantes que enfrenta. Con base en el análisis de la problemática se identificaron los servicios ecosistémicos (SSEE) a valorar con el fin de integrar los resultados en la planeación urbana del municipio de León, así como los actores más relevantes relacionados con la provisión de dichos SSEE. Es necesario indicar que, si bien dicha ANP pertenece a cuatro municipios de Guanajuato, la investigación se centra en la sección ubicada en el municipio de León.

2.1. ÁREA DE ESTUDIO

El municipio de León se encuentra situada al norte del estado de Guanajuato. La superficie municipal comprende 1,183.20 km², equivalentes al 3.87 % de la superficie total del estado (IMPLAN, 2014). El municipio limita al norte con San Felipe, al este con Guanajuato y Silao, al sur con Silao, Romita, y San Francisco del Rincón, y al oeste con Purísima del Rincón y el estado de Jalisco. León cuenta con aproximadamente 1.6 millones de habitantes (con 3,241 habitantes/km²) lo que la convierte en la localidad más poblada del estado, séptima a nivel nacional y una de las ciudades con mayor densidad poblacional (IMPLAN, 2014). León se encuentra entre las cinco ciudades más importantes de México, junto con la Ciudad de México, Guadalajara, Monterrey y Puebla. Es la ciudad más grande e importante de la zona del Bajío.

Por otro lado, el Área Natural Protegida Sierra de Lobos (ANP-SL) se ubica en los municipios de León, San Felipe, Ocampo y Silao en el estado de Guanajuato, abarcando una extensión de 127 mil hectáreas (IMPLAN, 2014) (Figura 3). La superficie de la ANP-SL está repartida entre los cuatro municipios, siendo el municipio de San Felipe el que tiene la mayor extensión (50.3%), seguido de León (32.8%), Ocampo (16%) y, finalmente, Silao (0.9%). Dentro del polígono de dicha ANP se tienen localizadas 93 localidades rurales que agrupan un total de 6,276 habitantes, los cuales, en su gran mayoría se dedican tanto a la agricultura temporal y la ganadería extensiva (subsistencia), buscan fuentes de ingreso en la ciudad de León o subsisten de los programas de apoyo que llegan a sus comunidades (IMPLAN, 2012).

Figura 3. Ubicación del Área Natural Protegida Sierra de Lobos (León, San Felipe, Ocampo, Silao en el Estado de Guanajuato)



Fuente: IMPLAN, 2014.

La importancia de la ANP-SL radica en la provisión de una serie SSEE que ofrece a los habitantes, incluyendo la captación, infiltración y recarga de aguas subterráneas y/o aguas superficiales, funciones de regulación como la absorción de bióxido de carbono y calidad del aire, recreación, hábitat de fauna silvestre, entre otros.

Dentro de la flora se reportan 70 especies en 39 familias, correspondiente al 2.51% de la flora del Estado, representadas en cuatro tipos de vegetación incluyendo bosque de coníferas, bosque de encino (*Quercus* spp.), matorral xerófilo y pastizales. Dentro de la fauna, se evidencia la presencia de 198 especies de aves como: halcón peregrino (*Falco peregrinus*), búho cornudo (*Bubo virginianus*), vireo enano (*Vireo nelsoni*), mulato (*Melanotis caerulescens*); 27 de reptiles como *Crotalus aquilus*, *Kinosternon hitipes* y *Sceloporus grammicus*; 38 de mamíferos como: venado cola blanca (*Odocoileus virginianus*), rata canguro (*Dipodomys phillipsii*) y murciélago hocicudo mayor (*Leptonycteris nivalis*); y seis de anfibios. Algunas especies están en riesgo, según la NOM-059-SEMARNAT-2010.³ Así mismo, es necesario indicar que dicha ANP es de tipo Estatal con categoría de Área de Uso Sustentable.

Los cuatro municipios en su totalidad engloban el 32% del total de la población del Estado de Guanajuato, siendo León el municipio con mayor cantidad de habitantes (IMPLAN, 2014) (Tabla 1).

³ Entre las especies en riesgo se tienen al halcón peregrino (*Falco peregrinus*), vireo enano (*Vireo nelsoni*), rata canguro (*Dipodomys phillipsii*) y murciélago hocicudo mayor (*Leptonycteris nivalis*).

Tabla 1. Información de la ANP y de los municipios que la conforman

MUNICIPIOS	Superficie (km2)	Población (2015)	Densidad (hab/km2)	Hectáreas ANP	Porcentaje ANP
1. León	487.00	1,578,626	3,241	41,704.16	32.8%
2. San Felipe	2,969.79	113,109	38	63,889.47	50.3%
3. Ocampo	1,019.49	23,528	23	20,299.26	16.0%
4. Silao	531.41	189,567	356	1,165.18	0.9%
TOTAL	5,007.69	1,904,830	380	127,058.06	100.0%
TOTAL ESTADO	30,608	5,853,677	191.2	NA	NA

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Según datos del IMPLAN (2012), el 41.6% de la superficie de la ANP-SL presenta uso agropecuario (maíz, frijol y algunas hortalizas), el 46.3% cobertura forestal (matorral espinoso y bosque de encino) y el 12.2% otros usos. De acuerdo al documento *Ampliación del Área Natural Protegida sierra de Lobos en el Municipio de León, Guanajuato. Informe Final* (Implan, 2014) el 41.69% de la superficie del ANP presenta un uso del suelo agropecuario; caracterizado por sistemas principalmente de temporal, con cultivos de maíz, frijol y algunas hortalizas. El 46.39% tiene cobertura forestal, en diferentes estados de conservación, siendo el matorral espinoso el tipo de vegetación mejor representado (19.5%), seguido por el bosque de encino (17.07%). El 12.18% de la superficie restante presenta otros usos, aunque es de relevancia que el 10.08% está categorizado como zona sin vegetación aparente.

Es importante indicar que la ANP-SL presenta una serie de problemas relacionados con el manejo y uso de los recursos naturales. Por ejemplo, un problema recurrente es el cambio de uso de suelo, tanto al interior de la ANP, como en sus áreas de influencia. En el primer caso, el cambio de uso de suelo responde a actividades de ganadería o agricultura en pequeña escala; mientras que, en el segundo caso, a una alta presión de crecimiento urbano, principalmente por el establecimiento de asentamientos irregulares, aunque también por la concesión de cambio de uso de suelo en zonas periféricas al ANP (IMPLAN, 2014).

2.2. PROBLEMÁTICA IDENTIFICADA - ESCASEZ DE AGUA Y CAMBIO DE USO DE SUELO

El volumen (oferta) de agua renovable promedio en México es de 4,028 m³ por habitante al año, siendo uno de los más altos a nivel internacional, aunado a que alrededor de 90 millones de personas sufren cierto grado de problema de escasez (López-Morales y Mesa-Jurado, 2017). Sin embargo, la distribución geográfica del agua no coincide con la distribución geográfica de la población, existiendo diferencias sustanciales entre el Norte, Centro y Sur del territorio;

observándose áreas con gran escasez de agua y regiones con frecuentes eventos hidrometeorológicos por la abundancia de dicho recurso.

En la zona centro-norte del país se concentra el 27% de la población, se genera el 79% del PIB nacional y se cuenta con sólo 32% del agua renovable; en cambio, en la zona sur donde existe el 68% del agua el país, se asienta sólo 23% de la población y se genera el 21% del PIB (López-Morales y Mesa-Jurado, 2017). Este problema del crecimiento económico y poblacional se presenta en la mayoría de ciudades importantes de México y se evidencia de sobremano en la ciudad de León, incrementando la demanda de SSEE cada vez más escasos o de menor calidad, como es el caso del agua y la calidad del aire.

2.2.1. ESCASEZ DE AGUA Y PRESIÓN POR EL CRECIMIENTO DE LA DEMANDA URBANA

Los cuatro municipios que comparten el ANP-SL presentan una tasa de crecimiento demográfico promedio para los últimos cinco años del 7.3%; siendo el municipio de León uno de los que presenta la mayor tasa de crecimiento (7.6%), y siendo al mismo tiempo uno de los municipios a nivel nacional con la mayor cantidad de habitantes (1.5 millones para el año 2015) (IMPLAN, 2012). Este incremento de población origina un incremento en la demanda urbana por el consumo de agua potable, el cual debe ser cubierto por el organismo prestador del servicio, en este caso el Sistema de Agua Potable y Alcantarillado de León (SAPAL).

La provisión de agua para varios de los municipios del estado de Guanajuato, y principalmente en el municipio de León, proviene de fuentes subterráneas o acuíferos (85%), las cuales son complementadas con fuentes superficiales (15%) (IMPLAN, 2014). Casi el 90% de los acuíferos del estado de Guanajuato están sobreexplotados.

En el caso del municipio de León, el 90% del agua que se consume proviene del acuífero Valle de León, el cual provee al año aproximadamente 155 millones de m³ que son consumidos por diferentes sectores socio-económicos. El sector agrícola consume 86.4 millones (55.6%), el sector público urbano 59.7 millones (38.8%) y el resto repartidos entre agroindustria, industrial, entre otros (Tabla 2).

Tabla 2. Uso del agua según el REPDA - Acuífero del Valle de León

VOLUMEN ANUAL EN m3	Agrícola	Agro-industria	Otros usos	Domestico	Industrial	Pecuario	Público urbano	Servicios	Total general
ACAMBARO	360,000								360,000
LEÓN	86,435,328	31,000	3,218,864	29,681	3,967,957	2,170	59,659,205	2,092,808	155,437,013
MANUEL DOBLADO							36,532		36,532
PURÍSIMA DEL RINCÓN	18,750								18,750
ROMITA	2,837,934			1,080			375,461		3,214,475
SAN FRANCISCO DEL RINCÓN	8,414,648				144,000		1,424,495		9,983,143
SAN MIGUEL DE ALLENDE	180,000								180,000
SILAO DE LA VICTORIA	4,915,691		247,500	2,160	926,000		500,667	320,000	6,912,018
Total general	103,162,351	31,000	3,466,364	32,921	5,037,957	2,170	61,996,360	2,412,808	176,141,931

Fuente: Elaboración propia, 2019.

La estabilidad de este acuífero está en riesgo debido a la sobre-explotación, contaminación y mal uso del agua. Debido a las lluvias, el acuífero obtiene una recarga de 264.3 millones de m³ anuales. Sin embargo, la extracción es de aproximadamente 312.5 millones de m³ anuales. Esto significa que se le extrae más agua de la que recupera, por lo que existe una sobre-explotación de 48.2 millones de m³ anuales. Este abatimiento está generando una baja en el nivel del agua equivalente a 1.5 metros por año.

El restante 10% del agua que se consume en el Municipio de León proviene de la Presa el Palote, y en menor medida del acuífero Turbio (San Francisco y Purísima del Rincón). El ANP-SL es una fuente de captación, infiltración y provisión de agua que alimenta tanto a acuíferos, como también a la Presa (SAPAL, 2019).

También es importante evidenciar que el Monitor de Sequía que establece la CONAGUA demuestra que un 84.8% de los municipios de Guanajuato presentan cierto grado de sequía; por ejemplo, el municipio de León presenta una condición de sequía severa en la mayoría de meses del año.

De acuerdo al IMPLAN (2014), la precipitación anual en el ANP-SL es de aproximadamente 984 mm, con una media anual de 359 mm para el periodo 2010-2018. De esta cantidad de agua, cerca del 59% se pierde por evapotranspiración a la atmósfera, lo que equivale aproximadamente a 578 mm/año. Con el agua disponible, se produce un volumen anual de escurrimiento natural equivalente a 57 millones de m³. Del balance obtenido, aproximadamente 300.97 mm por año se infiltran en las microcuencas. Sin embargo, se estima que menos del 10% del agua que se filtra superficialmente (equivalente a 5 mm/promedio anual) llega a recargar los acuíferos (IMPLAN, 2014). En ese sentido, si bien se asume que las áreas verdes son importantes para la recarga de acuíferos como es el caso del acuífero del Valle de León, urge desarrollar estudios para confirmar dicha suposición con mediciones precisas.

Ante el crecimiento de la demanda de agua por parte de la ciudad de León y la reducción en la disponibilidad del recurso en los acuíferos, SAPAL decidió tomar principalmente dos medidas. La primera, en coordinación con la CONAGUA y, los Gobiernos de los estados de Guanajuato y Jalisco, actualmente se evalúa el diseño y construcción de la Presa y el Acueducto El Zapotillo, para transferir un volumen cercano a 120 millones de m³ anuales desde la cuenca del Río Verde (Estado de Jalisco). La segunda, en conjunto con la CONAGUA, la ampliación y modernización de la planta potabilizadora “Presa el Palote”, ubicada en el módulo de SAPAL, para incrementar hasta 300 litros por segundo la demanda de la ciudad de León, con un beneficio de hasta 150 mil personas en diferentes colonias de la ciudad (SAPAL, 2019).

2.2.2. CRECIMIENTO DEL PARQUE AUTOMOTOR Y CALIDAD DEL AIRE

A nivel nacional Guanajuato es la séptima entidad federativa con más vehículos. Según los últimos registros disponibles de 2015, sólo es superada por el Estado de México, Ciudad de México, Jalisco, Nuevo León, Michoacán y Veracruz (Instituto de Ecología del Estado de Guanajuato, 2012). Por otro lado, de los cuatro municipios asociados al ANP-SL, León y Silao se encuentran entre los diez municipios (de un total de veinte) que engloban la mayor cantidad de unidades del parque automotor del Estado. Así mismo, los cuatro municipios que forman parte del ANP-SL están entre los municipios del Estado de Guanajuato con la mayor cantidad de vehículos per cápita, con aproximadamente 0.5 vehículos por persona (IMPLAN, 2014).

En el municipio de León circula casi un 45% del total del parque automotor del Estado (IMPLAN, 2014) y se observa un aumento considerable en el parque automotor entre los años 2010-2015. El municipio de León pasó de tener aproximadamente 360 mil vehículos a casi medio millón en cinco años, un aumento de casi el 40%, siendo uno de los más altos a nivel nacional (Tabla 3) (Financiero, 2017).

Tabla 3. Crecimiento parque automotor en los principales municipios de Guanajuato

	2010	2011	2012	2013	2014	2015
1. León	362,300	379,949	402,244	428,493	460,462	501,246
2. Celaya	127,529	132,854	140,224	148,086	156,321	168,532
3. Irapuato	122,483	128,574	136,594	146,996	158,894	174,288
4. Salamanca	71,223	74,403	79,042	83,557	89,808	97,123
5. Guanajuato	49,522	52,152	55,801	58,906	61,664	67,508
6. Pénjamo	37,133	38,408	40,456	44,020	46,148	48,599
7. San Miguel de Allende	32,506	33,422	34,658	36,620	38,871	42,600
8. San Francisco del Rincón	32,938	34,309	36,146	39,696	42,225	46,643
9. Dolores Hidalgo	30,125	31,024	32,042	33,663	35,487	38,608
10. Silao (Forma parte del ANP-SL)	30,160	31,715	34,199	37,555	40,613	46,685

Fuente: Elaboración propia en base a datos de INEGI, 2019.

De igual manera, los diferentes municipios de Guanajuato, en especial León, se caracterizan por tener un elevado número de empresas manufactureras en constante crecimiento y que impulsan el crecimiento económico del municipio. Para el año 2018, el valor de la manufactura del país ascendió a 4.9 billones de pesos mexicanos, cuyos principales productores fueron el Estado de México (13.0% de la producción total), Nuevo León (11.9%), Coahuila (10.4%), Guanajuato (9.6%) y Puebla (6.2%). Estos cinco Estados suman aproximadamente el 51.1% de la industria manufacturera nacional. De igual forma, al comparar la participación de los Estados en la producción manufacturera nacional del año 2012 con respecto al año 2018, los mayores crecimientos se registraron en Guanajuato (7.4% al 9.6%), San Luís Potosí (3.2% al 4.8%), Aguascalientes (2.2% al 3.6%), Coahuila (9.3% al 10.4%) y Baja California (1.7% al 2.2%) (Datos INEGI, 2019).

El crecimiento vehicular y el sector manufacturero, además de otras fuentes, genera cambios en la calidad del aire en los diferentes municipios del Estado, lo cual se ve reflejado en el aumento del número de pre-contingencias ambientales ocasionadas por la afectación del aire a causa de mayores niveles de concentración del contaminantes, incluyendo partículas suspendidas como PM10⁴, incidiendo de manera negativa en el bienestar de la sociedad.

Las PM10 pueden estar constituidas por multitud de diferentes contaminantes. Estas partículas permanecen de forma estable en el aire durante largos periodos de tiempo sin caer al suelo pudiendo ser trasladadas por el viento a distancias importantes. El efecto de las PM10 sobre la salud humana depende del tamaño de las partículas, siendo los seres vivos más vulnerables a aquellas de menor tamaño, ya que presentan mayor capacidad de penetrar al interior del organismo por medio de las vías respiratorias produciendo irritación de las mismas y otros efectos dependiendo de la composición. La literatura indica que una exposición a PM10 tiene efectos en el sistema cardiovascular, pulmonar y tasa de mortalidad (McDonald et al., 2016). El principal causante de PM10 es el transporte, actividades agrícolas y ganaderas.

Algunas acciones ya se están tomando para mejorar la calidad del aire en la ciudad de León. Un ejemplo es el Programa de Gestión para Mejorar la Calidad del Aire de la Zona Metropolitana de León, Purísima del Rincón, San Francisco del Rincón y Silao (ProAire) donde una de sus principales estrategias es la planeación del desarrollo urbano y la restauración y conservación de recursos áreas verdes las cuales proveen de importantes SSEE a la población, incluyendo la reducción de temperatura en islas de calor y remoción de contaminantes (PM10, PM2.5, entre otros) (Chaparro & Terradas, 2009), siendo el ANP-SL y el Parque Metropolitano lugares de alta importancia (Instituto de Ecología del Estado de Guanajuato, 2012).

2.3. ACTORES Y SERVICIOS ECOSISTÉMICOS IDENTIFICADOS

Dada las problemáticas identificadas (escasez de agua-crecimiento de la demanda urbana, calidad del aire-crecimiento del parque automotor) para el municipio de León, se seleccionaron los siguientes SSEE por tipo de servicio (según la clasificación de la Evaluación de los Ecosistemas del Milenio, MEA 2005) (Tabla 4 y 5).

Tabla 4. Actores y servicios ecosistémicos identificados para escasez de agua

ACTORES INVOLUCRADOS EN LA PROBLEMÁTICA: Escasez de agua – Crecimiento de la demanda urbana	
<i>Actores generadores del problema</i>	<i>Actores afectados por el problema</i>
a) Crecimiento urbano formal e informal	a) Habitantes que consumen el agua en los municipios de León, San Felipe, Ocampo y Silao. b) Sistema de Aguas de León (SAPAL)
b) Ganadería	
c) Agricultura	
SERVICIOS ECOSISTÉMICOS INVOLUCRADOS EN LA PROBLEMÁTICA	
a) Captación e infiltración de agua	
b) Provisión de agua	

Fuente: Elaboración propia, 2019.

⁴ Las partículas en suspensión que tienen un tamaño menor de 10µm

Tabla 5. Actores y servicios ecosistémicos identificados para calidad del aire

ACTORES INVOLUCRADOS EN LA PROBLEMÁTICA: Calidad del aire - crecimiento del parque automotor	
<i>Actores generadores del problema</i>	<i>Actores afectados por el problema</i>
a) Parque automotor	a) Habitantes que disfrutan de la calidad del aire en los municipios de León, San Felipe, Ocampo y Silao. Considerando a León y Silao los principales por ya tener un programa de calidad de aire (ProAire). b) ProAire de la Zona Metropolitana de León.
b) Sector manufacturero	
c) Crecimiento urbano formal e informal	
SERVICIOS ECOSISTÉMICOS INVOLUCRADOS EN LA PROBLEMÁTICA	
a) Calidad del aire relacionado con salud	
b) Captura de carbono	

Fuente: Elaboración propia, 2019.

2.4. OBJETIVO DE LA VALORACIÓN

Dada las problemáticas identificadas, escasez de agua y calidad del aire, el estudio para el caso de León se centra en estimar en términos estrictamente económicos el aporte de las zonas boscosas, como es el ANP-SL, a la sociedad leonesa por medio de estos SSEE. El estudio se enfoca en responder las siguientes preguntas:

- ¿Cuáles son los costos en los que se tendría que incurrir si se tuviera que reemplazar el volumen de agua perdido que ofrecen las áreas verdes, por ejemplo el ANP-SL?⁵
- ¿Cuáles son los costos en salud en lo que tendría que incurrir la sociedad si se perdería el SSEE de depuración de la calidad de aire que ofrecen las áreas verde, por ejemplo el ANP-SL?
- ¿Cuál es la disponibilidad a pagar (DAP) que tienen los hogares de la ciudad de León por tener los SSEE de provisión de agua y calidad de aire que ofrecen las áreas verdes, en este caso el ANP-SL?
- ¿Cuáles son los mecanismos financieros que se podría considerar para que la sociedad en su conjunto considere a la ANP-SL como un lugar de importancia para su bienestar?

⁵ Para este objetivo se realiza el ejercicio de valoración económica para el servicio de provisión de agua que presta el acuífero de Valle de León considerando que dicho acuífero es alimentado por infiltraciones de las diferentes áreas boscosas que tiene a su alrededor, y donde una de dichas áreas boscosas es el ANP-SL.

3. ENFOQUE METODOLÓGICO

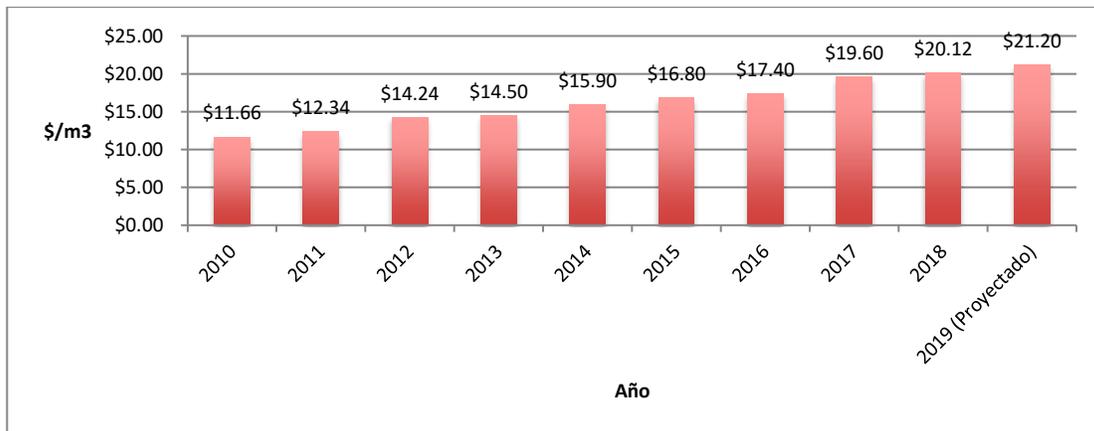
El siguiente capítulo presenta el enfoque metodológico utilizado para abordar las problemáticas identificadas en la sección anterior. Para las dos problemáticas identificadas se realizaron dos valoraciones económicas que son complementarias.

3.1. ESCASEZ DE AGUA - CRECIMIENTO DE LA DEMANDA URBANA

El primer paso consistió en analizar el suministro de agua de la ciudad de León. La ciudad tiene como principal fuente de abastecimiento el agua subterránea proveniente del acuífero Valle de León que se abastece por medio de la infiltración de agua de áreas boscosas, como es el caso de la ANP-SL. El operador de agua en la ciudad de León, el Sistema de Agua Potable y Alcantarillado de León (SAPAL), abasteció 55.9 millones de m³ en el año 2017, destinados principalmente para el consumo de los sectores doméstico (42.9 millones de m³), comercial (5.8 millones de m³), industrial (904 mil m³), mixto (3.9 millones de m³) y público (2.3 millones de m³), o que corresponde actualmente a 2.8 m³/s

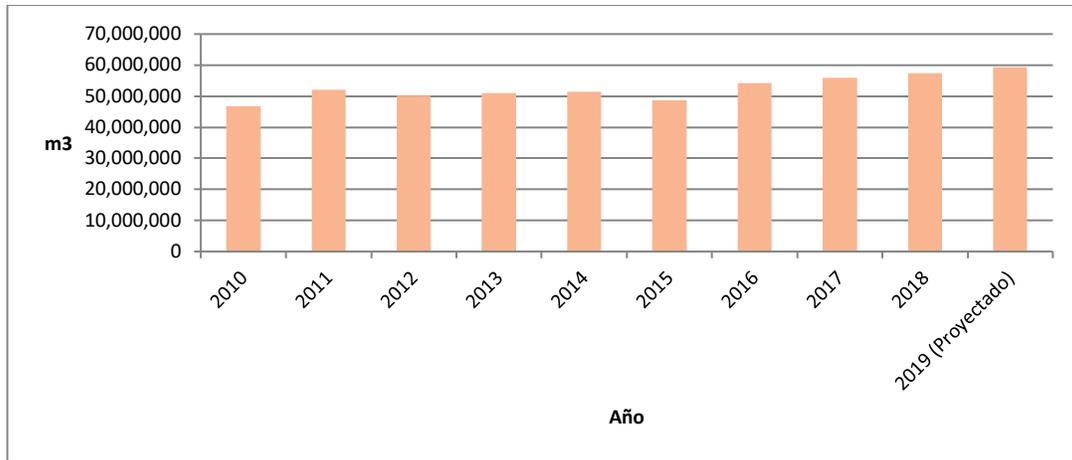
Las Figuras 4 y 5 muestran respectivamente los costos de producción unitarios y los volúmenes facturados por SAPAL. Se puede observar que con el paso de los años el costo unitario de producción por metro cúbico generado va en aumento, pasando de \$11.6 MXN en el año 2011 a \$19.6 MXN en el año 2017, y proyectados en \$21.20 para el 2019. Es decir, se ha dado un aumento de casi un 70% entre dichos años, debido principalmente al aumento en los costos de energía que se recurre para extraer agua cada vez más profunda de un acuífero sobreexplotado.

Figura 4. Costos de producción unitarios



Fuente: Elaboración propia, 2019.

Figura 5. Volumen facturado por año



Fuente: Elaboración propia, 2019.

Debido al incremento de costos y la escasez del recurso agua, a consecuencia de la sobre-explotación del acuífero, se analizaron diferentes alternativas a través de las cuales se podría reemplazar el agua que actualmente proviene del acuífero del Valle de León. Como alternativas viables se identificaron la Presa el Zapotillo o bien, invertir en la conservación de las áreas verdes que prestan el servicio de infiltración de agua al acuífero, como es el ANP-SL.

La Presa el Zapotillo (Figura 6) puede sustituir el SSEE ofrecido por el acuífero del Valle de León (actualmente proporcionando 2.8 m³/s), dado que tendría la capacidad de proveer 3.8 m³/s a León. A su vez es un proyecto que ya está en construcción. En el 2005, la CONAGUA junto con los gobiernos de Jalisco y Guanajuato suscribieron un Acuerdo de Coordinación para el uso y distribución de las aguas superficiales de la cuenca del Río Verde. Dicho proyecto, que inició obras el año 2009, tienen como objetivo principal la toma del recurso hídrico, proveniente del Río Verde en el Estado de Jalisco, para transportar a través de un acueducto a la ciudad de León.

Figura 6. Ubicación geográfica de la Presa El Zapotillo



Fuente: CONAGUA, 2018.

El proyecto de la Presa el Zapotillo incluye la construcción de una presa de almacenamiento y un acueducto que va hasta la ciudad de León. Hasta el momento se tiene construido casi un 75% de la presa de almacenamiento y un 90% del acueducto. Los detalles se presentan a continuación:

- Construcción de una presa de almacenamiento sobre el Río Verde, en el sitio denominado Zapotillo, con una capacidad de almacenamiento de 411 hectómetros cúbicos (hm³) y una altura de 80 metros.
- Construcción de un acueducto que consta de una línea de conducción desde la presa hasta la ciudad de León de 139 km, y que tendrá un gasto total de 5.6 m³/s, que incluye 3.8 m³/s para el abastecimiento a la ciudad de León y, posteriormente, 1.8 m³/s para los altos de Jalisco, con lo cual se cubriría el total de la demanda proyectada hasta el año 2050 (CONAGUA, 2018).⁶
- Dos plantas de bombeo y una planta potabilizadora.
- Reubicación de tres localidades (Acasico, Palmarejo y Temacapulín).

Una vez identificadas las potenciales alternativas se analizaron los costos de las mismas. Para la Presa el Zapotillo, según datos de la CONAGUA (2018), las inversiones para los trabajos de la presa ascienden a \$9.5 mil millones de MXN y para el caso del acueducto a \$13.1 mil millones de MXN, teniendo un costo total de \$22.6 mil millones de MXN. Sin embargo, existen otros estudios que demuestran que dicha inversión es superior y que los costos irán en aumento a medida que se tome más tiempo para la conclusión de la obra. Dadas las incertidumbres del proyecto, se buscó información alternativa sobre los costos proyectados para la conclusión de la obra.

La investigación del Instituto Mexicano para el Desarrollo Comunitario (IMDEC), con base en los datos de Transparencia Presupuestaria 2019, muestra que el costo del proyecto,⁷ siendo de \$7.9 mil millones de MXN en el 2016, ascendió a \$35 mil millones de MXN en el 2019 considerando la presa y el acueducto únicamente.⁸ El mismo estudio establece que, de concluirse el Sistema Zapotillo - Acueducto Zapotillo León para comenzar a operar en el 2021, el costo total ascendería a \$71 mil millones de MXN (Laboratorio de Periodismo y Opinión Pública, 2019). Es decir, los costos de inversión, en caso de finalizar la obra, se incrementarían entre un 100% hasta un 350%.

Adicional a los costos, existe información que indica que la terminación de la obra es aún incierta. El 27 de marzo de 2015 la CONAGUA, mediante el Organismo de Cuenca Lerma Santiago Pacífico, emitió la Suspensión Temporal a las obras de la presa, debido a la falta de la solicitud expresa y formal del Gobierno del Estado de Jalisco para ratificar la necesidad de un volumen adicional de agua para la zona conurbada de Guadalajara y por problemas sociales relacionados con la reubicación de las tres localidades.

⁶ Dicho gasto total puede subir hasta 8.6 m³/s si se considera a la zona conurbada de Guadalajara a través de la Presa El Purgatorio que también aprovecharía agua de la cuenca del Río Verde. Dicha Presa, apoyada en el proyecto El Zapotillo, permitirá preservar el Lago de Chapala. Ciudad de León, Gto. 3.8 m³/s, Altos de Jalisco 1.8 m³/s y Guadalajara, Jal. 3.0 m³/s.

⁷ Incluyendo indemnizaciones, reubicación de poblaciones, presa, planta de bombeo, línea de transmisión, acueducto, caminos, planta potabilizadora y circuito de macro distribución

⁸ Incluyendo el monto de la inversión total, costos de mantenimiento y operación y otros costos asociados.

A su vez, el estudio “Jalisco Sostenible Cuenca Río Verde”, desarrollado en el 2017 por la Oficina de las Naciones Unidas de Servicios para Proyectos (UNOPS-ONU), establece que el río Verde tiene un 32% menos de disponibilidad de agua, lo que se afirma en los estudios preexistentes que sirvieron de base para plantear el proyecto de la Presa el Zapotillo/Acueducto El Zapotillo-León/Presa el Purgatorio. Además, en dicho estudio, se argumenta que con la altura diseñada para la cortina de la Presa El Zapotillo, el río Verde no tiene la capacidad de generar el caudal necesario para satisfacer la demanda de la ciudad de León, Altos de Jalisco y Guadalajara.

Con respecto a la reubicación de las localidades afectadas por la construcción de la presa y el acueducto se continúa con los trabajos (incluyendo la adquisición de los predios y construcción de los nuevos centros de población). Hasta el momento, se ha adquirido el 61.3% de los predios que se encuentran dentro de la zona de embalse de la presa, el 95% de los predios que corresponden al trazo del acueducto dentro de Estado de Jalisco y un 100% de los predios del Estado de Guanajuato. No se han llegado a adquirir el 100% de los predios debido al rechazo de las comunidades por el proyecto.

Antes de la paralización de obras, se estimaba que el proyecto quedaría listo y operando en el 2021; sin embargo, en este momento se tiene incertidumbre sobre la continuidad del proyecto, y más aún sobre el año en que iniciarán sus operaciones. Siendo esta una inversión que conlleva mucha incertidumbre, no solo por los conflictos asociados a su realización, sino también por las dudas que generó la proyección de costos a consecuencia de estos problemas, se realizó un análisis de sensibilidad para el Análisis Costo Beneficio (ACB) del proyecto de la Presa el Zapotillo para identificar si la presa podría ser una alternativa viable para reemplazar la provisión de agua que actualmente se obtiene del acuífero.

Un Análisis Costo Beneficio (ACB) es una herramienta financiera que permite medir la viabilidad en la ejecución de un proyecto comparando los ingresos o beneficios del proyecto versus sus costos e inversión. Por medio del ACB se estima el Valor Actual Neto (VAN), que es el valor financiero del flujo de ingresos y costos traído a un momento específico en el tiempo. Si el VAN es mayor que cero, es decir si los ingresos son mayores a los costos traídos a valor presente, el proyecto es viable; de lo contrario, el proyecto se considera financieramente inviable. El análisis de sensibilidad compara un escenario actual con uno hipotético para comparar el VAN de ambos, por ejemplo, variaciones en costos.

Posteriormente se realizó un análisis de riesgo probabilístico a través del cual se genera un rango de variación entre las variables con incertidumbre, permitiendo establecer en qué medida la variación de costos se afecta la factibilidad del proyecto (Anexo 5). El análisis se realiza a través del programa Crystal Ball que es un complemento que se instala en Excel. Este software es un programa de simulación que permite analizar los riesgos e incertidumbres asociados con el modelo utilizado. El Crystal Ball lleva cabo una serie de combinaciones variando los valores de las variables inciertas. Esto permite llevar a cabo variaciones que no son homogéneas. Para cada combinación genera un potencial escenario con un VAN. Finalmente se obtiene la probabilidad de obtener un VAN positivo, es decir, cuantas combinaciones resultan en un VAN positivo.

Los pasos se describen a continuación:

- Se ajustaron los datos, variando y simulando los valores de los costos de inversión y/o de operación y mantenimiento, con base en el ACB realizado por la Comisión Estatal del Agua de Guanajuato y de CONAGUA (2018).
- Posteriormente se identificó el incremento porcentual en el valor de los costos de inversión y/o operación y mantenimiento que hacen que el proyecto se vuelva inviable; es decir, cuando el VAN es menor a cero.
- A continuación, se identificó la probabilidad de que dicho incremento porcentual que hace que el VAN sea menor que cero se presente.
- Finalmente se revisó en literatura u otros estudios nacionales los posibles incrementos en costos que se podrían presentar en la ejecución de la Presa el Zapotillo.

A través de los análisis de sensibilidad y riesgo probabilístico se obtiene información sobre la viabilidad de la Presa el Zapotillo, es decir, hasta que valor de incremento en los costos es viable y la probabilidad de que dichos incrementos en los costos puedan presentarse.

3.2. CALIDAD DEL AIRE - CRECIMIENTO DEL PARQUE AUTOMOTOR

Para medir el impacto de la calidad del aire con respecto a la salud en la población se utilizó el método de transferencia de beneficios. Este método se basa en la estimación del valor de los SSEE al transferir el valor de otro lugar previamente estudiado y posteriormente adaptarlo a la situación específica de León. Por medio de instrumentación y análisis estadísticos la información de otros estudios se transfiere para el caso en cuestión.

El primer paso consistió en identificar la relación existente entre las PM10 y la salud humana. En este caso se considera el PM10 ya que es uno de los principales contaminantes con mayores efectos sobre la salud de las personas (Manes et al., 2014). La Organización Mundial de la Salud señala que la concentración de PM10 debe de ser de 20 microgramos por metro cúbico ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) en promedio anual y 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ considerando un promedio de 24 horas, sin embargo, cualquier reducción en la concentración de PM10 resulta en mejoras en la salud (McDonald et al., 2016). Para la ciudad de León se utilizó un valor de concentración promedio anual de 83 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ obtenido del Informe Nacional de Calidad del Aire del 2017 (INECC, 2018; IMPLAN, 2019 & 2020).

Posteriormente se calculó el costo por muertes, hospitalizaciones y consultas relacionadas con la contaminación, en específico por la concentración de PM10 en el aire con la actual concentración. Para ello se utilizó el estudio desarrollado por el Instituto Mexicano para la Competitividad A.C. el cual calcula los impactos en salud y en productividad por la contaminación del aire en 34 ciudades de México (IMCO, 2012). El estudio asocia los impactos en salud con las pérdidas económicas que estos impactos generan.

Para la ciudad de León el análisis considera información proveniente de los sistemas de monitoreo para calcular la concentración promedio anual de PM10, datos del INEGI para calcular las muertes totales, y datos de la Secretaría de Salud para calcular los egresos hospitalarios por infecciones y enfermedades respiratorias y cardiovasculares, así como casos por asma, enfermedades isquémicas del corazón y enfermedades respiratorias agudas (ERA). El modelo utiliza una función de concentración-respuesta basado en estudios epidemiológicos que representa la probabilidad de que ocurra un impacto en la salud a partir de un cambio en la concentración del contaminante. El modelo utiliza estimadores (β) para calcular los egresos hospitalarios y las muertes atribuibles a la contaminación. En este caso se considera un valor de

vida útil de \$1.5 millones de MXN que refleja los salarios perdidos en un periodo de 30 años de trabajo y \$4,500 MXN el costo promedio de admisión y tratamiento de ERA (IMCO, 2012).

Los resultados obtenidos de la calculadora del IMCO se usaron en este estudio para obtener los costos por salud según las concentraciones de PM10 actuales (línea de base), así como los impactos de potenciales cambios en las concentraciones de PM10 por cambios en la cobertura forestal del ANP-SL.

En cuanto a la relación que existe entre la cobertura forestal y la remoción de contaminantes del aire, se consideró el proceso conocido como deposición seca. Bajo este proceso, las partículas se depositan en la superficie de los árboles cuando el aire pasa a través de la copa. Las partículas más pequeñas (por lo general menores a 2.5 micras) se incorporan permanentemente en las hojas, mientras que las más grandes se regresan al suelo cuando llueve (McDonald et al., 2016). La deposición seca depende de muchos factores, incluyendo la especie del árbol, el tamaño y características de las hojas, las condiciones meteorológicas, por nombrar algunas. Por ejemplo, se ha encontrado que las especies de coníferas tienen una mayor capacidad de captura que las especies de hojas anchas (Chen et al., 2015).

Para obtener la remoción de PM10 por el ANP-SL se realizaron dos análisis comparativos. El primero utilizó la fórmula presentada por Chen et al., (2015) que se describe a continuación:

$$Q = F \times S \times T$$

Donde Q es la remoción de contaminantes, F es el flujo del contaminante ($\mu\text{g}/\text{s}\cdot\text{m}^2$), S es la cobertura de copa (m^2) y T es el periodo de tiempo (s). El flujo del contaminante se calcula con la siguiente fórmula:

$$F = V_d \times C$$

Donde V_d es la velocidad de deposición en m/s y C es la concentración del contaminante en $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

La velocidad de deposición varía entre especies y sitio. Sin embargo, varios de los estudios y las herramientas, como el *Urban Forest Effects model* e *i-Tree* utilizan un promedio de deposición de PM de 1.28 cm/s mientras que los rangos de otros estudios varían entre 0.5 y 6 cm/s según el sitio y las especies estudiadas (McDonald et al., 2016). Para el caso de León se utilizó un valor de 0.5 cm/s para ser conservador.

Un segundo análisis consistió en la revisión de la literatura para encontrar la cantidad de remoción por hectárea de bosque en un periodo de tiempo determinado. La revisión de literatura incluyó distintos tipos de especies y sitios. Con la información de la revisión de literatura se obtuvo un valor promedio de distintos estudios para obtener la capacidad de remoción de un bosque (kg por hectárea por año).

Una vez obtenido el factor de remoción se calculó la remoción total por la cobertura forestal del ANP-SL. Para el ANP-SL se consideraron únicamente las hectáreas que corresponden al

municipio de León (41,704.16 ha). De estas, únicamente se consideraron el 46.39%⁹ que tienen cobertura forestal (IMPLAN, 2014), lo que corresponde a 19,346.56 ha. Posteriormente se utilizó el total de emisiones anuales para la ciudad de León, estimadas por el Inventario de Emisiones de Contaminantes (2017) en 6,446.56 ton/año (De la Parra et al., 2017) para calcular las remociones totales.

Subsiguientemente se cuantificó económicamente el impacto que podría tener el perder o conservar hectáreas de bosque sobre el bienestar de la sociedad, en este caso, sobre la salud de la población de León. Para este análisis se hicieron dos análisis comparativos. El primero consistió en calcular las remociones de PM10 por un incremento o pérdida de la cobertura forestal en el ANP-SL. En este análisis se consideró un aumento/pérdida del 10% de la cobertura forestal y se calcularon las toneladas de remoción por año (cambio marginal). El valor obtenido en ton/año se convirtió a una concentración promedio anual en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para poder utilizar la herramienta del IMCO e identificar con ella el número de muertes por un cambio en la concentración promedio. Un segundo análisis consistió en una revisión de literatura sobre la relación que existe entre el número de hectáreas y muertes/hospitalizaciones asociadas.

Una vez identificadas las muertes/hospitalizaciones por hectárea se calcularon los beneficios económicos de políticas que conlleven a un aumento en la cobertura forestal, así como los costos potenciales de continuar con el cambio de uso de suelo en el ANP-SL. Estos datos se compararon con la inversión actual que se lleva a cabo en el ANP-SL, la cual indica que actualmente se invierten en promedio \$21 MXN por hectárea por año para todas las actividades y \$13.7 mil MXN para actividades de reforestación.¹⁰

3.3. DISPONIBILIDAD A PAGAR POR LOS SSEE DE PROVISIÓN DE AGUA Y CALIDAD DEL AIRE

La disponibilidad a pagar (DAP) por los SSEE de provisión de agua y calidad del aire se obtuvo a través de la metodología de valoración contingente. Bajo esta metodología se diseñó una encuesta en línea donde se propone una serie de escenarios con respecto a los SSEE de provisión de agua y calidad del aire con la finalidad de estimar el valor económico (disponibilidad a pagar) que los habitantes del municipio de León tienen por dichos servicios. Esta encuesta digital se desarrolló por medio de la plataforma digital surveymonkey y se circuló aproximadamente cuatro semanas en el municipio de León. Para circularla se contó con apoyo de la Secretaría de Medio Ambiente y Ordenamiento Territorial del Estado de Guanajuato a través de la ANP-SL y del IMPLAN de León. El proceso siguió los siguientes pasos:

- Paso 1: Diseño de la encuesta - Valoración Contingente y Modelo de Elección.
- Paso 2: Aplicación de la encuesta DIGITAL.
- Paso 3: Análisis de la información obtenida de la encuesta.

⁹ Aunque se estima que únicamente el 30% de la cobertura forestal está en buen estado de conservación, para este análisis se consideró la cobertura actual dado que la deposición de los contaminantes no depende del estado de conservación sino de otros factores, como el clima, viento, especie, tamaño de las hojas, etc.

¹⁰ Información suministrada por personal de la ANP-SL.

- Paso 4: Estimación y análisis de la Disponibilidad a Pagar por los SSEE en cuestión.

En total aplicaron 377 encuestas, de las cuales 349 tenían información completa para realizar los análisis. Es necesario indicar que el tamaño de muestra se calculó tomando en cuenta el número de tomas domésticas de agua potable que se tiene en la ciudad de León, que son de aproximadamente 385 mil, y el número de vehículos del parque automotor que se tiene en la ciudad de León, aproximadamente 510 mil. Dicha muestra está construida estadísticamente con una heterogeneidad del 50%, un margen de error del 5% y un nivel de confianza del 93%. La encuesta en toda su extensión de puede revisar en el Anexo 2.

La estimación y análisis de la DAP utiliza el método de valoración contingente y/o el método de modelos de elección, a través del cual se busca obtener un valor monetario del cambio de bienestar Hicksiana¹¹, representado por la DAP por un incremento en la disponibilidad de algún bien o servicio (en este caso, el agua o la calidad del aire) (Carson y Hanemann, 2005; Vásquez, 2007). En este caso, la pregunta sobre la DAP utilizó el formato dicotómico simple donde los usuarios del servicio de agua potable, o del uso de vehículos, responden si estarían dispuestos a aportar una cantidad monetaria adicional al pago de agua con respuestas sí o no. El método dicotómico es considerado más confiable que otros (Mitchell y Carson, 2013), entre otras cosas, porque simula decisiones reales de mercado, en el cual un consumidor enfrenta un precio y tiene que decidir si pagar o no (CONANP-GIZ, 2017).

El análisis de la DAP utilizó una regresión probit¹², el primer método utilizando para analizar valoraciones con elección dicotómica. Con esto se busca obtener un modelo que explique la probabilidad (entre 0 y 1) de que un usuario, ya sea del agua o del uso de vehículos, esté dispuesto a aportar una cantidad monetaria adicional, para destinar a actividades de conservación de la ANP-SL. Aunque algunos estudios de este tipo utilizan las regresiones logit, la decisión de utilizar un modelo u otro se basa en la distribución de los errores (Mendizabal, Malky y Bruner, 2019). El enfoque utilizado permite identificar si un usuario estaría dispuesto a aportar una cantidad específica para la implementación de acciones de conservación y restauración en la ANP-SL.

Para obtener la probabilidad de pago se utilizó el software estadístico STATA. Primero se realizó una regresión lineal simple entre la variable de DAP (dependiente) y las variables independientes (modelo univariado) que permitió identificar aquellas variables significativas, considerando únicamente el impacto del incremento en la tarifa sobre la DAP. Posteriormente, se corrió un análisis de correlación entre todas las variables con el fin de identificar aquellas variables entre las cuales existan correlaciones altas, a fin de dejarlas fuera de los modelos multivariados, ya que si permanecían en estos modelos podría afectar a los resultados finales.

Seguidamente, se corrió una regresión de tipo probit entre la variable dependiente de DAP (dicotómica) y las variables independientes, no incluyendo aquellas variables que se identificaron

¹¹ Las medidas de bienestar Hicksianas se conocen como la variación compensada (calculada como la máxima cantidad de dinero que un individuo estaría dispuesto a pagar por un cambio favorable para mantener su nivel de bienestar actual o la mínima cantidad de dinero que está dispuesto a aceptar como compensación por aceptar un cambio desfavorable) y la variación equivalente (calculada como la cantidad de dinero que un individuo estaría dispuesto a pagar por evitar un cambio desfavorable o la mínima cantidad de dinero que estaría dispuesto a aceptar por renunciar a un cambio favorable)" (Vásquez, 2007 en CONANP-GIZ, 2017).

¹² Una regresión probit es aquella donde la variable dependiente puede tomar solo dos valores, en este caso, sí o no. Así mismo, se empleó un modelo logit condicional para utilizar la información que se obtuvo por medio de los modelos de elección o escenarios que se presentó a los encuestados.

como altamente correlacionadas (considerando aquellas superiores a 0.75). Los resultados de esta regresión muestran variables significativas y no significativas.

Se continuó haciendo estas regresiones quitando las variables no significativas, y aumentando algunas variables que puedan ser significativas, de forma tal que se tienen varios modelos multivariados. Estos modelos multivariados (considerando otras variables explicativas) sirven para probar la robustez de la relación entre un aporte adicional a la tarifa de agua y la demanda, así como para identificar características de los usuarios. Para elegir el mejor modelo univariado se obtuvo el nivel de significancia de las diferentes variables al correr las regresiones correspondientes (Mendizabal, Malky y Bruner, 2019).

4. RESULTADOS

Las siguientes secciones presentan los resultados obtenidos, incluyendo el análisis comparativo de costos para la escasez de agua, el impacto en costo de salud por la contaminación de PM10 y el análisis de disponibilidad de pago para la construcción de un mecanismo de financiamiento (tipo PSA) que permita garantizar la provisión de los SSEE de provisión de agua y calidad del aire. Más detalles sobre mecanismo de financiamiento (PSA) se presentan en la Sección 5.

4.1. ESCASEZ DE AGUA Y ANÁLISIS COMPARATIVO DE COSTOS

La Presa el Zapotillo se identificó como mejor opción para sustituir el SSEE ofrecido por el acuífero del Valle de León. Sin embargo, se observa que existen un número importante de incertidumbres para su conclusión y operación, relacionadas con los costos, los impactos ambientales, cuestiones políticas y la reactivación de conflictos sociales. El siguiente estudio presenta de manera cuantitativa, a través de un análisis de sensibilidad, cómo varía la factibilidad financiera del proyecto, ante cambios en los costos. Esto permite identificar hasta qué punto el proyecto es viable para su ejecución.

En la siguiente tabla se observan los cambios en el Valor Actual Neto (VAN) en una situación inicial frente a una situación hipotética, con un cambio porcentual en los costos tanto de inversión como de operación y mantenimiento respectivamente. Tanto para el caso de un aumento de los costos de inversión como de operación y mantenimiento, la diferencia porcentual entre el VAN de la situación inicial con respecto a la situación con cambio va en aumento y de manera negativa. Es decir, si los costos de inversión aumentaran un 10%, el VAN sufre una reducción del 25% aproximadamente; si dichos costos aumentan un 30%, el VAN se reduce un 77%. El punto crítico se encuentra cuando los costos de inversión llegan a un 40%, en esta situación el VAN se vuelve negativo; lo que indica que el proyecto ya no sería financieramente viable. Para el caso de los costos de operación y mantenimiento, el VAN no es tan sensible como el costo de inversión (Tabla 6).

Tabla 6. Análisis de sensibilidad para la provisión de agua para el municipio de León a través del Proyecto Presa El Zapotillo

Aumento	Inversión		Diferencia	
	VAN (Situación Inicial)	VAN (Situación con Cambio)	Monto	Porcentual
10%	2,773,569,241	2,060,654,396	712,914,845	-25.7%
20%	2,773,569,241	1,347,739,551	1,425,829,690	-51.4%
30%	2,773,569,241	634,824,706	2,138,744,535	-77.1%
40%	2,773,569,241	- 78,090,139		

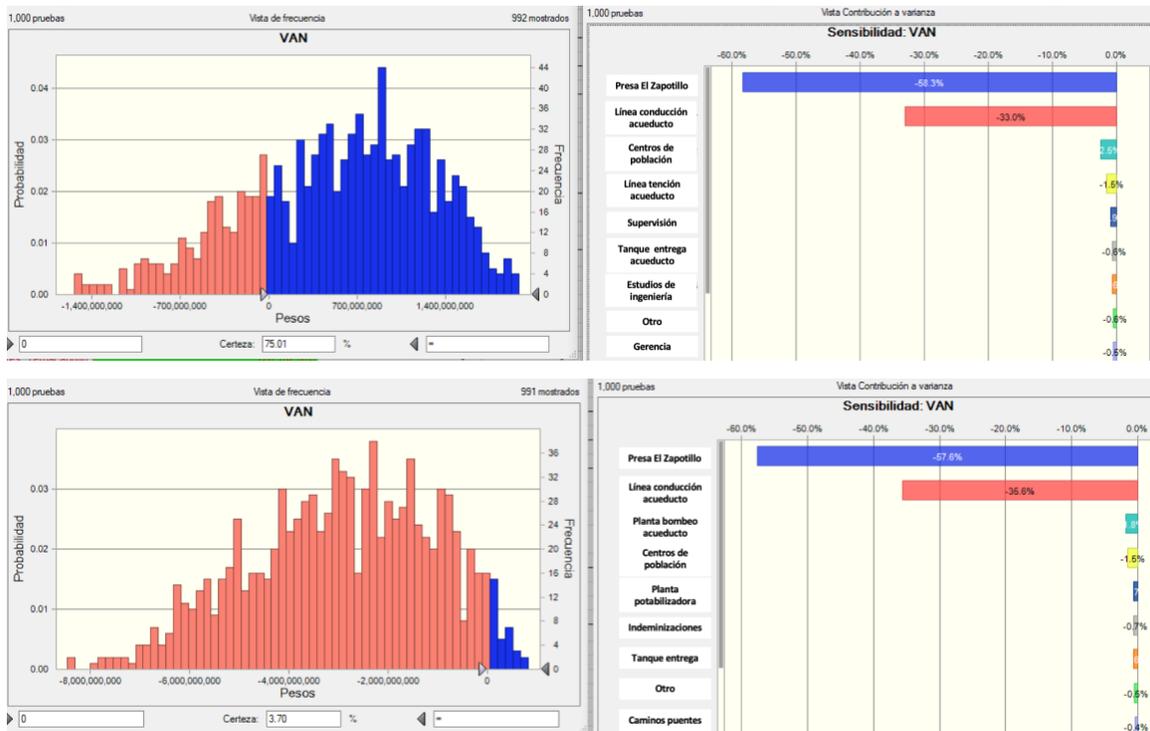
Aumento	Operación y mantenimiento		Diferencia	
	VAN (Situación Inicial)	VAN (Situación con Cambio)	Monto	Porcentual
10%	2,773,569,241	2,699,656,126	73,913,115	-2.7%
20%	2,773,569,241	2,625,743,011	147,826,230	-5.3%
30%	2,773,569,241	2,551,829,896	221,739,345	-8.0%

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Posteriormente, a través del análisis de riesgo probabilístico, se analizó la probabilidad de que el VAN sea mayor a cero ante variaciones de distintas variables, como, por ejemplo, los costos. En el caso de la Presa el Zapotillo, se aplicaron rangos de variación al nivel de costos, los cuales se incrementarían entre 40% y 100%. Estos rangos de variación fueron establecidos a partir del análisis de sensibilidad y tomando como referencia el cálculo realizado por IMDEC donde se especifica que, si se llegara a concluir la obra, los costos se podrían incrementar entre un 100% hasta un 350% (Laboratorio de Periodismo y Opinión Pública, 2019). A su vez, un aumento del 100% en los costos es factible. En primer lugar, se sospecha que los costos fueron sub-estimados significativamente (al revisar otras fuentes como el estudio realizado por el IMDEC). En segundo lugar, una obra de esa magnitud que está paralizada por más de 5 años, debe incurrir en costos administrativos (renovaciones de contratos, pago de deudas, re-negociaciones con proveedores, etc.), reposición y mantenimiento de obras y materiales que hayan sufrido deterioro, inflación y el costo del dinero en el tiempo.

La Figura 7 evidencia que con una variación del 40% en los costos, la probabilidad de tener un VAN negativo es del 25%. Por otro lado, con una variación en los costos del 100%, existe una probabilidad del 96.3% de tener un VAN negativo, es decir, la probabilidad de tener un proyecto viable es sólo del 3.7%. Así mismo, se observa que, dentro de todos los costos, el costo que se incurre en la construcción de la Presa el Zapotillo es el que más influye en la variación en los VAN.

Figura 7. Probabilidad de un escenario cuando los costos de la Presa el Zapotillo aumentan en un 40% y 100%



Fuente: Elaboración propia, 2019.

Tanto el análisis de sensibilidad como la probabilidad de tener un proyecto viable expresa que el proyecto El Zapotillo es altamente sensible a modificaciones en los costos de inversión. Considerando que estos rangos de variación en costos (con potenciales incrementos de entre 100% y 350%) son factibles considerando las demoras en las obras, y otros costos aspectos sociales, ambientales y políticos, existe una alta probabilidad de que el proyecto se vuelva inviable.

Una alternativa adicional es promover la recarga del acuífero del Valle de León, incorporando medidas para la conservación de zonas donde se realiza la captación e infiltración de agua, como son las áreas verdes (ANP-SL). Esto no solo contribuye con la provisión de agua, sino de otros SSEE de los que se beneficia la población como son la captura de carbono, hábitat de biodiversidad, ecoturismo, calidad del aire, entre otros. Es decir, para tomar una decisión de cambio de provisión de agua para la ciudad de León, no solo se debe tomar en cuenta aspectos meramente financieros; sino, aspectos políticos y sociales donde se incluya tanto los beneficios y costos a terceros (co-beneficios), y considerar la alternativa con menos incertidumbre.

4.2. CALIDAD DEL AIRE E IMPACTO EN EL COSTO EN LA SALUD DE LAS PERSONAS

El primer paso consistió en generar una línea de base sobre las concentraciones de PM10 y sus efectos en la salud actuales. Por medio de la herramienta desarrollada por el Instituto Mexicano para la Competitividad A.C. (IMCO) se estimó que los actuales niveles de concentración promedio anuales de PM10 ($83 \mu\text{g}/\text{m}^3$) en León generan entre 228 y 344 muertes atribuibles a la contaminación, entre 498 y 708 hospitalizaciones, y más de 45 mil consultas. Así, el número de muertes por cada 100,000 habitantes estaría entre 14 y 21. Utilizando la herramienta del IMCO

se calcula que las muertes, hospitalizaciones y consultas generan costos aproximados en salud por contaminación de entre \$190 y \$260 millones de MXN al año.¹³ Si la concentración de PM10 aumenta en 10 µg/m³ los costos en salud aumentarían entre \$30 y \$40 millones de MXN.

Para entender el rol que juegan los bosques en la remoción de contaminantes se realizaron dos análisis comparativos. Utilizando la fórmula de Chen et al., (2015) se obtuvo el flujo de contaminantes en 130.87 Kg/ha/año, considerando una velocidad de deposición de 0.5 cm/s y una concentración de PM10 de 83 µg/m³. Posteriormente se llevó a cabo una revisión de la literatura para identificar la capacidad de remoción de diferentes contaminantes (PM10, SO₂, O₃, entre otros) que realiza una hectárea de área boscosa, principalmente bosque de encino y encino-pino característico de la ANP-SL. Los resultados se pueden observar en la Tabla 7.

Tabla 7. Remoción de contaminantes del aire en zonas boscosas

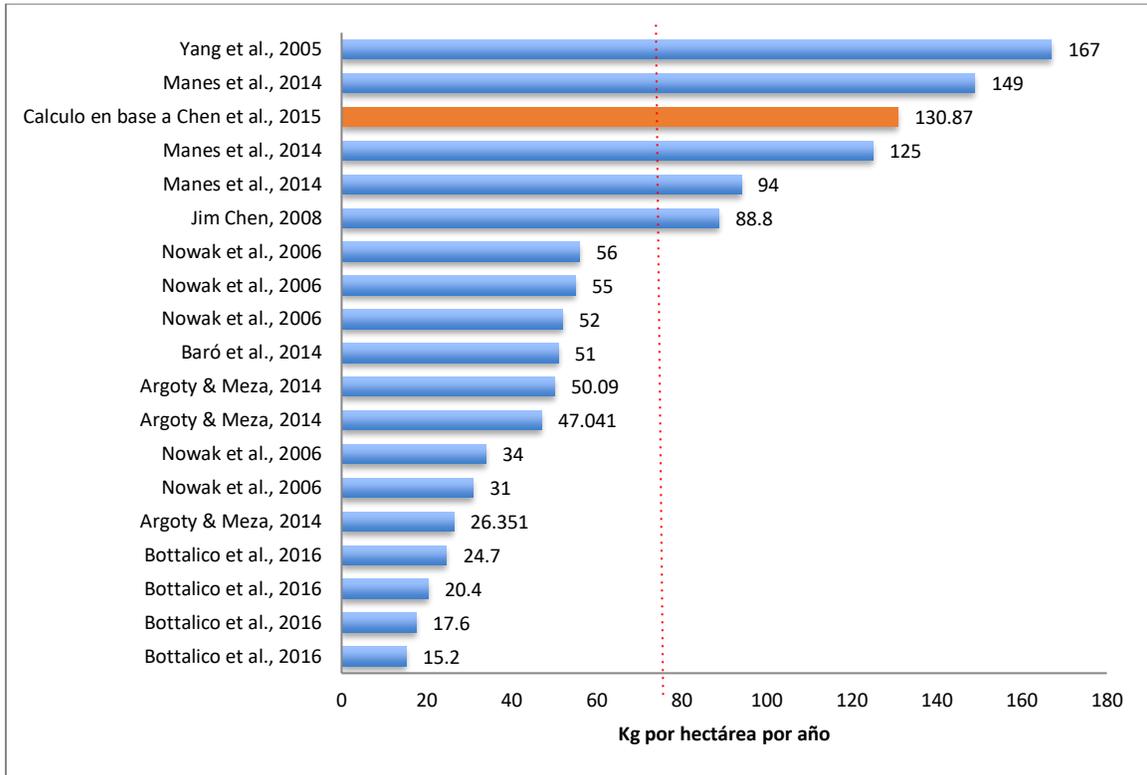
Compuesto		kg/ha/año
General		127.60
SO ₂	Dióxido de azufre	56.22
PM10	Partículas menores a 10 micras	61.34
PM2.5	Partículas menores a 2.5 micras	6.17
O ₃	Ozono	19.78
NO ₂	Dióxido de nitrógeno	10.80

Los datos son para un promedio de diferentes tipos de bosques, considerado el bosque de encino y encino-pino característico de la ANP-SL en base a estudios de Szkop, 2016; Manes et al., 2014; Baró, et al., 2014, entre otros.

Específicamente para PM10, los resultados de la revisión de literatura se muestran en la Figura 8. Los resultados varían entre 15.2 y 167 Kg/ha/año (promedio de 61.3 kg/ha/año) según el estudio y el tipo de ecosistema. En el caso de la ANP-SL, la mayoría de área boscosa es bosque de encino y/o encino-pino. Este tipo de bosques, y según las fuentes consultadas, tiene una capacidad de remoción de entre 20 - 80 kg/ha/año de PM10 (Szkop, 2016; Manes et al., 2014; Baró, et al., 2014).

¹³ Los rangos y variación dependen de las variables utilizadas en el modelo, basado en la función de concentración-respuesta según estudios epidemiológicos que representa la probabilidad de que ocurra un impacto en la salud a partir de un cambio en la concentración del contaminante. En este caso las variables son calculadas por el IMCO o utilizadas de otras fuentes de literatura y generan dos escenarios distintos que son los que se presentan en este análisis.

Figura 8. Remoción de contaminantes por árboles (Kg/ha/año) de diferentes estudios



Fuente: Elaboración propia (2019)

Para los cálculos se decidió usar el valor conservador promedio de 61.3 kg/ha/año obtenido de la literatura para calcular las remociones del ANP-SL actuales. El cálculo de remociones de PM10 por área boscosa consideró las 41,704.16 hectáreas del ANP-SL que le corresponden al municipio de León. De estas, únicamente se consideraron aquellas con cobertura boscosa, lo que corresponde a 19,346.56 ha o el 46.39% de la superficie. Los resultados se presentan en la Tabla 8.

Tabla 8. Cantidad de contaminantes removidos por el ANP-SL

ANP-SL		Cantidad de remoción (ton/año)						
MUNICIPIOS	Hectáreas ANP	Hectáreas con cobertura forestal	General	SO2	PM10	PM2.5	O3	NO2
León	41,704.16	19,346.56	2,468.62	1,087.76	1,186.78	119.47	382.82	209.09
San Felipe	63,889.47	29,638.32	3,781.85	1,666.41	1,818.12	183.02	586.47	320.32
Ocampo	20,299.26	9,416.82	1,201.59	529.46	577.66	58.15	186.34	101.77
Silao	1,165.18	540.53	68.97	30.39	33.16	3.34	10.70	5.84
TOTAL	127,058.06	58,942.23	7,521.03	3,314.03	3,615.72	363.97	1,166.33	637.03

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Una vez obtenido el valor de remociones actuales, se consideró un cambio en la cobertura forestal del 10% (asumiendo que se podría aumentar la cobertura forestal a través de acciones puntuales, por ej., de reforestación). Se estimó que un aumento del 10% en la cobertura forestal incrementaría el número de hectáreas con bosque en 23,516.97, las cuales tendrían una capacidad de remoción adicional de 255.83 ton/año. De la misma manera, si se continúa con el cambio de uso de suelo, una pérdida del 10% de la cobertura forestal generaría una disminución en la remoción de 255.83 ton/año.

Para identificar los costos o beneficios de los cambios en la cobertura forestal se realizaron dos análisis comparativos. El primero consistió en una revisión de literatura para identificar la cantidad de vidas humanas perdida y costos que se pueden evitar a consecuencia de ERA con relación al número de hectáreas de áreas verdes.

Varios estudios han calculado la relación que existe entre la calidad del aire y la salud humana. Los estudios calculan el efecto de mortalidad a corto plazo por cada incremento de 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (promedio de 24 horas), siendo este de 0.62% en Europa, 0.46% en Estados Unidos, 0.5% en Norte América y 0.49% en Asia (OMS, 2005). La Organización Mundial de la Salud (2005) indica que por cada 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ hay un incremento del 0.5% en la morbilidad. Pope et al. (2004) identificaron que un aumento de 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ estaba asociado con un incremento del 9% en muertes cardiopulmonares. A su vez, se encontró que una zona arbolada que remueve entre 10 y 40 kg/ha/año de PM10 puede evitar entre 2-3 muertes prematuras y entre 2-4 atenciones médicas relacionadas con ERA por contaminación del aire (Abhishek et al., 2009; Nowak et al., 2018, entre otros). A partir de los estudios se calculó el número de muertes por hectárea, obteniendo que por cada hectárea adicional se pueden evitar entre 0.0036 y 0.014 muertes.

El segundo análisis consistió en calcular la concentración promedio anual en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ del cambio marginal en ton/año por cambios en la cobertura de copa. Las 255.83 ton/año de remoción adicional se convirtieron a $\mu\text{g}/\text{m}^3$ considerando el volumen del aire (estimado) para la ciudad de León, considerando como superficie 1,219 km^2 y una altura de siete metros. La altura considerada se obtuvo de un análisis de literatura que indica que las concentraciones que afectan la salud humana y que pueden ser removidas por la vegetación se encuentran cerca del suelo (McDonald et al., 2016). Bajo estos supuestos se calculó que un aumento/disminución de 10% en la cobertura forestal (que corresponde a un incremento/disminución de 4,170 hectáreas) generaría un cambio en la concentración promedio de PM10 de 3.41 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Utilizando la herramienta del IMCO se calculó que por cada hectárea adicional se pueden evitar entre 0.0029 y 0.0043 muertes al año (que coincide con la revisión de literatura), entre 0.0086 y 0.0062 hospitalizaciones y 0.55 consultas, lo que se traduce en un ahorro para la sociedad de entre \$2,500 y \$3,200 MXN por hectárea por año. Los resultados se presentan en las Tablas 9 y 10.

Tabla 9. Resultados en muertes y enfermedades de diferentes escenarios calidad de aire – León

	Concentración promedio anual ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Muertes prematuras		Hospitalizaciones		Consultas
		Escenario 1	Escenario 2	Escenario 1	Escenario 2	
Situación actual	83	228.4	343.5	497.6	708.2	45,002
Por hectárea adicional/deforestada	83.0008	228.5	343.6	497.6	708.3	45,002.50
Por 10% cambio en cobertura forestal (4,170.42 hectáreas)	86.41	240.6	361.6	523.5	744.1	47301.1
Por un aumento en la concentración de 10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	93	263.9	396.3	573.2	812.6	51706.2

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Tabla 10. Resultados en costos de diferentes escenarios calidad de aire – León

	Costos en salud (MXN)		Diferencia (MXN)		
	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 1	Escenario 2	Promedio
Situación actual	\$193,060,636.19	\$262,171,485.20			\$227,616,060.69
Por hectárea adicional/deforestada	\$193,063,108.90	\$262,174,829.80	\$2,472.71	\$3,344.60	\$2,908.66
Por 10% cambio en cobertura forestal (4,170.42 hectáreas)	\$203,204,337.89	\$275,888,664.66	\$10,143,701.70	\$13,717,179.46	\$11,930,440.58
Por un aumento en la concentración de 10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	\$222,721,224.95	\$302,263,715.28	\$29,660,588.76	\$40,092,230.08	\$34,876,409.42

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Si se considera que el presupuesto (2018) para el ANP fue de aproximadamente \$12.7 millones de MXN se puede estimar que el costo de inversión por hectárea es de aproximadamente \$300 MXN (considerando la inversión desde 2005 la inversión por hectárea promedio ha sido de \$21.9 MXN) por lo que mantener las hectáreas actuales tiene un retorno positivo a la inversión. Por otro lado, se estima que los costos de reforestación en el ANP-SL oscilan entre \$8 mil (promedio de datos entre 2005 y 2014) y \$13.5 mil MXN (costos del 2014) por hectárea, por lo que es necesario generar un mecanismo financiero (por ejemplo, un PSA) que pueda contribuir con el financiamiento necesario para incrementar la cobertura forestal del ANP dados los beneficios que esta brinda para la sociedad. Considerando únicamente el SSEE de calidad del aire proporcionado por el ANP, un aumento del 10% en la cobertura forestal se traduciría en un ahorro para la sociedad de entre \$10 y \$13 millones de MXN al año por muertes y enfermedades evitadas.

4.3. ANÁLISIS DE LA DISPONIBILIDAD A PAGAR

Los resultados del análisis de la disponibilidad a pagar (DAP) contribuirán al diseño de un mecanismo de Pago por Servicios Ambientales (PSA) para el municipio de León. A través de este análisis se puede identificar el aporte adicional que estarían dispuestos a realizar los usuarios, a fin de recaudar los recursos necesarios para llevar a cabo acciones de conservación en las zonas prioritarias para la provisión de SSEE, como la recarga de agua o calidad del aire.

4.3.1. MODELOS UNIVARIADOS Y MULTIVARIADOS

La demanda de la DAP se construyó tanto para un modelo univariado como multivariado. Los modelos univariados desarrollados predijeron los resultados, confirmando una relación negativa entre el aporte adicional a la tarifa del agua y la cantidad de usuarios dispuestos a aportar una cantidad determinada. Es decir, mientras más alto sea el aporte adicional, menor el número de usuarios dispuestos a pagarla. Los modelos multivariados permitieron incluir variables adicionales al monto de la tarifa, como por ejemplo las características demográficas, entre otros.

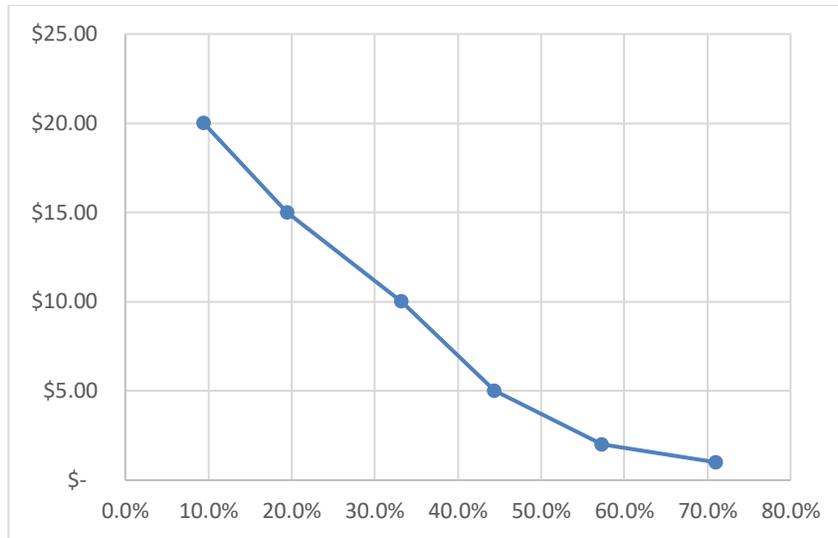
4.3.2. DEMANDA DE LA DISPONIBILIDAD A PAGAR¹⁴

En las siguientes Figuras (9 y 10) se observan las curvas de demanda, en primer caso para el SSEE provisión de agua y en segundo para calidad de aire, construida con la información recabada por medio de las encuestas. Para el caso del SSEE de provisión de agua, como se puede notar, cuando el aporte es de \$20 MXN al mes, para destinar a actividades de conservación relacionadas con agua en el ANP-SL, solo un 9.5% de los encuestados estaría dispuesto a aportar; si el aporte fuera de \$10 MXN, el porcentaje se incrementa a un 33.2%; y si el aporte fuera de \$1 MXN el porcentaje de personas que estarían dispuestas a aportar se incrementa a un 71.1%. Para el caso del SSEE de calidad de aire, la situación es parecida, si el aporte fuera de \$20 MXN al semestre, para destinar a actividades de conservación relacionadas con aire en el ANP-SL, sólo un 11.5% de los encuestados estaría dispuesto a aportar; si el aporte fuera de \$10 MXN, el porcentaje se incrementa a un 30.4%; y si el aporte fuera de \$1 MXN el porcentaje de personas que estarían dispuestas a aportar se incrementa a un 71.6%.

Es decir, la sociedad en el municipio de León presenta disponibilidad a aportar para realizar actividades de conservación en el ANP-SL relacionadas con los SSEE de provisión de agua y calidad de aire. Sin embargo, es necesario aclarar que esa disponibilidad a aportar está en función del tamaño de la contribución. Así, mientras mayor sea el monto de la contribución, menos usuarios estarían dispuestos a pagarlo.

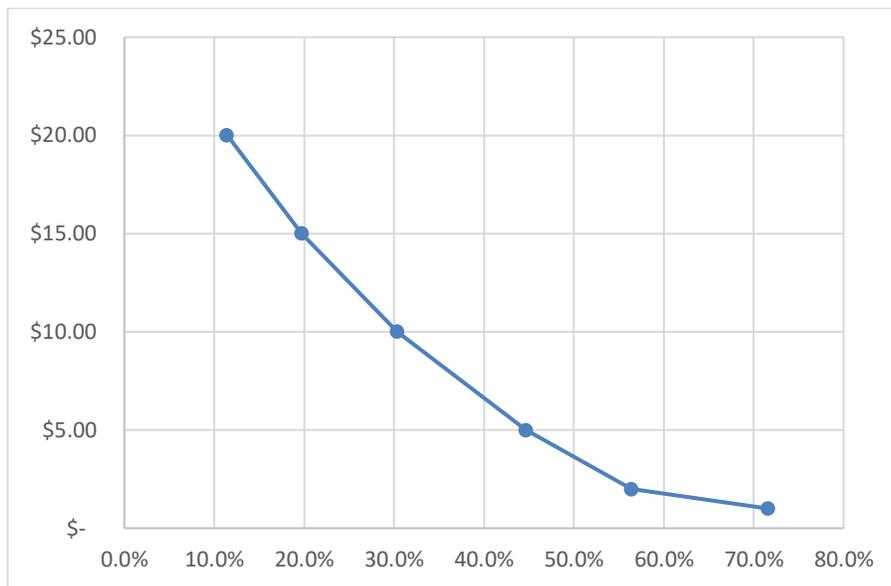
Figura 9. Curva de demanda: aporte y porcentaje de hogares que están dispuestos a aportar para el SSEE de provisión de agua

¹⁴ En el caso del SSEE de provisión de agua se consideró un aporte mensual considerando que el pago que realizan los hogares en el municipio de León por el servicio de acueducto es mensual. Mientras que en el caso del SSEE de calidad del aire se consideró un aporte semestral considerando que los dueños de vehículos en dicho municipio realizan un pago por concepto de verificación vehicular de forma semestral.



Eje X: Porcentaje de hogares que estarían dispuestos a aportar / Eje Y: Monto del aporte en MXN al mes
Fuente: Elaboración propia, 2019.

Figura 10. Curva de demanda: aporte y porcentaje del parque automotor que están dispuestos a aportar para el SSEE de calidad de aire



Eje X: Porcentaje del parque automotor que estarían dispuestos a aportar / Eje Y: Monto del aporte en MXN al semestre
Fuente: Elaboración propia, 2019.

A partir de los porcentajes de población que estarían dispuestos a aportar, dependiendo del monto del aporte, permiten estimar curvas de ingreso que señalan los potenciales ingresos que se podrían recabar por aporte adicional, ya sea a través del recibo de pago del agua o de la verificación vehicular. Se puede observar en la Figura 11 y Tabla 11 que los ingresos potenciales de los aportes para el caso del SSEE de provisión de agua van desde los \$3 millones de MXN anuales, hasta los \$8 millones; teniendo el mayor monto de aproximadamente 15 millones MXN con un aporte de \$10 MXN al mes.

Figura 11. Curva de ingreso: monto a recaudar de los hogares que están dispuestos a aportar para el SSEE de provisión de agua



Fuente: Elaboración propia, 2019.

Tabla 11. Ingresos potenciales anuales según aporte y porcentaje de usuarios que participarían de un esquema de PSA para garantizar la provisión de agua

Aporte (MXN)	Porcentaje	Número de usuarios que aportarían una cantidad adicional	Ingresos potenciales anuales (MXN)
\$1.00	71%	273,028	\$3,276,337
\$2.00	57%	220,184	\$5,284,415
\$3.00	44%	170,643	\$10,238,554
\$10.00	33%	127,707	\$15,324,803
\$15.00	19%	74,863	\$13,475,258
\$20.00	9%	36,330	\$8,719,285

* La proporción de usuario está en función de la cantidad de tomas de agua que tiene registrado el organismo operador de agua en la ciudad de León.

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Mientras que, en el caso de la recaudación potencial para el SSEE de calidad de aire, van desde los 700 mil MXN hasta casi \$2.3 millones de MXN anuales. Teniendo la mayor recaudación potencial de \$3 millones de MXN con un aporte de \$10 MXN al bimestre (tomando en cuenta la verificación vehicular) (Figura 12 y Tabla 12).

Figura 12. Curva de ingreso: monto a recaudar del parque automotor que están dispuestos a aportar para el ssee de calidad del aire



Fuente: Elaboración propia, 2019.

Tabla 12. Ingresos potenciales anuales según el aporte adicional y el porcentaje de usuarios que participarían de un esquema de PSA para garantizar la calidad de aire

Aporte (MXN)	Porcentaje	Número de usuarios que aportarían una cantidad adicional	Ingresos potenciales anuales (MXN)
\$1.00	72%	359,059	\$718,117
\$2.00	56%	282,938	\$1,131,753
\$3.00	45%	224,053	\$2,240,527
\$10.00	30%	152,241	\$3,044,818
\$15.00	20%	99,100	\$2,973,006
\$20.00	11%	57,449	\$2,297,976

* La proporción de usuario está en función de la cantidad de vehículos automotores que se tiene registrado en la ciudad de León.
Fuente: Elaboración propia, 2019.

4.3.3. DETERMINANTES DE LA DISPONIBILIDAD A PAGAR

Por otro lado, la información que se obtuvo de las encuestas aplicadas permite la construcción de modelos econométricos con la finalidad de determinar qué variables afectan de manera positiva o negativa la probabilidad de que los encuestados realicen un aporte para la conservación.

Para el caso del SSEE de provisión de agua, se observa que a medida que el monto del aporte va en aumento en un peso MXN, la probabilidad de que la persona realice el aporte se reduce en 0.7% (Tabla 13). Por otro lado, se evidencia que el aumento de un año de edad en las personas, origina una reducción del 0.6% en la probabilidad de realizar el aporte. A medida que el nivel educativo formal de las personas aumenta en un grado (por ejemplo, de primaria a secundaria), la probabilidad de dicho aporte aumenta en un 6.4%.

Por otro lado, las variables más importantes tanto desde un punto de vista socio-económico con relación al SSEE de provisión de agua como estadístico, demuestran que si los hogares tienen menos cantidad de agua que les llega por medio de la red pública, la probabilidad de realizar un aporte se incrementa en un 2%. Por otro lado, si los hogares perciben que los precios por el servicio de provisión son agua son altos, la probabilidad de realizar un aporte para la conservación de la ANP-SL se reduce en un 4.3%. Y finalmente, se observa que, si los encuestados identifican que la ANP es importante en la provisión de agua para la ciudad, la probabilidad de que realmente hagan un aporte para su conservación se incrementa en un 5.7%.

Tabla 13. Modelo econométrico para determinar las variables que afectan la disponibilidad a aportar por el ssee de provisión de agua

Variable Dependiente	dy/dx	Des. Est.	Significancia
DAP AGUA			
Variables Independientes			
Aporte DAP	-0.716270	0.001	0.000
Edad	-0.671460	0.0009	0.000
Ingreso	0.000733	0.0000008	0.000
Estudio	6.452300	0.015	0.000
Personas	-1.710770	0.008	0.039
Menos Agua	2.171620	0.008	0.012
Agua Calidad	0.322640	0.01	0.767
Precio Alto	-4.373400	0.009	0.000
Importancia ANP Agua	5.724320	0.012	0.000
AJUSTE DEL MODELO	78.5%		

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Mientras que en el caso del modelo econométrico para los aportes para la conservación de la ANP-SL con relación a la provisión del SSEE de calidad de aire, los encuestados expresaron que a medida que el monto del aporte va en aumento, la probabilidad a realizar dicho aporte se reduce (Tabla 14). En el caso de la edad del encuestado, a medida que aumenta dicha variable, la probabilidad a realizar un aporte se reduce. Este resultado se puede deber a que, a mayor edad, se tiene menos ingresos económicos que se deben destinar a otras actividades.

Por otro lado, es interesante observar que ante el incremento del número de vehículos o autos que tiene el hogar, la probabilidad de realizar un aporte para la conservación de la ANP-SL se reduce en 4%. Este resultado se puede deber a que, a mayor número de vehículos en un hogar, se debería destinar un mayor aporte y eso puede reducir la disponibilidad de recursos para cubrir otros gastos del hogar. Si los encuestados evidencian un aumento de familiares que presentan enfermedades respiratorias agudas, la probabilidad de realizar un aporte se incrementa en un 2.2%. Finalmente, si los encuestados saben de la importancia de la ANP-SL como provisor de calidad de aire, la probabilidad de realizar un aporte se incrementa en un 3.9%.

Es importante indicar que, desde un punto de vista de significancia estadística, en ambos modelos econométricos, casi todas las variables de manera individual son estadísticamente significas al 10%; así mismo, en ambos modelos se observa que el ajuste del modelo desde un punto de vista de todas las variables independientes en su conjunto es significativo estadísticamente con relación a la variable dependiente. Es decir, la inclusión de las variables independientes en el modelo desde un punto de vista individual, como en su conjunto, explican de manera significativa a la variable dependiente.

Tabla 14. Modelo econométrico para determinar las variables que afectan la disponibilidad a aportar por ssee de calidad de aire

Variable Dependiente	dy/dx	Des. Est.	Significancia
DAP AIRE			
Variables Independientes			
Aporte DAP	-0.730680	0.001	0.000
Edad	-0.707640	0.0009	0.000
Ingreso	0.000071	0.0000009	0.000
Estudio	7.716150	0.015	0.000
Personas	-1.349110	0.008	0.100
Nº Autos	-4.006240	0.013	0.002
Mayor Enfermedad	2.200540	0.011	0.056
Importancia ANP Aire	3.950450	0.015	0.009
AJUSTE DEL MODELO	77.4%		

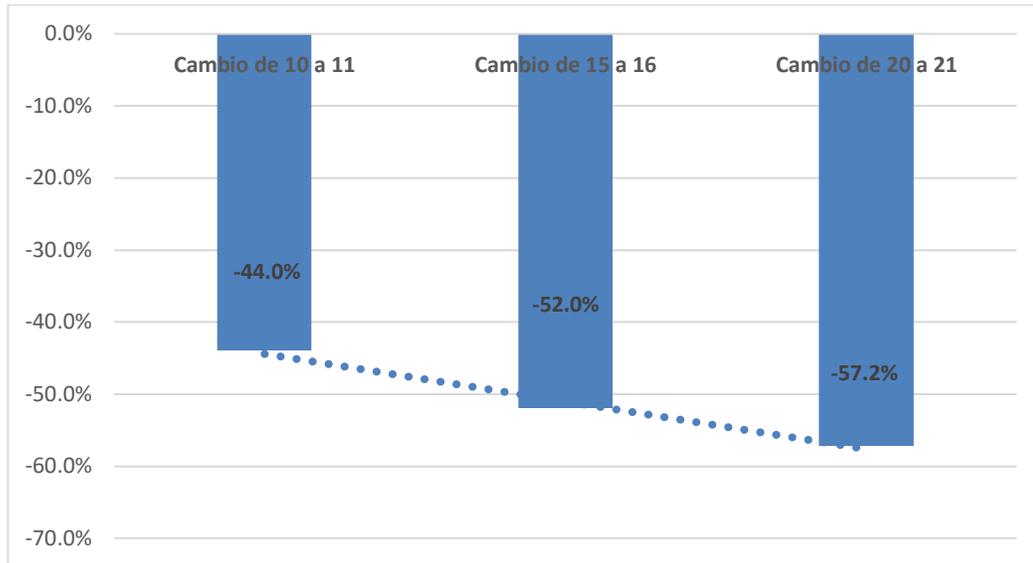
Fuente: Elaboración propia, 2019.

Finalmente, los escenarios hipotéticos presentados a los encuestados permiten estimar en cuánto podría variar el monto de la disponibilidad a aportar de la sociedad si se tiene cierta cantidad de horas de servicio para el caso de provisión de agua, o un determinado número de días de contingencia (días donde el valor de PM10 es mayor a la norma) (Figura 13 y 14). Es decir, si un hogar tiene 10 horas de servicio de agua al día y se incrementa en una hora el servicio, el monto de la disponibilidad a aportar se reduce en un 44%; si dicho cambio en el número de horas es de 15 a 16, el monto de la aportación de dicho hogar se reduciría en un 52%; y finalmente si el número de horas se incrementa de 20 a 21, el monto de la aportación se reduciría en un 57%. Es decir, los datos demuestran que, si las personas tienen menos horas de servicio de agua, el aporte que podrían realizar es mayor (cuanto más escaso el recurso, más se valora su presencia). Es necesario aclarar que, si se tuviera 24 horas de servicio continuo, no significa que no se tendría ninguna aportación, sino que el aporte se reduciría en un 63%.

Por otro lado, para el caso del SSEE de calidad de aire, si las personas observan que se incrementa el número de pre-contingencias ambientales al año, es decir, se tiene mayores días con valores mayores a la norma de concentración de PM10, aumenta el monto individual de aportación, pero con rendimiento decrecientes. Por ejemplo, si se pasara de 100 a 101 días de pre contingencia, el monto del aporte individual aumentaría en un 12.9%; si las pre contingencias pasan de 130 a 131 días, el monto se incrementa en un 10.8%; y si las pre- contingencias aumentan de 160 a 161 días, el monto se incrementaría en 9.8%. Por lo tanto, se evidencia que los hogares “penalizarían” los aportes a medida que se tenga mayor número de pre contingencias

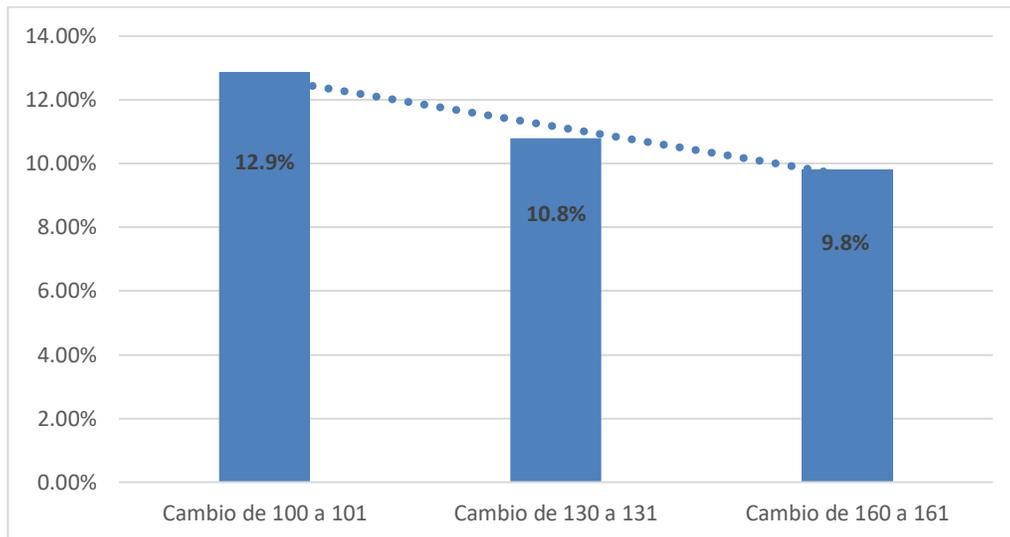
al año. Este comportamiento se puede deber a que las personas esperan tener una buena o regular calidad de aire para aportar algún monto económico; ya que, si se tiene mala calidad de aire, podrían razonar que dicho aporte no está siendo efectivo y por ende enfrentarán problemas de salud, como ERA, con sus correspondientes costos por tratamiento o para evitarlos.

Figura 13. Cambios en el monto de la disponibilidad a aportar dependiendo de la cantidad del SSEE provisto - provisión de agua



Fuente: Elaboración propia, 2019.

Figura 14. Cambios en el monto de la disponibilidad a aportar dependiendo de la cantidad del SSEE provisto - calidad de aire



Fuente: Elaboración propia, 2019.

5. ESQUEMA DE UN POTENCIAL MECANISMO DE FINANCIAMIENTO

5.1. INTRODUCCIÓN

El presente capítulo presenta las consideraciones para el diseño de mecanismo de financiamiento que está dentro de un proceso de definición de un mecanismo de Pago por Servicio Ambiental (PSA), basado en los resultados de las secciones previas de este estudio y en discusiones con diferentes actores, incluyendo al IMPLAN, DGMA, SMAOT, SAPAL y GIZ.

El análisis realizado se basa en la premisa que los ciudadanos aportarían una cantidad adicional a través, por ejemplo, del recibo de agua para el caso del SSEE de provisión de agua y/o la verificación vehicular para el caso del SSEE de calidad del aire que irían a un fondo ambiental, a través del cual se podría financiar actividades específicas para la conservación de áreas áreas del municipio de León, como es el caso del ANP-Sierra de Lobos, a fin de garantizar la provisión del agua y/o calidad de aire en el mediano y largo plazo para mejorar el bienestar de los hogares que viven en el municipio de León.

En el diseño de un mecanismo financiero de esta índole, es necesario considerar, por una parte a los **oferentes** del SSEE (en este caso a los propietarios de los ecosistemas en zonas prioritarias donde se generan los SSEE), a los **demandantes** de los SSEE en cuestión (en este caso a los usuarios del agua y/o a los propietarios de vehículos automotores del municipio de León), así como el **mecanismo financiero** que une los aportes de los demandantes con las actividades que llevan a cabo los oferentes para mantener los SSEE a largo plazo (Figura 15). A continuación, se detallan las características que debería tener un mecanismo de Pago por Servicios Ambientales (PSA) con base en estas consideraciones.

Figura 15. Mecanismo financiero - pago por servicios ambientales



Fuente: Elaboración propia, 2019.

5.2. ANÁLISIS DE LA DEMANDA

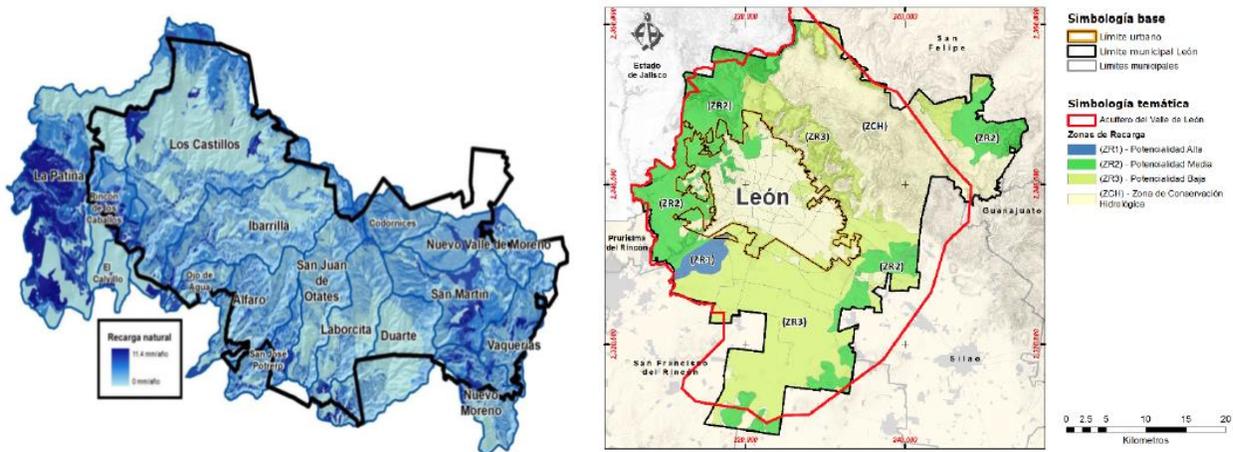
En relación al análisis de la demanda es necesario identificar a los usuarios del SSEE y la disponibilidad a aportar una cantidad que asegure el servicio a largo plazo. En este caso se

considera que los usuarios de los SSEE en cuestión son los hogares para el recurso agua y dueños de vehículos para calidad de aire. La sección 4.3 presenta los resultados de la DAP de dichos usuarios y, las Tablas 11 y 12 presentan las diferentes oportunidades de recaudación de fondos a través de una aportación adicional los actuales cobros de agua y verificación vehicular. Si bien existen otros usuarios de los SSEE analizados, como por ejemplo empresas, agricultura, entre otros, estos no fueron considerados en el análisis y, por lo tanto, no entrarían en una primera instancia en el diseño del PSA. Sin embargo, es muy recomendable que en etapas posteriores se incluya a otros sectores como usuarios de los SSEE en cuestión, como potenciales financiadores del PSA.

5.3. ANÁLISIS DE LA OFERTA

Para diseñar un PSA, es necesario identificar las áreas prioritarias donde se generan los SSEE en cuestión, para este caso para la captación e infiltración de agua y/o mejoramiento de calidad del aire, para el diseño de actividades que busquen la conservación de áreas boscosas. En ese sentido, el municipio de León por medio del IMPLAN ya tiene información relacionada con el uso de suelo y la proyección del cambio de uso de suelo, así como de las zonas con mayor producción superficial y profunda de agua. En ese sentido, se tendría que priorizar qué áreas son las más importantes para realizar la conservación y por ende la provisión de SSEE como agua y calidad de aire. En las áreas priorizadas se deben definir las actividades a llevar a cabo, el alcance de las mismas, quién va a realizar las actividades, los costos asociados y el presupuesto que se podría necesitar. Esta priorización debe ser una actividad que debe llevar a cabo tanto el IMPLAN como la Secretaría de Medio Ambiente y Ordenamiento Territorial a través del ANP-SL.

Figura 16. Zonas prioritarias donde se encuentra las principales áreas de recarga profunda de toda la sierra norte que incluye el ANP-SL y zonas de recarga en el municipio de León para el PSA



Fuente: IMPLAN, 2014 & 2019.

5.4. MECANISMO FINANCIERO

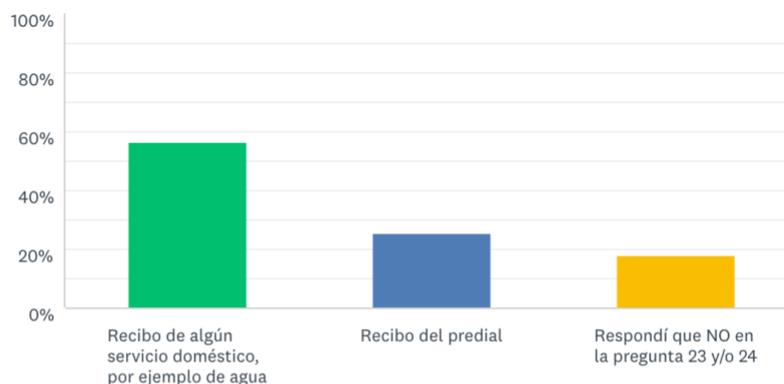
Una vez identificada la DAP, así como las actividades y costos para la implementación del programa, es necesario diseñar el mecanismo financiero para la recaudación de las aportaciones ciudadanas, administración y desembolso. Algunas consideraciones se describen a continuación:

5.4.1. MECANISMO DE RECAUDACIÓN

5.4.1.1. FORMA DE COBRO

La encuesta realizada exploró sobre las preferencias de los usuarios, respecto a la forma de cobro. Como se observa en la siguiente figura, la principal forma de recaudación que ven los encuestados es por medio de algún recibo de servicio público como puede ser el del agua (56.6%), seguido por el recibo predial (25.5%) (Figura 17).

Figura 17. Opciones de recaudación de fondos según percepción de los usuarios del agua



ANSWER CHOICES	RESPONSES
▼ Recibo de algún servicio doméstico, por ejemplo de agua	56.57%
▼ Recibo del predial	25.55%
▼ Respondí que NO en la pregunta 23 y/o 24	17.88%
TOTAL	

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Algunas ventajas y desventajas de las diferentes opciones se presentan a continuación en la siguiente Tabla 15:

Tabla 15. Ventajas y desventajas de los diferentes mecanismos de recaudación

Opciones	Ventajas	Desventajas
Recibo del Agua	Hay una relación directa entre el pago y el SSEE que se busca preservar	Un aumento del cobro en la tarifa del agua es complejo políticamente
Recibo Predial	Existe factibilidad política	No hay una relación directa entre el pago del predial y el SSEE del agua o calidad del aire

Fuente: Elaboración propia, 2019.

En función a las consultas que se hicieron a los actores locales que participaron del último taller de discusión sobre el diseño del PSA, se estableció que, en una primera fase del proyecto la

recaudación se llevará a cabo a través de un **aporte voluntario** de parte de los usuarios de los SSEE. La opción para realizar el aporte se llevaría a cabo tanto en las oficinas de cobro del organismo operador de agua (SAPAL) y/o en las oficinas de cobro de la Tesorería de León y/o en los sitios de verificación vehicular. Se sugiere que la aportación voluntaria sea un monto fijo de \$10 pesos. Un monto fijo facilita la recaudación, motiva a los aportantes y brinda una mayor transparencia al mecanismo (facilita los mecanismos de control). Así mismo, se puede considerar otros medios para conseguir aportaciones adicionales, como son los redondeos en los establecimientos de comercio, aportes de instituciones o fundaciones, entre otros. Estas aportaciones adicionales contribuirían a incrementar el presupuesto para las actividades que se desarrollen dentro del PSA. En una segunda fase del proyecto se buscará incluir la opción del donativo voluntario en otros sectores de la economía que utilizan el SSEE de provisión de agua y/o calidad de aire, como es el sector industrial y agricultura.

En el mediano plazo, y una vez que se incorporen a otros sectores, la recomendación sería migrar a un esquema obligatorio. Estudios indican que un pago voluntario siempre es menor a un pago obligatorio (ver Lindhjem y Tuan, 2012). Esto se debe principalmente al concepto de *free rider*,¹⁵ donde una persona no está dispuesta a donar debido a que no todos los demás lo hacen. Un estudio de Roesch-McNally y Rabotyagov (2016) encontró que un esquema obligatorio podría aumentar la recaudación hasta en un 35%.

Otra consideración importante es que no todos los usuarios acuden a las oficinas del organismo operador y de tesorería a realizar el pago, lo que dejaría fuera a un porcentaje de usuarios que pagan por otros medios. Habría que considerar otros canales para poder llegar a esos usuarios.

Cabe mencionar que para que un mecanismo voluntario de recaudación de este tipo sea exitoso, y se mantenga a través del tiempo, debe ir acompañado una campaña de comunicación para sensibilizar a la población sobre la importancia de los bosques para la provisión de agua, calidad de aire y otros SSEE a largo plazo. A su vez, la campaña debe de mostrar los resultados obtenidos a través del programa para incrementar la confianza de los usuarios y asegurar que estos continúen aportando a través del tiempo y a medida que se incrementa el nivel de conciencia sobre la problemática. Si no se informa y concientiza a los usuarios, se corre el riesgo de que los niveles de recaudación sean muy bajos y se pone en riesgo los planes de un mecanismo obligatorio. La información generada y presentada en este informe puede ayudar en el diseño de esas estrategias de difusión y concientización. Los costos de la campaña deben de considerarse en el diseño del mecanismo.

5.4.2. INSTRUMENTO FINANCIERO

El instrumento financiero identificado en el último taller para la implementación del PSA es el **Fideicomiso denominado “Fondo Ambiental municipal” (FAM) de León Guanajuato**. El Fondo se constituyó el 4 de octubre de 2018 en el Municipio de León, por conducto del Presidente Municipal asistido por el Secretario del Honorable Ayuntamiento, así como con la asistencia de la Dirección General de Gestión Ambiental. Así mismo, en sesión II ordinaria de noviembre de 2019,

¹⁵ El problema de *free rider* es una falla de mercado que sucede cuando algunas personas se benefician de algún bien o servicio del que no pagan.

el Comité Técnico de dicho Fideicomiso aprobó las reglas de operación para el financiamiento de proyectos ambientales para el ejercicio fiscal 2020.¹⁶ Específicamente para el ejercicio fiscal 2020 se establece como prioridad otorgar apoyos a los beneficiarios dentro del municipio de León y que estén realizando proyectos con: i) conservación o restauración de espacios naturales, áreas naturales protegidas o espacios verdes urbanos, ii) mitigación o adaptación a los efectos del cambio climático y iii) proyectos que su momento valide la Dirección General de Gestión Ambiental derivados de la implementación del Índice de Biodiversidad Urbana. Si bien, para cada ejercicio fiscal se establecerán los proyectos prioritarios, se propone que un esquema de PSA con proyectos de conservación o restauración de espacios naturales, áreas naturales protegidas o espacios verdes urbanos, con financiamiento de aportes del mismo fondo, más otros aportes que se puedan constituir, como los aportes voluntarios de los usuarios de los SSEE de provisión de agua y/o calidad de aire, sean acciones constantes dentro del Fondo para tener resultados a mediano y largo plazo.

Lo interesante del FAM del municipio de León es que ya está establecido y puede servir de plataforma para desarrollar el esquema de PSA. Así mismo, dicho Fondo ya tiene constituido un Comité Técnico que está integrado por diferentes personalidades de diversas instituciones (Presidente de la Comisión de Hacienda; Patrimonio y Cuenta Pública, Presidente de la Comisión de Medio Ambiente; Titular de la Dirección General de Gestión Ambiental; Representante de la Tesorería Municipal; Representante de la Contraloría Municipal; Representantes de los sectores científico y tecnológico, educativo y empresarial del Consejo Consultivo Ambiental de León; Delegado o representante del Fiduciario y Director de Planeación y Política Ambiental adscrito a la DGGGA), los cuales pueden resolver internamente por medio de una votación las situaciones no previstas en las Reglas de Operación de Fondo, como puede ser temas relacionados con el PSA (Art. 4 de las Reglas de Operación del Fondo 2020). Por otro lado, el FAM ya tiene un fiduciario, que en este caso es el Banco Bajío A.C. al que se le transfieren los recursos del Fondo con la limitación de carácter obligatorio de realizar sólo aquellos actos exigidos para el cumplimiento del fin para el cual se destina.

En ese sentido, esta opción del FAM no requiere de cambios en la legislación, sin embargo, requiere de ajustes, alcances y definiciones con respecto al PSA. Esto se puede lograr a través del Comité Técnico ya definido.

5.4.3. DESEMBOLSO

Es necesario identificar las áreas prioritarias para la captación, infiltración y provisión de agua y/o calidad de aire de las zonas verdes urbanos, como es el caso de la ANP-SL. Como ya se comentó anteriormente, el municipio de León ya tiene información relacionada con el uso de suelo y la proyección del cambio de éste, así como un inventario de áreas verdes.

En las áreas priorizadas se deben definir las actividades a llevar a cabo (que están estrechamente relacionadas con conservación y/o restauración), el alcance de las mismas, quién va a realizar las actividades y los costos asociados. Actualmente el municipio ya tiene identificadas algunas de estas actividades con sus respectivos costos por implementar, principalmente dentro de las ANP a través de la Secretaría de Medio Ambiente y Ordenamiento Territorial (SMAOT) (Fichas Técnicas). El desembolso se puede realizar a través del fiduciario (Banco Bajío AC)

¹⁶ El Comité Técnico es el Órgano de Gobierno del Fideicomiso denominado Fondo Ambiental Municipal (FAM), el cual autoriza los apoyos que se otorgan.

directamente hacía los participantes del PSA. Finalmente, así como se saca las Reglas de Operación del Fondo para cada gestión, se debería sacar una convocatoria para aquellos interesados en participar de los apoyos para conservación y restauración del PSA. Dichos apoyos deberían tener un horizonte de por lo menos cinco años, para observar resultados y siempre estar condicionados a obligaciones y responsabilidades.

5.4.4. MONITOREO Y EVALUACIÓN

Tanto el mecanismo financiero como el PSA debe tener un monitoreo y evaluación de las actividades que se desarrollan. En el caso del mecanismo financiero, la evaluación estaría a cargo de las mismas instituciones por medio de sus representantes dentro del Comité Técnico. En el caso del monitoreo de las actividades que realicen los beneficiarios del PSA pueden estar a cargo de SAPAL Rural, SMAOT y/o D. Rural. Mientras que la evaluación podría estar a cargo de SMAOT, Asociaciones Civiles invitadas y/o la Dirección General de Medio Ambiente (DGMA).

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

A continuación, se presentan algunas conclusiones y recomendaciones.

Valoración económica de SSEE:

i) Provisión de agua:

- Según datos de la CONAGUA (2018), la inversión para los trabajos de la presa ascienden a \$9.5 mil millones de MXN y para el caso del acueducto a \$13.1 mil millones de MXN, haciendo un total de \$22.6 mil millones de MXN. Sin embargo, existen otros estudios que demuestran que dicha inversión es superior y que cada año siguen en aumento. Por ejemplo, la investigación del Instituto Mexicano para el Desarrollo Comunitario (IMDEC), muestra que si bien en 2006 el costo del proyecto era de \$7,960 millones de MXN, para 2019 su costo ascendió a \$35,339 millones, y considera que de llegar a concluirse el costo podrá ascender a \$71,287 millones de MXN. La incertidumbre sobre los costos reales del proyecto, generan también incertidumbre sobre su viabilidad financiera y económica.
- A partir del análisis de sensibilidad, se estima que, si los costos de inversión de la presa el Zapotillo aumentarán un 40%, se tendría un VAN menor a cero. A partir del análisis de riesgo probabilístico se estimó que una variación del 40% en las variables inciertas, como los costos, la probabilidad de tener un VAN negativo es del 25%. Si, por ejemplo, se tienen una variación del 100%, la probabilidad de tener un VAN negativos es del 96.3%. Es decir, a medida que los costos de inversión van en aumento, el proyecto es menos viable para su puesta en práctica, y la probabilidad de que suceda ese incremento es cada vez mayor. En este punto, es necesario tomar en cuenta, que el incremento de los costos de inversión en proyecto de la envergadura de la Presa el Zapotillo es algo factible a consecuencia de su retraso en su ejecución y considerando los problemas sociales, ambientales y políticos.
- Dadas la incertidumbre en la construcción de la presa y la variación en los costos, una alternativa viable es la conservación de zonas de recarga del acuífero Valle de León, como es el ANP-SL u otras áreas boscosas, que a su vez contribuye a la preservación de otros SSEE

como captura de carbono, hábitat para fauna y flora, ecoturismo, entre otras que generan un bienestar adicional a la sociedad.

ii) Calidad de aire:

- Para el caso de la calidad del aire, por medio de la revisión de literatura, se constató la importancia de la ANP-SL como un lugar que remueve diferentes contaminantes, incluyendo PM10. La remoción de contaminantes genera un ahorro en los costos por muertes evitadas o casos de admisión por enfermedades respiratorias agudas (ERA).
- Cabe mencionar que una revisión de literatura indica que los mayores beneficios para la salud se llevan a cabo a una distancia de entre 30 y 300 metros de las fuentes. Por lo anterior, además de promover la conservación y aumento de la cobertura forestal en la ANP-SL, es importante considerar acciones que vayan encaminadas a aumentar las áreas verdes dentro de la ciudad de León. Esto tendría efectos positivos en la salud de los habitantes y reduciría los costos para la sociedad.
- Es importante notar que además del SSEE de remoción, los árboles urbanos y peri-urbanos brindan importantes servicios para la sociedad, como belleza escénica, secuestro de carbono, captación de agua, etc.
- Se estima que los costos de reforestación en el ANP-SL oscilan entre \$8 mil y \$13.5 mil MXN (costos del 2014) por hectárea, por lo que es necesario generar un mecanismo financiero (por ejemplo, un PSA) que pueda contribuir con el financiamiento necesario para incrementar la cobertura forestal del ANP-SL dados los beneficios para la sociedad. Considerando únicamente el SSEE de calidad del aire proporcionado por el ANP, un aumento del 10% en la cobertura forestal se traduciría en un ahorro para la sociedad de entre \$10 y \$13 millones de MXN al año por temas relacionados con salud.
- Dado que en este análisis solo se consideró el SSEE de calidad del aire, el cual es importante para los pobladores (según datos de la DAP), se puede implementar un mecanismo financiero para generar los recursos necesarios para llevar a cabo acciones de conservación y restauración de hectáreas forestales que contribuyan con la remoción de contaminantes. El financiamiento puede ser utilizado tanto en el ANP-SL así como en las zonas urbanas.

iii) Análisis de la disponibilidad a pagar:

- Finalmente, las encuestas aplicadas, tanto a usuarios de agua como a conductores de vehículos en el municipio de León, permiten evidenciar que si se tiene conocimiento de la ANP-SL y de su importancia en la provisión de SSEE.
- Este conocimiento de la importancia de SSEE por parte de la ANP-SL también permite concluir que las personas en León si están dispuestas a aportar para su conservación.

- Los usuarios del agua están dispuestos a aportar una cantidad adicional para la conservación de los bosques del municipio, caso ANP-SL, para asegurar la provisión de agua y/o calidad de aire a largo plazo. Sin embargo, el estudio indica que la disponibilidad a pagar debería rondar entre \$1 y los \$10 de MXN. A medida que el monto del aporte va en aumento, el porcentaje de personas que están dispuestas a aportar se reduce. Sin embargo, esta situación origina un aumento del monto total de la recaudación. Para el caso del SSEE de provisión de agua, con un aporte de \$10 MXN mensual se podría recaudar al año hasta \$15.3 millones de MXN. Mientras que, en el caso de calidad de aire, como el mismo aporte, pero bimestral, se recaudaría hasta \$3 millones de MXN. En ambos casos siempre y cuando:
 - El pago se lleve a cabo de manera obligatoria. Un esquema voluntario es probable que tenga una recaudación menor.
 - No existan modificaciones a la tarifa actual de los usuarios.

Mecanismo de financiamiento:

- Existe una alta voluntad política en el Municipio para la implementación de un PSA. Los resultados de este estudio sugieren que los demandantes del SSEE de agua y/o calidad de aire están dispuestos a aportar una cantidad adicional para la conservación de los bosques o áreas verdes urbanas, ANP-SL, debido a que están conscientes de la problemática, así como de sus consecuencias futuras. Por su parte, el ANP-SL y otras áreas verdes del municipio, ya tienen preliminarmente identificadas zonas prioritarias, acciones y costos que se pueden llevar a cabo en una primera fase de implementación del mecanismo.
- Dadas las condiciones políticas actuales, tanto del Municipio como del País, y a sugerencia de los participantes del último taller sobre el desarrollo de un PSA, se recomienda comenzar con un esquema voluntario de recaudación con una cuota fija de 10 pesos por mes. Sin embargo, un esquema de este tipo requiere de constante inversión en una campaña de comunicación para promover las donaciones constantes a través del tiempo, con un alto riesgo de no permanencia. A su vez, este esquema sólo captaría los ingresos de aquellos usuarios que pagan en las oficinas de SAPAL o los Centros de Verificación Vehicular o en la Tesorería, por lo que sería recomendable explorar otras alternativas para captar los donativos de los usuarios que pagan por otros medios (por ejemplo, redondeos en cajas). Por lo anterior, se sugiere comenzar con ese esquema y migrar, en el mediano plazo, a un cobro, ya sea obligatorio o voluntario, pero referenciado a la boleta del agua. A su vez, en el mediano plazo se sugiere incluir a otros sectores que no fueron analizados en este estudio, pero que fueron considerados en el último taller, incluyendo a usuarios del sector industrial, comercial y agrícola. Pensar en un esquema de PSA amplio, donde se incluya aportes que podrían realizar otros sectores que consumen los SSEE para tener un mayor presupuesto para destinar a actividades de conservación de no solo el ANP-SL, sino otras ANP municipales o estatales o áreas verde urbanas de interés.
- Dadas las cuestiones legales y administrativas ya desarrolladas, el Fondo Ambiental municipal (FAM) del municipio de León es el mecanismo financiero más adecuado para manejar los recursos para el PSA. Este Fondo Ambiental tiene la ventaja de que puede recabar recursos de otras fuentes, como sería a través de las infracciones y del propio gobierno, a fin de complementar las aportaciones de los usuarios. Así mismo, es importante indicar que dicho

Fondo ya tiene establecidas sus reglas de operación del programa para cada gestión, donde interviene el Comité Técnico. Debido a que las reglas de operación pueden cambiar en cada gestión, se sugiere que dentro de las actividades o proyectos prioritarios se establezca la conservación o restauración de áreas verdes urbanas como algo que siempre debe estar presente. Esto con la idea que si se desarrolla un esquema de PSA sea una política a mediano y largo plazo, donde se puede observar los resultados sobre los SSEE que pueden ofrecer dichas áreas. Así mismo, pensar en que los beneficiarios del PSA deben estar en un contrato de por lo menos cinco años, donde los pagos que reciban por compensación estén sujetos derechos y obligaciones.

- Se sugiere comenzar con actividades puntuales en las zonas identificadas, cuyos resultados sean fáciles de demostrar en el corto y mediano plazo. Es decir, pensar en un PSA con zonas piloto que a futuro se pueda agrandar a más zonas y otros SSEE. Esto es necesario para generar confianza, y garantizar la permanencia del mecanismo en el largo plazo.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Boyle, K. (2003). Contingent Valuation in Practice. In P. Champ, K. Boyle, & T. Brown, A Primer on Nonmarket Valuation. Kluwer Academic Publishers.
- Carson, R. and Hanemann, M. (2005) Contingent Valuation, in Handbook of Environmental Economics. pp. 517–1103.
- Chen, J., et al., (2015) The concentrations and reduction of airborne particulate matter (PM10, PM2.5, PM1) at Shelterbelt site in Beijing. *Atmosphere*. 6. 650-676.
- Comisión Estatal del Agua, (2015) Diagnóstico Sectorial Agua Potable y Saneamiento 2015. Gobierno del Estado de Guanajuato.
- Comisión Estatal del Agua, (2016) Diagnóstico Sectorial Agua Potable y Saneamiento 2016. Gobierno del Estado de Guanajuato.
- Comisión Estatal del Agua, (2017) Diagnóstico Sectorial Agua Potable y Saneamiento 2017. Gobierno del Estado de Guanajuato.
- Comisión Estatal del Agua, (2018) Diagnóstico Sectorial Agua Potable y Saneamiento 2018. Gobierno del Estado de Guanajuato.
- CONAGUA, (2019) Monitor de Sequía. <https://smn.cna.gob.mx/es/climatologia/monitor-de-sequia/monitor-de-sequia-en-mexico>.
- CONAGUA, (2018) Actualización del estudio de evaluación socioeconómica. Construcción del proyecto de abastecimiento de agua potable El Zapotillo, para la ciudad de León, Gto.
- CONANP-GIZ. (2017) Valoración de los Servicios Ecosistémicos del Parque Nacional Cabo Pulmo. Ciudad de México. Proyecto de Valoración de Servicios Ecosistémicos de Áreas Naturales Protegidas Federales de México: una herramienta innovadora para el financiamiento de biodiversidad y cambio climático (EcoValor MX).
- De Groot, R., Fisher, B. and Christie, M. (2010). Integrating the ecological and economic dimensions in biodiversity and ecosystem service valuation. In: TEEB, ed., The Economics of Ecosystems and Biodiversity: The Ecological and Economic Foundations
- De la Parra et al., (2017) Inventario de Emisiones de Contaminantes Criterio. Dirección General de Gestión Ambiental. León. Disponible en https://issuu.com/crestagalloyou/docs/version_ejecutiva
- El Financiero (2017) Guanajuato llegará a 3.5 millones de vehículos en 2025: AMDA. Disponible: <https://www.elfinanciero.com.mx/bajio/guanajuato-llegara-a-millones-de-vehiculos-en-2025-amda>
- FAO (2018). Servicios ecosistémicos y biodiversidad. Disponible en: <http://www.fao.org/ecosystem-services-biodiversity/es/> (Consulta: enero, 2018).

- Haines-Young, R. y Potschin, M. (2012) Common International Classification of Ecosystem Services (CICES): Consultation on Version 4. EEA Framework.
- IMPLAN, (2020) Proyecto: Programa Municipal de Desarrollo Urbano y de Ordenamiento Ecológico y Territorial para el Municipio de León. León, Guanajuato.
- IMPLAN, (2019) Diagnóstico del Municipio de León 2019. León, Guanajuato.
- IMPLAN, (2014) Ampliación del Área Natural Protegida Sierra de Lobos en el Municipio de León.
- INECC (2018) Informe Nacional de Calidad del Aire 2017, México. Coordinación General de Contaminación y Salud Ambiental, Dirección de Investigación de Calidad del Aire y Contaminantes Climáticos. Ciudad de México. Disponible en <https://sinaica.inecc.gob.mx/archivo/informes/Informe2017.pdf>
- Instituto de Ecología del Estado de Guanajuato, (2012) Programa de Gestión para Mejorar la Calidad del Aire de la Zona Metropolitana de León: Purísima del Rincón - San Francisco del Rincón - Silao 2013-2022.
- IPLANEG, (2019) Índice de vehículos de motor en circulación 2015. <http://seieg.iplaneg.net/ind35/indicadores/255>
- Laboratorio de Periodismo y Opinión Pública, (2019) No hay pres, pero sí dispendio: El Zapotillo lleva gastados 35 mil millones y faltaría otro tanto. <https://poplab.mx/article/NohaypresaperosidispendioElZapotillollevagastados35millonesyfaltariaotrotanto>
- McDonald, R. et al. (2007) Planting Healthy Air. A global analysis of the role of urban trees in addressing particulate matter pollution and extreme heat. *The Nature Conservancy*.
- Mendizabal, C., Malky, A. Y Bruner, A (2019) Optimización de tarifas de ingreso en áreas protegidas de Bolivia. Conservation Strategy Fund. Documento de Trabajo.
- Millennium Ecosystem Assessment (2005) Ecosystems and Human Well-Being: Synthesis. Washington, DC.: Island Press.
- Mitchell, R. y R. T. Carson (2013). Using Surveys to Value Public Goods. Routledge.
- Nowak, D.J., Crane, D.E., y Stevens, J.C. (2006) Air pollution removal by urban trees and shrubs in the United States. *Urban Forestry and Urban Greening*. 115-123
- OECD (2007) Assessing Environmental Policies - Policy Brief. OECD. pp.3,4.
- Olander, L., Johnston, R.J., Tallis, H., Kagan, J., Maguire, L., Polasky, S., Urban, D., Boyd, J., Wainger, L. y Palmer, M. (2015) Best Practices for Integrating Ecosystem Services into Federal Decision Making. Durham: National Ecosystem Services Partnership, Duke University.

- OMS (2005) WHO Air Quality Guidelines for particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide. Global update.
- Polasky, S. (2012) Valuing Nature: Economics, Ecosystems Services, and Decision-Making. En Measuring Nature Balance Sheet of 2011 Ecosystem Services Seminar Series. Palo Alto: Gordon and Betty Moore Foundation.
- Pope, C. et al. (2004) Cardiovascular Mortality and Long-Term exposure to particulate air pollution. *Circulation*. 71-77.
- SAPAL, (2019). Informe de Resultados. Consejo Directivo de SAPAL 2016-2019. León, Guanajuato.
- Secretaría de Turismo (SECTUR), (2019) Estadísticas básicas de información turística por Entidad Federativa. https://www.datatur.sectur.gob.mx/ITxEF/ITxEF_GTO.aspx
- Sistema de Agua Potable y Alcantarillado de León (SAPAL). (2019) Cultura del agua. <http://culturadelagua.sapal.gob.mx/index.php/lo-que-hacemos/4-suministro>
- Vásquez, F., Cerda, A., Orrego, S. (2007) Valoración Económica del Ambiente. Buenos Aires, Thomson editores, 2007.

ANEXO 1: DATOS DE COSTOS CONAGUA E IMDEC DE LA PRESA EL ZAPOTILLO

- Datos CONAGUA

Concepto	Monto (\$)
Presa	
Estudios e ingeniería básica*	\$370,952,595.00
Presa "El Zapotillo"	\$5,588,904,045.00
Supervisión, técnica, financiera Presa y ambiental	\$229,481,554.00
Supervisión Acasico, Puentes, Temacapulín y Desmonte	\$139,411,208.00
Desmontes	\$133,760,000.00
Indemnización presa	\$817,989,967.00
Indemnización de inmuebles	\$2,809,531.00
Gastos de operación	\$36,774,431.00
Otros gastos	\$90,113,921.00
Gerencia externa de proyecto	\$306,575,632.00
Otras asesorías	\$159,949,419.00
Caminos y Puentes	\$411,877,115.00
Centros de población	\$1,218,527,729.00
Subtotal Presa	\$9,507,127,147.00
Acueducto	
Línea de alta tensión	\$446,019,547.00
Línea de conducción	\$7,658,547,245.00
Plantas de bombeo	\$1,031,912,292.00
Planta potabilizadora	\$1,281,254,103.00
Tanque de entrega	\$297,579,067.00
Macrocircuito	\$586,731,888.00
Caminos de construcción	\$131,196,453.00
Pruebas de capacidad y puesta en marcha	\$34,679,460.00
Supervisión acueducto	\$330,657,015.00
Otro	\$958,806,604.00
Reprogramación de obra	\$238,633,625.00
Indemnizaciones acueducto	\$124,733,555.00
Subtotal Acueducto	\$13,120,750,854.00
TOTAL	\$22,627,877,999.00

Fuente: CONAGUA, 2018. Datos proporcionados por el Organismo de Cuenca Lerma-Santiago-Pacífico. Pesos de 2018, incluyen IVA.

- DATOS IMDEC

	Montos
Presa El Zapotillo: Monto de inversión total (80m)	\$23,501,242,627.00
Presa El Zapotillo: Costos de mantenimiento y operación (80 m)	\$10,204,940,321.00
Presa El Zapotillo: Otros costos y gastos asociados (80 m)	\$1,632,790,451.00
Subtotal Presa El Zapotillo y Acueducto El Zapotillo-León:	\$35,338,973,399.00
Estudio "Jalisco Sostenible Cuenca Río Verde" UNOPS-Global	\$90,000,000.00
Indemnización a Abengoa	\$5,000,000,000.00
Total Presa El Zapotillo y Acueducto El Zapotillo-León:	\$40,428,973,399.00
Presa El Purgatorio: Monto de Inversión Total	\$9,670,317,887.00
Presa El Purgatorio: Costo de mantenimiento y operación	\$18,265,449,083.00
Presa El Purgatorio: Otros costos y gastos asociados	\$2,922,471,853.00
Total Presa El Purgatorio y Sistema de Bombeo El Purgatorio-Arcediano	\$30,858,238,823.00
Total Presa El Zapotillo/Acueducto El Zapotillo -León/El Purgatorio y Sistema de Bombeo El Purgatorio-Arcediano	\$71,287,212,222.00

Fuente: Laboratorio de Periodismo y Opinión Pública, 2019 / <https://poplab.mx/article/NohaypresaperosidispendioElZapotillolevagastados35mil millonesyfaltariaotrotanto>

ANEXO 2: ENCUESTA APLICADA SSEE PROVISIÓN DE AGUA Y CALIDAD DE AIRE

IMPORTANCIA DE LAS ÁREAS VERDES EN EL BIENESTAR DE LA POBLACIÓN DE LEÓN, GUANAJUATO
 Buenos días, este es un estudio que desarrolla la Secretaría de Medio Ambiente y Ordenamiento Territorial del Estado de Guanajuato, el Instituto Municipal de Planeación (IMPLAN), la Cooperación Alemana (GIZ) y la organización no gubernamental Conservación Estratégica (CSF). Dicho estudio tiene como objetivo analizar la sustentabilidad de la provisión de agua y calidad del aire sobre el bienestar de la sociedad y la conservación de las áreas verdes del municipio de León, como es el caso del Área Natural Protegida Sierra de Lobos.

La información que proporcione es estrictamente confidencial. No existen respuestas correctas o incorrectas, sólo queremos conocer su opinión. Esta actividad le demandará como máximo 10 minutos y será de gran utilidad para la ciudad.

1. ¿Es usted mayor de edad (18 años) y puede tomar decisiones del hogar? _____(Si/No)
 Si la respuesta es NO, termina la encuesta.

2. ¿Usted radica en el municipio de León? _____(Si/No)
 Si la respuesta es NO, termina la encuesta.

SECCIÓN 1: USO DEL SERVICIO AGUA Y CALIDAD DEL AIRE

3. ¿Cuántas personas viven en su hogar? _____

4. ¿En orden de importancia de 1 a 3, donde 3 es lo más importante, en su hogar cuáles son los usos del agua que recibe por medio de la red pública?

Uso del agua	Puntaje de importancia
Lavar la ropa	
Aseo personal	
Para cocinar	
Aseo de la casa	
Para tomar	

5. ¿Tiene acceso a agua de la red pública en su hogar? _____ (Si/No).
 Si la respuesta es NO, pasa a la pregunta 9.

6. ¿De dónde se obtiene el agua que usted consume en su hogar?

a) Acuíferos o pozos () / b) Ríos () / c) Presa () / d) Grifo de la casa () / e) Red pública ()

7. Bebo agua de la red pública sin haber realizado algún tratamiento dentro de mi hogar _____
 (Si/No)

8. ¿Cuánto paga mensualmente por el agua que consume en su hogar a través de la red de agua potable? \$MXN _____

9. ¿Cuántos vehículos (autos) tiene usted? _____
 Si la respuesta es NO, pasa a la pregunta 11.

10. ¿Cuántos de sus vehículos realizaron verificación vehicular en el año 2018? _____

11. Considerando la siguiente escala, donde 5 es totalmente de acuerdo y 1 totalmente en desacuerdo, podría por favor indicarme que tan de acuerdo o en desacuerdo se encuentra usted con cada una de las siguientes afirmaciones:

1: Totalmente en desacuerdo	2: En desacuerdo	3: Indiferente	4: De acuerdo	5: Totalmente de acuerdo					
					1	2	3	4	5
PROVISIÓN DE AGUA									
En los últimos años he recibido menos cantidad de agua o restricciones en determinados horarios.									
La calidad del agua que llega a mi hogar es buena.									
El precio que pago por el agua es caro.									
La escasez de agua en León es a consecuencia de un mayor consumo por parte de los hogares.									
La escasez de agua en León es a consecuencia de un mayor consumo por parte de la agricultura.									
La escasez de agua en León es a consecuencia de un mayor consumo por parte de la industria.									
La conservación del Área Natural Protegida Sierra de Lobos es importante para la provisión de agua en el municipio de León.									
CALIDAD DEL AIRE									
En los últimos años percibo mayores niveles de contaminación del aire en León.									
En los últimos años he presentado enfermedades respiratorias de manera más frecuente.									
La contaminación del aire en León es a consecuencia del incremento de vehículos.									
La contaminación del aire en León es a consecuencia del incremento de la industria.									
La contaminación del aire en León es a consecuencia de la reducción de áreas verdes.									
La conservación del Área Natural Protegida Sierra de Lobos es importante para tener buena calidad de aire.									

SECCIÓN 2: DESCRIPCIÓN DEL ESCENARIO DE VALORACIÓN Y PRESENTACIÓN DE LOS MODELOS DE ELECCIÓN

12. El municipio de León es uno de los que presenta en promedio la mayor tasa de crecimiento poblacional del Estado (7.6%), y es uno de los municipios con la mayor cantidad de habitantes a nivel nacional. Este incremento de la población origina un aumento en el consumo de agua potable. En los municipios del Estado de Guanajuato el 85% del agua proviene de fuentes subterráneas (acuíferos), los cuales son complementados con fuentes superficiales. Casi el 90% de los acuíferos están en condición de sobreexplotados; es decir, se extrae más agua para consumo de la sociedad que la que llega a recargar de manera natural por medio de las lluvias.

Tomando en cuenta esta información, se le presenta las siguientes tres opciones para que usted tome una decisión (Opción 3, Opción 2 y Opción 1). Marque con una X aquella opción

que más le interese, todas las opciones son escenarios hipotéticos. Cada opción tiene información sobre el número de horas que su hogar tendría acceso a agua de la red pública, hectáreas a ser reforestadas por la autoridad ambiental dentro del Área Natural Protegida (ANP) Sierra de Lobos como una medida de conservación de áreas verdes para la ciudad y un aporte económico destinado para la conservación de dicha ANP.

Atributo		Opción 3	Opción 2	Opción 1
Horas de servicio de agua		24 horas/día	12 horas/día	24 horas/día
Hectáreas reforestadas		90 hectáreas por año	40 hectáreas por año	40 hectáreas por año
Aporte a la conservación		\$10 MXN/bimestre	\$5 MXN /bimestre	\$0 MXN /bimestre
Opción seleccionada =>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

13. Con referencia a la calidad del aire en León, el crecimiento vehicular y el número de empresas manufactureras, además de otros factores, están afectando la calidad del aire, y esto se ve reflejado en el aumento del número de pre-contingencias ambientales y enfermedades respiratorias. Entre los años 2010-2015 el parque automotor pasó de tener 360 mil vehículos a casi medio millón. Por otro lado, los diferentes municipios de Guanajuato, en especial León, se caracterizan por tener un elevado número de empresas manufactureras en constante crecimiento y con gran aporte a la economía de la región.

Tomando en cuenta esta información, se le presenta las siguientes tres opciones para que usted tome una decisión (Opción 3, Opción 2 y Opción 1). Marque con una X aquella opción que más le interese, todas las opciones son escenarios hipotéticos. Cada opción tiene información sobre los niveles de calidad de aire en la ciudad, hectáreas a ser reforestadas por la autoridad ambiental dentro del Área Natural Protegida (ANP) Sierra de Lobos como una medida de conservación de áreas verdes para la ciudad y un aporte económico destinado para la conservación de dicha ANP.

Atributo	Opción 3	Opción 2	Opción 1
----------	----------	----------	----------

Calidad del aire		180 días al año con mala calidad del aire	148 días al año con mala calidad del aire	164 días al año con mala calidad del aire
Hectáreas reforestadas		90 hectáreas por año	40 hectáreas por año	40 hectáreas por año
Aporte a la conservación		\$10 MXN / semestre	\$5 MXN / semestre	\$0 MXN / semestre
Opción seleccionada =>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

SECCIÓN 3: INFORMACIÓN SOCIOECONÓMICA Y DEMOGRÁFICA

14. ¿Cuál es tu edad? _____

15. ¿Cuál es tu estado civil? _____

a) Soltera(o) () / b) Casada(o) () / c) Divorciada(o) () / d) Viuda(o) () / e) Unión libre ()

16. ¿Cuál de las siguientes opciones describe mejor el ultimo nivel de estudios cursado?

a) Primaria () / b) Secundaria () / c) Preparatoria () / d) Carrera técnica () / e) Licenciatura () / f) Maestría () / g) Doctorado () / h) Sin educación formal ()

17. ¿Cuál de las siguientes opciones describe mejor tu ocupación?

a) Trabajo () / b) Estudiante () / c) Ama de casa () / d) Retirado () / e) Desempleado ()

18. ¿Cuál es el ingreso total de su hogar mensual?

	Min	Max	
1	0	1,000	
2	1001	4,000	
3	4001	7,000	
4	7001	10,000	
5	10,001	13,000	
6	13,001	16,000	
7	16,001	19,000	
8	19,001	22,000	
9	22,001	25,000	
10	25,001	28,000	
11	28,001	31,000	
12	31,001		

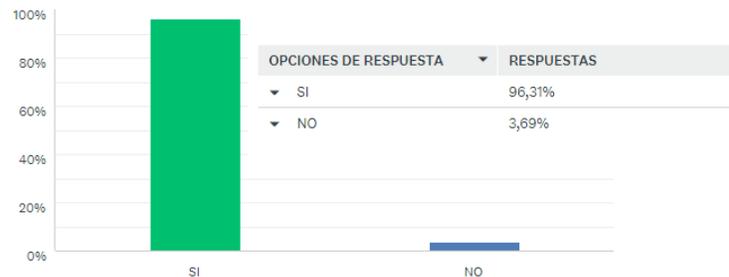
19. ¿Cuál es el gasto mensual de su hogar? _____

20. ¿Estaría dispuesto a realizar una aportación voluntaria de “X” pesos mexicanos al bimestre para ayudar a realizar reforestaciones, podas a árboles plagados y obras para reducir la erosión del suelo en el ANP Sierra de Lobos? _____ (Si/No).
Donde dice “X” pesos mexicanos se reemplazará por los valores 1, 2, 5, 10, 15 y 20 de manera aleatoria entre las encuestas.
21. ¿Estaría dispuesto a realizar una aportación voluntaria de “X” pesos mexicanos al semestre para ayudar a realizar reforestaciones, podas a árboles plagados y obras para reducir la erosión del suelo en el ANP Sierra de Lobos para mejorar la calidad del aire de la ciudad? _____ (Si/No).
22. Donde dice “X” pesos mexicanos se reemplazará por los valores 1, 2, 5, 10, 15 y 20 de manera aleatoria entre las encuestas.
23. En caso que respondiera que Si en las preguntas 20 y/o 21, ¿Quién te gustaría que fuera el responsable de ejercer este recurso?
a) Gobierno Municipal () / b) Gobierno Estatal () / c) Organismos No Gubernamentales () / d) Asociaciones Civiles ()

ANEXO 3: ESTADÍSTICAS DESCRIPTIVAS DE ALGUNAS PREGUNTAS DE LA ENCUESTA APLICADA

Del total de entrevistas realizadas (377) un 96.3% indicó tener acceso a la red pública en su vivienda (Figura 3.1).

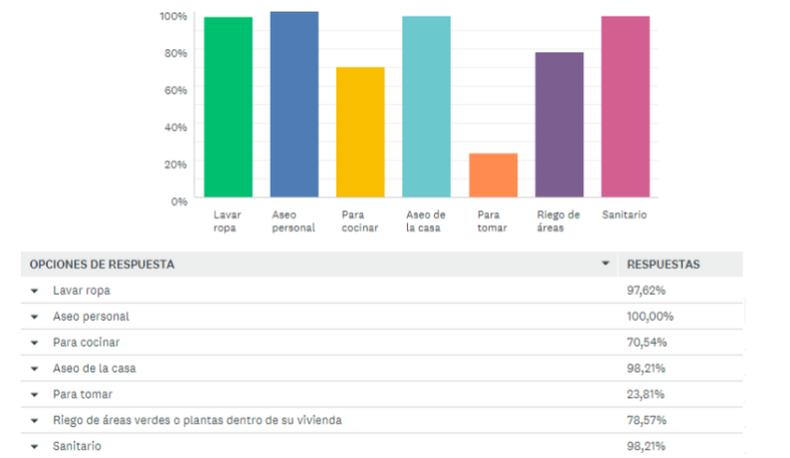
FIGURA 3.1. ACCESO A RED PÚBLICA DE AGUA POTABLE



Fuente: Elaboración propia, 2019.

De igual forma, se les preguntó sobre las actividades que realizan con el agua de la red pública que reciben. Casi el 100% de los encuestados utiliza el agua de la red para aseo personal, uso sanitario, lavado de ropa, un 70,5% la utiliza para cocinar y solo un 23.8% para consumo directo (Figura 3.2).

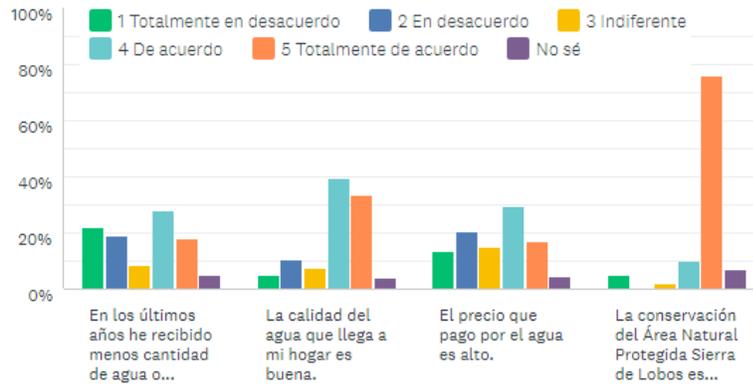
FIGURA 3.2. USOS DEL AGUA RECIBIDA POR LA RED PÚBLICA



Fuente: Elaboración propia, 2019.

En cuanto a la calidad del servicio, un 48% de los encuestados indicó haber tenido una reducción en cantidad o número de horas de acceso al servicio de agua que les llega por la red pública. Así mismo, un 71% indicó que el agua que les llega tiene buena calidad, pero siempre argumentando que el principal uso del agua es para cocina o aseo de la casa y no para beber. Para un 43% de los encuestados el precio que pagan por tener acceso a agua de la red pública es elevado. Finalmente, casi un 93% considera que la conservación de áreas boscosas, como es el caso de la ANP-SL, es importante para tener agua en la ciudad (Figura 3.3).

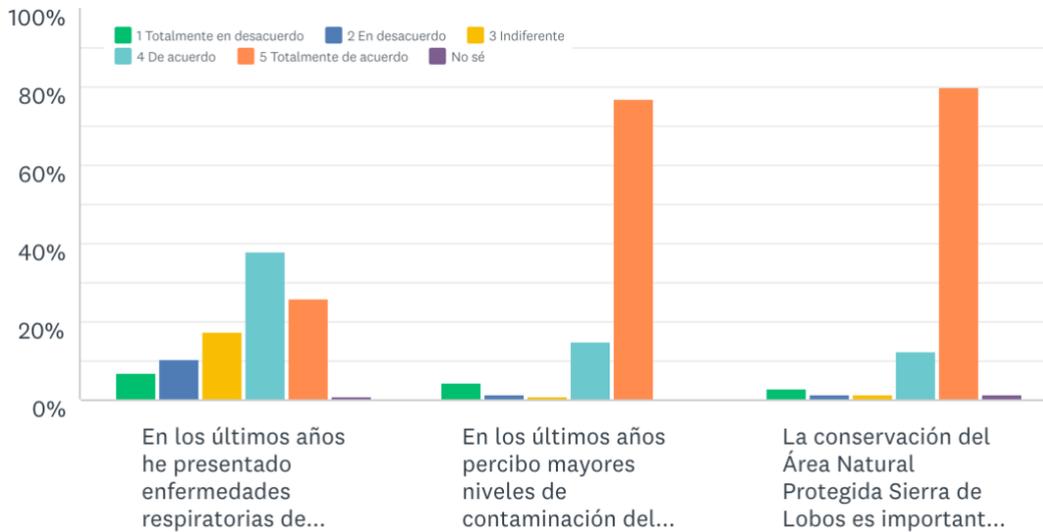
FIGURA 3.3. IMPORTANCIA DEL AGUA Y LA ANP-SL PARA LA SOCIEDAD



Fuente: Elaboración propia, 2019.

En el caso del SSEE calidad de aire, un 69% de los encuestados expresó haber experimentado un incremento de enfermedades respiratorias en familiares durante los últimos años. Así mismo, casi un 91% percibe que, con el pasar del tiempo, la contaminación del aire en la ciudad ha aumentado. Finalmente, al igual que con el SSEE provisión de agua, un 97% de las personas encuestas expresaron que la conservación de la ANP-SL es vital para tener mejores niveles de calidad de aire.

FIGURA 3.4. IMPORTANCIA DE LA CALIDAD DEL AIRE Y LA ANP-SL PARA LA SOCIEDAD



Fuente: Elaboración propia, 2019.

ANEXO 4: TALLER Diseño de un programa de Pagos por Servicios Ambientales en la Ciudad de León, Guanajuato (viernes 7 de febrero de 2020, 9:00-13:00, instalaciones del IMPLAN-León)



Fuente: IMPLAN, 2020.



Fuente: IMPLAN, 2020.

Recaudación: ¿Cómo cobrar?

Opción	Decisión	Obligatorio	Costo de Implementación	Tiempo de Implementación	Riesgo de Prominencia	Transparencia	Facilidad de desembolso	Voluntad política	Modelización legal	Total
Recibo Agua		2 ¹ 2 ³ 2 ²	4 ⁵ 4 ⁴ 4 ⁵	4 ⁵ 5 ⁵ 5 ³	3 ² 4 ⁴ 4 ⁴	1 ⁴ 1 ¹ 1 ¹	2 ⁵ 3 ³ 3 ³	2 ³ 3 ³ 3 ³	5 ⁴ 4 ⁴ 5 ⁵	
		1 ¹ 1 ¹ 1 ¹	4 ³ 3 ³ 3 ³	4 ⁵ 3 ⁴ 4 ⁴	3 ⁴ 3 ⁴ 3 ³	1 ⁴ 1 ¹ 1 ¹	2 ² 2 ⁵ 2 ²	3 ³ 3 ³ 3 ³	4 ⁴ 5 ³ 3 ³	
CUESTA BANCO		2 ⁴ 3 ² 2 ²	5 ² 2 ² 2 ¹	3 ⁴ 3 ³ 3 ³	3 ⁵ 2 ³ 3 ³	1 ¹ 1 ¹ 1 ¹	3 ² 2 ⁵ 3 ³	5 ³ 5 ⁵ 5 ⁵	1 ⁴ 5 ² 2 ²	
		4 ⁵ 5 ⁵ 3 ⁵	1 ⁴ 2 ² 2 ²	3 ² 3 ³ 3 ²	4 ³ 3 ⁴ 3 ⁴	1 ⁵ 1 ¹ 1 ¹	3 ² 2 ² 2 ²	5 ⁴ 4 ⁵ 5 ⁵	1 ¹ 1 ¹ 1 ¹	
REDUCCION		4 ⁵ 3 ⁴ 5 ⁵	4 ² 2 ² 2 ³	4 ⁵ 5 ³ 4 ⁴	3 ³ 4 ³ 3 ³	1 ⁴ 1 ¹ 1 ¹	2 ⁴ 3 ² 2 ²	5 ⁴ 5 ⁵ 5 ⁵	4 ³ 4 ⁴ 4 ⁴	
		5 ⁵ 3 ⁵ 5 ⁵	4 ² 2 ² 2 ³	4 ⁵ 5 ³ 4 ⁴	3 ³ 4 ³ 3 ³	1 ⁴ 1 ¹ 1 ¹	2 ⁴ 2 ² 2 ²	5 ⁴ 5 ⁵ 5 ⁵	4 ³ 4 ⁴ 4 ⁴	
COMPENSACION		4 ⁵ 3 ⁴ 5 ⁵	4 ² 2 ² 2 ³	4 ⁵ 5 ³ 4 ⁴	3 ³ 4 ³ 3 ³	1 ⁴ 1 ¹ 1 ¹	2 ⁴ 2 ² 2 ²	5 ⁴ 5 ⁵ 5 ⁵	4 ³ 4 ⁴ 4 ⁴	
		5 ⁵ 3 ⁵ 5 ⁵	4 ² 2 ² 2 ³	4 ⁵ 5 ³ 4 ⁴	3 ³ 4 ³ 3 ³	1 ⁴ 1 ¹ 1 ¹	2 ⁴ 2 ² 2 ²	5 ⁴ 5 ⁵ 5 ⁵	4 ³ 4 ⁴ 4 ⁴	

Fuente: IMPLAN, 2020.

ANEXO 5: VARIABLES Y VARIACIONES CONSIDERADAS PARA EL ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD Y RIESGO PROBABILÍSTICO

VARIABLE	VARIACION	DISTRIBUCION
Tasa social de descuento	8%-12%	Triangular
INVERSIÓN		
PRESA		
Estudios, ingeniería básica y obras complementarias	40%-100%	Normal
Presa "El Zapotillo"	40%-100%	Normal
Supervisión, técnica , financiera Presa y ambiental	40%-100%	Normal
Supervisión Acasico, Puentes, Temacapulin y Desmonte.	40%-100%	Normal
Desmontes	40%-100%	Normal
Indemnizaciones presa	40%-100%	Normal
Indemnizaciones de inmuebles	40%-100%	Normal
ADMINISTRACION DEL PROYECTO		
Gastos de operación	40%-100%	Normal
Otros Gastos	40%-100%	Normal
Gerencia externa de proyecto	40%-100%	Normal
Otras asesorías	40%-100%	Normal
OTROS GASTOS		
Caminos y Puentes	40%-100%	Normal
Centros de población	40%-100%	Normal
ACUEDUCTO		
Línea de alta tensión	40%-100%	Normal
Línea de conducción	40%-100%	Normal
Plantas de bombeo	40%-100%	Normal
Planta potabilizadora	40%-100%	Normal
Tanque de entrega	40%-100%	Normal
Macrocircuito	40%-100%	Normal
Caminos de construcción	40%-100%	Normal
Pruebas de capacidad y puesta en marcha	40%-100%	Normal
Supervisión acueducto	40%-100%	Normal
Otro	40%-100%	Normal
Reprogramación de obra	40%-100%	Normal
Indemnizaciones acueducto	40%-100%	Normal
COSTOS DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO		
Costos de operación y mantenimiento	40%-100%	Normal

Fuente: Elaboración Propia, 2020.