



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
POSGRADO EN CIENCIAS DE LA TIERRA
INSTITUTO DE GEOFÍSICA

Análisis del Impacto Ambiental Potencial
para el proyecto perforación de pozos exploratorios en la
zona geotérmica del “Volcán El Ceboruco”

T E S I S

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE
MAESTRA EN CIENCIAS DE LA TIERRA

P R E S E N T A :

Eunice Alvarez Barrientos

Directora de Tesis:

Dra. Rosa María Prol Ledesma

Instituto de Geofísica

Ciudad Universitaria, Cd. Mx., Mayo 2018



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

AGRADECIMIENTOS

Al Centro Mexicano de Innovación en Energía Geotérmica por su invaluable ayuda a través del Programa de Apoyo a Estudiantes y del proyecto P01 "Mapas de gradiente geotérmico y de flujo de calor para la República Mexicana". Gracias al compromiso del CeMIEGeo en la formación de recursos humanos para el desarrollo de la energía geotérmica, se contó con todo el apoyo y oportunidades necesarias para realizar este trabajo de investigación.

Gracias al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología con su apoyo por medio del Programa de Becas para Estudios de Posgrado.

OTROS AGRADECIMIENTOS

A las mujeres que han estado presentes en mi vida, en especial a mi madre, mi abuela y mi hermana; y también a mi tutora y a Emma. Su incondicional apoyo, perseverancia, paciencia, su constante superación, pasión por aprender y también por enseñar, fuerza, honestidad y rectitud han sido mi mayor fuente de inspiración y también fortaleza para seguir adelante. Estoy segura que su ejemplo ha marcado muchas vidas, incluyendo la mía. Gracias por estar o haber estado ahí.

A mi padre por su incansable apoyo y amor.

A mi hermanito por todo, eres la luz en mi vida.

A Charlie, Raúl, Lucía, Juan, César, Laura, Gerardo, Jesús, Alexia, Aron, Ray, Migue, Héctor y Óscar por ser mi familia aquí; van conmigo a todos lados en el corazón.

RESUMEN

La zona geotérmica del Volcán El Ceboruco se encuentra ubicada en el centro-sur del estado de Nayarit, en donde se está desarrollando un proyecto de perforación de pozos exploratorios por la empresa Mexxus-RG. Esta empresa cuenta con los permisos para realizar actividades de exploración geotérmica y perforación en un área de 150 km², área en donde se encuentran completa o parcialmente 18 comunidades.

Uno de los propósitos de este trabajo es presentar un análisis de impacto ambiental preliminar para el área del proyecto, que cubra también una descripción del estado actual del sitio para futuros estudios, evaluaciones y comparaciones. Este Análisis de Impacto Ambiental Potencial fue elaborado a partir de la recopilación y evaluación de información del área de estudio, literatura relacionada a la ejecución de proyectos similares con un enfoque ambiental, e información proporcionada por la empresa Reykjavík Geothermal. Una vez identificados y presentados los posibles impactos ambientales debido a las actividades que contempla este proyecto, también se señalan las normativas mexicanas aplicables; así como medidas preventivas y de mitigación adicionales, las cuales son recomendables llevar a cabo.

El segundo propósito de este trabajo es presentar las líneas base para posibles afectaciones relacionadas a calidad del agua y contaminación acústica. En cuanto a la línea base para la calidad del agua, se utilizaron datos adquiridos por la empresa Reykjavík Geothermal; datos adquiridos por CONAGUA; y datos publicados por Pandarinath y Domínguez (2015), del campo geotérmico La Primavera. Todos estos datos provienen de muestras adquiridas en manantiales, ríos, pozos de aprovechamiento, así como pozos geotérmicos.

En cuanto a la línea base relacionada a la contaminación acústica dentro del área del proyecto, se presentan mapas para utilizarse como guía durante la planificación de la ubicación de las plataformas de perforación, según la generación de ruido estimada. Debido a la potencial cercanía de los poblados a las actividades de perforación, se presentan las distancias mínimas necesarias que se deberán de respetar para no sobrepasar los niveles de contaminación acústica recomendados por la OMS, ni los establecidos por SEMARNAT.

ABSTRACT

The geothermal area of El Ceboruco volcano is located in the south-central side of Nayarit state; in which Mexxus-RG company is developing a drilling project of exploratory wells. This firm holds the permits required to perform geothermal exploration and drilling activities in a 150km² area, covering completely or partially the amount of 18 communities.

The first aim for this work is to present a preliminary environmental impact assessment, which coverage includes a description of the actual state of the site for further studies, evaluations and comparisons. This Potential Environmental Impact Assessment was completed out of the compilation and analysis of information in regards to the study area; literature related to the execution of similar projects with an environmental approach, and information provided by Reykjavík Geothermal. Once all the activities regarding to this project are identified and presented as well as their potential environmental impacts, competent Mexican policies are to get acquainted to. Additional preventive and mitigation measures are also recommended to be taken into consideration.

The second aim for this work is to present the baseline for possible impacts related to water quality and noise exposure. Regarding the baseline for water quality, data provided by Reykjavík Geothermal, data obtained from CONAGUA and data published by Pandarinath & Dominguez (2015) were used. All these data proceed from samples that were taken from springs, freshwater wells, geothermal wells and a river.

Regarding the baseline related to noise exposure inside the project area, maps were required in order to illustrate planning on the location of drill pads; according to different noise levels. Due to the existing short distance between local communities and potential drilling activities minimum separation must be set in order to avoid exceeding the maximum noise levels recommended by the WHO and the regulations established by SEMARNAT.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	1
a. Energía Geotérmica en México	1
b. Análisis de Impacto Ambiental	2
2. ENERGÍA GEOTÉRMICA Y SU IMPACTO AMBIENTAL	5
a. Uso de Suelo y otras posibles afectaciones	9
b. Uso de Agua y Alteraciones en Cuerpos de Agua	11
c. Calidad del Aire	12
d. Ruido	16
e. Impacto en la Biodiversidad y Vegetación	17
3. MARCO LEGAL PARA PROYECTOS DE EXPLORACIÓN GEOTÉRMICA EN MÉXICO	19
a. Fundamento Legal para la creación de Análisis de Impacto Ambiental en México	19
i. Informe Preventivo	20
ii. Manifestación de Impacto Ambiental	21
iii. Resolución sobre la Evaluación del Impacto Ambiental	22
b. Otras Regulaciones Mexicanas Aplicables a Proyectos de Exploración Geotérmica	23
c. Evaluación del Impacto Social para Proyectos en el Sector Energético en México	26
d. Otros Lineamientos Internacionales Recomendados	28
4. PROYECTO GEOTÉRMICO VOLCÁN EL CEBORUCO	33
A. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO	33
a. Ubicación	33
b. Antecedentes	35
c. Proyecto Actual	36
d. Plan del Proyecto	36
i. Preparación del sitio de construcción de plataformas	37
ii. Perforación de los pozos	37
iii. Evaluación de la pozos	38
iv. Planificación o abandono del sitio y restauración	39
e. Otros Desarrollos Geotérmicos en el área	40
B. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO	41
a. Uso de Suelo y Vegetación	41
b. Geología	43
i. Geología Regional	43
ii. Geología Local	46
c. Acuífero Valle Ixtlán-Ahuacatlán	48
d. Clima	51
i. Tipos de Clima	51
ii. Estaciones Meteorológicas	52
iii. Viento	53

e.	Biodiversidad	55
f.	Riesgos Naturales	56
g.	Aspectos Sociales y Culturales	57
i.	Localidades	57
ii.	Demografía	58
iii.	Educación	59
iv.	Aspectos Socioeconómicos	61
v.	Salud	62
vi.	Ocupación y Actividad Económica	62
vii.	Cultura y Religión	63
5. POSIBLES IMPACTOS AMBIENTALES DEL PROYECTO		65
a.	Etapa 1: Preparación del sitio de construcción de plataformas	66
b.	Etapa 2: Perforación de los pozos	69
c.	Etapa 3: Evaluación de la pozos	73
d.	Etapa 4: Planificación o abandono del sitio y restauración	77
e.	Medidas Adicionales	80
6. LÍNEAS BASE PARA POSIBLES AFECTACIONES RELACIONADAS A CONTAMINACIÓN DE AGUA Y CONTAMINACIÓN ACÚSTICA		83
a.	Línea base para la composición química del agua en el acuífero Valle Ixtlán-Ahuacatlán y alrededores	84
i.	Datos propiedad de Reykjavík Geothermal	84
ii.	Datos CONAGUA	88
iii.	Datos Campo Geotérmico La Primavera	90
iv.	Rango de Valores Obtenidos	93
b.	Estimación de los Niveles de Contaminación Acústica para el Área del Proyecto	97
7. DISCUSIÓN		105
a.	Reinyección	106
b.	Calidad del Agua	107
c.	Biodiversidad	110
d.	Contaminación Acústica	111
e.	Calidad del Aire	112
f.	Importancia de los Análisis de Impacto Social	114
8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		116
a.	Conclusiones	116
b.	Recomendaciones	117
9. REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA		119

INTRODUCCIÓN

La actual y constante preocupación en cuanto a la conservación y mejora del medio ambiente ha hecho que en estos últimos años tanto países desarrollados como en vías de desarrollo, se inclinen por impulsar las energías renovables y limpias. Se entiende como energía renovable todo tipo de energía procedente de fuentes que se renueven mediante procesos naturales a una tasa igual o superior a la de su extracción. Entre las energías renovables se puede mencionar la eólica, solar, hidroeléctrica, entre otras. Por otro lado, las energías limpias se consideran aquellas que sus emisiones o residuos, en caso de existir, no sobrepasen los lineamientos o regulaciones existentes.

La energía geotérmica puede llegar a perder su calidad de *energía renovable* por malas prácticas; por ejemplo, cuando la extracción del recurso renovable sea mayor a la tasa natural de recarga. También la energía geotérmica puede perder su carácter de *energía limpia* durante el proceso de exploración, extracción y operación de la planta, al rebasar los límites establecidos de emisiones y residuos.

No basta con sólo elegir e invertir en nuevas formas de generación de energías ambientalmente responsables, es necesario apegarse a las mejores prácticas desarrolladas e implementadas actualmente en proyectos similares, desde las etapas más tempranas de los proyectos para poder observar los beneficios ambientales que estos ofrecen.

Mediante las Evaluaciones de Impacto Ambiental, así como la exhaustiva documentación de normativas ambientales aplicables a la naturaleza del proyecto, se podrán tomar las mejores decisiones e implementar las mejores prácticas a favor de la conservación del medio ambiente y de las comunidades que habitan y se desarrollan en las zonas de los proyectos.

Este trabajo busca presentar un Análisis de Impacto Ambiental Preliminar para el proyecto *Perforación de Pozos Exploratorios en la Zona Geotérmica Volcán El Ceboruca*, desarrollado en el estado de Nayarit. La finalidad de realizar este análisis preliminar no es sólo identificar previamente los posibles impactos que podría ocasionar al ambiente este proyecto. También busca identificar las medidas, soluciones y obligaciones legales para prevenir o mitigar estos impactos, y así cumplir con el real propósito de este proyecto: el desarrollo de energías verdaderamente limpias y renovables.

a. Energía Geotérmica en México

Actualmente México se encuentra como el sexto país con mayor capacidad geotérmica instalada en el mundo; por debajo de países como EUA, Filipinas, Indonesia, Turquía y Nueva Zelanda (Flores-Espino *et al.*, 2017). Sin embargo, la generación de electricidad en México proviene en un 71.2% por plantas eléctricas a partir de combustibles fósiles; y el 28.8% restante por energías limpias, dentro de las que se encuentran energías renovables como hidroeléctricas, plantas geotérmicas, plantas fotovoltaicas y eólicas (Romo-Jones *et al.*, 2018). Dentro de este 28.8% también se incluye la energía nuclear que se considera limpia, pero no renovable.

De acuerdo a la *Prospectiva del Sector Eléctrico 2015-2029* presentada por SENER (2015), se ha establecido el objetivo de alcanzar un 35% de generación de energía limpia para el año 2024, a esto se agrega que SENER en esta misma publicación estima un crecimiento de la demanda de energía eléctrica a una tasa de 3.5% anual en la próxima década.

México hoy en día cuenta con cuatro plantas geotérmicas pertenecientes y administradas por la Comisión Federal de Electricidad, y una planta geotérmica de propiedad privada operada por Grupo Dragón (Flores-Espino *et al.*, 2017). Las cuatro primeras son: Cerro Prieto en el estado de Baja California, Los Azufres en Michoacán, Los Humeros en Puebla y por último Las Tres Vírgenes en Baja California Sur. En cuanto a la primera y única planta geotérmica de propiedad privada en México, esta se encuentra en el estado de Nayarit, conocida como Domo San Pedro.

Actualmente todas estas plantas tienen una capacidad total instalada de 982.3 MW y una capacidad operativa de 916.4 MW (Romo-Jones *et al.*, 2018). De estos cinco campos geotérmicos el más antiguo es Cerro Prieto con su primera unidad instalada en el año de 1973; Cerro Prieto también es el campo que mayor producción de energía geotérmica genera en México actualmente.

b. Análisis de Impacto Ambiental

En las últimas décadas ha existido un creciente interés en aspectos relacionados al medio ambiente, así como en lograr un desarrollo sustentable. Esto ha sido consecuencia de la preocupación ante el impacto de las actividades humanas en la salud y medio ambiente; así como sus consecuencias económicas a gran escala. La primera legislación referente a Análisis de Impacto Ambiental (AIA) fue introducida en los EUA a inicios de la década de los setenta; mientras que en los países miembros de la Unión Europea se empezó a implementar en el año de 1985 y en 1988 en el Reino Unido, en donde mostraron gran resistencia para implementar este tipo de análisis durante los primeros años (Glasson, 2012).

Munn en 1979 (Glasson, 2012), se refiere a los estudios de análisis de impacto ambiental como la necesidad de "identificar y predecir el impacto en el ambiente, en la salud y bienestar del ser humano, por medio de propuestas legislativas, políticas, programas, proyectos o procedimientos operacionales; e interpretar y comunicar la información de estos impactos". Glasson (2012) también expone la siguiente definición operacional utilizada en el Reino Unido en 1989: "El término 'Análisis Ambiental' describe la técnica y procesos, en los cuales la información acerca de los efectos medioambientales de un proyecto son recolectados, tanto por el desarrollador del proyecto, como por otras fuentes, para ser tomadas en consideración por la autoridad planificadora al formar los lineamientos en los que el proyecto deberá ser desarrollado".

Actualmente un análisis de impacto ambiental se considera como el proceso de identificación, predicción, evaluación y mitigación de los efectos biofísicos y sociales, así como impactos de otras índoles que puedan derivarse de la implementación de un nuevo plan, política, proyecto o desarrollo. Un análisis de impacto ambiental se considera un *proceso formal* para predecir esas consecuencias, ya sean positivas o negativas. Este deberá ser realizado antes de decidir implementar o continuar avanzando con dicha acción propuesta.

Una evaluación de impacto deberá ser regida por leyes o lineamientos del país o administración en cuestión, y buscar la participación pública en la etapa de documentación y toma de decisiones, para finalmente ser sometida a una revisión legal (Ogola, 2005).

El propósito de realizar estos análisis es asegurarse que al tomar decisiones relacionadas a la ejecución del proyecto, programa o política; se consideren los impactos ambientales al momento de decidir si continuar o suspender dichas acciones. Otro de los propósitos es proponer medidas para ajustar los impactos identificados a niveles aceptables, o investigar nuevas técnicas como solución.

La mejor manera de asegurarse que un análisis de impacto ambiental sea tomado en consideración para la toma de decisiones será al involucrar la opinión pública, las comunidades posiblemente afectadas, al igual que organismos gubernamentales; y no sólo dejar las decisiones y desarrollo del proyecto o plan al inversionista o partes interesadas (Ogola, 2005).

Cualquier plan, proyecto o política, en cualquier ámbito, tendrá una serie de efectos que podrán ser tanto positivos como negativos; esto dependerá de las circunstancias ambientales, sociales y económicas en particular, así como el plan o política a implementar. Se deberá conocer de antemano estas consecuencias y predecir sus efectos, con el fin de aminorar o eliminar de ser posible los efectos negativos. Con un análisis de impacto ambiental se tendrán las bases y fundamentos para crear medidas adicionales o en caso de ser necesario, modificar el plan, proyecto o desarrollo que se busca implementar y así reducir dichos efectos negativos.

Un análisis de impacto ambiental no tendrá propósito de realizarse si no se desarrolla de una manera en que sea aplicable a las jurisdicciones o leyes del país en cuestión; por lo tanto, el procedimiento y el enfoque que se presenta al realizar un análisis de impacto ambiental llega a ser muy amplio en un sentido general. Por ejemplo, el Banco de Desarrollo Africano, usa la expresión *Análisis de Impacto Ambiental y Social* para enfatizar la inclusión e importancia de aspectos sociales al desarrollar un proyecto (IAIA, 2015). En otros casos, los análisis de impacto se desarrollan por separado enfocándose a impactos específicos, como: sociales, salud, ecológicos y de biodiversidad. Estas evaluaciones pueden realizarse independientemente y al integrarse, muchos profesionales o instituciones suelen utilizar la expresión *Evaluación de Impacto Integral*, o *Análisis de Impacto Integral* (IAIA, 2015).

Para otros, la integración de las evaluaciones de impacto económico, social y ambiental recibe el término de *Análisis de Sostenibilidad* (IAIA, 2015). Países como Reino Unido, Canadá o Sudáfrica se han asegurado de incluir el concepto de *sostenibilidad* dentro de las evaluaciones ambientales que deben hacerse por ley para el desarrollo de nuevos proyectos (Bond *et al.*, 2012). El proceso de evaluación de diferentes impactos busca incorporar aspectos ambientales, sociales, de salud y económicos; para asegurar así la sostenibilidad por medio de decisiones estratégicas, dando origen a nuevas políticas, legislaciones, planes o programas, se le conoce como *Evaluación Ambiental Estratégica*, o *Análisis Ambiental Estratégico* (IAIA, 2015).

Pocos son los países en los que es obligatorio presentar análisis de impacto social y de salud junto con la evaluación de impacto ambiental; como por ejemplo Canadá, Nueva Zelanda, República de Corea, Laos, Vietnam, Tailandia, Filipinas, algunos estados de Australia, entre otros pocos.

Los objetivos de un análisis de impacto ambiental para un proyecto a desarrollar, generalmente debe cubrir estos cinco puntos principales:

1. Contar y proporcionar información con la que las entidades correspondientes se puedan ayudar y fundamentar para la toma de decisiones relacionadas a consecuencias ambientales, biofísicas, sociales y económicas al desarrollar el proyecto.
2. Promover la transparencia y participación pública dentro del proceso de toma de decisiones, así como el cumplimiento de los planes establecidos durante el desarrollo de ese proyecto.
3. Identificar procedimientos y métodos para el correcto desarrollo del proyecto. De igual manera, contar con el conocimiento y herramientas necesarias para el monitoreo de los efectos consecuentes a las actividades que incluye el proyecto, con el fin de identificar y actuar de forma temprana ante un posible efecto negativo.
4. Anticipar, minimizar e idealmente evitar, o en su defecto compensar, efectos adversos significativos biofísicos, sociales y ambientales en general. Esto, con la intención de proteger la productividad y capacidad de los sistemas naturales y de los procesos ecológicos que mantienen sus funciones (no socavar los recursos ni riqueza natural).
5. Contribuir al desarrollo ambiental y social de una manera responsable y sustentable. Al promover el desarrollo sustentable se deberá optimizar el uso de recursos y la administración de oportunidades a lo largo de todas las etapas en las que se compone el proyecto.

ENERGÍA GEOTÉRMICA Y SU IMPACTO AMBIENTAL

La generación de energía eléctrica a partir de energía geotérmica tiene un gran número de beneficios, sobre todo ambientales. Entre estos beneficios se puede mencionar las bajas emisiones de CO₂, así como otros gases contaminantes y gases de efecto invernadero (Ogola, 2005; DiPippo, 2008; Fridriksson *et al.*, 2017). También en cuanto al uso de suelo, las plantas de energía geotérmica no requieren gran espacio comparado con otro tipo de plantas de energía, ni requieren intervenir grandes áreas para el desarrollo del proyecto (DiPippo, 2012; Kagel *et al.*, 2007). Además, las plantas de energía geotérmica pueden coexistir fácilmente con otro tipo de industrias, aprovechando así al máximo estos recursos energéticos. Por último, con una correcta reinyección del fluido geotérmico al reservorio, no sólo se asegura la continuidad del carácter renovable del recurso, sino también se minimizan en gran medida los riesgos potenciales de contaminación en cuerpos de agua y suelo.

Como ya se mencionó, una de las ventajas de las plantas de energía geotérmica es el poco espacio que ocupan y su compatibilidad con otros usos de suelo. Por MW generado, las plantas geotérmicas requieren menor espacio que cualquier otro tipo de planta de energía. El ejemplo más notorio es con las plantas de energía fotovoltaica. Una planta geotérmica con ciclo binario o por flasheo requiere del 2 al 5% del área necesaria por MW generado si se compara con las plantas de energía fotovoltaica mejor ubicadas en los EUA (DiPippo, 2012). Otro ejemplo a mencionar son las plantas eléctricas con base en carbón, que considerando el área necesaria para actividades relacionadas a la extracción del carbón, requieren de 30 a 35 veces más espacio por MW producido que una planta de energía geotérmica (DiPippo, 2008). Sumado a ello, espacios forestales o para ganadería y agricultura pueden coexistir sin ningún problema en conjunto con una planta de energía geotérmica; incluso hasta puede ser un impacto beneficioso para otras actividades industriales.

El bajo consumo de agua, así como las acciones claras que se pueden tomar para no contaminar cuerpos de agua, también representan otra ventaja de las plantas de energía geotérmica. Este tipo de plantas usan torres de enfriamiento para disipar el exceso de calor a la atmósfera (Figura 2.1), en lugar de liberar este exceso en cuerpos de agua como se acostumbra hacer con otros tipos de plantas de energía, lo que representa un menor consumo de agua. Sumado a ello, con una cubierta de acero y cemento, los pozos de producción y reinyección pueden estar completamente aislados del ambiente y cuerpos de agua subterránea, previniendo así la contaminación de los mismos.



Figura 2. 1 Torres de enfriamiento de la planta geotérmica Krafla, Islandia. Fuente: Archivo de la autora (2016).

Tanto el agua como el vapor condensado proveniente de una planta geotérmica pueden tener una gran cantidad de sustancias tóxicas como As, Pb, Cd, Fe, Zn, Sb, Li, Ba y Al. La reinyección de estos fluidos es la forma más común de manejar esos componentes; sin embargo, esto requiere un costo adicional, lo que en algunos casos hace que la planta geotérmica no se considere rentable. Un mal manejo en la disposición de estos residuos puede contaminar acuíferos como ha sido el caso de Akarcay, en Turquía (Dogdu, 2005). Remediar problemas ambientales de este tipo resulta ser bastante difícil y costoso, por ello es importante manejar correctamente desde el inicio los residuos con potencial tóxico.

Las plantas de energía geotérmica son consideradas como una de las mejores opciones en cuanto a emisión de gases. De acuerdo con Duffield y Sass (2003), las plantas geotérmicas llegan a emitir alrededor del 1% de dióxido de azufre y dióxido de nitrógeno, y alrededor de 5% de dióxido de carbono, en comparación con lo que emitirían plantas de energía con capacidad similar utilizando carbón (WBG, 2007). Por otro lado, estudios realizados por la IGA en el año 2002, estiman que las plantas geotérmicas llegan a emitir hasta un 83.9% menos de CO₂ que una planta de energía por combustible fósil. Sumado a ello, las plantas geotérmicas binarias virtualmente no emiten gases por ser un sistema de ciclo cerrado (Ogola, 2005).

Dejando a un lado las ventajas ambientales que representa optar por plantas geotérmicas para suplir las demandas de energía en la mayoría, existen otros factores a considerar en cuanto a planificación, desarrollo y operación de éstas. Para ello es necesario realizar un correcto análisis de impacto ambiental y social del proyecto. La ubicación del proyecto, las características ambientales de la zona, la presencia o no de comunidades dentro del área, entre muchos otros aspectos, harán de cada análisis de impacto ambiental y social un proceso, estudio y gestión únicos, con sus propios retos y problemas a resolver.

Además, se deben tomar en cuenta los peligros naturales particulares de la zona en la que se realizará el proyecto. Estos pueden incluir un estudio geológico detallado para detectar fallas geológicamente activas; estudios topográficos si la zona es susceptible a deslizamientos como se observa en la Figura 2.2; así como otros peligros naturales particulares de la zona, como alta actividad volcánica, sísmica o zonas vulnerables a tormentas tropicales, entre otros. Para ello es necesario detectar los potenciales riesgos y realizar planes de respuesta ante diversos tipos de riesgo desde las etapas de planificación del proyecto.



Figura 2. 2 Deslave en campo geotérmico Zunil, Guatemala; destruyendo infraestructura y obstruyendo vías de comunicación. Enero de 1990. Fuente: DiPippo (2008), (cortesía de Geothermal Resources Council).

Por otro lado, un proyecto económico y ambientalmente bien evaluado puede ser muy difícil de realizarse si cuenta con poca o ninguna aceptación social. Esta aceptación social dependerá de las circunstancias en las que se encuentran las comunidades cercanas al proyecto a desarrollar. Generalmente se puede lograr el apoyo de los habitantes si se enfatiza que este tipo de proyectos crea más vías de comunicación y activa la economía de los poblados cercanos, lo cual se puede ver como un efecto positivo. Una buena práctica es proponer proyectos paralelos al desarrollo de la planta geotérmica; como por ejemplo la producción alimentos, zonas recreativas u otros; en donde se aproveche también los recursos geotérmicos para generar un mayor número de fuentes de empleo.

Durante el desarrollo de una planta de energía se debe procurar no interferir de forma negativa con las actividades económicas y culturales de las comunidades, ni afectar los recursos naturales que utilizan. Una vez realizada la evaluación del impacto ambiental, es recomendable el acceso público a la información del proyecto cuanto antes. Con esto se logrará evitar especulaciones por falta de información; además servirá para recibir retroalimentación de parte de las comunidades cercanas, opinión que podría ser tomada en cuenta oportunamente.

En algunos casos la aceptación social es bastante difícil por aspectos culturales y religiosos como en el caso de Hawaii, en donde a pesar de contar con grandes recursos geotérmicos, sus creencias y costumbres no han permitido hacer un uso exhaustivo de éstos.

Otra de las razones por las que un proyecto de energía geotérmica tendría poca aceptación social dependerá mucho del uso que anteriormente tenía la zona a explotar; como áreas protegidas, zonas turísticas o consideradas sagradas por las comunidades. Se muestra en la Figura 2.3, imágenes correspondientes a manifestaciones llevadas a cabo en el año 1990 en Hawaii. Estas manifestaciones fueron en contra del desarrollo de energía geotérmica en las islas. Sus protestas fueron motivadas tanto por aspectos culturales de la isla; así como por el desacuerdo en cuanto a las zonas en donde se planeaba desarrollar los proyectos.



Figura 2. 3 Protestas en contra del desarrollo de energía geotérmica en Hawaii; Marzo de 1990. Fuente: Hawaiian Voice.

Para que la energía geotérmica gane popularidad como una alternativa dentro de las energías renovables, es necesario identificar de forma clara los impactos sociales y ambientales durante su desarrollo, con el fin de planificar y aplicar las mejores medidas y acciones. Esto se logra a través del constante análisis y monitoreo de los impactos que ocasiona cada actividad del proyecto, desde sus etapas iniciales (Ogola, 2005).

Es una buena práctica y debería de ser obligatorio tomar en cuenta las necesidades sociales y solicitudes de las comunidades e integrarlas durante las etapas de planificación y manejo de cualquier proyecto geotérmico. Evaluar conjuntamente los impactos sociales y ambientales junto con el costo general de un proyecto geotérmico debería ser el único procedimiento aceptable para evaluar si un proyecto es económicamente rentable o no. Un proyecto geotérmico correctamente desarrollado, sin perder en vista los aspectos sociales y ambientales deberá presentar más beneficios que impactos negativos; caso contrario al que se observa en muchos proyectos de explotación de recursos naturales en general.

Los posibles impactos ambientales negativos debido a proyectos de energía geotérmica pueden ser disminuidos significativamente o completamente eliminados con un desarrollo y operación adecuada y responsable del proyecto. Si bien muchos de los recursos geotérmicos están ubicados en áreas remotas, esto no es sinónimo de una baja o nula afectación ambiental y social. Sumado a ello, es necesario realizar estudios de impacto en la biodiversidad, ya que usualmente se llegan a reportar especies amenazadas o en peligro de extinción; o especies ya sea de flora o fauna endémicas que pueden ser afectadas.

a. Uso de Suelo y otras posibles afectaciones

Como ya se indicó antes, la generación de energía eléctrica con base en geotermia suele ser una opción bastante ventajosa en cuanto a uso de suelo se refiere; tanto ambientalmente como al poco uso de suelo que éstas requieren. No suele ser necesario dañar ríos o deforestar bosques; tampoco realizar grandes excavaciones, túneles, mantener pozos abiertos, ni existe gran riesgo de derrames de aceite. Incluso se pueden situar en zonas agropecuarias o en bosques, donde es posible compartir el uso de suelo con ganado o animales silvestres (Ogola, 2005), como se observa en la Figura 2.4. Además, puede llegar a ser beneficioso para otro tipo de industrias como acuicultura e invernaderos (Björnsson, 2010).



Figura 2. 4 Ganado junto a tubería en la planta geotérmica de Miravalles, Costa Rica. Fuente: DiPippo (2012).

Durante un proyecto de perforación de pozos exploratorios en una zona geotérmica, en lo que respecta al uso y afectación del suelo, es importante tener en cuenta que entre más área se interfiera para realizar el proyecto mayor podrá ser el efecto potencialmente negativo para la zona. Entre los efectos negativos por un mayor uso de suelo sin ser necesario se puede mencionar tala o remoción de la vegetación, erosión de suelos y desplazamiento de fauna.

En cuanto a estabilidad del suelo, las zonas predominantemente volcánicas son susceptibles de forma natural a derrumbes o procesos de remoción en masa debido a su topografía. Esta susceptibilidad se incrementa al modificar el relieve para crear infraestructura, modificar el flujo de agua y en algunos casos inducir microsismicidad a la zona; todo esto es prácticamente inevitable al desarrollar y operar una planta geotérmica (DiPippo, 2012; Kagel *et al.*, 2007).

De acuerdo con Barbier (2002), un estudio realizado en el campo geotérmico de Larderello, sugiere una correlación entre la reinyección de fluidos geotérmicos y eventos sísmicos de baja magnitud. Bayer *et al.* (2013) y Kagel *et al.* (2007), menciona como casos muy raros, la elevación del subsuelo debido a la reinyección de fluidos.

Otra de las afectaciones asociadas al desarrollo y operación de una planta de energía geotérmica es la posible subsidencia del terreno. Aún resulta difícil generalizar bajo qué circunstancias, forma de operación, o qué tipo de campos geotérmicos son más propensos para observar este tipo de fenómenos (DiPippo, 2008). Como ejemplo, se puede mencionar el campo geotérmico de Wairakei en Nueva Zelanda, que presenta grandes tasas de subsidencia; en especial en la zona norte del campo, con rangos de hasta 15 metros de subsidencia del terreno desde el inicio de la operación de la planta en la década de 1950 (DiPippo, 2012; Kagel *et al.*, 2007). Como casos opuestos se pueden mencionar el mayor campo geotérmico en E.U.A, Imperial Valley, en donde no se han registrado rangos de subsidencia de manera significativa (DiPippo, 2012).

En la mayoría de los casos, durante la operación de una planta geotérmica, rangos considerables de subsidencia en el terreno pueden ocasionar problemas con tuberías y pozos, daños a instalaciones de la planta y sus accesos, e incluso inundaciones permanentes en ciertas zonas del campo (Kagel *et al.*, 2007; DiPippo, 2012; Bayer *et al.*, 2003; Ogola, 2005). Entre otros problemas ambientales relacionados a la subsidencia del terreno se puede mencionar cambios en la escorrentía superficial, así como alteraciones del régimen hidrológico en mayor escala (Bayer *et al.*, 2003). Vale la pena destacar que la subsidencia del terreno en algunos casos puede también ocurrir de manera no relacionada a la explotación del campo.

Sin embargo, es claro que una de las causas de este fenómeno es la extracción de fluidos del subsuelo. Esta actividad da como resultado la reducción de la presión del poro dentro del reservorio en cuestión, perdiendo así soporte de la roca que sobreyace a este (Barbier, 2002). Este fenómeno no sólo se observa al extraer fluidos geotérmicos; también se ha observado como consecuencia de la extracción de agua subterránea o hidrocarburos.

Una de las medidas que se puede tomar para reducir el riesgo de subsidencia es la reinyección de los fluidos geotérmicos una vez ya utilizados; esto con el fin de disminuir la diferencia entre la tasa de extracción y la tasa de recarga del recurso geotérmico en el reservorio (DiPippo, 2012; Barbier, 2002). De esta manera se logrará mantener la presión del fluido en el reservorio, así como conservar el carácter renovable del recurso (Kagel *et al.*, 2003; Ogola, 2005).

El monitoreo para la alerta a deslaves o efectos como subsidencia o actividad microsísmica pueden ser hoy en día evaluados con gran precisión; aunque la instalación del equipo para ello puede llegar a tener un costo elevado (DiPippo, 2012; Kagel *et al.*, 2003). A pesar de ello, es bastante recomendable realizar un monitoreo cuidadoso y constante del relieve y la actividad sísmica; de igual manera llevar registros de las operaciones realizadas en las plantas para futuras evaluaciones y estudios. Los campos geotérmicos mejor estudiados por diversos autores, en cuanto a microsismicidad y subsidencia se refiere, son Larderello en Italia y Wairakei en Nueva Zelanda.

b. Uso de Agua y Alteraciones en Cuerpos de Agua

La extracción de agua, ya sea de cuerpos superficiales o acuíferos, puede llegar a ser necesaria para desarrollar casi cualquier etapa de un proyecto geotérmico; como perforación, pruebas de inyección, o para sistemas de enfriamiento. Sin embargo, el consumo de ésta no es significativo, comparado con otros tipos de plantas de generación de energía. Gran cantidad del agua utilizada para sistemas de enfriamiento puede ser reincorporada a los cuerpos de agua superficiales si la calidad de ésta no cambió a excepción de un leve incremento de temperatura.

Ogola (2005), menciona que en los proyectos de exploración geotérmica llevados a cabo por la empresa KenGen en Kenia; se llegan a utilizar en promedio 1,000 m³ de agua por día durante actividades de perforación, por pozo. Estas cifras contrastan para actividades de operación de planta; en donde se utilizan en promedio 59,000 m³ de agua por año, por cada estación. Vale la pena destacar que las actividades de perforación no son actividades constantes y una vez instalada la planta de energía, las actividades de perforación de pozos exploratorios llegan a ser muy esporádicas.

Otro ejemplo del uso de agua no geotérmica para la generación de energía se menciona en Kagel *et al.* (2003); comparando la planta de energía geotérmica Telephone Flat, y la planta de energía eléctrica por gas natural Sutter, ambas ubicadas en California. La planta de energía geotérmica con capacidad de generación de 48 MW utiliza hasta 6 mil galones de agua por día para sus operaciones, mientras que la planta Sutter con una capacidad de generación de 500 MW utiliza hasta 4 millones de galones de agua por día para poder operar.



Figura 2. 5 Barita utilizada como aditivo para los lodos de perforación en el campo geotérmico Theistareykir, Islandia.
Fuente: Archivo de la autora, 2016.

Los fluidos utilizados durante la etapa de perforación pueden llegar a ser con base de aceite, así como con base de agua; pueden contener diversos aditivos con el propósito de controlar las diferencias de presión dentro del pozo. Otro de los propósitos de los aditivos es actuar en contra de la viscosidad y evitar rupturas (WBG, 2007). Los cortes de perforación utilizando fluidos con base de aceite son de gran preocupación ambiental debido a las sustancias contaminantes que acompañan a éstos. En caso de no tener sustancias tóxicas, éstos pueden ser reutilizadas (WBG, 2007).

Como se mencionó, el agua, así como el vapor condensado proveniente de pozos geotérmicos pueden llegar a tener una gran cantidad de químicos tóxicos como arsénico (As), plomo (Pb), cadmio (Cd), hierro (Fe), zinc (Zn), antimonio (Sb), litio (Li), bario (Ba) y aluminio (Al); éstos en la mayoría de los casos en concentraciones más altas que las aceptables según las normas ambientales. Los potenciales contaminantes, especialmente metales pesados de las salmueras de fuentes geotérmicas, variarán de acuerdo con las condiciones del reservorio; como geología, edad, temperatura y fuente de recarga del reservorio; así como los lodos de perforación utilizados.

Muchos de estos metales disueltos pueden tener un efecto negativo en el ambiente si no son reinyectados dentro del reservorio; como por ejemplo, altas concentraciones de metales pesados en el suelo y vegetación (Ogola, 2005). La planta geotérmica Olkaria I en Kenia, almacena las aguas de desecho en pozas antes de su debida reinyección. Las vegetación y suelo alrededor de estas pozas se ha determinado que tienen alta concentración de elementos traza como plomo (Pb), zinc (Zn), cobre (Cu), cadmio (Cd), mercurio (Hg), níquel (Ni) y boro (B).

El recurso será renovable siempre que la tasa de extracción sea menor a la tasa de recarga; por lo que el uso sustentable de este recurso dependerá en gran medida del constante monitoreo del flujo del reservorio, así como la reinyección del recurso una vez extraído y utilizado (Ogola, 2005). Considerando también el último aspecto, la reinyección de los fluidos geotérmicos no sólo alarga la vida útil del reservorio para su explotación; también disminuye la emisión de gases contaminantes, evita la contaminación de cuerpos de agua y suelo, afectación de la vegetación, y puede prevenir la subsidencia del terreno; como se ha discutido a lo largo de este capítulo.

c. Calidad del Aire

Las emisiones debido a plantas geotérmicas incluyen gases como dióxido de carbono (CO_2), ácido sulfhídrico (H_2S), amonio (NH_3), metano (CH_4), nitrógeno (N_2) e hidrógeno (H_2). Las emisiones de CO_2 y CH_4 causan un particular interés ambiental debido a que éstos son gases de efecto invernadero.

Por otro lado, el gas que más llega a preocupar ambientalmente, debido a su toxicidad, es el ácido sulfhídrico. Este gas llega a oxidarse a ácido sulfúrico, el cual provoca lluvia ácida. Este gas representa también un potencial riesgo a la seguridad del personal de la planta e incluso a comunidades cercanas, en caso de no prestar la debida atención.

A pesar de que la energía geotérmica está evaluada muy positivamente en cuanto a las emisiones de gases que suelen preocupar ambientalmente, no hay que subestimar el impacto en la calidad del aire a nivel local (Ogola, 2005). Otras sustancias en menor medida, como amonio, boro, metano y cantidades traza de mercurio, pueden llegar a afectar la vegetación, suelos e incluso la vida acuática en cuerpos de agua cercanos a la planta al ser incorporadas estas sustancias al agua de lluvia. Las emisiones de cantidades traza de Hg pueden ser comparables a las de plantas de energía con base en carbón.

Los fluidos geotérmicos ya sea en forma de agua o vapor, presentan diferentes proporciones en su composición química; según sea la naturaleza del reservorio, su origen, geología, edad, entre otros. Además, estos fluidos pasan por diferentes procesos y tecnologías según la planta de energía, lo que da como resultado diferentes cantidades y composiciones de las emisiones. En la Tabla 2.1 se indica los tipos de gases más comunes en campos geotérmicos, junto con información acerca de éstos.

Tipo de Gas	Gas de Efecto Invernadero	Emisiones en concentraciones potencialmente Tóxicas	Presenta Olor	Corrosivo	Flamable
CO ₂	Sí	No	No	No	No
H ₂ S	No	Sí	Sí	Sí	Sí
CH ₄	Sí	No	No	No	Sí
H ₂	No	No	No	No	Sí
NH ₃	No	Sí	Sí	No	No
N ₂	No	No	No	No	No
Ar	No	No	No	No	No
Hg, B, Rn	No	Sí	No	No	No

Tabla 2. 1 Gases emitidas en actividades de exploración y explotación de energía geotérmica, así como información de las mismas. Fuente: RG (2016).

Como utilización en campos de baja temperatura, el CO₂ encontrado en fluidos geotérmicos puede proporcionar beneficios en su uso directo a invernaderos para estimular el crecimiento de plantas. Estudios han demostrado que un incremento en CO₂ a partir de niveles normales de 300 ppm a 1000 ppm favorece el proceso de fotosíntesis; como consecuencia, las producciones de cultivo incrementaron hasta en un 15% (Ogola, 2005). Autores como Bayer *et al.* (2013) y Barbier (2002), concuerdan que las emisiones de CO₂ no son significativamente mayores a las emisiones que ocurren en las zonas geotérmicas naturalmente debidas a las manifestaciones superficiales del campo.



Figura 2.6 Fumarolas y pozas de lodo en el área geotérmica Námajfall al norte de Islandia. A una profundidad de un kilómetro se registran temperaturas superiores a los 200 °C. Junto con el vapor de las fumarolas se identifica ácido sulfhídrico, que le da el olor característico a esta área; además de otros gases como CO₂. Los manantiales termales producen considerables depósitos de azufre en el área. Fuente: Archivo de la autora (2016).

Sin embargo, en sistemas de altas temperaturas, cuando se reduce la presión del sistema debido a la producción de energía, se induce la ebullición que puede tener como consecuencia un incremento en la producción de vapor. Esto puede dar como resultado también un aumento en la actividad superficial del campo; ya sea en la actividad de las fumarolas o en la temperatura del suelo. A pesar de no ser ampliamente documentados los casos en que esto ocurre, Fridriksson *et al.* (2017) mencionan dos casos donde sí se ha documentado cuantitativamente este fenómeno, los campos geotérmicos de Wairakei y Ohaaki en Nueva Zelanda y el campo geotérmico de Reykjanes en Islandia.

Una porción bastante importante de las emisiones de CO₂ que provienen de los fluidos se debe al tipo de roca que alberga el sistema geotérmico. La mayoría de sistemas geotérmicos son de tipo volcánico, con predominancia de rocas de origen ígneo; en donde debido a las interacciones químicas entre los fluidos geotérmicos y este tipo de roca con bajas cantidades de carbonatos, da como resultado emisiones de CO₂ no tan altas comparado con otras plantas geotérmicas con diferente contexto geológico (Fridriksson *et al.*, 2017).

Caso contrario se observa en los pocos sistemas geotérmicos donde predomina rocas sedimentarias. Como ejemplo, la región occidental de Turquía, o en la Toscana, Italia; donde las emisiones de este gas pueden llegar a ser superiores a 500 g/kW. A veces incluso son mayores a 1,000 g/kWh (Fridriksson *et al.*, 2017), en contraste con 122.7 g/kWh de CO₂ que emite en promedio una planta geotérmica. Este promedio se obtuvo de un estudio de 85 plantas en 11 países diferentes, excluyendo del estudio plantas de ciclo binario (IGA, 2002; Bertani y Thain, 2002 en Fridriksson *et al.*, 2017).

Las emisiones de gases llegan a ocurrir tanto durante la perforación de los pozos, así como en las actividades de evaluación de los mismos, no únicamente en la etapa de producción. De igual manera durante la operación de la planta, las emisiones provienen de los silenciadores conectados a las ventilas, así como durante el desfogue de pozos por alteraciones del reservorio. Las emisiones de ácido sulfhídrico suelen ser particularmente mayores durante actividades de desfogue (WBG, 2007). Las emisiones debido a actividades de exploración son menores y mayoritariamente causadas por generadores de diésel de las maquinarias empleadas. Durante la evaluación de los pozos, el vapor caliente que es liberado tiene impacto temporal en la vegetación y cultivos circundantes; de igual manera la calidad del aire se puede ver afectada a causa de las emisiones de H₂S (Ogola, 2005).

En la operación de un campo geotérmico, es necesario constantemente monitorear todo tipo de emisiones, en especial durante los primeros años del proyecto. Posteriormente, con el avance de los años, el reservorio llega a estabilizarse; además en la mayoría de los casos la fracción de gases contaminantes llega a declinar con el tiempo (Ogola, 2005). En caso de observarse temporalmente algún tipo de incremento de emisiones, en especial de CO₂, esto probablemente se deba a algún evento magmático que está experimentando el reservorio (Fridriksson *et al.*, 2017).

Como ya se mencionó, la emisión de gases en actividades relacionadas a la geotermia que más llega a preocupar, debido a su toxicidad, es el ácido sulfhídrico. Una planta geotérmica sin un proceso de abatimiento en sus emisiones puede generar aproximadamente la mitad de H₂S que genera una planta de energía a partir de carbón (Barbier, 2002). El rango de emisiones de H₂S en plantas geotérmicas se puede considerar que varía entre 0.03 - 6.4 g/kWh (KAPA systems, 2000; en Ogola, 2005). Algunos de los posibles impactos a la salud debido al H₂S se muestran en la siguiente tabla.

Concentración en ppm	Efectos
1 - 10	Olor ofensivo.
10 - 20	Dentro de los límites de exposición durante la jornada laboral.
20 - 100	Límite máximo de exposición ocupacional. Trabajadores expuestos a éstos niveles deben utilizar mascarillas para respirar.
100 - 200	Pérdida de sentido del olfato (2-15 min). Molestias en garganta y pecho; dolor de cabeza, náuseas, tos e irritación dérmica.
200 - 500	Pérdida de razonamiento y equilibrio. Problemas respiratorios dentro de los 2-5 minutos de exposición. Se requiere atención médica.
500 - 1000	Puede causar inconsciencia inmediata. Posible daño cerebral o muerte, en caso de no ser auxiliado pronto.
1000 - 2000	Muerte inmediata por fallas respiratorias.

Tabla 2. 2 Efectos por exposición aguda al H₂S para la salud según diferentes concentraciones. Fuente: Ogola (2005).

Concentraciones de H₂S por debajo de los 20 ppm no suelen ser consideradas dañinas para la salud, a menos que existan personas asmáticas; en donde el límite máximo de tolerancia a este gas debería establecerse en 2 ppm. Se estima que concentraciones por encima de los 0.02 ppm de H₂S empiezan a ser perceptibles para el ser humano (Aráuz-Torres *et al.*, 2015). La OMS establece un límite para el H₂S de 150 µg/m³ promedio por cada 24 horas de exposición; además se estima que una exposición de 30 minutos a concentraciones alrededor de 7 µg/m³ llega a ser nauseabundo (WHO, 2000).

Procesos para control de emisión de ácido sulfhídrico incluyen sistemas de lavado húmedos o en seco; así como procesos de reducción/oxidación en fase líquida (WBG, 2007). En el caso de otros contaminantes en las emisiones como el mercurio volátil, se suele controlar los niveles de emisión por medio de la condensación del flujo en donde posteriormente se aplica diversos métodos para adsorción del mercurio (WBG, 2007).

En lo que respecta a la medición y análisis de emisiones provenientes de plantas de energía, existen dos tipos de enfoque. El primero es el análisis de emisiones del ciclo de la planta en general o *life cycle emissions* y el segundo es el análisis de emisiones en sí de la producción de la planta, *fuel cycle emissions*, o bien, *operational emissions* (Fridriksson *et al.*, 2017; y Kagel *et al.*, 2007). El primero de estos ciclos incluye la evaluación de las emisiones relacionadas a la construcción de la planta y otras instalaciones, actividades de perforación de pozos, e incluso las actividades de desmantelamiento de la planta. El segundo tipo de análisis se enfoca únicamente al proceso de conversión de energía; es decir, las emisiones generadas únicamente por la planta en operación.

d. Ruído

Bayer *et al.*(2013) y Barbier (2002), estiman que los pozos geotérmicos en perforación o bajo mantenimiento pueden presentar altos niveles de ruido (122-90 dB en descarga libre, 90-75 dB con silenciadores). El Grupo del Banco Mundial, en sus Lineamientos Medioambientales, de Salud y Seguridad para la Generación de Energía Geotérmica (WBG, 2007), considera que los niveles de ruido llegan a exceder los 100 dB durante actividades como perforación y desfogue del vapor de los pozos.

Como referencia, la mayoría de la literatura concuerda que el umbral del dolor en los humanos inicia a los 120 dB. Por otro lado, el Grupo del Banco Mundial publicó lineamientos medioambientales en cuanto a niveles de emisión de ruido (WBG, 2007); estas publicaciones están basadas principalmente en los lineamientos de la Organización Mundial de la Salud en cuanto a ruido ambiental, *Guidelines for Community Noise*, (WHO, 1999). Ambas publicaciones concuerdan sugerir como límites máximos de emisión de ruido 45 dB en horario nocturno y 55 dB en horario diurno. Estos límites la OMS los justifica debido a las consecuencias que pueden causar a la salud a corto y largo plazo la exposición a niveles de ruido mayores de los indicados.

Durante el desarrollo de un proyecto geotérmico, DiPippo (2008) señala que las actividades que pueden llegar a presentar mayores niveles de ruido son durante la construcción de carreteras, excavación para preparar las plataformas de perforación, así como la perforación y prueba de pozos. Existen diversas medidas que se pueden tomar para disminuir gran parte de este tipo de ruido; se hablará de ello más adelante en el quinto y sexto capítulo.



Figura 2. 7 Separador horizontal con silenciador para prueba de pozos ya perforados; Theistareykir, Islandia. Fuente: Archivo de la autora (2016).

En cuanto al ruido generado durante la operación de una planta geotérmica, se pueden mencionar diversos componentes que destacan por presentar altos niveles de ruido. Entre éstos, DiPippo (2008), señala: transformadores, generadores, torres de enfriamiento, motores, bombas y ventiladores para la circulación de agua y aire relacionados al sistema de enfriamiento, circulación de vapores y otros fluidos geotérmicos.

e. Impacto en la Biodiversidad y Vegetación

Existen medidas que se pueden tomar en cuenta para asegurarse de no perjudicar indirectamente ninguna especie o especies. Por ejemplo, el constante monitoreo de los cuerpos de agua superficiales alrededor de la zona; tanto en calidad del agua como en el nivel del agua. Esto, debido a que las actividades de extracción de fluidos geotérmicos, dependiendo del volumen y la hidrogeología de la zona, pueden llegar a modificar en alguna manera los cuerpos de agua superficiales.

Con un monitoreo constante se asegura no comprometer, o al menos identificar a tiempo si alguna especie se está viendo afectada por cambios en algún cuerpo de agua superficial. Para tener éxito en la identificación oportuna de algún tipo de afectación a una especie en particular ya sea animal o vegetal, es indispensable crear una línea base de datos biológicos para la zona que se planea trabajar. Al realizar el monitoreo o recuento de estos datos se recomienda que sea de forma anual y durante la misma época del año, buscando que sea ejecutado bajo las mismas condiciones en las que se obtuvo la línea base original.

Afectaciones a la vegetación debido a la actividad geotérmica principalmente se debe a emisiones gaseosas; remoción física de la vegetación para la creación de caminos, plataformas de perforación o edificaciones; y por las salmueras tanto calientes o templadas que se depositan superficialmente en lugar de reinyectarse. Depositar fluidos geotérmicos sobre la superficie puede causar concentraciones altas de metales en el suelo y vegetación. Caso documentado es el de la planta geotérmica Olkaria I en Kenia, en donde la vegetación y suelo alrededor de las pozas con fluidos residuales de origen geotérmico poseen altas concentraciones de elementos traza como Pb, Zn, Cu, Cd, Hg, Ni y B. Por lo tanto, se concluye que la reinyección es el mejor método para aislar estos componentes tanto de la vegetación como de cuerpos de agua y de la fauna (Ogola, 2005).



Figura 2.8 Recolección de musgo previo a la instalación de una nueva tubería proveniente de la planta de energía geotérmica Hellisheidi, Islandia; otoño del 2014. El musgo recolectado fue congelado a manera de preservarse para utilizarse en la etapa de restauración de la zona una vez ya instalada la tubería, actividad planificada para la primavera del año 2015. Fuente: Reykjavík Energy (2014).

Como bien lo menciona Bayer *et al.* (2013), al finalizar la vida útil de una planta geotérmica se espera remover la planta de energía, cerrar los pozos y hacer todo lo posible para facilitar la restauración natural de la zona. Entre las medidas a tomar se puede incluir la reforestación de las áreas intervenidas con especies características o endémicas de la zona; como se observa en la Figura 2.8, así como la reconstrucción de topografía modificada anteriormente. Éstas acciones también se deben realizar al finalizar los proyectos relacionados a la exploración de éstos recursos, se prosiga con el proyecto o no.

MARCO LEGAL PARA PROYECTOS DE EXPLORACIÓN GEOTÉRMICA EN MÉXICO

a. Fundamento Legal para la creación de Evaluaciones de Impacto Ambiental en México

En la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, en términos de los derechos humanos menciona en su 4to Artículo y quinto párrafo que:

“Toda persona tiene derecho a un medio ambiente sano para su desarrollo y bienestar. El Estado garantizará el respeto a este derecho. El daño y deterioro ambiental generará responsabilidad para quien lo provoque en términos de lo dispuesto por la ley”.

Haciendo cumplir este párrafo de la Constitución nace la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA), creada en 1988 y reformada por última vez en el mes de enero del año 2015. Esta es la máxima ley en México referente a derecho y responsabilidad ambiental; que tiene como objetivo la protección, preservación y restauración del ambiente y el equilibrio ecológico.

El Artículo 28 de esta Ley indica que la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT o la Secretaría), establecerá las condiciones en las que se realizarán las obras o actividades que puedan causar desequilibrio ecológico o rebasar los límites y condiciones establecidos previamente. Con el propósito de regular los procedimientos para la evaluación de proyectos en materia de impacto ambiental que requieran autorizaciones previas, la LGEEPA hace uso recurrente del Reglamento de esta misma Ley en Materia de Evaluación de Impacto Ambiental (DOF 30-05-2000, con última reforma publicada en el DOF 31-10-2014).

Tanto la LGEEPA en su Artículo 28, fracciones I al XII; así como el Reglamento de esta Ley en su Artículo 5, apartados A al V; enlistan una serie de obras o actividades las cuales requerirán de la autorización en materia de impacto ambiental por parte de la Secretaría, antes de iniciar los proyectos. La LGEEPA solicita que las obras o actividades las cuales se encuentren exentas de una previa evaluación de impacto ambiental, se sujeten a los reglamentos, normas oficiales mexicanas en materia ambiental, legislaciones, autorizaciones, permisos y concesiones requeridas (Art. 29). Además, la Secretaría podrá determinar qué obras o actividades podrán exonerarse del procedimiento de evaluación de impacto ambiental; cuando éstas ya sea por su ubicación, dimensión, características o alcances, no puedan causar desequilibrios ecológicos o rebasar límites establecidos en las disposiciones jurídicas referentes a la preservación del equilibrio ecológico y la protección al ambiente.

La Secretaría considera dos formas de presentación de información para evaluación del impacto ambiental de obras o acciones sujetas a previa autorización. Estas dos formas de presentación de documentos son el Informe Preventivo (IP), y la Manifestación del Impacto Ambiental (MIA); esta última con dos modalidades, regional y particular.

i. Informe Preventivo

En el Artículo 3ro, fracción XI del Reglamento de la LGEEPA entiende como Informe Preventivo al "documento mediante el cual se da a conocer los datos generales de una obra o actividad para efectos de determinar si se encuentra en los supuestos señalados por el Artículo 31 de la Ley, o requiere ser evaluada a través de una Manifestación de Impacto Ambiental".

De acuerdo al Artículo 31 de la LGEEPA, así como en el Artículo 29 del Reglamento de Ley, las obras o actividades que deberán de presentar un Informe Preventivo en vez de una MIA son las que entren en las siguientes fracciones:

- I. Existan normas oficiales mexicanas u otras disposiciones que regulen las emisiones, las descargas, el aprovechamiento de recursos naturales y, en general, todos los impactos ambientales relevantes que las obras o actividades puedan producir.
- II. Las obras o actividades que estén expresamente previstas por un plan parcial o programa parcial de desarrollo urbano o de ordenamiento ecológico que cuente con previa autorización en materia de impacto ambiental respecto del conjunto de obras o actividades incluidas en él.
- III. Se trate de instalaciones ubicadas en parques industriales previamente autorizados por la Secretaría, en los términos de la Ley y del Reglamento de esta Ley.

Como se indica en el Artículo 30 del Reglamento de Ley, el Informe Preventivo deberá contener la siguiente información:

- I. Datos de Identificación:
El nombre y la ubicación del proyecto, los datos generales del promovente, y los datos generales del responsable de la elaboración del informe.
- II. Referencias:
A las normas oficiales mexicanas u otras disposiciones que regulen las emisiones, las descargas o el aprovechamiento de recursos naturales aplicables a la obra o actividad; al plan parcial de desarrollo urbano o de ordenamiento ecológico en el cual queda incluida la obra o actividad; o a la autorización de la Secretaría del parque industrial en el que se ubique la obra o actividad.
- III. Información adicional:
 - a) La descripción general de la obra o actividad proyectada.
 - b) La identificación de las sustancias o productos que vayan a emplearse y que puedan impactar el ambiente, así como sus características físicas y químicas.
 - c) La identificación y estimación de las emisiones, descargas y residuos cuya generación se prevea, así como las medidas de control que se pretendan llevar a cabo.
 - d) La descripción del ambiente y, en su caso, la identificación de otras fuentes de emisión de contaminantes existentes en el área de influencia del proyecto.
 - e) La identificación de los impactos ambientales significativos o relevantes y la determinación de las acciones y medidas para su prevención y mitigación.
 - f) Los planos de localización del área en la que se pretende realizar el proyecto.
 - g) En su caso, las condiciones adicionales que se propongan con el fin de evitar, atenuar, o compensar los impactos ambientales adversos.

Con el IP, la Secretaría determinará si es necesario o no, estudios ambientales más a profundidad de los ya presentados en ese informe. De ser así, la Secretaría solicitará a los responsables del proyecto realizar y presentar una MIA, y en qué tipo de modalidad, regional o particular.

ii. Manifestación de Impacto Ambiental

El Artículo 3ro, fracción XXI, de la LGEEPA entiende como Manifestación de Impacto Ambiental al "documento mediante el cual se da a conocer, con base en estudios, el impacto ambiental, significativo y potencial que generaría una obra o actividad, así como la forma de evitarlo o atenuarlo en caso de que sea negativo".

Para las actividades que no se encuentran contempladas dentro del Artículo 31, pero sí dentro de las señaladas en Artículo 28, fracciones I al XII de la LGEEPA; o en el Artículo 5 del Reglamento de esta Ley, puede que se deba realizar una MIA de acuerdo al proyecto. Para ello, se deberán presentar informes, dictámenes, y todas las consideraciones que el interesado crea a conveniencia con el fin de que la Secretaría pueda determinar si se necesita realizar y presentar una MIA y en qué modalidad, tal como se señala en el Artículo 10 del Reglamento de Ley.

El Artículo 11 del Reglamento señala en las siguientes cuatro fracciones en qué ocasiones se deberá presentar una Manifestación de Impacto Ambiental en modalidad regional:

- I. Cuando se trate de parques industriales y acuícolas, granjas acuícolas de más de 500 hectáreas, carreteras y vías férreas, proyectos de generación de energía nuclear, presas y, en general, proyectos que alteren las cuencas hidrológicas.
- II. Cuando sea un conjunto de obras o actividades que se encuentren incluidas en un plan o programa parcial de desarrollo urbano o de ordenamiento ecológico que haya sido sometido por autoridades municipales o estatales.
- III. Al ser un conjunto de obras y actividades a realizarse en una región ecológica determinada.
- IV. O al tratarse de proyectos que pretendan desarrollarse en sitios en los que por su interacción con los diferentes componentes ambientales regionales, se prevean impactos acumulativos, sinérgicos o residuales que pudieran ocasionar la destrucción, el aislamiento o la fragmentación de los ecosistemas.

En caso de que el proyecto tenga actividades consideradas como altamente riesgosas, se deberá además incluir dentro de la MIA un estudio de riesgo, tal como se señala en el Artículo 30, párrafo segundo de la LGEEPA, y en los Artículos 17 y 18 del Reglamento. El estudio de riesgo deberá contener como mínimo la siguiente información:

- I. Escenarios y medidas preventivas resultantes del análisis de los riesgos ambientales relacionados con el proyecto.
- II. Descripción de las zonas de protección en torno a las instalaciones.
- III. Señalamiento de las medidas de seguridad en materia ambiental.

Cuando la realización de una obra o actividad también requiera el cambio de uso de suelo de áreas forestales, selvas y zonas áridas; dentro de la misma MIA se podrá entregar información de ambos proyectos (Artículo 14, Reglamento de Ley). Esto, debido a que la Secretaría considera como una actividad que requiere autorización en materia de impacto ambiental el cambio de uso de suelo cuando se planea llevar a cabo en áreas forestales, selvas y zonas áridas, con algunas excepciones; como se señala en el Art. 5, apartado O del Reglamento de Ley.

En la Tabla 3.1 se señala la información requerida para la presentación de una Manifestación de Impacto Ambiental; ya sea en la modalidad particular señalada en el Artículo 13, o en la modalidad regional señalada en el Artículo 13 del Reglamento de Ley.

MIA Particular Artículo 12 Reglamento de la LGEEPA	MIA Regional Artículo 13 Reglamento de la LGEEPA
I. Datos generales del proyecto, del promovente y del responsable del estudio de impacto ambiental.	I. Datos generales del proyecto, del promovente y del responsable del estudio de impacto ambiental.
II. Descripción del proyecto.	II. Descripción de las obras o actividades y, en su caso, de los programas o planes parciales de desarrollo.
III. Vinculación con los ordenamientos jurídicos aplicables en materia ambiental y, en su caso, con la regulación sobre uso del suelo.	III. Vinculación con los instrumentos de planeación y ordenamientos jurídicos aplicables.
IV. Descripción del sistema ambiental y señalamiento de la problemática ambiental detectada en el área de influencia del proyecto.	IV. Descripción del sistema ambiental regional y señalamiento de tendencias del desarrollo y deterioro de la región.
V. Identificación, descripción y evaluación de los impactos ambientales.	V. Identificación, descripción y evaluación de los impactos ambientales, acumulativos y residuales, del sistema ambiental regional.
VI. Medidas preventivas y de mitigación de los impactos ambientales.	VI. Estrategias para la prevención y mitigación de impactos ambientales, acumulativos y residuales, del sistema ambiental regional.
VII. Pronósticos ambientales y, en su caso, evaluación de alternativas.	VII. Pronósticos ambientales regionales y, en su caso, evaluación de alternativas.
VIII. Identificación de los instrumentos metodológicos y elementos técnicos que sustentan la información señalada en las fracciones anteriores.	VIII. Identificación de los instrumentos metodológicos y elementos técnicos que sustentan los resultados de la manifestación de impacto ambiental.

Tabla 3. 1 Información que deberá contener una Manifestación de Impacto Ambiental en modalidad particular y regional de acuerdo a lo solicitado por el Reglamento de la Ley General de Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en Materia de Impacto Ambiental.

iii. Resolución sobre la Evaluación del Impacto Ambiental

Posterior a la evaluación del IP o de la evaluación de la MIA, la Secretaría dará dictamen a la solicitud del permiso para desarrollar el proyecto. El Artículo 44 del Reglamento de Ley establece las consideraciones en las que se basará la Secretaría para emitir el dictamen; en donde la Secretaría podrá autorizar, no autorizar, o autorizar bajo diversas condicionantes el desarrollo del proyecto. Como se señala también en el Artículo 45 del Reglamento, en caso de existir condicionantes o modificaciones que acompañen a la autorización, estas tendrán el fin de asegurar la protección al ambiente, de especies bajo algún tipo de protección especial y velar que ninguna norma ambiental sea violada en cuanto a los límites permisibles de la emisión de descargas, ruido, sustancias contaminantes, planes de desarrollo urbano entre otros.

En algunos casos, la Secretaría podrá solicitar seguros o garantías como una de las condicionantes cuando el proyecto que se pretende llevar a cabo pueda producir daños graves a los ecosistemas, o se desarrolle en Áreas Naturales Protegidas. El monto dependerá del valor de la recuperación de los daños que puedan ocasionarse por el incumplimiento de las condiciones con las que se emitió la resolución favorable (Capítulo VIII, Reglamento de Ley).

En los Artículos del 47 al 50 del Reglamento de Ley se establecen las obligaciones en cuanto al cumplimiento de las normas aplicables al proyecto, así como la obligación de acatar las condiciones en las que la Secretaría podría haber emitido la autorización del proyecto. En el Capítulo IX del Reglamento de Ley también se señalan los procedimientos para la inspección de la correcta ejecución del proyecto; la verificación del cumplimiento de medidas de seguridad; y las sanciones establecidas en caso de algún tipo de incumplimiento en materia ambiental.

b. Otras Regulaciones Mexicanas Aplicables a Proyectos de Exploración Geotérmica

A continuación se presenta una lista de las leyes ambientales aplicables a proyectos que buscan el desarrollo de la industria geotérmica en México. Estos lineamientos se presentan aquí con el propósito de informar a los desarrolladores en una etapa temprana acerca de las leyes y normativas mínimas que se deberán consultar y seguir con el fin de desarrollar proyectos de energía geotérmica bajo el cumplimiento de las leyes en materia de protección ambiental.

Ley de Energía Geotérmica – DOF 11-08-2014

Forma parte de las nueve leyes creadas a partir de la reforma energética; buscando llenar los vacíos jurídicos que existían para realizar el aprovechamiento de fuentes geotérmicas. Busca regular el reconocimiento, la exploración y explotación de recursos geotérmicos para el aprovechamiento de la energía térmica en el subsuelo dentro de los límites del territorio nacional, con el fin de generar energía eléctrica o destinarla a otros usos directos (CEMDA, 2017). Esta ley dicta el procedimiento para adquirir permisos y concesiones para llevar a cabo la exploración y explotación de este recurso. De esta Ley se deriva el Reglamento de Ley de la Energía Geotérmica (DOF-31-10-2014).

Ley General de Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente – DOF 09-01-2015

Como ya se mencionó anteriormente, ésta es la máxima ley referente a derecho ambiental; la cual busca actuar a favor del orden público y el interés social, fomentando el desarrollo sustentable, así como:

- Garantizar el derecho a toda persona de vivir en un medio ambiente sano para su desarrollo, salud y bienestar.
- La preservación, restauración y mejoramiento del ambiente.
- La preservación y protección de la biodiversidad, así como el establecimiento y administración de las áreas naturales protegidas.
- El aprovechamiento sustentable, la preservación y restauración de los recursos naturales; así como la prevención y control de la contaminación en el aire, suelo y agua.

Ley de Aguas Nacionales – DOF 24-03-2016

Como cualquier otra ley que se deriva directamente de la Constitución, aplica para todo el territorio nacional. Tiene por objetivo regular la explotación, uso o aprovechamiento de estas aguas; así como su distribución, control, preservación en cantidad y calidad con el fin de lograr un desarrollo integral sustentable. De esta deriva el Reglamento de la Ley de Aguas Nacionales, en su última reforma publicada en el DOF 25-08-2014.

Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos – DOF 22-05-2015

Ley reglamentaria a las disposiciones de la Constitución, busca la protección al ambiente por medio de la prevención de la generación de residuos, la valorización y la gestión integral de residuos peligrosos, de los residuos sólidos urbanos y de manejo especial. También busca prevenir la contaminación de sitios debido a residuos y la remediación de sitios ya contaminados.

Ley de la Industria Eléctrica – DOF 11-08-2014

Tiene por objetivo regular la planeación y el control del sector eléctrico nacional; el servicio público de transmisión y distribución de energía eléctrica; y otras actividades relacionadas. Actualmente busca promover el desarrollo sustentable de esta industria, hacer cumplir las nuevas obligaciones adquiridas en cuanto al incremento de energías limpias y reducción de emisiones contaminantes. Considera como energías limpias aquellas que durante la generación de electricidad no rebasen los límites establecidos en las disposiciones reglamentarias de emisiones y residuos. De esta deriva el Reglamento de Ley de la Industria Eléctrica, DOF 31-10-2014.

NOM-150-SEMARNAT-2006

Esta es la norma más citada en este trabajo; establece las especificaciones técnicas que se deberán de seguir durante todo el proceso de perforación de pozos geotérmicos con fines de exploración. Desde los lineamientos, dimensiones, ubicación y procedimientos para la construcción de las plataformas de exploración; hasta la etapa de desmantelamiento y cierre de los pozos. Todos las especificaciones técnicas y lineamientos buscan proteger el medio ambiente durante este tipo de actividades.

NOM-081-SEMARNAT-1994

Esta Norma establece los límites máximos permisibles de emisión de ruido generada por fuentes fijas, así como el método de medición para determinar el nivel de ruido emitido. Cabe destacar que esta norma cuenta con una última actualización de los límites máximos permisibles de ruido, la cual fue publicada en el DOF 06-11-2013.

NOM-127-SAA1-1994

Establece los límites permisibles de calidad del agua, así como los tratamientos de potabilización para el uso y consumo humano. Estos límites permisibles los deben cumplir los sistemas de abastecimiento de agua potable públicos y privados; y también cualquier persona o empresa que la distribuya.

NOM-059-SEMARNAT-2010

Esta Norma busca identificar especies o poblaciones de flora y fauna que presenten cierto nivel de peligro o riesgo de extinción dentro del territorio nacional. A partir de la identificación de las mismas y de la evaluación de riesgo realizada para cada una de estas especies, se presenta una lista asignando diferentes niveles de protección para cada una de ellas.

NOM-001-SEMARNAT-1996

Establece los límites máximos permisibles de contaminantes que puede contener las descargas de aguas residuales al ser vertidas a aguas y otros bienes nacionales, con el propósito de proteger la calidad de éstas.

NOM-004-CNA-1996

Se busca con esta Norma proteger la calidad del agua en los acuíferos durante los trabajos de mantenimiento, rehabilitación y cierre de pozos, sea en forma temporal o definitiva.

NOM-052-SEMARNAT-2005

Indica el procedimiento para la identificación de residuos peligrosos, basándose en las características que presentan los residuos; ya sea corrosivos, reactivos, explosivos, tóxicos, inflamables o biológico-infecciosos. Además incluye un listado de residuos ya identificados como peligrosos. La NOM-053-SEMARNAT-1993 es complementaria a esta Norma, pues en ella se establecen los procedimientos para llevar a cabo la prueba de extracción para determinar los constituyentes que hacen a un residuo peligroso por su toxicidad al ambiente (extracto PECT).

Tanto la NOM-052-SEMARNAT-2005 como la NOM-053-SEMARNAT-1993 no contienen los procedimientos necesarios para el buen manejo o gestión de los residuos en caso de resultar peligrosos; para ello se deberá consultar la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos.

Manual de Procedimientos de la Dirección General de Impacto Social y Ocupación Superficial, 2016

Esta Dirección forma parte de la Secretaría de Energía a partir de los cambios generados por la Reforma Energética; la cual busca impulsar el desarrollo del sector energético con sostenibilidad y respetando los derechos humanos. Su marco normativo está conformado por diversos tratados internacionales y declaraciones de las que México ha formado parte o adquirido responsabilidades; así como diversas leyes, códigos, protocolos, decretos y reglamentos nacionales. Todos éstos relacionados a temas de protección al medio ambiente, protección de derechos humanos y pueblos indígenas, así como el desarrollo del sector energético.

c. Evaluación del Impacto Social para Proyectos en el Sector Energético en México

Existen dos conceptos clave a entender para desarrollar adecuadamente una evaluación de impacto social. Estos son *licencia social para operar* utilizado por la IAIA (2015); y el principio de *Consentimiento Previo, Libre e Informado*, válidamente utilizado desde la Declaración de las Naciones Unidas sobre los Derechos de los Pueblos Indígenas en el año 2007.

La *licencia social para operar* es el nivel de aceptación de las actividades de una organización por parte de los involucrados, especialmente comunidades locales. Para obtener esta aceptación es clave tratar a las comunidades con respeto y sin imposición; en donde genuinamente se busque formas de mitigar, evitar y/o compensar posibles efectos negativos con acuerdos previos, en donde las comunidades estén bien informadas acerca de los beneficios y consecuencias del proyecto.

Es importante entender que el hecho de presentar y comprometerse a tomar acciones para mitigar impactos negativos ambientales no significa que tendrá el proyecto aceptación social. El aumento de los beneficios en un proyecto, y por consiguiente las probabilidades de aceptación, cubren variedad de medidas y acciones como:

- Modificar la infraestructura del proyecto para saber que también se satisfacen las necesidades de las comunidades.
- Proveer fondos de inversión social local para apoyar procesos de desarrollo social sostenible.
- Tener la intención de maximizar las oportunidades económicas de las comunidades, al permitir que empresas o personas locales suministren bienes y servicios para el desarrollo del proyecto.
- Capacitación y apoyo a la población local para incorporarse y ser parte del desarrollo y operación del proyecto.

El principio de *Consentimiento Previo, Libre e Informado* es un mecanismo destinado a ayudar a garantizar el derecho a la libre determinación de los pueblos indígenas. Su estatus jurídico varía de acuerdo a cada país y si se ha incorporado o no en su legislación nacional. Bajo la declaración de las Naciones Unidas sobre los derechos de los pueblos indígenas celebrado en el 2007, se define cada uno de éstos conceptos como (IAIA, 2015):

- *Libre*: Que no debe de existir imposición, presión, intimidación o manipulación por parte de las empresas o gobiernos con el fin de obtener el consentimiento de los actores, y en caso de que la comunidad diga que “no”, no debe existir represalias.
- *Previo*: El consentimiento debe procurarse y recibirse antes de que se inicie cualquier actividad en tierras comunitarias y que se proporcione tiempo suficiente para su adecuada consideración por parte de todas las comunidades afectadas.
- *Informado*: Quienes llevan a cabo los proyectos informan cabalmente a las comunidades afectadas sus planes en un lenguaje y formato apropiado; y que cada comunidad cuente con suficiente información y capacidad para lograr comprender lo que esos planes significan para sus comunidades.
- *Consentimiento*: Implica que las comunidades deberían tener una opción real, que puedan decir “sí” cuando exista un buen flujo de beneficios y oportunidades de desarrollo; o que puedan decir “no” cuando no se encontraran satisfechas con lo planteado.

En México, la Ley de Energía Geotérmica expresa en su Artículo 4 que las actividades deben realizarse con: "...estricto apego a la normatividad y disposiciones que resulten aplicables, incluidas aquellas relativas a la consulta indígena, previa, libre e informada. Lo anterior, respetando en todo momento los derechos humanos y sociales de los particulares, ejidatarios, comuneros o dueños de los predios de que se trate...".

Este artículo no es más que resultado de las nuevas legislaciones en materia energética; de las cuales resalta el Artículo 121 de la Ley de Hidrocarburos y el Artículo 120 de la Ley de la Industria Eléctrica. Ambos artículos expresan la obligación de los asignatarios, contratistas o interesados en obtener permisos para el desarrollo de un proyecto en el sector energético, de presentar una evaluación de impacto social. Esta evaluación deberá incluir la identificación, caracterización, predicción y valoración de los impactos sociales que podrían derivarse de las actividades planificadas; así como las medidas de mitigación y planes de gestión social correspondientes.

La Secretaría de Energía (SENER) será quien, a través de la nueva Dirección General de Impacto Social y Ocupación Superficial de la Secretaría de Gobernación, emitirá la resolución de dicha evaluación. En caso de que esta resolución tenga recomendaciones de parte de SENER para los planes y medidas presentados por los interesados, el cumplir con ellas será el requisito para el inicio de las actividades.

En los Artículos 120 y 119 de la Ley de Hidrocarburos y la Ley de la Industria de Energía Eléctrica respectivamente, se destaca la "necesidad de tomar en cuenta los intereses y derechos de las comunidades y pueblos indígenas en los que se desarrollen los proyectos del sector energético". Por lo tanto, en caso de que SENER durante la revisión de la evaluación de impacto social detecte la existencia de comunidades indígenas dentro del área de influencia del proyecto, solicitará realizar el proceso de consulta previa, libre e informada. Durante este proceso se prestará de intermediario SENER, entre las partes interesadas en el desarrollo del proyecto y dichas comunidades. Este procedimiento es resultado de las obligaciones internacionales que México ha adquirido durante el Convenio 169 sobre los Pueblos Indígenas y Tribales en Países Independientes de la Organización Internacional del Trabajo (DOF 24-01-1996); así como durante la Declaración de las Naciones Unidas sobre los Derechos de los Pueblos Indígenas.

Como se verá más adelante, en el área del proyecto se encuentran establecidas 25 comunidades. De estas comunidades, de acuerdo a la Comisión Nacional para el Desarrollo de los Pueblos Indígenas (CDI) únicamente dos presentan población indígena dispersa. En ambas comunidades la población indígena es menor al 40% de la población total; por lo que no entrarían dentro del proceso de consulta previa, libre e informada.

Es importante señalar que impactos ambientales pueden llegar a ser impactos sociales ya que las personas dependen del medio ambiente para su subsistencia y porque pueden tener apego al sitio en donde se pretende desarrollar el proyecto. Los impactos sobre salud y bienestar de las personas también son impactos sociales. La pérdida de patrimonio cultural, de hábitats importantes o biodiversidad pueden ser también impactos sociales si las comunidades valoran éstos aspectos. Por ello, las evaluaciones de impacto social deben abordar todo lo que sea relevante para las personas y su forma de vida (IAIA, 2015).

Ya sea que existan comunidades indígenas o no dentro de la población afectada por un proyecto, actualmente es mayor la conciencia de inversionistas y organizaciones internacionales; así como las expectativas de la población en general; en que no es suficiente con únicamente cumplir con los requisitos normativos. Al cumplir sólo con lo mínimo necesario en materia de responsabilidad y respeto social y cultural, es más probable poner en riesgo la reputación de los inversionistas y reducir las oportunidades resultantes. También se tiene mayor riesgo durante el proyecto de sufrir huelgas, protestas, bloqueos, sabotajes, acciones judiciales, así como las consecuencias financieras debido a esos actos (IAIA, 2015).

Además, la integración de aspectos sociales dentro de la toma de decisiones, planificación y gestión de cualquier proyecto geotérmico es generalmente requerido por los acuerdos, protocolos y políticas de instituciones de financiamiento internacionales (Ogola, 2005).

d. Otros Lineamientos Internacionales Recomendados

Son múltiples los lineamientos internacionales en materia de protección al medio ambiente; evaluación de impacto ambiental; y salud, protección y seguridad a comunidades. En tal sentido, a continuación se enlistarán los lineamientos más utilizados y citados en este trabajo. Se incluye una breve descripción del organismo o institución que creó o promueve dichos lineamientos, así como una descripción de cada uno de estos.

Algunos de lineamientos enlistados a continuación cubren vacíos normativos en cuando a salud y protección del medio ambiente en México. Además, muchos de éstos recomiendan lineamientos más estrictos para la protección ambiental, que las normas o legislaciones anteriormente vistas. En este sentido, se recomienda durante la planificación y desarrollo de cualquier proyecto buscar cumplir con los lineamientos más estrictos, en afán de lograr las mejores prácticas en materia de protección al ambiente.

Grupo del Banco Mundial

Es una asociación mundial que trabaja en proveer soluciones sostenibles para reducir la pobreza en los países en desarrollo; también ofrece financiamientos y asistencia técnica a 109 países. El Grupo del Banco Mundial cuenta con cinco instituciones las cuales son el Banco Mundial de Reconstrucción y Fomento; la Asociación Internacional de Fomento; la Corporación Financiera Internacional; el Organismo Multilateral de Garantía e Inversiones; y el Centro Internacional de Arreglo de Diferencias Relativas a Inversiones. Además el Grupo del Banco Mundial publica artículos, documentos técnicos, estudios de diversos temas como educación, cambio climático, finanzas, entre otros.

Cuando una o más de las cinco instituciones que integran el Grupo del Banco Mundial está involucrada en algún proyecto en el sector industrial, es un requerimiento que al desarrollar el proyecto se apliquen los respectivos estándares y políticas que el GBM ha publicado.

En cuanto a proyectos de generación de energía por fuentes geotérmicas, los lineamientos hasta ahora publicados por el Grupo del Banco Mundial son los siguientes:

- *Environmental, Health, and Safety General Guidelines* (WBG, 2007)
Contiene lineamientos y medidas para una correcta ejecución de las actividades para el desarrollo de diversos proyectos. Ofrece lineamientos generales para la protección del medio ambiente; seguridad y salud laboral; seguridad y salud de las comunidades; y guía de las actividades de construcción y desmantelamiento de infraestructuras.
- *Environmental, Health, and Safety Guidelines for Geothermal Power Generation* (WBG, 2007)
Así como los lineamientos anteriores, esta publicación cubre los mismos aspectos de protección ambiental, de salud y seguridad laboral, y de las comunidades. Estos lineamientos son más enfocados para la generación de energía geotérmica; en especial para la etapa de construcción, operación y desmantelamientos de las plantas.

Organización Mundial de la Salud

Es un organismo de la ONU, cuya función es crear y promover políticas y programas para protección de la salud a nivel mundial. Entre sus actividades se encuentran garantizar el acceso a medicamentos en países que lo necesitan; creación y promoción de campañas relacionadas con la salud; publicar listas actualizadas de medicamentos esenciales; creación de medidas sanitarias; y el estudio, creación y publicación de lineamientos para la protección de la salud, desde un estado físico, psíquico y social. Entre los lineamientos publicados de mayor utilidad para realizar análisis de impacto ambiental se encuentran:

- *Guidelines for Community Noise* (WHO, 1999)
Esta guía presenta los lineamientos para una correcta evaluación y medición del ruido, los efectos negativos para la salud humana y ofrece una serie de medidas para la mitigación y reducción de la contaminación acústica. Además, esta guía proporciona los límites máximos recomendables a la exposición de ruido para distintos escenarios y horarios, con el fin de evitar daños a la salud.
- *Guidelines for Drinking-Water Quality* (WHO, 2011)
Explica los aspectos a considerar para determinar la calidad del agua para su consumo humano; como lo son aspectos físico-químicos, microbacteriales y radiológicos. De acuerdo a estos aspectos, esta guía cuenta con información acerca de los efectos que tiene a la salud diversas sustancias contenidas en el agua, así como los límites máximos tolerables para su consumo.
- *Air Quality Guidelines for Europe* (WHO, 2000)
Esta publicación cuenta con una lista de contaminantes orgánicos e inorgánicos contenidos en el aire, así como sus efectos en la salud de acuerdo a distintas concentraciones y períodos de exposición. A pesar de no proporcionar una lista clara de los límites recomendados para cada contaminante, esta publicación puede servir de guía para establecer objetivos en cuanto a la calidad del aire.
- *Agents Classified by the IARC Monographs* (IARC, 2017)
Es una clasificación de diversos agentes de acuerdo a su potencial cancerígeno, según resultados de los estudios realizados por el Centro Internacional de Investigaciones sobre el Cáncer, el cual es un organismo de la OMS.

Asociación Internacional de Evaluación de Impactos

Es una organización que busca la innovación y promoción de las mejores prácticas en materia de evaluación de impactos; con el fin de proteger el medio ambiente, así como a las personas. Con publicaciones como lineamientos, mejores prácticas y guías para la toma de decisiones durante la ejecución de proyectos o programas; logra cubrir diversos temas como evaluación de impacto social, lineamientos para programas de reasentamientos de comunidades, protección de la biodiversidad, evaluación de impacto de cambio climático, entre otros. En este trabajo únicamente se utiliza la siguiente publicación de la IAIA, por sus siglas en inglés.

- *Social Impact Assessment, Guidance for assessing and managing the social impacts of projects* (IAIA, 2015)

Lineamientos basados en los *Principios Internacionales para la Evaluación de Impacto Social*, elaborados también por la IAIA en el año 2003. Esta publicación busca servir de guía para alcanzar las mejores prácticas en cuanto Análisis de Impacto Social, visto no sólo como una evaluación, sino como una continua gestión a lo largo de la vida de un proyecto. Este trabajo particularmente fue creado para considerar los impactos sociales derivados de proyectos de desarrollo como presas, minas, fábricas, perforación de pozos de petróleo y gas, ferrocarriles, aeropuertos y otros proyectos de infraestructura a gran escala.

Otras regulaciones para la calidad de agua potable

Al tratarse de las regulaciones de la calidad del agua, existen grandes discrepancias entre gobiernos e instituciones que promueven estos lineamientos. La primera razón es porque se busca ajustar las actividades de limpieza, potabilización y tratamiento de aguas a distintas realidades económicas y tecnológicas de acuerdo al país en cuestión. Además, los tratamientos a los que se deberá someter el agua extraída de distintas fuentes variará de acuerdo a los agentes contaminantes que se busca eliminar o reducir; y la existencia de estos agentes contaminantes variará de acuerdo al contexto geológico y ambiental de donde proviene el recurso (UNICEF, 2008; WHO, 2011; Esparza, 2006).

Otra de las razones de estas discrepancias es porque, de acuerdo al uso que se le pretende dar al recurso, así será la necesidad de la calidad del agua. Los estándares de calidad requeridos serán diferentes para agua destinada a consumo humano, pesca, acuicultura, agricultura, entre otros. Tan sólo en la Unión Europea, han llegado a existir lineamientos y control de calidad del agua para aguas superficiales, agua de uso público, para pesca recreativa, acuicultura, agua potable, por mencionar algunas (EPA Ireland, 2001).

Los parámetros físicos, químicos y microbacterianos del agua, así como sus límites máximos permisibles no sólo varían ampliamente de acuerdo al uso planificado para el recurso; sino también de acuerdo al país o región. Además existen incontables fuentes y criterios para establecer estos límites de acuerdo a cada caso. Por lo tanto, es recomendable en temas de calidad del agua consultar bibliografía y normativas de diversos países e instituciones, con el fin de apuntar a los mejores estándares posibles, de acuerdo a cada proyecto

Entre los organismos internacionales que han propuesto diferentes regulaciones y lineamientos de calidad del agua destacan el Banco Mundial, la Organización Mundial de la Salud (OMS), las Naciones Unidas así como sus diversos programas, por ejemplo UNICEF. También organismos gubernamentales de un gran número de países han propuesto sus propias regulaciones, como por ejemplo Australia, Canadá, Sudáfrica, la Unión Europea, Japón, Estados Unidos de Norteamérica (UNICEF, 2008). En el caso de México, estas regulaciones están establecidas por la Secretaría de Salud o la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, dependiendo del uso del recurso; como por ejemplo las normas NOM-127-SAA1-1994 y NOM-001-SEMARNAT-1996 las cuales fueron anteriormente explicadas.

Ya que es difícil señalar la calidad del agua sin establecer qué lineamientos se utilizarán y el uso que se le dará al recurso, es común optar por hablar de calidad del agua considerando si ésta es potable o no. Muchas de las regulaciones para establecer la potabilidad del agua suelen coincidir o ser similares en la mayoría de parámetros utilizados; en muchos casos por que se basan en estudios y publicaciones de la OMS. Entre los parámetros químicos más importantes para determinar la potabilidad del agua se puede mencionar la concentración de Al, As, Cr, Cu, F, Mn, NO₂ y NO₃; esto por el alto impacto negativo a la salud que pueden tener si superan los límites establecidos.

Una de las razones principales por las que no existen límites permisibles bien establecidos para algunas sustancias se debe a lo que la OMS se refiere en sus lineamientos como la *aceptabilidad del agua* (WHO, 2011). Ciertos componentes en el agua, como por ejemplo el amoníaco o NH₃, se estima que con concentraciones alrededor de los 1.5 mg/l se puede llegar a percibir un olor molesto. De igual manera, con concentraciones alrededor de los 35 mg/l resulta completamente perceptible el sabor a amoníaco contenido en el agua; estas concentraciones no tienen relevancia alguna en cuanto a aspectos de salud. Por lo tanto, se ha hecho poco esfuerzo por establecer un límite de concentraciones de NH₃ en el agua potable, pues se considera que perderá *aceptabilidad* para su consumo antes de alcanzar las concentraciones necesarias para perjudicar la salud humana.

La misma situación sucede con el contenido de hierro en el agua. Hay acuíferos en donde el agua subterránea llega a poseer altas concentraciones de hierro bajo condiciones anaeróbicas. Una vez extraído el recurso y al tener contacto con la atmósfera éste se oxida, dando como resultado una apariencia rojiza e incluso café al agua. Además, la energía liberada resultado del proceso de oxidación suele promover el crecimiento de bacterias en el agua, que crean delgadas capas de textura gelatinosa sobre esta una vez almacenada. Se necesitan concentraciones alrededor de los 0.3 mg/l de hierro en el agua para que esto suceda y se perciba; estas concentraciones están muy por debajo de un nivel no recomendable para el consumo humano (WHO, 2011).

Para determinar con certeza si una fuente de recurso hídrico se puede considerar potable o no, será necesario determinar con exactitud todos los parámetros requeridos de acuerdo a los lineamientos o regulaciones que se apliquen o sean necesarios de implementar. Entre los parámetros, cabe mencionar que existen tanto físicos, químicos, como microbiológicos (WHO, 2011; UNICEF, 2008). Una buena práctica es no limitar el estudio únicamente a un solo lineamiento o regulación, optar por la implementación de dos o más lineamientos, procurando cumplir el más estricto, asegurará un mejor criterio de evaluación de calidad del agua.

Existen ciertos componentes que pueden encontrarse en el agua que provocan mayor inquietud en términos de salud que otros. Generalmente éstos componentes son As, Al, Ba, Cd, F, Fe, Mn, NO₂ y NO₃, contenido de metales pesados como Cu, Ni, Hg, Pb, y Cr. Por ejemplo el As, Cr y Cd son bien conocidos por ser agentes cancerígenos (IARC, 2017). También causan particular preocupación cualquier tipo de bacterias, virus y protozoarios de tipo patógeno; e incluso la presencia de sustancias radioactivas en el agua como ²²⁶Rn, ²²⁸Rn, ⁴⁰K, entre otros (WHO, 2017).

Existen diversos métodos para incrementar la calidad del agua de acuerdo al agente que se desea disminuir o remover. Entre los procesos para purificación y limpieza del agua en cuanto a agentes microbiológicos se refiere, se pueden mencionar la sedimentación, coagulación, filtración y desinfección. Para incrementar la calidad físico-química del agua, se pueden mencionar procesos como la coagulación, precipitación, oxidación, intercambio iónico, entre otros (UNICEF, 2008).

A continuación se enlistan otros estándares en cuanto a calidad del agua para consumo humano, consultados durante la realización de este trabajo.

- *UNICEF Handbook on Water Quality* (UNICEF, 2008)

Manual de calidad del agua de la UNICEF, también organismo de las Naciones Unidas. Este manual contiene información acerca de los efectos a la salud el consumo de agua con niveles pobres de calidad; técnicas para el monitoreo de calidad del agua; técnicas para la prevención de contaminación y para el mejoramiento de la calidad del agua.

- *Consejo de 3 de noviembre de 1998 relativa a la calidad de las aguas destinadas a consumo humano; UE.*

Normativa europea en cuanto a los estándares de calidad mínimos que se deberán de observar en el agua destinada para consumo humano; realizado por el Parlamento Europeo y de Consejo, organismo de la Unión Europea.

- *National Primary Drinking Water Regulations* (US EPA, 2009)

Regulaciones para la calidad del agua para consumo humano; establecidas por la Agencia de Protección Ambiental (EPA), de los Estados Unidos de América.

- *Parameters of Water Quality, Interpretation and Standards* (EPA Ireland, 2001)

Parámetros, interpretación y estándares en cuanto a calidad del agua; realizado por la Agencia de Protección Ambiental de Irlanda.

PROYECTO GEOTÉRMICO VOLCÁN EL CEBORUCO

A. Descripción del Proyecto

El proyecto *Perforación de pozos exploratorios en la zona geotérmica "Volcán El Ceboruco"* es llevado a cabo por la compañía Mexxus-RG; unión de las empresas Mexxus, compañía mexicana especializada en perforación y Reykjavík Geothermal (RG), empresa islandesa especializada en el desarrollo de energía geotérmica. El área por explorar se encuentra dentro de la zona centro-sur del estado de Nayarit; localizado a 38 kilómetros al sureste de la ciudad de Tepic, capital del estado (Fig. 4.1).



Figura 4. 1 Ubicación del área del proyecto de exploración, así como ciudades y otros poblados importantes.

a. Ubicación

El área del proyecto abarca los municipios de Ahuacatlán, Santa María del Oro y San Pedro Lagunillas (Nayarit), como se observa en la Figura 4.1. Este polígono consta de 150 kilómetros cuadrados. El área del proyecto abarca completa o parcialmente 18 poblados. En la Figura 4.2 se muestra el área del proyecto junto con las áreas ocupadas por estas localidades. También se indica cada uno de los vértices que conforman el polígono del área del proyecto. Las coordenadas de los vértices se muestran en la Tabla 4.1; se utiliza el sistema de coordenadas UTM correspondiente a la zona 13Q.

De igual manera, dentro de la misma Figura 4.2 se señala el área correspondiente a la microcuenca Las Guásimas, con una extensión territorial de 122.82 kilómetros cuadrados. Frecuentemente se menciona dicha microcuenca, ya que esta zona es susceptible a posibles afectaciones por las actividades planificadas dentro del área del proyecto por sus condiciones climatológicas, geológicas y principalmente topográficas, así como la tentativa ubicación de las plataformas de perforación.

Vértices del Área del Proyecto y Microcuenca Las Guasimas

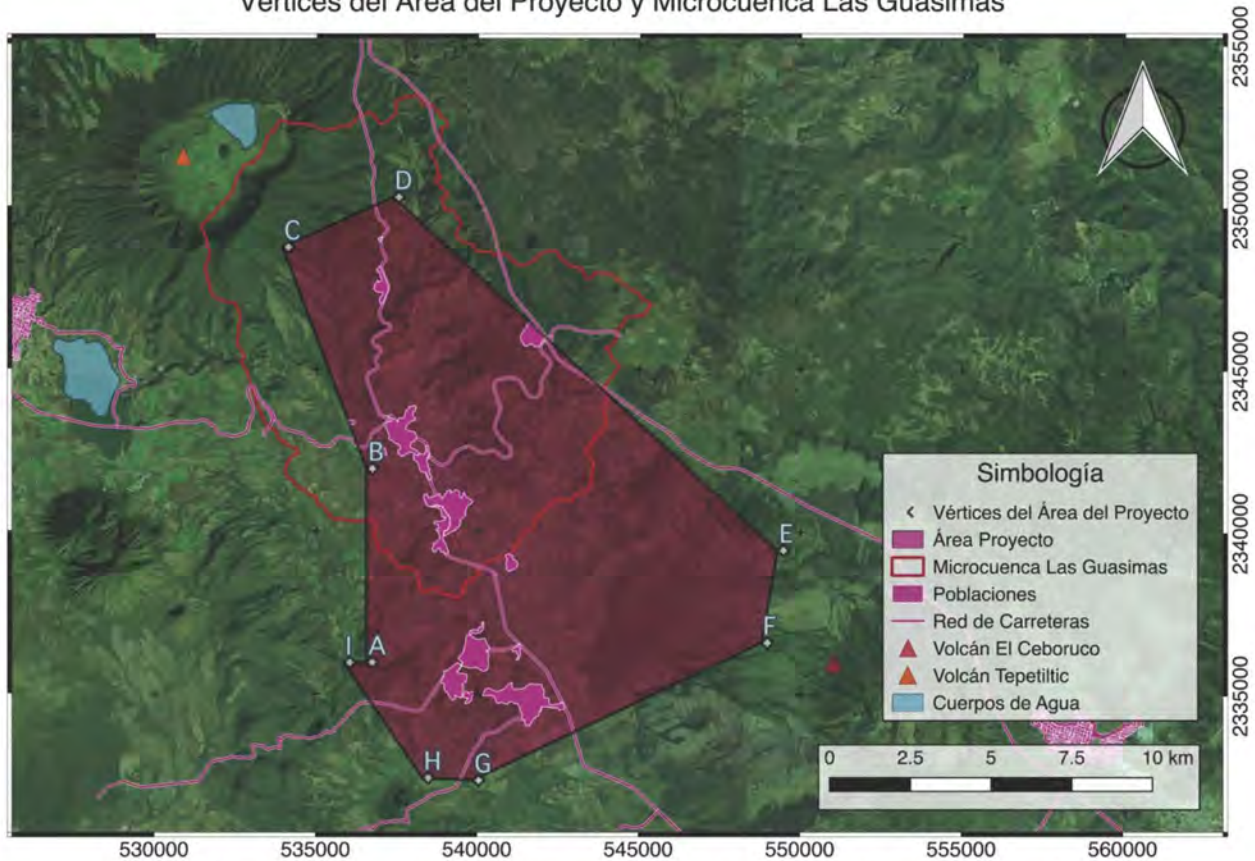


Figura 4. 2 Mapa del área de estudio, así como sus vértices correspondientes y la microcuenca Las Guásimas.

Vértice	Coordenadas	
	X	Y
A	536563	2335973
B	536557	2341932
C	533942	2348744
D	537366	2350288
E	549285	2339441
F	548790	2336595
G	539866	2332351
H	538307	2332421
I	535865	2335965

Tabla 4. 1 Coordenadas de los vértices correspondientes al área de estudio.

b. Antecedentes

Durante el año 2013 la empresa Mexxus-RG elabora un Informe Preventivo del área en estudio, de acuerdo al Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en materia de Evaluación de Impacto Ambiental. Como se explicó en el capítulo anterior, los proyectos con actividades que ya cuenten con la existencia de normas oficiales mexicanas u otras disposiciones que regulen las emisiones, descargas, y el aprovechamiento de recursos naturales, presentarán en primera instancia ante la Secretaría un Informe Preventivo y no una Manifestación de Impacto Ambiental.

Posteriormente, como parte de las etapas de reconocimiento y exploración superficial del proyecto, la compañía RG realizó entre Febrero y Abril del año 2014, una serie de estudios geofísicos con el propósito de caracterizar las propiedades eléctricas del subsuelo. Estos estudios se realizaron en el área existente entre los volcanes Tepetitlic y El Ceboruco. Se combinaron los métodos Magnetotelúrico (MT) y Transitorio Electromagnético (TDEM); los cuales cubrieron un área de casi 480 kilómetros cuadrados, donde se alcanzó profundidades de hasta 7,000 metros (Reporte interno de RG para Mexxus-RG, Agosto de 2014). A partir de los resultados, Mexxus-RG enfoca sus esfuerzos para desarrollar el actual proyecto de exploración geotérmica específicamente en el área anteriormente señalada.

Posteriormente, en el mes de Julio del 2014 se realizó un breve estudio geoquímico, en donde se tomaron muestras de diferentes manantiales ubicados dentro de la zona anteriormente estudiada con métodos electromagnéticos. Esto de igual manera ayudó a seleccionar y delimitar el área de interés con la que se está trabajando actualmente. Únicamente cinco de las muestras tomadas se encuentran dentro del área actual del proyecto, las cuales presentan temperaturas superficiales entre los 23 y 31°C; sin embargo, las temperaturas calculadas con el geotermómetro de cuarzo adiabático varían entre los 113 a 135°C. En el caso del geotermómetro de calcedonia, estas estimaciones varían entre los 83 a 105°C (Reporte interno de RG para Mexxus-RG, Agosto de 2014).

Se conoce como *gas de suelo* al que es formado a partir de la descomposición de la materia orgánica contenida en el suelo, la cual es liberada a la atmósfera (Reporte interno de RG para Mexxus-RG, Agosto de 2014). La descomposición de materia orgánica no es la única fuente de estas emanaciones, un mayor flujo de gas de suelo en zonas geotérmicas puede relacionarse a emanaciones o escapes de un sistema hidrotermal. Por lo tanto, concentraciones anómalas de este tipo de gas son un buen indicativo para localizar estructuras activas como fallas o fracturas que indiquen cierto grado de permeabilidad. Concentraciones anómalas de gases como CO₂, CH₄ y Hg, entre otros, son frecuentemente encontradas en suelos sobre sistemas geotérmicos activos (Klusman *et al.*, 2000).

Como último estudio adicional durante el año 2014, se realizaron muestreos del flujo de gas de suelo, en específico CO₂, en el área del proyecto y sus alrededores. De las 270 muestras tomadas distribuidas en cinco perfiles, la zona norte del área actual del proyecto sugiere la presencia de estructuras que pueden indicar la presencia de zonas permeables que permiten el ascenso de fluidos geotérmicos (Reporte interno de RG para Mexxus-RG, Agosto de 2014). Sin embargo, se necesitan estudios complementarios para realizar una interpretación más precisa en etapas posteriores al proyecto.

En los últimos años se ha incrementado el uso de estudios de gas de suelo para exploración geotérmica, ya que combinado con un mapeo de temperatura del suelo se puede obtener excelente información para definir sitios para actividades de perforación (Fridriksson *et al.*, 2016).

c. Proyecto Actual

Debido al Artículo 17 de la Ley de Energía Geotérmica en México (DOF 11-08-2014), el proyecto se ha limitado a un área de 150 kilómetros cuadrados, dentro de los cuales se tiene planificada la perforación de cinco pozos exploratorios. El número de pozos exploratorios está establecido de acuerdo con la misma ley, en su Artículo 14; en donde se permite realizar la perforación de hasta cinco pozos con fines exploratorios. Así mismo de acuerdo con norma NOM-150-SEMARNAT-2006, la selección del área del campo geotérmico deberá respetar los planes de desarrollo urbano y las regulaciones establecidas por las autoridades estatales y municipales.

De igual forma, el área del proyecto y en especial el área destinada a las plataformas de los pozos exploratorios, así como instalaciones subsecuentes, deberán respetar las zonas de exclusión ambiental, social, técnico-económicas y de riesgo establecidas por la Secretaría de Energía, las cuales son señaladas en su Atlas Nacional de Zonas con Alto Potencial de Energías Limpias (SENER, 2017).

De acuerdo con la Secretaría de Energía, se considera zona de exclusión ambiental a las áreas naturales protegidas así como humedales de importancia internacional. Dentro de las zonas de exclusión social se puede mencionar áreas que cuenten con poblados rurales y urbanos, comunidades indígenas y zonas con patrimonio de interés histórico y arqueológico. En cuanto a zonas de exclusión técnico-económicas, se consideran las vías férreas, carreteras, lagos, corrientes de agua, por mencionar algunos (SENER, 2017).

De acuerdo con la Norma Oficial Mexicana NOM-150-SEMARNAT-2006, cada plataforma de perforación no debe exceder un área de 80 metros por 100 metros; y la presa de lodos no debe superar los 625 metros cuadrados, con una profundidad máxima de 3 metros. Ya que también la norma anteriormente mencionada solicita explícitamente no ubicar las plataformas de perforación en áreas protegidas o terrenos forestales, sino únicamente en zonas agrícolas, ganaderas o eriales, se ha planificado ubicar las cinco plataformas de exploración en campos de cultivo.

d. Plan del Proyecto

Este proyecto, como cualquier otro proyecto de exploración geotérmica, busca resolver cinco aspectos principales acerca de la zona geotérmica en estudio, también mencionados en DiPippo (2008):

1. Ubicar áreas subyacentes dominadas por roca caliente.
2. Estimar el volumen del reservorio, la temperatura del fluido en él, así como la permeabilidad de la formación.
3. Estimar cuál es la fase dominante del fluido a extraer; ya sea vapor seco, agua o una mezcla agua-vapor.
4. Definir la composición química del geofluido.
5. Estimar el potencial de generación eléctrica del campo geotérmico a largo plazo.

Estos aspectos en su mayor parte se resuelven con información posible de recolectar durante o después de la perforación de pozos exploratorios en el área prospecto. Se busca generalmente situar los pozos de perforación en las áreas señaladas como las de mayor factibilidad de acuerdo con los estudios de exploración previos. Entre la información que se deberá obtener se encuentra la recolección de núcleos de perforación de al menos algunas secciones del pozo, especialmente con cambios de composición de la roca para comprender a mayor detalle la litología y estratigrafía en el área de exploración. Por ello, se suele perforar al menos tres pozos exploratorios, intentando formar un triángulo con el cual se podrá complementar el modelo conceptual del campo (DiPippo, 2008).

Para lograr los objetivos anteriormente descritos y cumplir con las Normas Oficiales Mexicanas aplicables a este tipo de proyectos, de las que se hablaron al inicio del capítulo anterior, se dividen las actividades a realizar en cuatro etapas principales. Estas etapas han sido expuestas en el Informe Preventivo realizado por Mexxus-RG en el año 2013; las cuales se presentan a continuación.

i. Preparación del sitio y construcción de plataformas

Dentro de la primera etapa se tiene contemplado la construcción de las plataformas anteriormente mencionadas; así como la infraestructura necesaria para realizar la perforación de los pozos, como caminos y presas de lodos. La construcción de las presas de lodos tiene el propósito de almacenar temporalmente los lodos y recortes de perforación. De esta manera se evitará la infiltración de lixiviados al subsuelo, así como la contaminación de mantos acuíferos.

Ya que las plataformas de perforación no se encuentran en áreas de uso forestal, únicamente será necesario el retiro de cultivos, maleza y piedras hasta dejar el suelo al descubierto para nivelar la superficie. Posteriormente se removerá el horizonte de suelo que consta de materia orgánica, la cual se apartará y almacenará apropiadamente para protegerla de la dispersión por el viento o lluvias, para reutilizarse a futuro en caso de ser necesario el abandono del sitio.

De acuerdo con la norma NOM-150-SEMARNAT-2006, únicamente se podrá realizar la construcción de caminos para acceso a las plataformas si es estrictamente necesario y exclusivamente se deberá transitar en zonas agrícolas, ganaderas o eriales; los caminos a construir deberán tener un ancho no mayor a 4 metros en trayectorias rectas y 6 metros en zonas de curva. En cuanto a la vegetación retirada por actividades de desmonte o deshierbe para la apertura de caminos o preparación para las plataformas de perforación, no podrá ser quemada ni se podrá utilizar ningún tipo de agroquímico. Deberá ser triturada para su reincorporación al suelo o lo dispuesto por la autoridad local competente, como así lo requiere la especificación 4.2.9.

ii. Perforación de los pozos

Ya nivelado, limpio y con un acceso habilitado hacia el área donde se instalarán las plataformas para perforación, la segunda etapa del proyecto consiste en la perforación de los pozos exploratorios. Para ello será necesario impermeabilizar cada una de las plataformas de perforación con el fin de evitar la posible contaminación del suelo debido a derrames de aceites, grasas o combustibles de manera accidental, como lo solicita la especificación 4.2.7 de la Norma Oficial NOM-150-SEMARNAT-2016. Se tiene contemplada la instalación de lonas plastificadas antes de la instalación de los equipos de perforación, tanques de almacenamiento y uso de la presa de lodos.

Sumado al empleo de lonas plastificadas, se deberá tomar en cuenta de acuerdo con la misma Norma Oficial, que el uso de lodos o fluidos de perforación no sean con base de aceite. El lodo de perforación tiene múltiples funciones durante el proceso de perforación como remover y llevar a la superficie residuos durante la perforación, enfriar la barrena y demás equipo, lubricar y prevenir colapsos de la pared del pozo durante la perforación (DiPippo, 2008). Estos lodos de perforación generalmente contienen agua con diferentes aditivos para lograr obtener así diferentes viscosidades y densidades. Generalmente estos aditivos suelen ser barita o diferentes tipos de arcillas.

La perforación inicia a cielo abierto con una barrena de 1,016 mm (40") de diámetro, hasta llegar a los 5 m.b.n.t., en donde posteriormente se instala una tubería conductora de 762 mm (30") de diámetro. El espacio anular entre estas dos tuberías se rellenará de cemento convencional. La siguiente etapa de perforación se realiza con una barrena de 660 mm (26") de diámetro para alcanzar una profundidad de 42 m.b.n.t.; para instalar posteriormente una tubería de revestimiento de 508 mm (20") hasta llegar a los 40 m.b.n.t.

La tercera etapa de perforación se realiza con una barrena de 444 mm (17 ½ ") de diámetro hasta alcanzar una profundidad de 300 m.b.n.t., para la cual se utilizará una tubería de revestimiento de 339 mm (13 3/8") de diámetro hasta llegar a los 298 m.b.n.t.. La siguiente etapa de perforación se realiza con una barrena de 311 mm (12 ¼") de diámetro, hasta llegar a los 1,050 m.b.n.t., y posteriormente se utilizará tubería de revestimiento de 244 mm (9 5/8") de diámetro la cual debe llegar a alcanzar profundidad de 1,048 m.b.n.t. En esta etapa, todas las tuberías instaladas y revestidas se utilizarán para el pozo productor.

La quinta y última etapa de perforación se realiza de manera direccionada y controlada con una barrena de 215 mm (8 ½") de diámetro, hasta llegar a una profundidad aproximada de 2,000 m.b.n.t.. Durante esta etapa de perforación se instalarán tuberías ranuradas de 177 mm (7") de diámetro.

A partir de la segunda etapa de perforación (a partir de la barrena de 660 mm de diámetro), es necesario utilizar una unidad cementadora de alta presión, con el fin de asegurar que el cemento fluya desde la parte inferior de cada tramo de tubería. Posterior a cada etapa de cementación se deberán realizar las pruebas hidráulicas necesarias para verificar la homogeneidad de la cementación; ya sea para cementar nuevamente en caso de ser necesario o proseguir a la siguiente etapa de perforación. Se tiene estimado una duración de setenta días por cada pozo, para las actividades que comprenden exclusivamente esta etapa.

iii. Evaluación de los pozos

Una vez instalada la tubería de 177 mm (7") de diámetro, es necesario realizar un lavado del pozo para su preparación. Este lavado tiene como objetivo asegurarse de que no quede ningún exceso de material dentro del pozo que pueda obstruir o hacer resistencia al paso de las sondas para futuros registros. Este lavado consiste en el paso de una tubería de perforación y un tubo difusor hasta el fondo de la tubería.

De igual manera se realizan registros con el fin de evaluar las características del pozo, así como su estado mecánico. Entre los registros que se realizan se tienen los registros de calibración para evaluar el diámetro efectivo de los agujeros perforados, registros para la evaluación de la calidad de cementación, por medio de pruebas ultrasónicas se realiza la medición de espesor de las tuberías de revestimiento, así como su estado mecánico. Además, por medio de registros geofísicos se busca identificar fallas y/o fracturas, dirección e inclinación de unidades litológicas, zonas mineralizadas y estructuras conductoras de los fluidos hidrotermales dentro del sistema geotérmico.

Con estas pruebas se deberá encontrar y definir las fracturas que intersecten los pozos, y así determinar la dirección del sistema estructural. De igual forma, con estas pruebas se obtendrán registros de presión y temperatura a diferentes profundidades e intervalos de tiempo, los cuales se deben tomar en los días 1, 2, 4, 17, 21 y 28; ya que la Norma Oficial Mexicana NOM-150-SEMARNAT-2006 en su artículo 4.4.1 establece un período máximo de 30 días para la evaluación preliminar de los pozos exploratorios.

Ya realizados los registros anteriormente mencionados, se evalúa la producción de vapor y agua del pozo, para cuantificar el flujo de descarga de cada pozo. Esta información se utiliza para estimar la futura producción de cada pozo, conocer su potencial; y también en caso de compararse con desarrollos similares, se puede estimar la declinación de producción del pozo después de cierto tiempo de explotación. Dependiendo de los resultados de esta última evaluación, se determinará si se prosigue con la planificación del campo geotérmico, o si se abandona el sitio. Se estima un tiempo de 65 días para realizar todas las actividades y pruebas necesarias en esta etapa.

iv. Planificación o abandono del sitio y restauración

En caso de que los pozos exploratorios cumplan con las expectativas del proyecto en cuanto a producción, la siguiente etapa se enfocará en la perforación y construcción de pozos geotérmicos para la explotación y reinyección. De igual manera, se deberá proseguir con la planificación e instalación de las unidades de generación de energía eléctrica de acuerdo a lo que estipule la Ley de Energía Geotérmica, así como las normas que esta Ley cite en materia de proyectos de explotación.

En caso contrario, cuando los pozos exploratorios no presenten la producción mínima necesaria para continuar con el desarrollo del proyecto en sus etapas de construcción de la planta y operación, se procederá al abandono del sitio. Como punto más importante, se deberán tapar o cerrar los pozos exploratorios ya perforados, retirar equipo e infraestructura instalada, rehabilitar los suelos en el área de las plataformas de perforación, entre otras acciones.

De acuerdo con la Norma Oficial Mexicana NOM-004-CNA-1996, se deberán ejecutar acciones para la conservación de suelos, así como su restauración, e incluso en caso de ser necesario reforestación del área intervenida por las actividades de exploración. El objetivo es restablecer las condiciones en las que se encontraba el sitio previamente; esto incluye hacerse cargo de los caminos realizados para las actividades de perforación, restablecer suelos y vegetación afectada, encargarse apropiadamente de los residuos generados durante la perforación, entre otros.

En el Artículo 4.5.6 de la norma NOM-150-SEMARNAT-2006 aclara que las especies utilizadas para la restauración del suelo deberán ser determinadas de acuerdo con la vegetación prevaleciente, susceptibles a desarrollarse en el sitio y a las condiciones edafológicas del lugar.

Respecto a los residuos no peligrosos que se generarán, sobre todo durante las etapas de preparación del sitio y perforación, se deberán almacenar y posteriormente disponer de manera adecuada según lo establece la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de Residuos (LGPGIR) y la Ley Estatal del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente del Estado de Nayarit.

Dentro de estos residuos se incluyen los residuos provenientes de actividades de limpieza y preparación de las áreas seleccionadas para exploración, residuos de construcción, sanitarios y residuos sólidos urbanos (basura doméstica). De igual manera se deberán clasificar los residuos que pueden ser sometidos a procesos de reciclaje como cartón, vidrio, madera, aluminio, entre otros; y estos deberán ser enviados a centros de reciclaje o gestión autorizados por el municipio.

e. Otros Desarrollos Geotérmicos en el área

A ocho kilómetros dirección oeste-noroeste del área del proyecto, en el municipio de San Pedro Lagunillas, se encuentra la planta geotérmica en operación Domo San Pedro. Este proyecto empezó a realizar estudios de exploración alrededor del año 2012 (Lemus, 3 de noviembre de 2015), el cual ganó la concesión para instalar y operar una planta geotérmica en octubre del 2015. Esta concesión ha sido el primer permiso de esta naturaleza otorgado a una empresa privada en México. La empresa responsable del desarrollo del proyecto es *Geotérmica para el Desarrollo*, empresa subsidiaria del Grupo Dragón, parte del Grupo Salinas. A partir del año 2016 se inician las operaciones de esta planta con una capacidad instalada de 10 MW, para lo cual se utilizaron dos unidades *backpressure*. Estas unidades fueron sustituidas posteriormente en ese mismo año por una unidad de condensación con una potencia instalada de 25.5 MW (Rojas, 21 de abril de 2016).

Desde el inicio de las actividades de exploración, hasta unos meses después de haber ganado la concesión, no se había manifestado rechazo o quejas debido a las actividades derivadas del proyecto por parte de las comunidades vecinas. Una vez iniciadas las actividades de operación de la planta, empezaron a existir numerosas quejas de parte de los vecinos expuestas en diversos diarios locales o fuentes de información digitales; que van desde febrero del año 2016 hasta la fecha. Entre las quejas más frecuentes se reporta descontento por altos niveles de ruido emitidos por las operaciones de la planta, así como molestos olores.

Otras de las quejas más observadas de parte de las comunidades aledañas es la falta de información relacionada a las actividades del proyecto, así como la falta de consulta previa e integración de la opinión de estas comunidades a los planes y desarrollo del proyecto (Díaz y Torres, 22 de mayo de 2016). Esta falta de información ha ocasionado especulaciones en cuanto a la contaminación de cuerpos de agua, tanto superficiales como mantos acuíferos; y por consiguiente la contaminación de suelos. También ha surgido como consecuencia de la falta de información, la preocupación por posibles afectaciones a la salud derivadas del uso de agua contaminada para el riego e ingesta, así como por la prolongada exposición a contaminantes dispersos en el aire causantes del mal olor que perciben los vecinos (Díaz y Torres, 22 de mayo de 2016; Guardado, 9 de febrero de 2016).

B. Descripción del área de estudio

a. Uso de Suelo y Vegetación

Con base en el *Conjunto de Datos Vectoriales de Uso de Suelo y Vegetación*, en escala 1:250000, realizado por el INEGI entre los años 2012 y 2013, se observa gran número de usos de suelo dentro del área de estudio, así como sus alrededores. Todos estos usos de suelo se han agrupado en siete categorías principales mostradas en la siguiente tabla.

AGRICULTURA	Agricultura de Riego Anual
	Agricultura de Riego Anual y Semipermanente
	Agricultura de Temporal Semipermanente
	Agricultura de Temporal Anual y Semipermanente
BOSQUE	Bosque de Pino
	Bosque de Pino-Encino
	Bosque de Encino-Pino
	Bosque de Encino (Vegetación Secundaria Arbustiva)
	Bosque de Encino-Pino(Vegetación Secundaria Arbórea)
SELVA	Selva Baja Caducifolia (Vegetación Secundaria Arbustiva)
	Selva Baja Caducifolia (Vegetación Secundaria Arbórea)
	Selva Mediana Subcaducifolia (Vegetación Secundaria Arbórea)
SUELO	Sin Vegetación Aparente
PASTIZAL	Pastizal Inducido
LOCALIDADES	Asentamientos Humanos
	Zona Urbana
AGUA	Lagunas y otros cuerpos de agua

Tabla 4. 2 Usos de suelo dentro del área de estudio y sus alrededores, así como las categorías principales a las que pertenece.
Fuente: *Conjunto de Datos Vectoriales de Uso de Suelo y Vegetación, Serie V, INEGI (2012-2013)*.

Con la agrupación de usos de suelo de la Tabla 4.2, se realizó una clasificación supervisada utilizando las imágenes satelitales Landsat 8 OLI *path/row* 30/45, correspondientes al mes de noviembre del año 2016. Se utilizaron estas imágenes con el propósito de obtener información más reciente acerca de los tipos de cobertura que se presentan en el área de estudio.

Utilizando el software *Terrset* se realizó la clasificación supervisada para las imágenes mencionadas. Para ello, se utilizó el método de clasificación de *Mínima Distancia*. Posteriormente, se obtuvo la *matriz de error* de la clasificación obtenida utilizando como *mapa verdad* los datos vectoriales del INEGI. La matriz de error se elaboró con 350 puntos ubicados de manera aleatoria y estratificada, dentro del área del proyecto, así como dentro de la microcuenca Las Guásimas y sus alrededores.

La matriz de error indica que la clasificación cuenta con una exactitud total del 83% en relación con los datos vectoriales del INEGI obtenidos durante los años 2012 y 2013. Es importante destacar que hasta un 10.3% de los puntos corresponden a la clase de uso de suelo “agrícola” en la clasificación supervisada; mientras que en los datos del INEGI de tres años atrás, estos mismos puntos están clasificados como uso de suelo tipo selva, bosque o pastizal; por lo que es probable que en ese tiempo se haya realizado un cambio en el uso de suelo.

En la Figura 4.3 se presenta el mapa de uso de suelo obtenido de la clasificación supervisada utilizando las imágenes Landsat 8 OLI del año 2016. Este mapa señala los tipos de cobertura identificados dentro del área del proyecto, de la microcuenca Las Guásimas y en los alrededores de estas dos zonas. Además, se sombrea el área que corresponde a los poblados que se localizan dentro de la zona del proyecto. En la Tabla 4.3 se indica el área que abarca cada tipo de cobertura, tanto en kilómetros cuadrados como en porcentaje de área.

Tipos de Cobertura en el Área del Proyecto y en Microcuenca Las Guásimas

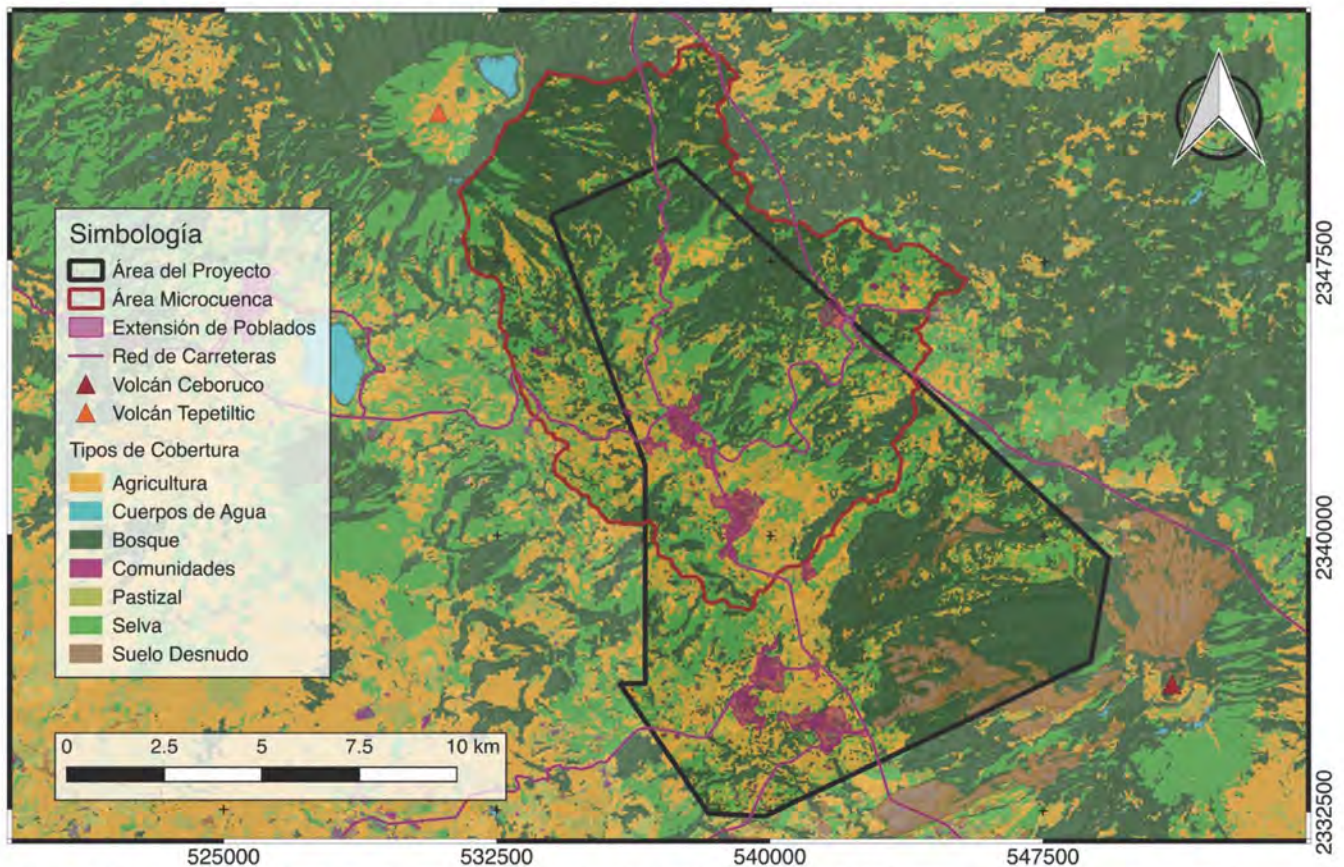


Figura 4. 3 Mapa resultante de la clasificación supervisada por el método de Mínima Distancia utilizando el software Terrset. Imagen utilizada para el proceso de clasificación: Landsat 8 OLI, path/row 30/45, 16 de noviembre del 2016.

Tipo de Cobertura	Área del Proyecto		Microcuenca Las Guásimas	
	%	km ²	%	km ²
Agricultura	43.22	64.83	40.30	49.50
Bosque	33.82	50.72	37.86	46.51
Selva	13.18	19.78	15.32	18.82
Suelo	4.48	6.72	0.22	0.27
Pastizal	4.12	6.18	5.21	6.40
Comunidades	1.14	1.71	1.03	1.26
Cuerpos de Agua	0.04	0.07	0.05	0.07
Total	100.00	150.00	100.00	122.82

Tabla 4. 3 Porcentaje y área en kilómetros cuadrados para cada tipo de cobertura identificada en la figura anterior; tanto para el área del proyecto como para la microcuenca Las Guásimas.

Se observa que en el área que corresponde al proyecto de exploración, las actividades relacionadas con la agricultura cubren un 43% de la superficie. Sumando áreas en donde el uso de suelo corresponde a agricultura, pastizales y suelo desnudo; se puede estimar casi un 52% del área del proyecto. A primera vista, estas zonas son óptimas para situar las plataformas de perforación para los pozos exploratorios; sin embargo, hay que considerar que el área efectiva para situar los pozos exploratorios se puede reducir en gran medida por diversas circunstancias. Entre éstas se puede mencionar áreas cercanas a poblados o instalaciones vitales como centros de salud y escuelas, áreas en donde la instalación de una plataforma comprometa la accesibilidad hacia poblados, o bien áreas en donde se pueda dañar bosque o selva para poder tener acceso para instalar las plataformas.

b. Geología

i. Geología Regional

Desde un punto de vista regional, el volcán El Ceboruco, así como zonas cercanas, entre ellas el área de estudio, pertenecen a la porción noroeste del Cinturón Volcánico Transmexicano (CVTM o TMVB, por sus siglas en Inglés). Dicha área se encuentra dentro del límite entre la Sierra Madre Occidental (SMO) y el Bloque Jalisco. En la Figura 4.4b se observa la distribución de la SMO y el CVTM. En la Figura 4.4a se observa que la región noreste del área estudiada pertenece a la Sierra Madre Occidental, mientras que la parte suroeste pertenece al Bloque Jalisco.

El Bloque Jalisco está compuesto de secuencias de rocas volcánicas, depósitos volcano-clásticos y depósitos sedimentarios marinos, con edades que van del Cretácico al Paleoceno. Estas secuencias litológicas las subyace un batolito de composición granítica que generó rocas metasedimentarias con un grado de metamorfismo de bajo a medio. Las rocas plutónicas de este bloque consisten principalmente de granitos, granodioritas y tonalitas; que forman un gran batolito al sur de Puerto Vallarta, que probablemente es el basamento de todo el Bloque Jalisco (Ferrari *et al.*, 2003). Se consideran que estos emplazamientos ocurrieron en el Cretácico, entre los 100 y 90 Ma. Por otro lado, Gastil *et al.* (1978), Köhler *et al.* (1988) y Zimmermann *et al.* (1988) han identificado una gran variedad de rocas propias de este batolito que corresponden del Cretácico Superior al Eoceno, con edades entre los 90 y 50 Ma (Ferrari *et al.*, 2003).

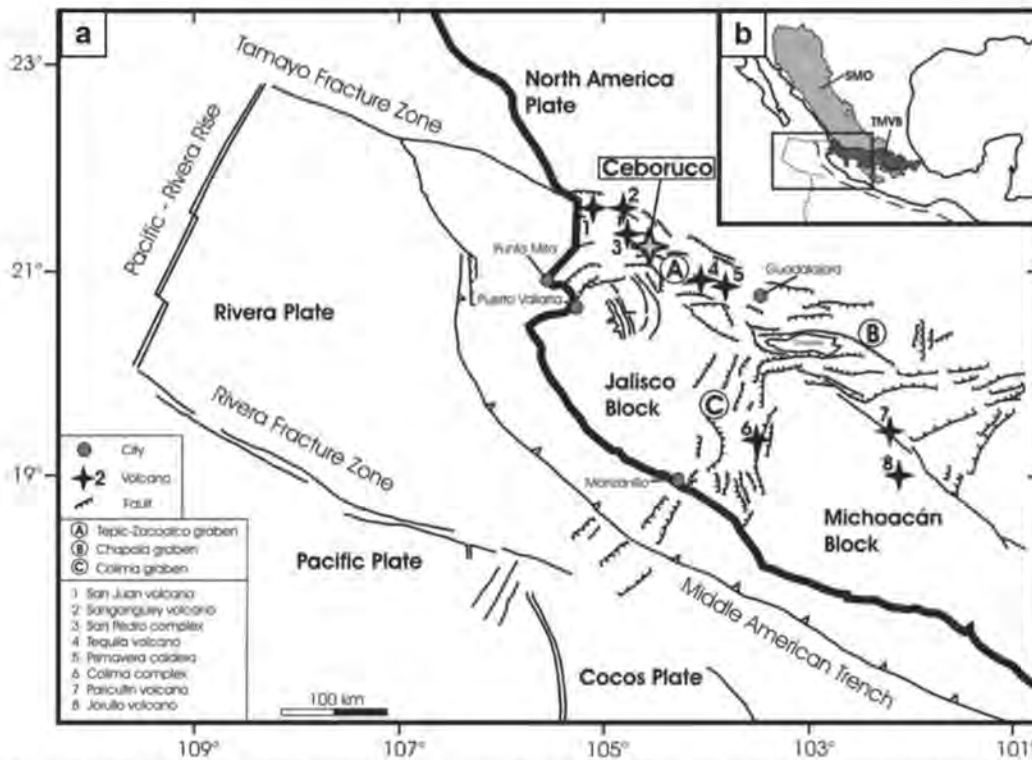


Figura 4. 4 Ubicación del Volcán El Ceboruco entre la porción oeste del Cinturón Volcánico Transmexicano (TMVB), y las características tectónicas principales de la región. Imagen tomada de Sieron y Siebe (2008).

La SMO es una cordillera volcánica silícica de aproximadamente 2,000 kilómetros de largo, que se extiende desde la frontera norte de México hasta la parte oeste del CVT; con rocas que datan desde el Oligoceno hasta el Mioceno temprano (Ferrari *et al.*, 2003). Esta cordillera está constituida principalmente por riolitas y secuencias ignimbríticas que en la región sur presentan edades entre 21 a 28 Ma. Estas secuencias están separadas en dos pulsos; uno durante el Oligoceno y el segundo en el Mioceno Temprano. Las secuencias ignimbríticas del Mioceno cubren el área de Nayarit; en donde se ha identificado dos secuencias con edades y proveniencias distintas. La secuencia ignimbrítica de Las Canoas es la más antigua, que ha sido fechada en 23.5 Ma; mientras que la secuencia ignimbrítica del Nayar presenta edades de 20.9 Ma en promedio (Ferrari *et al.*, 2005).

El CVT, es una estructura geológica de casi 100 kilómetros de ancho, la cual corta la parte centro-sur de México casi horizontalmente, lo cual resulta tener una geometría inusual pues no resulta ser paralelo a la zona de subducción del suroeste de México (Pardo y Suárez, 1995). Una gran cantidad de diversas estructuras como grandes estratovolcanes, conos cineríticos monogenéticos, volcanes escudo, y un gran número de calderas se han identificado a lo largo de este cinturón. Las características químicas y petrológicas del CVTM indican que, en general, las secuencias volcánicas que formaron este cinturón con calco-alcalinas, aunque se han localizado zonas en donde existe un vulcanismo alcalino; especialmente en la zona oeste del mismo (Pardo y Suárez, 1995). El sector oeste del CVTM está relacionado a la subducción de la microplaca Rivera por debajo de la placa de Norte América (Figura 4.4), junto con una extensión intra-arco, característica de esta región. Las fallas extensionales se generaron en el Mioceno tardío, en coincidencia con los procesos extensivos del sur del Golfo de California, el cual continuó hasta el Plioceno y Cuaternario (Rosas-Elguera *et al.*, 1996).

Como se puede observar en la Figura 4.4a, entre estas tres provincias geológicas descritas anteriormente, en especial sobre el Bloque Jalisco, existen tres sistemas de fallas extensionales. Estos sistemas de fallas se conocen como el Graben Tepic-Zacoalco, el Graben Chapala y el Graben Colima, que se identifican en la Figura 4.4a como A, B y C respectivamente. Estos sistemas presentan una orientación NW-SE, E-W y N-S, respectivamente, los cuales se sugiere que corresponden a tres *rifts* activos e independientes que forman un punto triple (Ferrari *et al.*, 1994).

Graben Tepic-Zacoalco

La formación del Graben Tepic-Zacoalco empieza en el Terciario temprano, en las etapas iniciales de la apertura del protogolfo de California. Como consecuencia de esta apertura, las evidencias más antiguas de vulcanismo que se conocen en la zona son flujos de lava máfica del Mioceno Tardío. Posteriormente, en el Plioceno Temprano se producen lavas riolíticas, lavas máficas, así como flujos piroclásticos silíceos (Ferrari *et al.*, 2003). Debido al reinicio de la actividad volcánica durante el Plioceno tardío, se tienen como resultado conos cineríticos y domos con dirección NW-SE. Durante el último millón de años se ha dado la mayor actividad volcánica; actividad responsable de diversas estructuras monogenéticas; domos de composición dacítica a andesítica; un estrato volcán calciocalcino (Tepetiltic); la formación de una caldera (San Pedro) y la sucesión de lavas de composición moderadamente alcalina, la cual formó el volcán Amado Nervo (Ferrari *et al.*, 2003).

El Graben Tepic-Zacoalco cuenta con diversas estructuras, como depresiones menores, fosas y semifosas. Delimitando más la geología regional hacia el área de estudio, se hace referencia a la estructura tectónica Graben San Pedro-Ceboruco (SPC), ubicada en la zona noroeste del Graben Tepic-Zacoalco.

Graben San Pedro-Ceboruco

Petrone *et al.* (2001) sugieren que el vulcanismo empezó en el graben San Pedro-Ceboruco hace unos 2.5 Ma en la parte suroeste del mismo, dando como resultado múltiples estructuras volcánicas y subvolcánicas; en donde Ferrari *et al.* (2003) reconocen hasta 26 unidades litoestratigráficas para la zona en estudio (Figura 4.5). Entre el período de hace 2.3 a 0.1 Ma la actividad volcánica se extiende en la parte central del graben, actividad que llega al extremo norte del graben durante el Pleistoceno medio y Holoceno hace unos 0.5 Ma; dando como resultado lo que Petrone *et al.* (2001) denominan la *Cadena Volcánica Norte*. Dentro del graben San Pedro-Ceboruco se han observado más de setenta ventilas volcánicas; 16 conos cineríticos monogenéticos; y más de 20 domos de lava andecítica y dacítica, de los cuales el domo más grande, San Pedro, es dacítico (Frey *et al.*, 2004).

De acuerdo con Ferrari *et al.* (2003), el graben San Pedro-Ceboruco se compone de tres segmentos; en la zona centro se encuentra el complejo San Pedro, en la parte este se encuentra el semigraben El Ceboruco y finalmente al oeste se encuentra el semigraben La Compostela. El Ceboruco y San Pedro son las zonas de mayor interés para el área de estudio, por lo que se describirán brevemente sus características.

- Semigraben El Ceboruco

En cuanto a la zona del graben que corresponde a El Ceboruco, es una depresión de hasta 2700 metros; sus límites norte y sur muestran una orientación NW-SE. Su límite norte se caracteriza por una sucesión de riolitas e ignimbritas formadas hace 4.7 a 4.2 Ma. Las riolitas e ignimbritas del límite norte del semigraben El Ceboruco corresponden a la unidad litoestratigráfica Jala, la cual presenta fallas normales que cortan esta unidad (Sieron y Siebe, 2008). El límite sur del graben El Ceboruco se caracteriza por la presencia de riolitas y andesitas de hace aproximadamente 4.9 Ma, sin mostrar una clara evidencia de alguna otra falla. Se considera como el límite sur de este graben a la Sierra El Guamuchil, conformada por los basaltos y andesitas Ixtlán y Buenavista (Figura 4.5), que forman parte del Bloque Jalisco y limitan la parte norte del mismo (Sieron y Sieben, 2008).

- Complejo San Pedro

Dentro del complejo San Pedro, se desarrollaron diversas unidades. Durante el Pleistoceno medio la actividad magmática dio origen a nuevos basaltos y andesitas que conforman el *Cerro Estiladero* (0.5 Ma), a la unidad de pómez *San Pedro Lagunilla* y a los estratovolcanes *Tepetiltic* y *Amado Nervo*, con edades entre los 0.48 y 0.22 Ma respectivamente (Figura 4.5). A partir del Pleistoceno tardío hasta el presente, se pueden mencionar como unidades ligadas al desarrollo y evolución del volcán El Ceboruco, flujos piroclásticos y pómez, nuevos conos monogenéticos, domos y depósitos aluviales (Alvarado-González, 2012).

ii. Geología Local

Las unidades geológicas más antiguas dentro del área de estudio y sus alrededores, tienen origen en el Cretácico tardío hasta el Eoceno temprano, las cuales corresponden al Bloque Jalisco; caracterizado por calizas y areniscas, granitos y granodioritas, así como ignimbritas, riolitas y andesitas (Figura 4.5). Posteriormente se presentan ignimbritas y andesitas de la Sierra Madre Occidental del Oligoceno tardío al Mioceno temprano (34-19 Ma). Ya al inicio del Plioceno (4.95-4.1 Ma), se generan ignimbritas y riolitas de la secuencia Jala. Entre el Pleistoceno medio y el Pleistoceno tardío (2.5 – 0.4 Ma), se desarrolla la *Cadena Volcánica Sur*, compuesta por diversos volcanes monogenéticos, todos ellos en el extremo sur del graben San Pedro-Ceboruco (Alvarado-González, 2012).

Como características más importantes en el área, se tienen el Volcán El Ceboruco y el Volcán Tepetiltic; ambos son estratovolcanes poligenéticos que presentan estructuras tipo caldera (Petroni *et al.*, 2001). Estos volcanes forman parte de una cadena volcánica que nace desde Guadalajara (Jalisco) hasta Tepic (Nayarit), ubicados en la parte noroeste de esta cadena volcánica.

El Ceboruco es un volcán situado a 2164 m.s.n.m., elevándose hasta 1,100 metros sobre los valles circundantes Ahuacatlán y Jala; aunque se estima que el volcán era hasta 500 metros más alto antes de la erupción responsable de la formación de la última caldera (Ferrari *et al.*, 2003). Este volcán, que cuenta con una caldera exterior y una interior, es considerado actualmente como la segunda estructura más activa del Cinturón Volcánico Transmexicano, después del volcán de Colima. Además, es el único volcán de Nayarit que cuenta con registros históricos de diversos autores como Cavarantes (1870), Iglesias (1877) y Barrera (1932); de acuerdo con Sieron y Sieben (2008) y Ferrari *et al.* (2003).

Mapa Geológico del Área San Pedro-Ceboruco

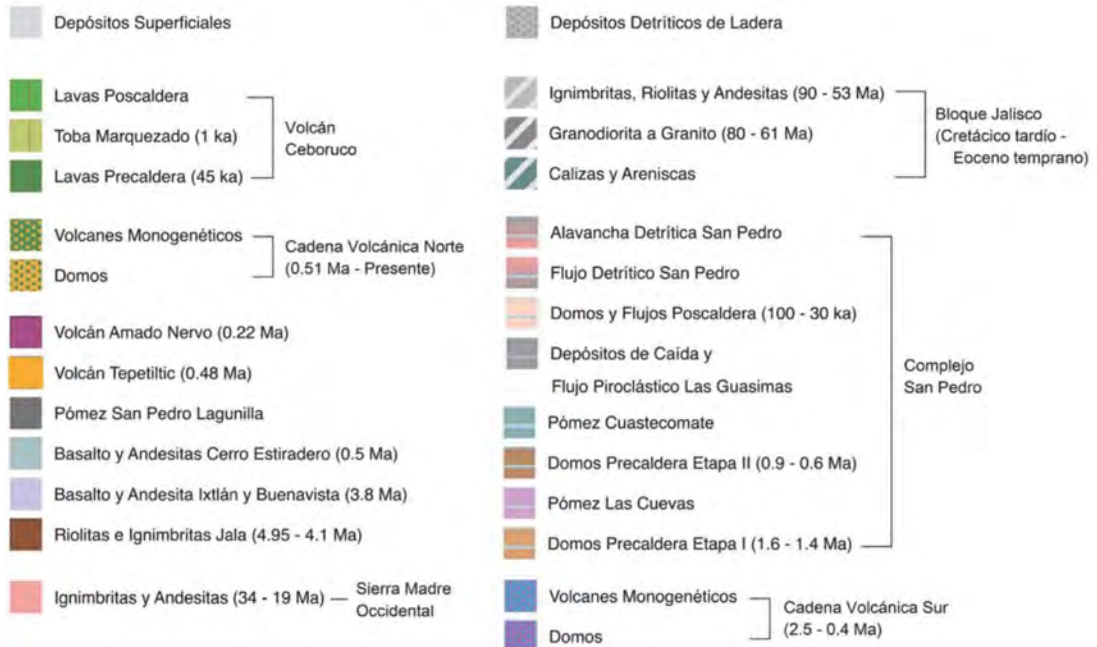
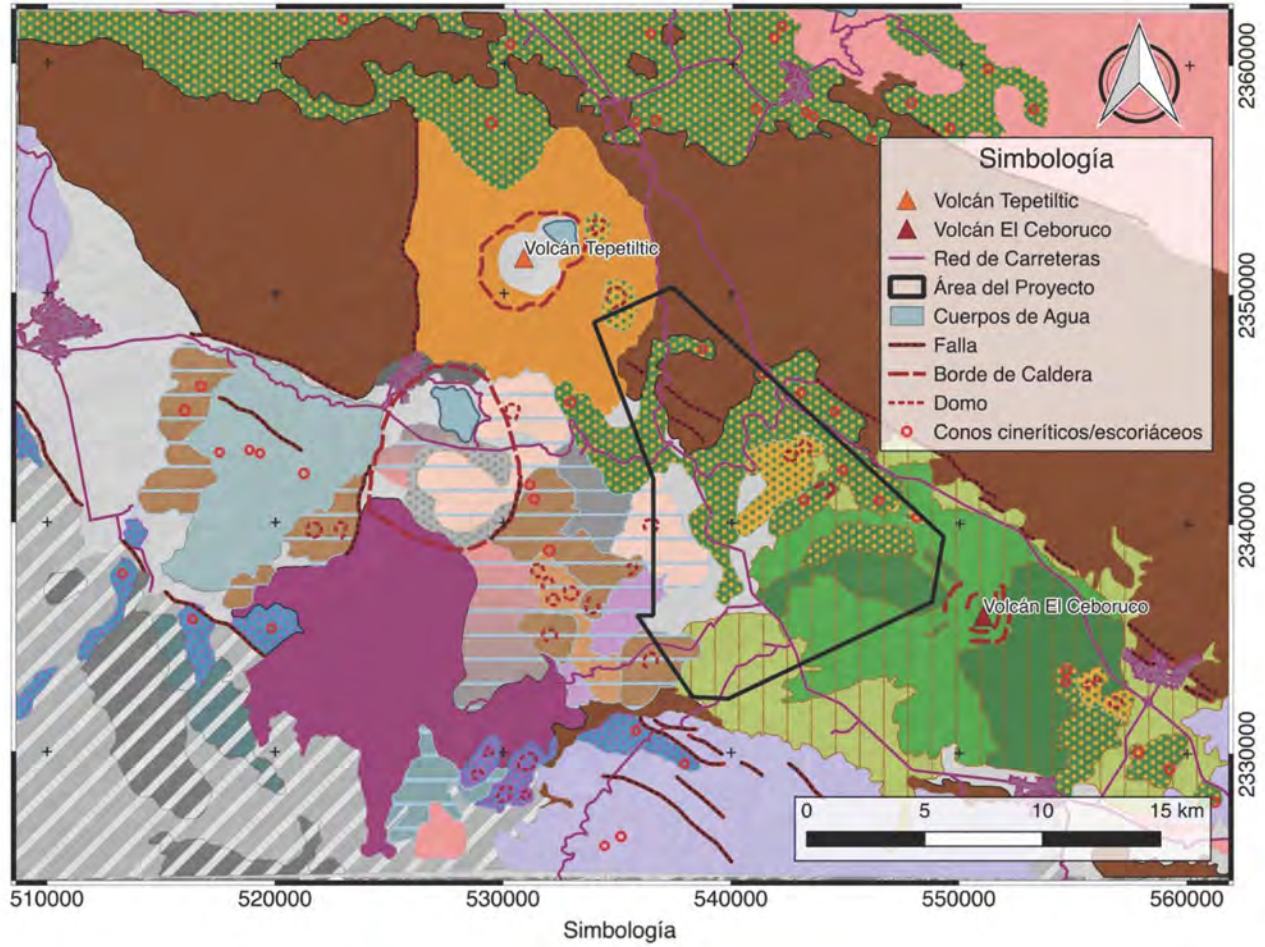


Figura 4. 5 Mapa geológico del área San Pedro-Ceboruco. Basado en Ferrari et al. (2003).

El Ceboruco es un pequeño estratovolcán poligenético de composición calcoalcalina (Petrone *et al.*, 2001). Las últimas erupciones de este volcán corresponden al Pleistoceno tardío y el Holoceno. Nelson (1980) estimó que el Ceboruco ha presentado al menos ocho episodios eruptivos en los últimos mil años; mientras que Sieron y Siebe (2008), concluyen que al menos siete episodios eruptivos han ocurrido en el mismo período de tiempo. Su última actividad eruptiva se registró en 1870, por lo que el cono principal y sus alrededores, presentan una morfología joven compuesta de lavas recientes; así como múltiples domos y pequeños conos piroclásticos.

En cuanto al Volcán Tepetitlic, es un pequeño estratovolcán compuesto por dos episodios de vulcanismo andesítico; en donde el segundo pulso de lavas andesíticas es más máfico que el primero (Ferrari *et al.*, 2003). Lavas de la parte basal del volcán han sido datadas por Petrone *et al.* (2001), dentro de un rango de los 0.49 Ma. Posterior a la formación de la caldera, dos domos riolíticos fueron emplazados en el flanco este de la caldera; mientras que dos domos andesíticos fueron emplazados al pie de la caldera (Ferrari *et al.*, 2003). Hoy en día se encuentra un cuerpo de agua en la parte noreste de la caldera.

c. Acuífero Valle Ixtlán-Ahuacatlán

El proyecto se encuentra en su totalidad dentro del área correspondiente al acuífero Valle Ixtlán-Ahuacatlán. Este acuífero representa un área de 1,354.6 kilómetros cuadrados al sur del estado de Nayarit. El área de influencia del acuífero cubre parcialmente seis municipios: Ahuacatlán, Ixtlán del Río, Jala, Santa María del Oro, San Pedro Lagunillas y Amatlán de Cañas (Figura 4.6).



Figura 4. 6 Acuífero Valle Ixtlán-Ahuacatlán, así como los municipios que se incluyen dentro del área. Elaborado con información de RG (2016), CONAGUA (2014) e INEGI (2015).

El acuífero se identifica con la clave 1809 y corresponde a la Región Hidrológica-Administrativa número VIII, Lerma-Santiago-Pacífico; de acuerdo a CONAGUA (2015). De acuerdo con el Censo de Población y Vivienda realizado por INEGI en el año 2010, alrededor de 44,500 personas viven dentro del área del acuífero, con lo que se puede inferir que un número similar de personas hacen uso de este recurso. Cabe destacar que el 62.6% de los usuarios del acuífero se encuentran concentrados en cuatro localidades urbanas: Ahuacatlán, Ixtlán del Río, Jala y San Pedro Lagunillas. Por otro lado, el 37.4% de la población se encuentra dispersa en 134 comunidades rurales.

Con base en la información elaborada por el Estudio Técnico Justificativo del Acuífero Valle Ixtlán-Ahuacatlán, realizado por la Universidad Politécnica de Huatusco en el año 2014, se presenta la Tabla 4.4. Esta tabla contiene tanto el área y porcentaje que cubre el acuífero dentro de cada municipio; así como el área y porcentaje del acuífero que está distribuido en cada uno de estos seis municipios.

Municipio	Área total del municipio [km ²]	Porcentaje del área del municipio [%]	Área dentro del acuífero [km ²]	Porcentaje de cobertura dentro del acuífero [%]
Ahuacatlán	504.80	93.76	470.28	34.72
Ixtlán del Río	493.01	58.51	286.62	21.16
Jala	503.62	42.24	211.37	15.60
San Pedro Lagunillas	515.68	41.85	214.43	15.83
Santa María del Oro	1091.40	13.41	145.42	10.73
Amatlán de Cañas	518.34	5.14	26.47	1.96
Total			1354.60 [km²]	100%

Tabla 4. 4 Relación espacial entre el acuífero Valle Ixtlán-Ahuacatlán y los seis municipios que cubre parcialmente. Información obtenida del Estudio Técnico Justificativo del Acuífero Valle Ixtlán-Ahuacatlán, Universidad Politécnica de Huatusco (2014).

De acuerdo a este mismo estudio técnico, se estima para el año 2030 la proyección de la población dentro del área que cubre el acuífero será de 59,252 habitantes. Esto representaría una demanda de casi el 33% más de agua de lo que se utiliza actualmente para suplir las necesidades de servicios público-urbanos y uso doméstico.

Estudios para la determinación de la disponibilidad media anual del agua subterránea para este acuífero, realizados por CONAGUA junto con el Registro Público de Derechos del Agua (REPDA), en su última actualización en el año 2015, publican la siguiente información:

	Millones de Metros Cúbicos Anuales ó [hm ³ /año]
Recarga Total Media Anual (RTMA)	68.80
Descarga Natural Comprometida (DNCOM)	43.10
Volumen Concesionado de Agua Subterránea (VCAS)	16.05
Volumen de Extracción de Agua Subterránea consignado a Estudios Técnicos (VEXET)	15.30
Disponibilidad Media Anual de Agua Subterránea (DAS)	9.65
Déficit	0.00

Tabla 4. 5 Resumen de información presentada en la última actualización de la disponibilidad de agua en el acuífero Valle Ixtlán-Ahuacatlán. Publicado en el Diario Oficial de la Federación, 20 de abril del 2015.

La recarga total media anual (RTMA), es la suma de los volúmenes que ingresan al acuífero en forma de recarga vertical. La descarga natural comprometida (DNCOM), se estima sumando los volúmenes de agua concesionados de manantiales y caudales de ríos que comprometen parte del agua superficial alimentada por el acuífero. En este grupo también se considera las descargas a los acuíferos adyacentes. El volumen concesionado de agua subterránea (VCAS), es el volumen anual de extracción de acuerdo con los títulos inscritos en el Registro Público de Derechos del Agua. La disponibilidad media anual de agua subterránea (DAS), es el volumen medio anual de agua subterránea disponible del acuífero; tomando ya en consideración el volumen de agua comprometida por los casos anteriormente descritos, de esta manera asegurándose de no poner en peligro ecosistemas que dependan del acuífero.

El 66.44% del volumen de agua subterránea concesionada por REPDA para este acuífero abastece actividades relacionadas al sector primario; mientras que el servicio público-urbano y doméstico representa 33.32% del volumen de agua extraído. Datos de REPDA con última actualización en el 2012, indican que de las 159 concesiones registradas para este acuífero, el 82.39 % están relacionadas con fines de agricultura, pecuarios y/o acuicultura. Por otro lado, el 17.61% de las otras concesiones están otorgadas para servicios público-urbanos, así como domésticos.

Acuífero Valle Ixtlán-Ahuacatlán y Ríos Principales

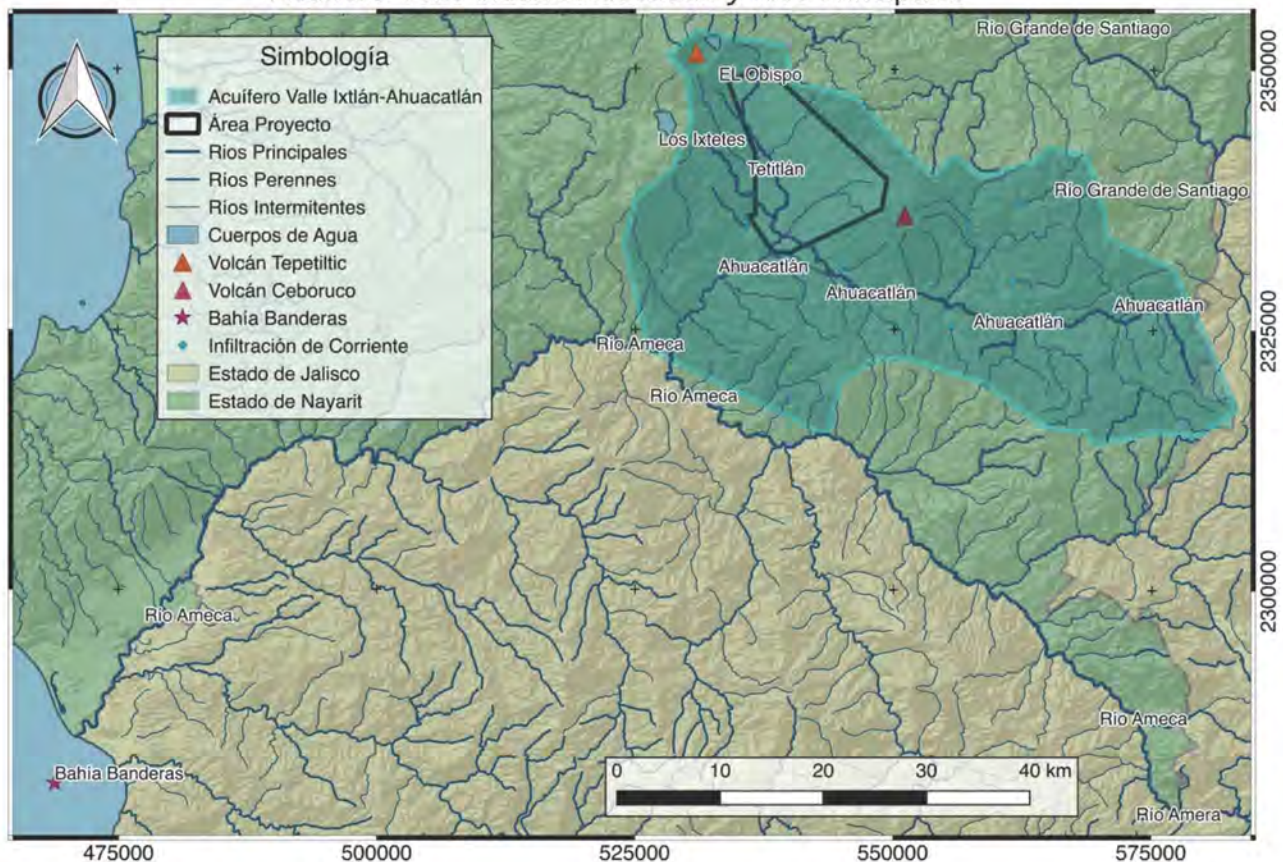


Figura 4. 7 Ríos principales dentro de la región del acuífero y alrededores. Elaborado con información de RG (2016), CONAGUA (2016) e INEGI (2016).

La corriente principal que drena el acuífero Valle Ixtlán-Ahuacatlán es el Río Ameca con tramos en su trayecto que pasan por el límite entre los estados de Jalisco y Nayarit; su trayecto es en total de 230 kilómetros, que desemboca en la bahía de Banderas, Nayarit. El río Ahuacatlán, comprendido dentro del área del acuífero, también es uno de los ríos tributarios más importantes del río Ameca (Figura 4.7). Dentro del área del proyecto, los ríos El Obispo, Los Ixtetes y Tetitlán son de los más importantes, los cuales a su vez desembocan en el río Ahuacatlán, al sur del área del proyecto.

d. Clima

i. Tipos de clima

En cuanto a clasificación climática, se suelen considerar e integrar factores como la temperatura, precipitación, evaporación y humedad relativa. El sistema de clasificación climática de Köppen es una de los más utilizados y está basado en la temperatura y precipitación media mensual y anual. La última versión del autor de esta clasificación fue publicada en 1936, la cual en diversos casos ha sido modificada por otros autores con el propósito de añadir exactitud a la clasificación.

De acuerdo con información geográfica de acceso público proporcionada por CONABIO, el área del proyecto, con base en el sistema de Köppen modificado por Enriqueta García, muestra predominancia a climas tipo Aw1, Aw2 y (A)C(w2). En la microcuenca Las Guásimas, se observa predominancia únicamente por los climas tipo Aw2 y (A)C(w2), como se observa en la Figura 4.8.

Los climas tipo Aw1 y Aw2 se caracterizan por ser climas cálidos subhúmedos con lluvias de verano, con temperatura media anual mayor a 22 °C. Otra característica de estos climas es que el mes más frío del año, la temperatura no es menor a 18 °C. Los climas tipo Aw1 y Aw2 únicamente difieren en el período de verano, cuando el índice P/T del clima tipo Aw2 es superior al del Aw1. El índice P/T es la relación entre la precipitación y temperatura de la zona; lo cual nos indica en este caso que el clima tipo Aw2 presenta mayor precipitación durante el verano. El clima tipo (A)C(w2), es un clima semicálido subhúmedo del tipo C; el grupo C se caracteriza por ser climas de tipo templado y lluvioso. La temperatura media anual de este clima es mayor a 18 °C, pero durante invierno puede bajar la temperatura a menos de 18 °C y en los meses de verano subir a temperaturas superiores a los 22 °C.

En los alrededores del área del proyecto y de la cuenca, se observa gran presencia de climas tipo Awo, (A)C(wo) y (A)C(w1); además de los climas explicados anteriormente. El clima tipo Awo se caracteriza al igual que los ya explicados climas Aw1 y Aw2, como clima cálido subhúmedo con lluvias de verano, pero presenta menor precipitación que los tipos Aw1 y Aw2. En cuanto a los climas tipo (A)C(wo) y (A)C(w1), son climas semicálidos y subhúmedos; al igual que el clima tipo (A)C(w2) la temperatura media anual es mayor a 18 °C. La diferencia entre estos climas radica en el índice P/T. Viendo la distribución de tipos de clima en la Figura 4.8, podemos afirmar que la zona se caracteriza por tener climas cálidos subhúmedos y semicálidos subhúmedos, con lluvias de verano. En donde la parte sureste de la zona del acuífero tiene ligeramente una menor tasa de precipitación que la zona noroeste del acuífero; zona donde se encuentra el área del proyecto y la microcuenca Las Guásimas.

Tipos de climas dentro del Área del Proyecto y alrededores

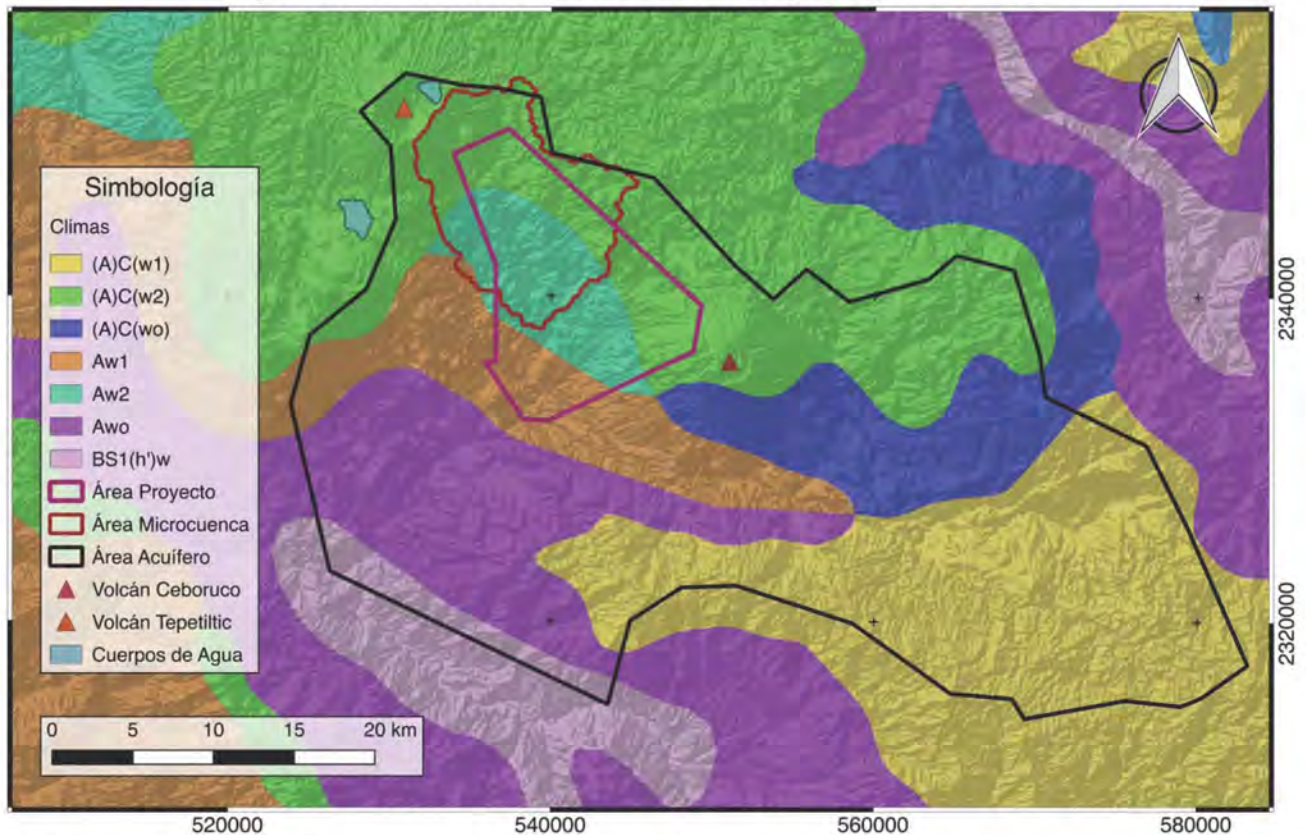


Figura 4. 8 Climas presentes en el área de estudio y alrededores. Clasificación de acuerdo con Köppen, con modificación de Enriqueta García. Fuente: CONABIO (2012).

ii. Estaciones meteorológicas

Las estaciones meteorológicas más cercanas a la zona del proyecto son Cerro Blanco, Cuastecomatillo y Ahuacatlán; todas estas ubicadas entre un radio de 10 a 13 kilómetros del área del proyecto (Figura 4.9). Estas estaciones pertenecen al Servicio Meteorológico Nacional, que a su vez depende de la Comisión Nacional del Agua en México. Estas estaciones son tipo SMN-CNA, es decir estaciones normales que cuentan con datos de precipitación y temperatura máxima y mínima diaria, y en algunos casos datos de evaporación.

Más alejada del área del proyecto, alrededor de unos 25 kilómetros al noroeste del proyecto se encuentra la estación meteorológica Lagos de Moreno, de tipo ESIME, o estación sinóptica meteorológica. Alrededor también de 25 kilómetros al sureste se encuentra la estación meteorológica Ixtlán del Río, que es de tipo EMA o estación meteorológica automática (Figura 4.9). Tanto las estaciones tipo ESIME como EMA pertenecen al Servicio Meteorológico Nacional, con las que se pueden obtener datos de dirección y velocidad de viento, humedad relativa, precipitación, temperatura del aire y presión atmosférica, con actualizaciones cada 10 minutos. Los reportes del SMN indican que este tipo de estaciones tienen un área representativa de 5 kilómetros.

Estaciones Meteorológicas a los alrededores del Área de Estudio

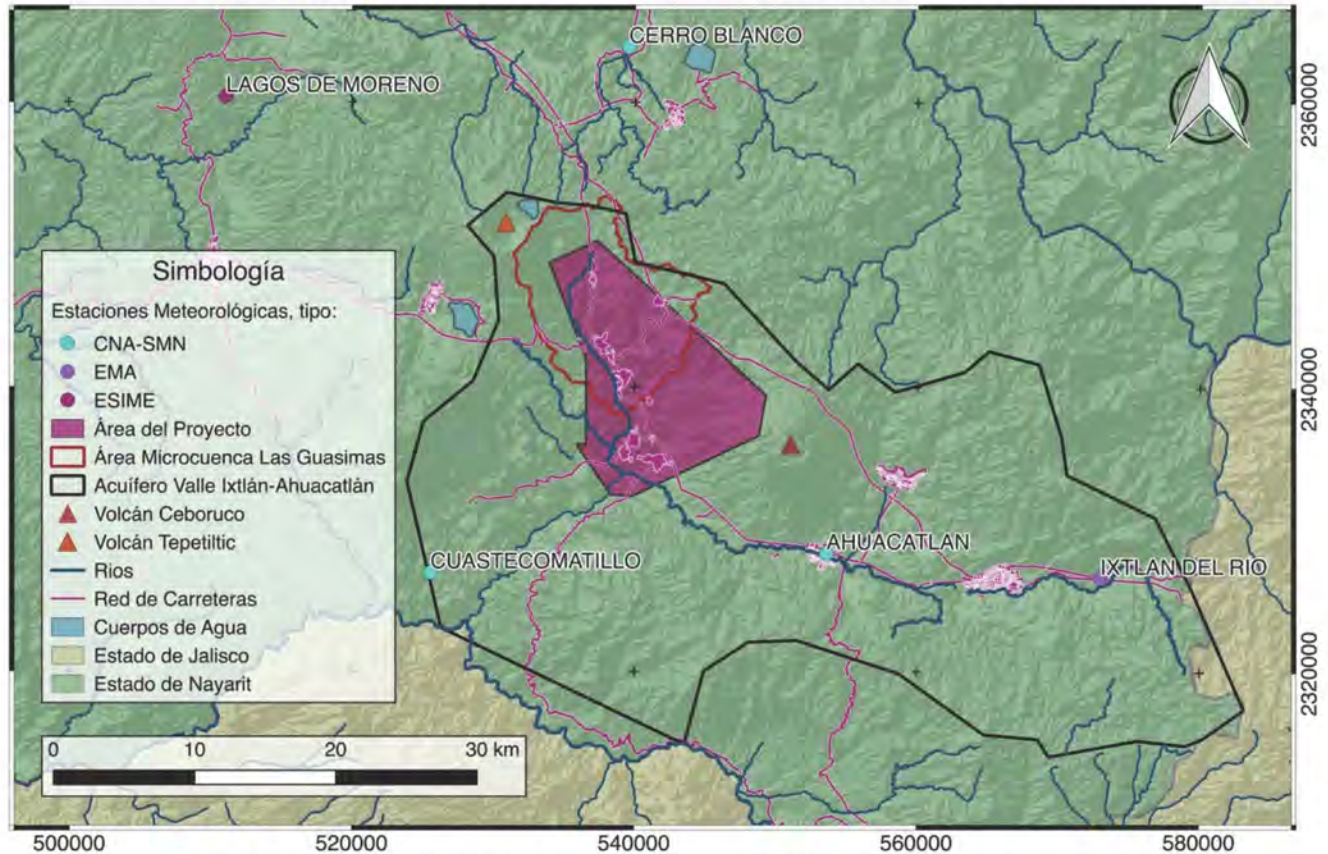


Figura 4. 9 Estaciones del Servicio Meteorológico Nacional a los alrededores del área de estudio.

iii. Viento

Con registros de velocidad y dirección del viento se pueden obtener modelos climáticos con una resolución de aproximadamente 30 kilómetros. Estos modelos no reproducen efectos o características climáticas locales muy detalladas; sin embargo, proporcionan una idea bastante aceptable para evaluar en términos generales una ubicación en particular en cuanto a régimen de vientos se refiere.

Meteoblue inicialmente fue un programa en la Universidad de Basel, Suiza, el cual se encargaba de ofrecer pronósticos meteorológicos basándose en información proporcionada por la NOAA y NCEP. Actualmente *Meteoblue* es una compañía que ofrece productos de información climática; en algunos casos con registros históricos de hasta 30 años. Entre estos productos, ofrece modelos de velocidad y dirección del viento para varios países, de los cuales México y la región de estudio es uno de ellos.

De acuerdo con la estación más cercana al área del proyecto, la estación agroclimática INIFAP de San Pedro Lagunillas, la cual colabora con *Meteoblue*, se presenta información referente a la velocidad y dirección del viento, así como la predominancia de dirección. La información presentada se deriva de registros que comprenden el período del 14 de marzo del 2015 al 15 de marzo del 2016, adquiridos y proporcionados por RG en el año 2016.

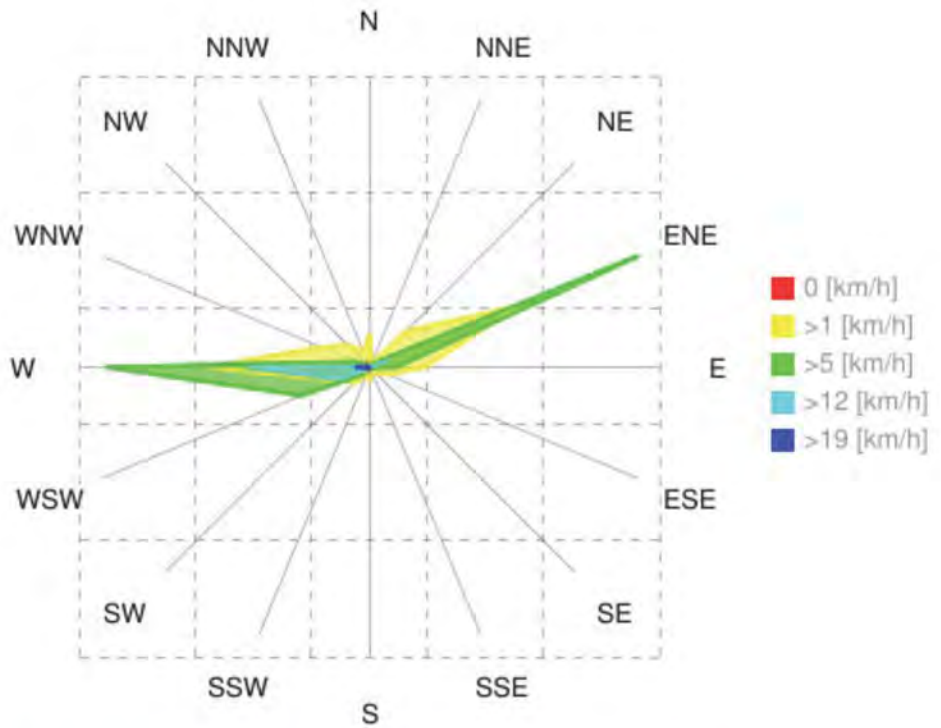


Figura 4. 10 Dirección y velocidad del viento en San Pedro Lagunillas. Imagen elaborada con datos de Meteoblue e INIFAP (2016).

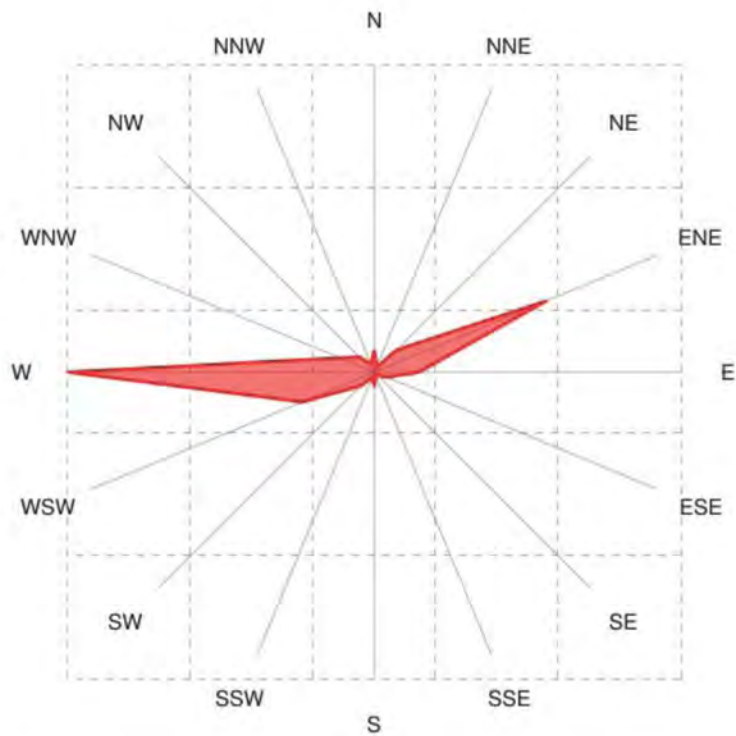


Figura 4. 11 Predominancia de dirección de viento en San Pedro Lagunillas. Imagen elaborada con datos de Meteoblue e INIFAP (2016).

Se puede observar en la Figura 4.10 en cuanto a velocidad del viento, una clara predominancia por vientos mayores a 5 [km/h], sin sobrepasar los 12 [12 km/h]. En lo que se refiere a dirección y predominancia del viento, Figuras 4.10 y 4.11 respectivamente, destacan claramente los vientos provenientes del oeste, seguidos por vientos provenientes del noreste con inclinación hacia el este.

e. Biodiversidad

Considerando a todo el estado de Nayarit, se tienen registradas 764 especies de invertebrados y 1360 especies de vertebrados; de estos últimos, 546 son aves, 409 mamíferos, 321 son peces, 58 son reptiles y 26 son anfibios. En cuanto a la región del proyecto, la cual está considerablemente interferida por actividades antropogénicas como lo es la agricultura, únicamente se registran 233 especies de vertebrados.

El Informe Preventivo elaborado por Mexxus-RG en el año 2013, indica que de estas 233 especies de vertebrados comprendidos en la región del proyecto, 123 son aves, seis especies de estas endémicas; 58 son mamíferos, de los cuales 4 especies son endémicas; 27 son reptiles, con 11 especies endémicas; y 15 son especies de anfibios de los cuales tres son endémicas. Cabe mencionar que la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales considera como *especie endémica* a las especies cuyo ámbito de distribución natural se encuentra circunscrito únicamente al territorio nacional; esto representa una escala geográfica muy amplia, sin hacer distinción entre estados, provincias biogeográficas u otra forma de subdivisión espacial.

La Norma Oficial Mexicana de Protección Ambiental para especies nativas de México de flora y fauna, NOM-059-SEMARNAT-2010, establece las especies que se encuentran en categoría de riesgo dentro del territorio nacional. De las 223 especies de vertebrados identificados en el área del proyecto, 30 se encuentran amenazadas o bajo algún tipo de protección. De estas especies, tres pertenecen a aves amenazadas y 8 a aves bajo protección especial; 6 especies de reptiles amenazados y 5 bajo protección especial; 3 especies de mamíferos amenazados y otras dos especies bajo protección especial; y por último, 3 especies de anfibios bajo protección especial.

Esta Norma Oficial considera como especies amenazadas a todas aquellas que podrían encontrarse en peligro de desaparecer a corto o mediano plazo si siguen operando los factores que inciden negativamente a su viabilidad, así como ocasionar el deterioro o modificación de su hábitat. Las especies sujetas a protección especial, son aquellas que podrían verse amenazadas por factores que inciden negativamente en su viabilidad, por lo que se establece la necesidad de propiciar su recuperación y conservación, así como la conservación de especies asociadas.

Utilizando la base de datos *Naturalista*; la cual es producto de la colaboración entre la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO) y la organización iNaturalist, se identificaron las observaciones de especies animales realizadas dentro del área del proyecto y sus alrededores. De estas, se menciona algunas de las especies de aves, mamíferos, reptiles y anfibios, dando prioridad a especies mencionadas dentro de la NOM-059-SEMARNAT-2010.

Se han observado la presencia de aves como la aguililla cola roja (*Buteo jamaicensis*), saltapared común (*Troglodytes aedon*), colibrí pico ancho (*Cyanthus latirostris*), paloma arroyera (*Leptotila*

verreauxi), y papamoscas amarillo del Pacífico (*Empidonax difficilis*); todas estas especies consideradas endémicas y sujetas a protección especial en México. También se han observado aves como el colorín siete colores (*Passerina ciris*), clarín jilguero (*Myadestes occidentalis*), y el carpintero pico plateado (*Campephilus guatemalensis*); estas especies también sujetas a protección especial a pesar de no ser consideradas como endémicas. También se identificaron especies como el gorrión sabanero (*Passerculus sandwichensis*), y el avetoro norteño (*Botaurus lentiginosus*); no endémicas, pero consideradas como especies amenazadas de acuerdo a la norma oficial ya mencionada.

Se han observado diversas especies de reptiles dentro del área de búsqueda, como lo son la lagartija espinosa áspera (*Sceloporus asper*), la culebra escombrera del sureste mexicano (*Leptodeira maculata*), culebra caracolera del occidente (*Tropidodipsas annulifera*), y la serpiente cantil o pichicuata (*Agkistrodon bilineatus*). Todas estas especies se encuentran bajo protección especial, y las primeras tres de estas especies son endémicas. Especies de reptiles amenazados ya observados dentro del área del proyecto se puede mencionar a la serpiente chirrionera neotropical (*Coluber mentovarius*), endémica; y la tortuga de monte pintada (*Rhinoclemmys pulcherrima*), no endémica.

En cuanto anfibios, únicamente se tiene registro de haberse observado ocho tipos de especies de ranas y sapos, como lo son el sapito pinto de Mazatlán (*Incilius mazatlanensis*), rana de árbol mexicana enana (*Tlalocohyla smithii*), rana fisgona deslumbrante (*Eleutherodactylus nitidus*), la rana chirriadora pálida (*Eleutherodactylus pallidus*), entre otras. De estas especies, únicamente la rana chirriadora pálida se considera como endémica y se encuentra bajo algún tipo de protección especial.

Hasta el momento no se encuentra dentro de la base de datos utilizada ningún avistamiento de especies de mamíferos bajo protección especial o amenazada dentro de la zona de estudio. Sin embargo, predominan en la región el tlacuache norteño (*Didelphis virginiana*), el tlacuache ratón gris (*Tlacuatzin canescens*); así como diversas especies de roedores, como la rata algodón de Arizona (*Sigmodon arizonae*), ardilla gris del Pacífico (*Sciurus colliaei*) y el ardillón de roca (*Otospermophilus variegatus*).

f. Riesgos Naturales

En este trabajo se ha consultado el Atlas de Riesgo y Peligros Naturales de los municipios de Ahuacatlán, San Pedro Lagunillas y Santa María del Oro; realizados en los años 2014 para los primeros dos municipios y 2013 para el último municipio. Estos trabajos se realizan bajo la guía y en conjunto con CENAPRED y las municipalidades respectivas; por lo que integran la base de datos del Atlas Nacional de Riesgo de CENAPRED.

En lo que cabe mencionar de estos trabajos consultados, destaca el riesgo por exposición al volcán activo El Ceboruco, de la cual se tiene registro de su última erupción en 1870, con un índice de explosividad volcánica estimado de 3, en una escala de 0 a 9 (Global Volcanism Program, 2017). Por otro lado, en cuanto a riesgo sísmico, la zona del proyecto se encuentra dentro de la Zona D, o zona de peligro severo de acuerdo con el mapa de Regionalización Sísmica realizado por CFE en el año 1993, aún utilizado por CENAPRED (Figura 4.12). Además, los reportes anteriormente mencionados indican índices de susceptibilidad entre medio a alto ante fenómenos como caída de cenizas, temperaturas máximas y temperaturas mínimas.

Regionalización Sísmica del Área del Proyecto y Alrededores

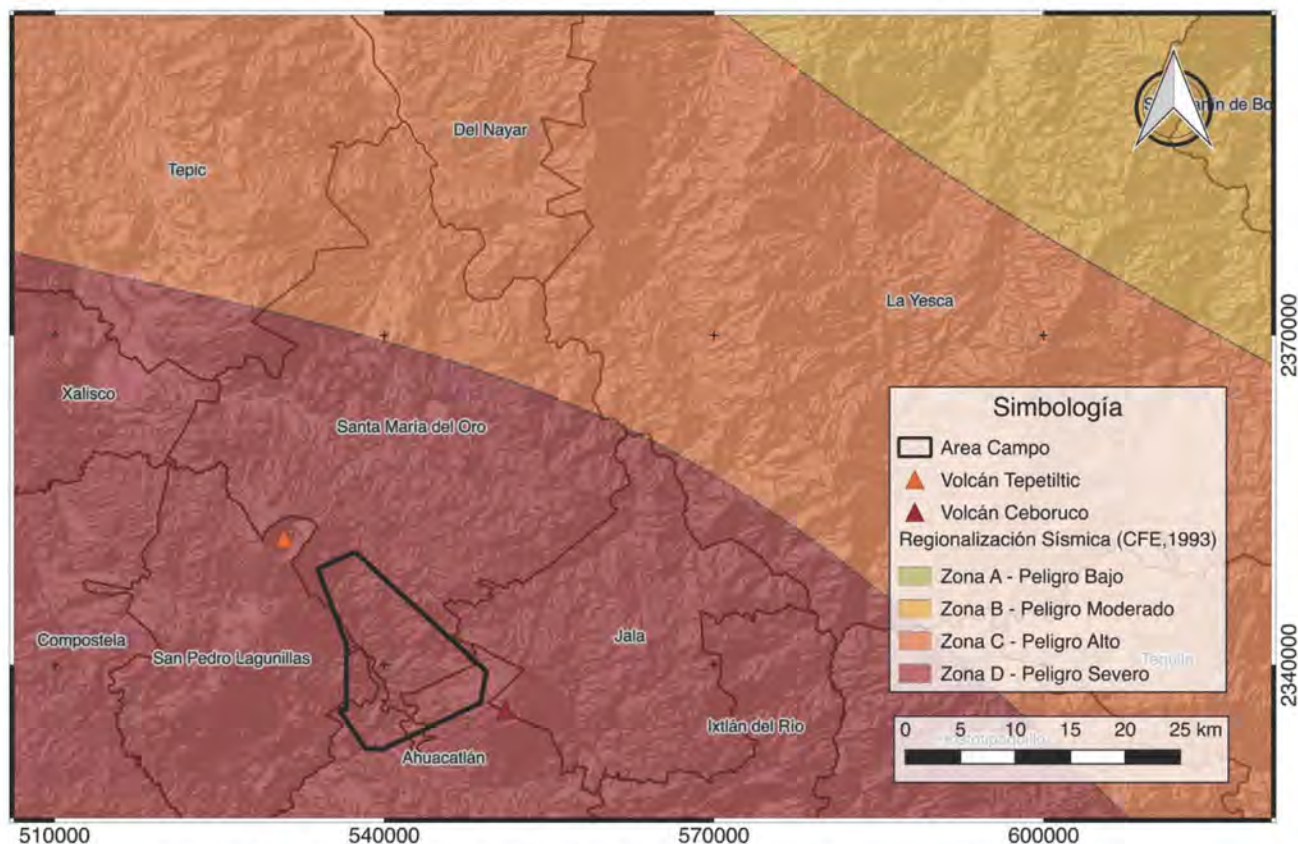


Figura 4.12 Regionalización Sísmica del área del proyecto. Fuente: CENAPRED (2014) y CFE (1993).

g. Aspectos sociales y culturales

i. Localidades

Como se ha mencionado antes, la microcuenca Las Guásimas y el área del proyecto cubren parte de tres municipios, Ahuacatlán, Santa María del Oro y San Pedro Lagunillas; área donde en total se encuentran 25 localidades. El municipio de Santa María del Oro cuenta con 17 de estas localidades, de las cuales 8 han sido estudiadas por el INEGI en su último censo con estadísticas publicadas, el cual corresponde para el año 2010. De las localidades que corresponden al municipio de San Pedro Lagunillas, sólo dos están dentro del área de la zona del proyecto y la microcuenca; en donde solo una localidad se encuentra incluida dentro del último censo del INEGI. En cuanto al municipio de Ahuacatlán, seis localidades se encuentran dentro del área de la microcuenca Las Guásimas o dentro del área del proyecto; únicamente se cuenta con datos de población de cinco de estas localidades.

La Figura 4.13 muestra la ubicación de las 25 localidades incluidas dentro de la zona del proyecto y/o la microcuenca Las Guásimas.

Localidades dentro del Área del Proyecto y de la Microcuenca

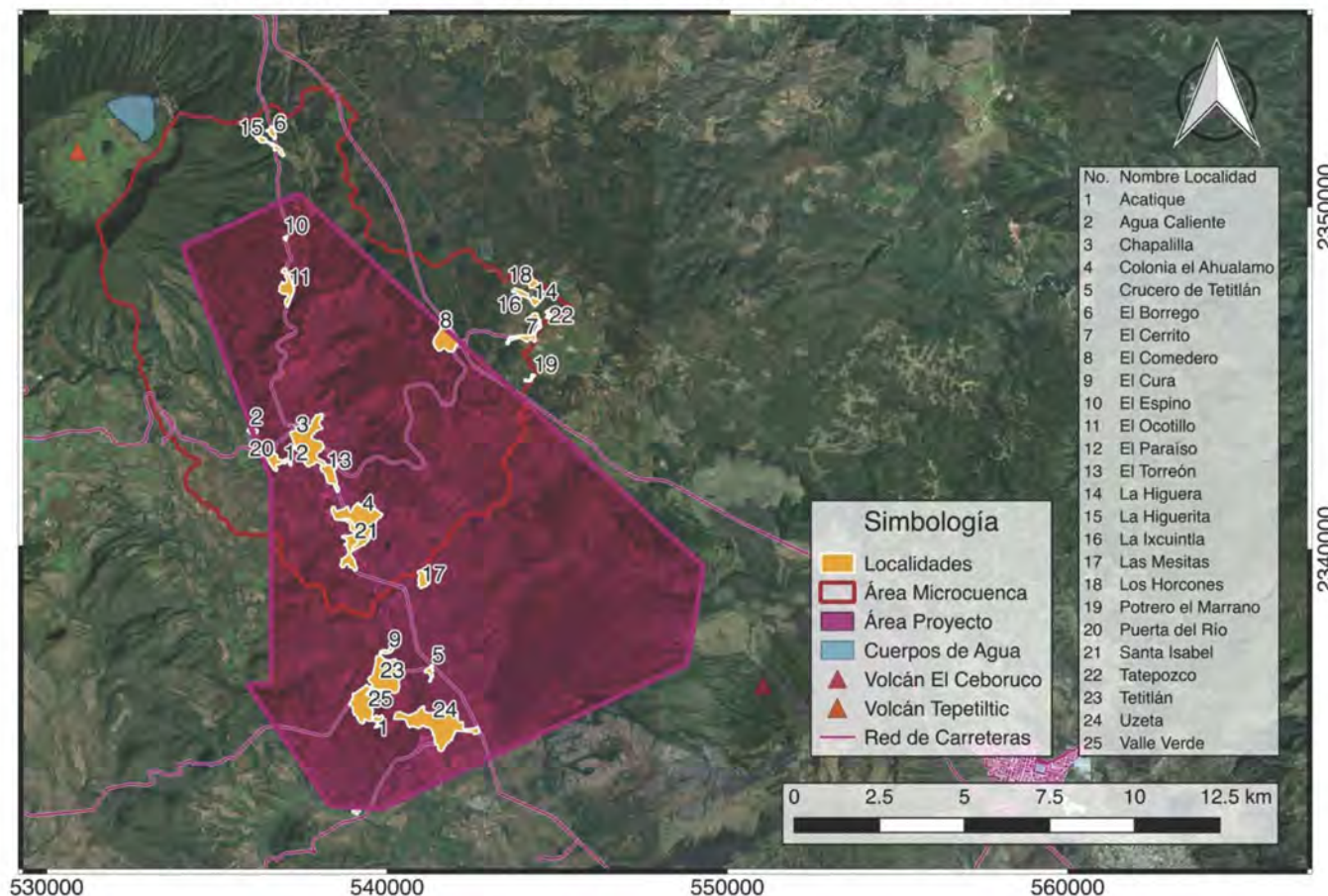


Figura 4.13 Localidades dentro del área del Proyecto y dentro del área de la Microcuenca Las Guásimas.

ii. Demografía

De las 25 comunidades dentro del área del proyecto, así como dentro de la microcuenca Las Guásimas; en total se estima una población de 8,438 personas, de acuerdo con el censo realizado por el INEGI en el año 2010. El 1% la población dentro del área de estudio pertenece a las localidades del municipio San Pedro Lagunillas, 44% a las localidades del municipio de Santa María del Oro y 54% a las localidades correspondientes al municipio de Ahuacatlán. Las localidades de Uzeta, Santa Isabel, Tetitlán, Colonia El Ahualamo y Chapilla, representan el 84% de la población total dentro de este estudio. Vale la pena destacar que 12 localidades cuentan con una población menor a 20 personas para el año del 2010.

De las localidades con datos de población mostradas en las tablas siguientes, se puede destacar que las personas menores a 18 años de edad, representa el 32% de la población total. Jóvenes dentro del rango de los 18 a 24 años, representan un 12% de la población total; y personas mayores a los 65 años constituyen el 13% de la población.

Municipio: Ahuacatlán	Rango de Edad						Sexo		Población Total
Localidad	0 a 5 años	6 a 11 años	12 a 17 años	18 a 24 años	25 a 64 años	65 años y más	Población Masculina	Población Femenina	
Uzeta	174	180	206	200	744	200	882	822	1704
Santa Isabel	117	115	136	142	487	177	563	611	1174
Tetitlán	96	89	82	139	427	170	526	477	1003
Valle Verde	46	60	82	86	284	109	336	331	667
Acatique	0	1	2	5	7	3	6	12	18
El Cura	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	3

Tabla 4.6 Localidades dentro del área del proyecto pertenecientes al municipio de Ahuacatlán. Fuente: INEGI (2010).

Municipio: San Pedro Lagunillas	Rango de Edad						Sexo		Población Total
Localidad	0 a 5 años	6 a 11 años	12 a 17 años	18 a 24 años	25 a 64 años	65 años y más	Población Masculina	Población Femenina	
Puerta del Río	17	7	14	18	52	11	68	51	119
El Paraíso [Balneario]	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	3

Tabla 4.7 Localidades del municipio San Pedro Lagunillas dentro del área del proyecto. Fuente: INEGI (2010).

Municipio: Santa María del Oro	Rango de Edad						Sexo		Población Total
Localidad	0 a 5 años	6 a 11 años	12 a 17 años	18 a 24 años	25 a 64 años	65 años y más	Población Masculina	Población Femenina	
Colonia el Ahualamo	243	232	210	246	819	172	959	963	1922
Chapalilla	132	141	148	148	577	164	649	661	1310
El Torreón	18	13	15	12	80	19	84	73	157
El Ocotillo	19	14	14	17	47	19	62	68	130
Las Mesitas	18	13	10	11	52	17	59	62	121
Los Horcones	8	1	2	5	13	1	17	13	30
La Higuera	2	3	1	4	5	1	7	9	16
El Borrego	0	1	1	0	4	2	5	3	8
El Espino	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	2
El Comedero	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	8
Crucero de Tetitlán	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	5
La Sierra	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	6
La Ixcuintla	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	7
Potrero el Marrano	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	12
Tatepozco	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	5
El Cerrito	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	5
La Higuera	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	3

Tabla 4.8 Localidades del municipio Santa María del Oro ubicadas dentro del área del proyecto. Fuente: INEGI (2010).

iii. Educación

En el año 2010 el INEGI estimó una tasa de analfabetismo del 6.9% en México, considerando a personas con edad igual o mayor a 15 años para su estudio. En el estado de Nayarit en específico, la cifra de analfabetismo es del 12.2% para el mismo año. De las 14 localidades que cuentan con datos estadísticos, ninguna localidad sobrepasa la cifra estatal; sin embargo, hay localidades que presentan tasas de analfabetismo altas, como lo son Las Mesitas, Valle Verde y Ocotillo, superando el 10% de analfabetismo. Por otro lado, de estas 14 comunidades, cuatro cuentan con una alfabetización del 100% dentro de personas con quince años o más. Es importante destacar también que estas localidades no cuentan con un gran número de personas; el poblado Los Horcones es la localidad más grande con 30 personas.

La Tabla 4.9 presenta las estadísticas de educación: cuatro de las localidades que fueron censadas en el 2010 tienen algún grado de inasistencia a la escuela, considerando los niños entre 6 y 11 años, con un máximo de inasistencia de 3.9% en la localidad Colonia el Ahualamo. Esta cifra se incrementa para el rango de edad entre 12 y 17 años, en donde nueve localidades presentan algún grado de inasistencia; la cifra más alta pertenece a la localidad Las Mesitas con el 20% de inasistencia.

Localidad	Población de 6 a 11 años que no asiste a la escuela [%]	Población de 12 a 17 que no asiste a la escuela [%]	Población de 15 años o más con primaria completa [%]	Población de 15 años o más con secundaria completa [%]	Población de 18 años o más con educación pos-básica [%]	Población de 15 años o más analfabeta [%]
Uzeta	0.00	13.11	15.56	25.14	27.45	7.82
Santa Isabel	3.51	14.07	13.81	20.89	31.88	7.19
Tetitlán	1.12	10.98	16.77	19.46	27.99	7.68
Valle Verde	0.00	18.29	19.09	19.66	18.79	10.59
Acatique	0.00	0.00	12.50	37.50	33.33	0.00
Puerta del Río	0.00	14.29	17.05	27.27	27.16	6.82
Colonia el Ahualamo	3.90	18.57	18.18	24.96	23.87	8.64
Chapalilla	1.42	15.54	20.35	21.59	16.76	8.06
El Torreón	0.00	6.67	18.49	24.37	18.92	5.88
El Ocotillo	0.00	0.00	17.05	18.18	24.10	10.23
Las Mesitas	0.00	20.00	12.94	20.00	26.25	11.76
Los Horcones	0.00	0.00	30.00	35.00	10.53	0.00
La Higuera	0.00	0.00	10.00	40.00	30.00	0.00
El Borrego	0.00	0.00	66.67	66.70	50.00	0.00

Tabla 4.9 Porcentajes de analfabetismo, grado de estudios e inasistencia a la escuela para los poblados censados dentro del área del proyecto. Fuente: INEGI (2010).

De toda la población dentro de la microcuenca Las Guásimas, así como del área del proyecto, se observa que únicamente 25.5% de la población cuenta con educación post-básica. El INEGI se refiere a población con educación post-básica a las personas que poseen como escolaridad máxima algún grado concluido y aprobado en preparatoria, bachillerato, estudios técnicos, licenciaturas, maestrías o doctorados; sin hacer distinción del nivel de estudios máximo.

De las 14 localidades censadas dentro del área de estudio, el 8.08% de la población es analfabeta. Para ése mismo año, el INEGI estimó una tasa de analfabetismo del 4.7% en la Ciudad de México, la cual es la tasa más baja de todo el territorio nacional. Casi duplicando esta cifra, se puede observar la gran brecha educativa que existe entre regiones del país.

Esta situación se debe al bajo estímulo para asistir a instituciones educativas y así llegar a concluir grados de educación primaria y secundaria. Generalmente esa falta de estímulo es consecuencia de la carencia de facilidades para asistir a la escuela, tanto por baja cobertura de centros educativos en la zona, como por falta de personal dentro de los centros educativos y de instalaciones adecuadas. Otra razón muy común por la que estudiantes desertan en su educación, es por el bajo rendimiento que presentan; muchas veces originado por falta de alimentación adecuada, o por la necesidad de trabajar o encargarse de otras labores desde edades muy tempranas.

iv. Aspectos Socioeconómicos

En la siguiente tabla se presentan indicadores socioeconómicos comúnmente censados en México. Los siguientes indicadores pueden describir la situación en general en la que se encuentran las comunidades estudiadas. Por ejemplo, el porcentaje de viviendas que cuentan con piso de tierra se puede directamente relacionar al número de viviendas que están viviendo bajo el nivel de pobreza.

Dentro de este censo, el INEGI proporciona información acerca de las viviendas que no cuentan con ningún bien; considerando como bienes poseer un radio, televisión, refrigerador, lavadora, automóvil, computadora, teléfono fijo, celular o internet. Además, esta tabla muestra el porcentaje de viviendas que cuentan con servicios básicos proporcionados por el estado, como lo es energía eléctrica, agua entubada y sistemas de drenaje.

Localidad	Total de Viviendas Habitadas	Viviendas con piso de tierra [%]	Viviendas habitadas sin ningún bien [%]	Viviendas particulares habitadas con			
				Energía Eléctrica [%]	Agua entubada [%]	Drenaje [%]	Energía eléctrica, Agua entubada y Drenaje [%]
Uzeta	491	0.61	1.43	99.59	98.78	98.37	97.35
Santa Isabel	349	2.01	2.58	99.14	98.28	96.28	94.56
Tetitlán	329	2.13	1.22	100.00	99.09	97.87	97.57
Valle Verde	215	0.93	4.19	99.07	98.14	98.14	97.21
Acatique	5	0.00	0.00	100.00	100.00	100.00	100.00
Puerta del Río	34	0.00	2.94	97.06	100.00	94.12	94.12
Colonia el Ahualamo	491	10.79	2.44	98.57	98.57	98.37	95.11
Chapalilla	390	5.64	0.77	99.23	98.21	97.95	95.90
El Torreón	54	5.56	0.00	100.00	96.30	100.00	96.30
El Ocotillo	36	5.56	0.00	100.00	100.00	97.22	97.22
Las Mesitas	30	10.00	0.00	96.67	96.67	86.67	83.33
Los Horcones	7	14.29	0.00	85.71	85.71	71.43	71.43
La Higuera	3	33.33	0.00	100.00	100.00	100.00	100.00
El Borrego	3	0.00	0.00	100.00	100.00	100.00	100.00

Tabla 4. 10 Porcentaje de cobertura de servicios básicos facilitados por el estado e índices comúnmente utilizados para determinar algún grado de pobreza. Fuente: INEGI (2010).

Se puede observar que las localidades de Colonia el Ahualamo, Las Mesitas, Los Horcones, y la Higuera cuentan con más del 10% de viviendas con piso de tierra. Por otro lado, cuatro localidades sobresalen por tener viviendas que no cuentan con ningún bien considerado por el INEGI; algunos indispensables, como lo es un refrigerador. Esto nos confirma los niveles de pobreza presentes dentro de estas cuatro comunidades.

En cuanto a servicios básicos facilitados por el gobierno, el 96% de las viviendas que cubre este estudio cuentan con energía eléctrica, agua entubada e instalaciones de drenaje. Sin embargo, sobresale la localidad de Las Mesitas con un 83% de cobertura, así como Los Horcones con el 71% de viviendas que cuentan con estos tres servicios.

v. Salud

De estas 14 localidades incluidas dentro del estudio, El Ocotillo, Los Horcones y El Borrego, son las localidades con menor cantidad de derecho-habientes de servicios de salud, ya sea proporcionados por el IMSS, ISSTE o cualquier otra institución. Nuevamente se puede observar que estas tres localidades pertenecen al municipio de Santa María del Oro; en donde El Ocotillo tiene la menor cobertura en cuanto a servicios de salud, cubriendo únicamente el 54.6% de la población.

Localidad	Población sin derechohabencia a servicios de salud		Población derechohabientes a algún servicio de salud	
	Número de personas	Porcentaje [%]	Número de personas	Porcentaje [%]
Uzeta	239	14.03	1465	85.97
Santa Isabel	98	8.35	1069	91.06
Tetitlán	144	14.36	859	85.64
Valle Verde	120	17.99	547	82.01
Acatique	4	22.22	14	77.78
Puerta del Río	43	36.13	76	63.87
Colonia el Ahualamo	300	15.61	1621	84.34
Chapalilla	420	32.06	881	67.25
El Torreón	48	30.57	109	69.43
El Ocotillo	59	45.38	71	54.62
Las Mesitas	11	9.09	110	90.91
Los Horcones	22	73.33	8	26.67
La Higuera	6	37.50	10	62.50
El Borrego	6	75.00	2	25.00

Tabla 4. 11 Número de personas derecho-habientes a algún servicio de salud y número de personas no derecho-habientes para cada localidad estudiada. Fuente: INEGI (2010).

De las 14 localidades censadas en este estudio, por tamaño de población (población mayor a mil personas), sobresalen Uzeta, Santa Isabel, Tetitlán, Colonia El Ahualamo y Chapalilla; en donde las primeras tres localidades pertenecen al municipio de Ahuacatlán, mientras que las últimas dos localidades pertenecen al municipio de Santa María del Oro. Generalmente las localidades más grandes suelen tener mayor cobertura en cuanto a servicios de salud; como coincide con las localidades de Uzeta y Santa Isabel. Sin embargo, en la localidad de Chapalilla, perteneciente al municipio de Santa María del Oro, se observa un porcentaje bajo de derecho-habientes a servicios de salud, cubriendo únicamente dos tercios de la población.

vi. Ocupación y Actividad Económica

Del total de la población que tiene más de 12 años de edad, únicamente el 43% tiene algún tipo de ocupación (Tabla 4.12). Destaca la localidad de Acatique en el municipio de Ahuacatlán, en donde casi el 59% de la población tiene ocupación, esta localidad es la que presenta las cifras más altas en este rubro. De igual manera esta localidad presenta el mayor porcentaje de personas económicamente activas.

Caso contrario, la localidad de Santa Isabel, también en el municipio de Ahuacatlán, el 60.6% de la población no es económicamente activa. A pesar de estar detrás de las localidades El Borrego y La Higuera en cuanto a porcentaje de población económicamente no activa, llama la atención Santa Isabel ya que cuenta con una población total de 1174 personas, la cual es una de las localidades más grandes dentro de este estudio.

Considerando todas las localidades dentro del área de estudio, únicamente el 44% de la población mayor de 12 años es económicamente activa; esto señala falta fuentes de empleo en la región.

Localidad	Población Total	Población mayor a 12 años [%]	Población mayor de 12 años económicamente		Población mayor de 12 años con ocupación [%]
			Activa [%]	Inactiva [%]	
Uzeta	1704	79.23	42.15	57.85	40.74
Santa Isabel	1174	79.90	39.34	60.66	37.53
Tetitlán	1003	81.56	43.52	56.48	41.56
Valle Verde	667	84.11	40.11	59.89	38.15
Acatique	18	94.44	58.82	41.18	58.82
Puerta del Río	119	79.83	43.16	56.84	33.68
Colonia el Ahualamo	1922	75.23	47.65	52.35	47.03
Chapalilla	1310	79.16	46.96	53.04	45.71
El Torreón	157	80.25	51.59	48.41	51.59
El Ocotillo	130	74.62	41.24	58.76	41.24
Las Mesitas	121	74.38	48.89	51.11	48.89
Los Horcones	30	70.00	42.86	57.14	42.86
La Higuera	16	68.75	36.36	63.64	36.36
El Borrego	8	87.50	28.57	71.43	28.57

Tabla 4. 12 Porcentaje de población mayor a 12 años de edad con algún tipo de ocupación y/o económicamente activa. Fuente: INEGI (2010).

vii. Cultura y Religión

De acuerdo con la CDI o Comisión Nacional para el Desarrollo de los Pueblos Indígenas, en su catálogo de Localidades Indígenas realizado en el año 2010, de estas 25 localidades únicamente dos presentan población indígena dispersa. Estas localidades son Uzeta, en el municipio de Ahuacatlán y la localidad Colonia El Ahualamo, dentro del municipio Santa María del Oro. Ambas comunidades poseen un porcentaje de población indígena menor al 40%; considerándose como baja concentración de población indígena para la localidad de Uzeta, y media para la localidad Colonia El Ahualamo.

En cuanto a religión, de las catorce comunidades que fueron censadas en el año 2010, el 98.94% de la población profesa algún tipo de religión. Se observa claramente la predominancia de la religión católica romana, la cual representa el 93.60% de la población total de estas comunidades.

Localidad	Población Total	Población con alguna religión [%]	Población católica [%]	Población sin religión [%]
Uzeta	1704	99.77	98.77	0.23
Santa Isabel	1174	99.15	96.17	0.85
Tetitlán	1003	99.50	96.71	0.50
Valle Verde	667	99.70	95.65	0.30
Acatique	18	100.00	100.00	0.00
Puerta del Río	119	99.16	89.08	0.84
Colonia el Ahualamo	1922	97.81	83.98	2.19
Chapalilla	1310	98.24	94.50	1.76
El Torreón	157	100.00	98.73	0.00
El Ocotillo	130	98.46	96.15	1.54
Las Mesitas	121	100.00	100.00	0.00
Los Horcones	30	100.00	100.00	0.00
La Higuera	16	100.00	100.00	0.00
El Borrego	8	100.00	0.00	0.00
Total	8379	98.94	93.60	1.06

Tabla 4. 13 Porcentaje de población creyente, creyente católica y sin religión. Fuente: INEGI (2010).

Sobresalen las localidades de Las Mesitas, Los Horcones y La Higuera, ubicadas en el municipio de Santa María del Oro, por poseer una población del 100% creyente y católica al mismo tiempo. Las localidades cuentan con 121, 30 y 16 habitantes respectivamente.

Dentro del mismo municipio de Santa María del Oro, se encuentran las localidades de El Torreón y El Borrego, con población total para el año 2010 de 157 y 8 habitantes respectivamente. Estas dos localidades cuentan con una población religiosa del 100%, sin embargo no toda la población profesa la religión católica romana.

Respecto a casos similares en otros municipios, sólo se puede señalar la localidad Acatique en el municipio de Ahuacatlán, con una población total de 18 personas, todas ellas creyentes y católicas.

EVALUACIÓN PRELIMINAR DE POSIBLES IMPACTOS AMBIENTALES

Este capítulo tiene como propósito exponer los posibles efectos ambientales que se pueden presentar durante el proyecto. Como se mencionó en el capítulo anterior, el proyecto *Perforación de pozos exploratorios en la zona geotérmica “Volcán El Ceboruco”* consta de cuatro etapas. A continuación, se describirá las actividades de cada etapa con el fin de identificar y asociar los posibles impactos durante el desarrollo del proyecto. Se clasificarán los impactos con tres criterios: tipo de impacto (positivo o negativo), extensión del impacto (puntual, local o regional), y continuidad del impacto (ocasional, temporal, continuo y permanente). A continuación se explica las consideraciones para determinar la escala de los últimos dos criterios mencionados. Estos criterios así como su clasificación son basados en el Informe Preventivo elaborado por Mexxus-RG en el año 2013.

Extensión del Impacto

Puntual

Afectación directa en el sitio donde se ejecuta la acción, hasta una distancia de 50 metros.

Local

Si el efecto ocurre a una distancia entre los 50 metros y los límites del área del proyecto.

Regional

El efecto se manifiesta fuera del área del proyecto propuesto.

Continuidad del Impacto

Ocasional

El efecto puede ocurrir incidentalmente mientras dura una acción intermitente y existen medidas para evitar el efecto, u ocurre una sola vez.

Temporal

El efecto sucede de vez en cuando (incidentalmente) en los ciclos de tiempo que dura una acción intermitente.

Continuo

El efecto siempre se produce al mismo tiempo que dura la acción y esta se lleva a cabo de forma continua o frecuente.

Permanente

Permanece el efecto aún después de haberse completado la acción.

También se presentan las normas, reglamentos o leyes ambientales que se deben de cumplir durante cada actividad del proyecto. De igual manera, se mencionan otras medidas adicionales para prevenir o mitigar cada uno de estos posibles impactos. Las etapas del proyecto expuestas en este capítulo fueron consideradas de acuerdo al Informe Preventivo ya mencionado, así como la mayoría de las actividades descritas en cada etapa del proyecto.

a. Etapa 1: Preparación del sitio y construcción de plataformas

A continuación se señalan detalladamente las actividades de esta primera etapa:

- **Actividad 1.1:** Limpieza de las zonas destinadas a plataformas de perforación, presas de lodos y demás área de trabajo; así como la creación de accesos en caso de ser necesario. Esto incluye retiro de cultivos, maleza, piedras, entre otros.
- **Actividad 1.2:** Remoción del horizonte de suelo que consta de materia orgánica. Posteriormente se almacenará este material de manera adecuada para reutilizarse en las zonas donde se retiró una vez designada las áreas intervenidas que se rehabilitarán.
- **Actividad 1.3:** Nivelación del área para las plataformas de perforación, presas de lodos y caminos en caso de ser necesario. Compactación del suelo en las áreas destinadas a la instalación de las presas de lodos.

Esta etapa del proyecto consiste en la preparación del sitio para la construcción de las plataformas de perforación, será necesario enfocarse en la planificación y uso consciente del espacio. En esta etapa del proyecto, entre menos espacio nuevo sea intervenido, menor será el área afectada y las posibles afectaciones a los ecosistemas. Otra actividad importante en este proyecto es hacer una correcta nivelación y compactación del suelo con el fin de protegerlo; la nivelación del suelo evita encharcamientos, mientras que la compactación hace que sea más difícil la infiltración de aceites, combustibles o lodos de perforación por derrames accidentales. De esta manera también se estarán protegiendo los cuerpos de agua subterránea al hacer más difícil el proceso de lixiviación de sustancias contaminantes.

En cuanto a la excavación para la construcción de la presa de lodos, el numeral 2.4.2 y 2.3.1 de la NOM-150-SEMARNAT-2006, señalan que no debe exceder 625 m² de área y debe tener una profundidad máxima de tres metros. Además, el suelo y las paredes de la presa deberán ser compactados e impermeabilizados, como lo señala el numeral 2.4.7. Durante las actividades de nivelación, la especificación 4.2.6 ordena utilizar el material generado por trabajos de nivelación del terreno y excavación, en la construcción de la plataforma. La justificación de esta especificación también se menciona en la misma norma: "para evitar la creación de barreras físicas que impidan el libre desplazamiento de la fauna a los sitios aledaños a este, y/o bordes que modifiquen la topografía e hidrodinámica de terrenos inundables, así como el arrastre de sedimentos a los cuerpos de agua cercanos a la zona del proyecto".

Las Tablas 5.1 y 5.2 señalan los posibles impactos para cada una de las actividades del proyecto. La Tabla 5.1 enumera los posibles impactos identificados para las actividades de esta etapa, así como las acciones que se deben cumplir de acuerdo a las normas y leyes mexicanas aplicables. La Tabla 5.2 presenta una serie de medidas que se pueden tomar dependiendo de cada actividad, que aunque no son obligatorias, se recomienda aplicarlas con el fin de reducir o evitar por completo los posibles impactos identificados en esta primera etapa.

Etapa 1 - Posibles Impactos Ambientales

Componente Ambiental	Actividad	Norma y/o disposición aplicable	Descripción del Potencial Impacto	Clasificación del Impacto
Suelo	1.1	NOM-150-SEMARNAT-2006: - Se deben respetar los planes de desarrollo urbano, regulaciones de uso de suelo y ambientales municipales y estatales (numeral 4.1.1). - Sólo perforarse hasta 5 pozos por área de interés geotérmico (numeral 4.2.1). - Establece dimensiones máximas para las plataformas de perforación y presas de lodos (numeral 4.2.4). - Regulaciones para la construcción de nuevos caminos para actividades de exploración geotérmica (numeral 4.2.10).	Posible incremento de la erosión.	Impacto negativo, puntual y continuo.
	1.2			
	1.3	NOM-150-SEMARNAT-2006: - Se deben realizar las excavaciones, nivelaciones y rellenos necesarios para evitar encharcamientos, así como dar mantenimiento para evitar su deterioro (numeral 4.2.5). - El material generado por los trabajos de nivelación del terreno y excavación no deberán impedir el libre desplazamiento de la fauna en zonas aledañas, también se deberá evitar crear zonas de inundación e impedir el arrastre de sedimentos a cuerpos de agua cercanos al área del proyecto (numeral 4.2.6). - Especificaciones para la construcción de las presas de lodos (numeral 4.3.1).	Posible modificación de la escorrentía superficial provocando nuevas zonas de encharcamiento.	Impacto negativo, puntual y continuo.
Agua	1.3	NOM-150-SEMARNAT-2006: - En caso que sea necesario efectuar rellenos en el terreno del área de trabajo, se debe compactar éstos para evitar arrastres de material (numeral 4.2.4). - Se deben realizar las excavaciones, nivelaciones y rellenos necesarios para evitar encharcamientos, así como dar mantenimiento para evitar su deterioro (numeral 4.2.5). - El material generado por los trabajos de nivelación del terreno y excavación no deberán impedir el libre desplazamiento de la fauna en zonas aledañas, también se deberá evitar crear zonas de inundación e impedir el arrastre de sedimentos a cuerpos de agua cercanos al área del proyecto (numeral 4.2.6). - Se deben compactar e impermeabilizar las áreas donde se instalen los equipos de perforación, presas de lodos y tanques de almacenamiento para evitar que se infiltren contaminantes que pudieran verse sobre el suelo (numeral 4.2.7). - La presa de lodos debe de ubicarse en un terreno estable, debe de estar compactada, impermeabilizada y recubierta en el fondo y las paredes, evitando la infiltración de lixiviados (numeral 4.3.1). DOF 25-08-2014, Reglamento de la Ley de Aguas Nacionales: - Los permisionarios estarán obligados a otorgar las facilidades necesarias a efecto de que la autoridad competente pueda monitorear e identificar posibles afectaciones al agua subterránea, captaciones de la misma, así como a la infraestructura existente derivadas de la exploración del yacimiento (Art. 23. VIII).	Posible modificación de la escorrentía superficial. Reducción de la capacidad de infiltración del suelo.	Impacto negativo, puntual y continuo.
Flora	1.1	NOM-150-SEMARNAT-2006: - Se deben respetar los planes de desarrollo urbano, regulaciones de uso de suelo y ambientales municipales y estatales (numeral 4.1.1). - Para las actividades de desmonte y deshierbe no se debe quemar la vegetación ni usar agroquímicos. Se deberá triturar y reincorporar al suelo o bien, lo que indique la autoridad local competente (numeral 4.2.9). - Instruir al personal para proteger el ambiente, evitar se que capture, perjudique, trafique o se cace especies de flora y fauna silvestres (numeral 4.2.11).	Afectación de especies vegetales en la zona. Las áreas que se prevé intervenir no corresponden a especies de flora bajo algún tipo de protección especial; se trabajará únicamente en área agrícola.	Impacto negativo, puntual y continuo.
Fauna	1.1	NOM-150-SEMARNAT-2006: - Se deben respetar los planes de desarrollo urbano, regulaciones de uso de suelo y ambientales municipales y estatales (numeral 4.1.1). - Disposición de los residuos generados por actividades de desmonte y deshierbe (numeral 4.2.9). - Instruir al personal para proteger el ambiente, evitar se que capture, perjudique, trafique o se cace especies de flora y fauna silvestres (numeral 4.2.11). - Delimitar el área de operación con malla para evitar el libre acceso a personas ajenas al proyecto y fauna silvestre (numeral 4.2.12).	Improbable afectación a especies animales bajo algún tipo de protección; ya que se estima que se trabajará únicamente en área agrícola.	Impacto negativo, puntual y continuo.
	1.2	NOM-150-SEMARNAT-2006: - El material generado por las excavaciones y trabajos de nivelación del terreno se deberá utilizar para la creación de las plataformas con el fin de evitar la creación de barreras físicas que impidan el libre desplazamiento de la fauna (numeral 4.2.6).	Posible afectación al libre desplazamiento de la fauna por barreras creadas con los materiales removidos.	Impacto negativo, puntual y temporal.
	1.3			

Tabla 5.1 Posibles impactos ambientales asociados a las actividades que corresponden a la primera etapa del proyecto. Basado en el Informe Preventivo de Mexxus-RG (2013).

Etapa 1 - Recomendaciones adicionales a las normativas

Componente Ambiental	Actividad	Descripción del Potencial Impacto	Clasificación del Impacto	Medidas Preventivas y/o Mitigación
Suelo	1.1	Posible incremento de la erosión.	Impacto negativo, puntual y continuo.	<ul style="list-style-type: none"> - Realizar levantamiento topográfico antes de ser intervenido el suelo y removido el horizonte orgánico. - Documentar y realizar descripción de la vegetación y situación en el área del proyecto y zonas aledañas antes de remover vegetación y modificar la topografía. - De ser posible utilizar una misma plataforma e instalaciones para la perforación de más de un pozo. - De ser necesario la creación de nuevos caminos; planificar el trazo de los caminos de manera que menos área sea intervenida, ni se afecte ninguna zona que no sea erial, ganadera o agrícola.
	1.2			
	1.3	Posible modificación de la escorrentía superficial provocando nuevas zonas de encharcamiento.	Impacto negativo, puntual y continuo.	<ul style="list-style-type: none"> - Realizar levantamiento topográfico antes de ser intervenido el suelo y removido el horizonte orgánico. - Documentar y realizar descripción de la vegetación y situación en el área del proyecto y zonas aledañas antes de remover vegetación y modificar la topografía. - Evaluar el correcto funcionamiento de los nuevos drenajes creados en el área intervenida para posibles correcciones antes de retirar la maquinaria para estas actividades.
Agua	1.3	Posible modificación de la escorrentía superficial. Reducción de la capacidad de infiltración del suelo.	Impacto negativo, puntual y continuo.	<ul style="list-style-type: none"> - Evaluar la escorrentía resultante en el área intervenida para posibles correcciones antes de retirar la maquinaria para estas actividades.
Flora	1.1	Afectación de especies vegetales en la zona. Las áreas que se prevee intervenir no corresponden a especies de flora bajo algún tipo de protección especial; se trabajará únicamente en área agrícola.	Impacto negativo, puntual y continuo.	<ul style="list-style-type: none"> - Durante la planificación para esta etapa procurar minimizar el área a intervenir lo mejor posible. - Realizar un inventario de las especies vegetales así como más información relevante al tema las en zonas que se planea afectar y sus alrededores antes de iniciar el proyecto. Para esta medida se requiere de un especialista en el tema.
Fauna	1.1	Improbable afectación a especies animales bajo algún tipo de protección; ya que se estima que se trabajará únicamente en área agrícola.	Impacto negativo, puntual y continuo.	<ul style="list-style-type: none"> - Durante la planificación para esta etapa procurar minimizar el área a intervenir lo mejor posible. - Realizar un estudio e inventario de las especies animales así como más información relevante al tema en las zonas que se planea afectar y sus alrededores antes de iniciar el proyecto. Para esta medida se requiere de un especialista en el tema.
	1.2	Posible afectación al libre desplazamiento de la fauna por barreras creadas con los materiales removidos.	Impacto negativo, puntual y temporal.	<ul style="list-style-type: none"> - Utilizar el mismo material generado de las excavaciones para nivelar el área de las plataformas; en caso de sobrar material asegurarse de almacenar éste correctamente para evitar futuras afectaciones a la fauna.
	1.3			

Tabla 5. 2 Medidas preventivas o de mitigación para los posibles impactos ambientales generados durante la primera etapa del proyecto.

b. Etapa 2: Perforación de los pozos

La segunda etapa del proyecto consiste en la impermeabilización del área de trabajo, construcción de las plataformas y perforación de los pozos; las medidas de mitigación deben estar enfocadas a evitar el derrame de lixiviados y a no usar fluidos de perforación a base de aceite como lo especifican las normativas mexicanas. A continuación se detalla cada una de las actividades en la segunda etapa.

- **Actividad 2.1:** Impermeabilización del área de trabajo y de las presas de lodos. Para ello se instalarán lonas plastificadas antes de armar y utilizar cualquier equipo de perforación, tanques de almacenamiento y presas de lodos.
- **Actividad 2.2:** Construcción de las plataformas de perforación. Instalación de equipo de perforación, instalación de tuberías para combustible, ductos de paso para cables, presas de lodos, tanques de almacenamiento, contenedores para residuos, sanitarios portátiles, almacenamiento de materiales, etc.
- **Actividad 2.3:** Perforación de los pozos de exploración. Incluye el uso de equipos de perforación, uso de lodos de perforación, instalación de tuberías, cementar las paredes del pozo y almacenar los residuos en los contenedores respectivos. Recolección de las muestras de canal o de núcleo.

Durante la primera actividad contemplada en esta etapa, la especificación 2.4.7 de la NOM-150-SEMARNAT-2006 establece la necesidad de nivelar, compactar e impermeabilizar la zona de trabajo y almacenaje de maquinarias. Se recomienda consultar esta norma si se desea conocer las especificaciones técnicas con las que debe contar la lona y las demás actividades de impermeabilización.

A partir de la segunda actividad de esta etapa, hasta finalizar el proyecto por completo, es necesario monitorear constantemente el estado de las lonas de perforación; con el fin de evitar derrames o lixiviados. Así mismo, la NOM-150-SEMARNAT-2006 requiere que los combustibles utilizados durante las actividades de perforación se almacenen en depósitos metálicos, con capacidad no mayor a 30 m³ y con tapa para evitar fugas.

Antes de iniciar la tercera actividad de esta etapa, es necesario estimar los requerimientos de agua para las actividades de perforación, y establecer de dónde se obtendrá este recurso. Es muy probable en este caso que se utilice el acuífero Valle Ixtlán-Ahuacatlán para abastecer los requerimientos de agua, por lo que es necesario consultar a las entidades correspondientes para coordinar el suministro de agua y apegarse a sus disposiciones.

Durante esta actividad es muy importante tomar en cuenta que en México no es una recomendación evitar el uso de fluidos de perforación con base de aceite, sino que es una obligación, como lo señala la especificación 4.3.5 citando: “En la perforación de pozos geotérmicos no se deben usar fluidos con base de aceite”.

Durante la tercera actividad de esta etapa del proyecto, hay que tomar en consideración el Artículo 15 de la Ley de Energía Geotérmica, citando: “Los permisionarios deberán de informar a la Secretaría, de manera inmediata, si existe interferencia con acuíferos adyacentes al yacimiento geotérmico, derivada de los trabajos de exploración realizados, presentando la evidencia documental y de campo correspondiente”.

Este y el Artículo 6 de la misma Ley de Energía Geotérmica son de vital importancia; pues en caso de existir interferencia con acuíferos adyacentes al yacimiento geotérmico, también se deberá tomar en consideración la Ley de Aguas Nacionales durante el desarrollo del proyecto. Citando el Artículo 6 de la Ley de Energía Geotérmica: “Tratándose de aguas diferentes al agua geotérmica, se estará a lo dispuesto en la Ley de Aguas Nacionales. Lo anterior será aplicable al agua del subsuelo en cualquier estado, cuando se trate de su manejo en superficie e introducción al yacimiento geotérmico, buscando siempre mantener la integridad de los acuíferos adyacentes y la sustentabilidad del yacimiento”.

Por último, el numeral 4.2.12 de la NOM-150-SEMARNAT-2006 hace énfasis en la necesidad de instalar una malla a lo largo de todo el perímetro del área de operación, con una altura mínima de 1.20 metros de alto, la cual es opcional el uso o no de alambrado de púas. El propósito de esta especificación es impedir el acceso por medida de seguridad, a personas ajenas al proyecto, así como a la fauna.

Las Tablas 5.3 y 5.4 contienen los posibles impactos para cada una de las actividades de esta segunda etapa del proyecto; así como las normativas aplicables y las medidas correspondientes para la prevención o mitigación de cada uno de los impactos potenciales.

Etapa 2 - Posibles Impactos Ambientales

Componente Ambiental	Actividad	Norma y/o disposición aplicable	Descripción del Potencial Impacto	Clasificación del Impacto
Suelo	2.1	NOM-150-SEMARNAT-2006: - Se deben compactar e impermeabilizar las áreas donde se instalen los equipos de perforación, presas de lodos y tanques de almacenamiento para evitar que se infiltren contaminantes que pudieran verse sobre el suelo (numeral 4.2.7). - La presa de lodos debe ubicarse en un terreno estable, debe estar compactada, impermeabilizada y recubierta en el fondo y las paredes, evitando la infiltración de lixiviados (numeral 4.3.1).	Reducción de la capacidad de infiltración de agua pluvial en el subsuelo.	Impacto negativo, puntual y continuo.
	2.2	NOM-150-SEMARNAT-2006: - Almacenamiento y resguardo de maquinaria, equipo y materiales dentro del área de la plataforma ya compactada e impermeabilizada (numeral 4.3.2). - Los combustibles para actividades de perforación se deberán almacenar en depósitos metálicos con tapa para minimizar fugas (numeral 4.3.3).	Almacenamiento y uso de materiales contaminantes, inflamables y/o peligrosos con riesgo a ser derramados.	Impacto negativo y ocasional. Extensión puntual o regional, dependerá de la existencia y cantidad de lixiviados.
	2.3	NOM-150-SEMARNAT-2006: - Los combustibles para actividades de perforación se deberán almacenar en depósitos metálicos con tapa para minimizar fugas (numeral 4.3.3). - En la perforación de los pozos no se debe usar fluidos a base de aceite (numeral 4.3.5). - Al término de la perforación del pozo, la disposición final de los fluidos y recortes de perforación almacenados en la presa de lodos se debe realizar de acuerdo con los resultados del análisis CRET. Los residuos que por sus características se consideren como peligrosos, deben manejarse y disponerse conforme la Ley General para la Prevención y Gestión de Residuos Peligrosos (numeral 4.3.6).		
Agua	2.2	NOM-150-SEMARNAT-2006: - Almacenamiento y resguardo de maquinaria, equipo y materiales dentro del área de la plataforma ya compactada e impermeabilizada (numeral 4.3.2). - Los combustibles para actividades de perforación se deberán almacenar en depósitos metálicos con tapa para minimizar fugas (numeral 4.3.3). - En la perforación de los pozos no se debe usar fluidos a base de aceite (numeral 4.3.5).	Almacenamiento y uso de materiales contaminantes, inflamables y/o peligrosos; con riesgo de ser lixiviado o trasladado a cuerpos de agua cercanos.	Impacto negativo y ocasional. Extensión puntual o regional, dependerá de la existencia y cantidad de lixiviados.
	2.3	NOM-150-SEMARNAT-2006: - En la perforación de los pozos no se debe usar fluidos a base de aceite (numeral 4.3.5). - Al término de la perforación del pozo, la disposición final de los fluidos y recortes de perforación almacenados en la presa de lodos se debe realizar de acuerdo con los resultados del análisis CRET. Los residuos que por sus características se consideren como peligrosos, deben manejarse y disponerse conforme la Ley General para la Prevención y Gestión de Residuos Peligrosos (numeral 4.3.6). DOF 25-08-2014, Reglamento de la Ley de Aguas Nacionales: - Los permisionarios estarán obligados a otorgar las facilidades necesarias a efecto de que la autoridad competente pueda monitorear e identificar posibles afectaciones al agua subterránea, a las captaciones de la misma, así como a la infraestructura existente derivadas de la exploración del yacimiento (Art. 23. VIII). DOF 31-10-2014, Reglamento de la Ley de Energía Geotérmica: - Los pozos exploratorios geotérmicos deberán construirse por tuberías lisas, y cementar el espacio anular comprendido entre éstas y la pared de la perforación evitando la conexión con acuíferos someros y deberá llevarse el registro de muestras de canal o núcleo, señalando cuando exista cambio de litología y análisis mineralógico (Art. 31).	Posibles afectaciones al agua subterránea.	
	2.3	DOF 25-08-2014, Reglamento de la Ley de Aguas Nacionales: - La Comisión Nacional del Agua otorgará la concesión de agua para empresas en caso de que el municipio no pueda prestar directamente el servicio (Art. 124 haciendo referencia al Art. 82 de la Ley).	Alto consumo de agua.	
Aire	2.3	NOM-150-SEMARNAT-2006: - Se debe dar mantenimiento preventivo al equipo de perforación para controlar la emisión de gases contaminantes (numeral 4.3.7).	Posible afectación a la calidad del aire por uso de maquinaria.	Impacto negativo, puntual y continuo.
		NOM-081-ECOL-1994: - Respetar los límites máximos permisibles del nivel sonoro en ponderación "A" emitido por fuentes fijas establecidos en su última modificación DOF 03-12-2013, en su artículo único (numeral 5.4).	Emisión de ruido por uso de equipo de perforación.	Impacto negativo y continuo. Extensión local o regional.

Tabla 5. 3 Posibles impactos ambientales asociados a las actividades que corresponden a la segunda etapa del proyecto. Basado en el Informe Preventivo de Mexxus-RG (2013).

Etapa 2 - Recomendaciones adicionales a las normativas

Componente Ambiental	Actividad	Descripción del Potencial Impacto	Clasificación del Impacto	Medidas Preventivas y/o Mitigación
Suelo	2.1	Reducción de la capacidad de infiltración de agua pluvial en el subsuelo.	Impacto negativo, puntual y continuo.	- Asegurarse de no interferir los drenajes artificiales creados en el proyecto con las actividades de impermeabilización de suelos.
	2.2	Almacenamiento y uso de materiales contaminantes, inflamables y/o peligrosos con riesgo a ser derramados.	Impacto negativo y ocasional. Extensión puntual o regional, dependerá de la existencia y cantidad de lixiviados.	- No empezar a almacenar ningún tipo de material contaminante o peligroso hasta haber completado y revisado la impermeabilización de suelos.
	2.3			- Asegurarse de tener las condiciones necesarias para el correcto almacenaje de cada tipo de sustancia que se planea trasladar a la plataforma. - Revisar periódicamente las condiciones de la lona plástica en caso de requerir una reparación se identifique de manera oportuna. - Hacer uso de contenedores especiales para el almacenaje de sustancias peligrosas. - Revisar constantemente las condiciones de los contenedores para almacenar todo tipo de sustancias tipo CRETI (NOM-052-SEMARNAT-2005 y NOM-053-SEMARNAT-1993); y que cada una de ellas esté almacenada bajo las condiciones que recomienda el productor. - Se recomienda consultar las normas NOM-157-SEMARNAT-2009 y NOM-141-SEMARNAT-2003 para determinar la movilidad de los metales y metaloides presentes en los residuos generados, así como su potencial de drenaje ácido; pruebas que no están contempladas dentro de NOM-052-SEMARNAT-2006 ni NOM-053-SEMARNAT-1993; que cita el numeral 4.3.6 de la NOM.150-SEMARNAT-2006.
Agua	2.2	Almacenamiento y uso de materiales contaminantes, inflamables y/o peligrosos; con riesgo de ser lixiviado o trasladado a cuerpos de agua cercanos.	Impacto negativo y ocasional. Extensión puntual o regional, dependerá de la existencia y cantidad de lixiviados.	- No empezar a almacenar ningún tipo de material contaminante o peligroso hasta haber completado y revisado la impermeabilización de suelos.
	2.3	Posibles afectaciones al agua subterránea.		- Asegurarse de tener las condiciones necesarias para el correcto almacenaje de cada tipo de sustancia que se planea trasladar a la plataforma. - Revisar periódicamente las condiciones de la lona plástica en caso de requerir una reparación se identifique de manera oportuna. - Hacer uso de contenedores especiales para el almacenaje de sustancias peligrosas. - Revisar constantemente las condiciones de los contenedores para almacenar todo tipo de sustancias tipo CRETI (NOM-052-SEMARNAT-2005 y NOM-053-SEMARNAT-1993); y que cada una de ellas esté almacenada bajo las condiciones que recomienda el productor. - Se recomienda consultar las normas NOM-157-SEMARNAT-2009 y NOM-141-SEMARNAT-2003 para determinar la movilidad de los metales y metaloides presentes en los residuos generados, así como su potencial de drenaje ácido; pruebas que no están contempladas dentro de NOM-052-SEMARNAT-2006 ni NOM-053-SEMARNAT-1993; que cita el numeral 4.3.6 de la NOM.150-SEMARNAT-2006.
	2.3	Alto consumo de agua.	Impacto negativo y temporal. Extensión no determinada.	- Contar con el modelo conceptual del campo geotérmico resultante de la etapa de exploración. - Obtener y utilizar un modelo hidrogeológico somero, medio y profundo; lo más detallado posible del área. Tomarlo en cuenta en la planificación de las actividades de perforación con el fin de no afectar cuerpos de agua subterránea. - Contar con el apropiado diseño e instalación de recubrimientos para los pozos con la función de aislar los fluidos geotérmicos de otros cuerpos de agua ubicados sobre el yacimiento. - Apegarse al plan de instalación, cementación y revestimiento de las tuberías del pozo durante las actividades de perforación.
Aire	2.3	Posible afectación a la calidad del aire por uso de maquinaria.	Impacto negativo, puntual y continuo.	- Medir y respetar el volumen de agua conccionado o asignado por las autoridades para estas actividades. - Buscar formas de reducir el consumo de agua durante esta y las demás actividades del proyecto, sin comprometer la seguridad y salud de los trabajadores, así como los resultados de las actividades.
		Emisión de ruido por uso de equipo de perforación.	Impacto negativo y continuo. Extensión local o regional.	- Revisión y dar mantenimiento periódico a la maquinaria y equipo utilizado durante esta y otras etapas. - Utilizar sistemas de abatimiento de ruido; barreras físicas para aislamiento acústica, silenciadores, rock mufflers, etc. - Utilizar todas las medidas posibles para la reducción del ruido y no sobrepasar el límite recomendable por la OMS, o en su defecto por SEMARNAT. - Considerar la ubicación y cercanía de comunidades y áreas de trabajo local al planificar y situar las plataformas de perforación.

Tabla 5. 4 Medidas preventivas o de mitigación para los posibles impactos ambientales generados durante la segunda etapa del proyecto.

c. Etapa 3: Evaluación de los pozos de exploración

Una vez perforado el pozo, es recomendable realizar continuamente mediciones y pruebas con el fin de asegurar la buena condición del pozo y que no presente fisuras, de lo contrario será necesario dar mantenimiento a las tuberías. Además, de acuerdo a los Artículos 23.VIII y 34.IX de la Ley de Energía Geotérmica, los encargados del proyecto deben permitir y facilitar las operaciones de monitoreo de calidad del agua subterránea a las autoridades competentes. Es también necesario el cumplimiento de otras medidas durante esta etapa del proyecto, con el fin de evitar algún impacto negativo en el agua.

Primeramente, la presa de lodos deberá estar ya vaciada y limpia, antes de iniciar con las actividades de evaluación del pozo. Aplica en especial para esta etapa el numeral 4.4.3 de la NOM-150-SEMARNAT-2006: "En caso de que el pozo geotérmico sea productor, el agua separada producida por el mismo se debe dejar en la presa de lodos (que debe estar libre de lodos de perforación) y se le debe instalar un serpentín con tubería de acero para su evaporación. En caso de que este no sea productor, se debe proceder a la reinyección del agua producida en el mismo".

A continuación se enumera y explica en qué consisten las actividades para esta etapa del proyecto:

- **Actividad 3.1:** Lavado y preparación del pozo para su evaluación. Remoción de cualquier tipo de exceso de material dentro del pozo que pueda obstruir o hacer resistencia al paso de sondas.
- **Actividad 3.2:** Toma de registros para evaluar las características físicas de los pozos, así como su estado mecánico; en caso de ser necesario re-cementar las paredes de las tuberías. Así mismo, toma de registros verticales de flujo, temperatura, conductividad y potencial eléctrico, entre otros. Además, se realizará la medición de presión y temperatura del pozo a diferentes intervalos de profundidad y de tiempo.
- **Actividad 3.3:** Apertura del pozo. Después de un periodo de entre cuatro a ocho semanas de haber perforado el pozo se induce su descarga con el fin de realizar las evaluaciones de producción de vapor y agua del pozo, para estimar el flujo de descarga del pozo, así como la temperatura de descarga y de esta manera obtener un estimado de la producción del pozo.
- **Actividad 3.4:** Evaluación de los registros y otra información obtenida anteriormente. Con base en los resultados obtenidos se evaluará la factibilidad económica para la explotación del campo y se tomará la decisión de proseguir con la planificación de una planta geotérmica o el cierre, desalojo y restauración de las áreas intervenidas.

En esta etapa del proyecto, uno de los posibles nuevos impactos es la calidad del aire por la emisión de gases y vapores debido a las descargas de los pozos. Para mitigar este impacto, se deberán instalar equipos para la reducción de la descarga de vapor o gases, así como silenciadores. Las siguientes especificaciones de la norma anterior deberán ser respetadas:

- Numeral 4.4.2: “La evaluación preliminar de los pozos se debe realizar con el equipo de control de las descargas de vapor o gases a la atmósfera y que reduzcan al mínimo los niveles de ruido emitido y olores, utilizando el equipo de inducción, preventores y válvulas para alta temperatura, silenciadores centrífugos, tuberías de descarga y vertedores”.
- Numeral 4.4.4: “En la apertura de un pozo para limpieza y evaluación preliminar, se debe: a) Evitar las descargas de vapor o mezclas de vapor y agua en forma vertical, y b) Dirigir la descarga lateral hacia el silenciador para reducir la emisión de ruido y vapor proveniente del mismo”.

Como se mencionó, el H_2S es uno de los gases que más preocupa en las actividades de exploración y explotación geotérmica en escala local. Las molestias y efectos negativos por la exposición a las emisiones en esta etapa dependerán de la concentración de H_2S , que está directamente relacionada con las características geológicas del yacimiento a explorar o explotar. También dependerá de la cercanía del pozo a las comunidades o áreas de trabajo, por lo que es altamente importante procurar ubicar las plataformas de perforación a distancias lo suficientemente alejadas de áreas pobladas o bastante concurridas.

Es importante prestar especial atención a quejas, ya sea de empleados o habitantes en los alrededores, pues será el primer indicador de concentraciones considerables de H_2S en el aire. Como se indicó en la Tabla 2.2, las concentraciones entre 1 – 10 ppm de este gas son ya perceptibles al ser humano; mientras que las concentraciones superiores a los 20 ppm ya se consideran perjudiciales para la salud. Sin embargo, en caso de existir personas asmáticas en el área de afectación, se requerirá mantener las concentraciones de este gas por debajo de las 2 ppm (Aráuz-Torres *et al.*, 2015).

A continuación se indican los impactos estimados para las actividades de esta etapa del proyecto. En la Tabla 5.5 se señalan los posibles impactos y normativas aplicables a cada actividad de esta etapa; mientras que en la Tabla 5.6 se presentan diversas recomendaciones para aminorar o prevenir estos impactos potenciales.

Etapa 3 - Posibles Impactos Ambientales

Componente Ambiental	Actividad	Norma y/o disposición aplicable	Descripción del potencial impacto	Clasificación del Impacto
Suelo	3.3	<p>NOM-150-SEMARNAT-2006:</p> <ul style="list-style-type: none"> - En caso que el pozo sea productor se deberá separar el agua producida por el mismo en la presa de lodos (ya libre de lodos de perforación) e instalar un serpentín para su evaporación (numeral 4.4.3). - En la apertura de un pozo para limpieza y evaluación se debe evitar descargas de vapor o mezclas de vapor y agua de forma vertical, y dirigir la descarga lateral hacia el silenciador para reducir la emisión de ruido y vapor proveniente del mismo (numeral 4.4.4). - En caso de que el pozo geotérmico sea productor, el agua separada producida por el mismo se debe dejar en la presa de lodos (que debe estar libre de lodos de perforación) y se le debe instalar un serpentín con tubería de acero para su evaporación. En caso de que éste no sea productor, se debe proceder a la reinyección del agua producida en el mismo (numeral 4.4.3). 	Possible contaminación del suelo por el riesgo de lixiviarse materiales contaminantes.	Impacto negativo y temporal. Impacto puntual en caso de no llegar a ser lixiviado e incorporado al acuífero.
Agua	3.1	<p>DOF 25-08-2014, Reglamento de la Ley de Aguas Nacionales:</p> <ul style="list-style-type: none"> - La Comisión Nacional del Agua otorgará la concesión de agua para empresas en caso de que el municipio no pueda prestar directamente el servicio (Art. 124 haciendo referencia al Art. 82 de la Ley). 	Alto consumo de agua.	Impacto negativo y temporal. Extensión no determinada.
Aire	3.1	<p>NOM-150-SEMARNAT-2006:</p> <ul style="list-style-type: none"> - En la apertura de un pozo para limpieza y evaluación se debe evitar descargas de vapor o mezclas de vapor y agua de forma vertical, y dirigir la descarga lateral hacia el silenciador para reducir la emisión de ruido y vapor proveniente del mismo (numeral 4.4.4). <p>NOM-081-ECOL-1994:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Respetar los límites máximos permisibles del nivel sonoro en ponderación "A" emitido por fuentes de ruido fijas establecidos en la última modificación de la norma publicada en el DOF 03-12-2013, en su artículo único (numeral 5.4). 	Emisión de ruido moderado a alto.	Impacto negativo, local y temporal.
	3.3	<p>NOM-150-SEMARNAT-2006:</p> <ul style="list-style-type: none"> - La evaluación del pozo se debe realizar con un equipo de control de descargas de vapor o gases a la atmósfera y que reduzca al mínimo los niveles de ruido emitido y olores (numeral 4.4.2). - En la apertura de un pozo para limpieza y evaluación se debe evitar descargas de vapor o mezclas de vapor y agua de forma vertical, y dirigir la descarga lateral hacia el silenciador para reducir la emisión de ruido y vapor proveniente del mismo (numeral 4.4.4). <p>NOM-150-SEMARNAT-2006:</p> <ul style="list-style-type: none"> - La evaluación del pozo se debe realizar con un equipo de control de descargas de vapor o gases a la atmósfera y que reduzca al mínimo los niveles de ruido emitido y olores (numeral 4.4.2). - En la apertura de un pozo para limpieza y evaluación se debe evitar descargas de vapor o mezclas de vapor y agua de forma vertical, y dirigir la descarga lateral hacia el silenciador para reducir la emisión de ruido y vapor proveniente del mismo numeral 4.4.4). <p>NOM-081-ECOL-1994:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Respetar los límites máximos permisibles del nivel sonoro en ponderación "A" emitido por fuentes de ruido fijas establecidos en la última modificación de la norma publicada en el DOF 03-12-2013, en su artículo único (numeral 5.4). 	Reducción en la calidad del aire por emisión de gases tóxicos y/o contaminantes como H2S, CO2, etc.	Impacto negativo y continuo. Extensión local o regional.

Tabla 5. 5 Posibles impactos ambientales asociados a las actividades que corresponden a la tercera etapa del proyecto. Basado en el Informe Preventivo de Mexxus-RG (2013).

Etapa 3 - Recomendaciones adicionales a las normativas

Componente Ambiental	Actividad	Descripción del potencial impacto	Clasificación del Impacto	Medidas Preventivas y/o Mitigación
Suelo	3.3	Posible contaminación del suelo por el riesgo de lixiviarse materiales contaminantes.	Impacto negativo y temporal. Impacto puntual en caso de no llegar a ser lixiviado e incorporado al acuífero.	<ul style="list-style-type: none"> Revisar la integridad de la lona plástica utilizada para la impermeabilización de las plataformas; así como la presa de lodos una vez limpia de los lodos de perforación. Disponer adecuadamente de los fluidos geotérmicos. Como se señala en la norma NOM-150-SEMARNAT-2006, especificación 4.4.4; buscar direccionar las descargas del pozo a un silenciador u otro tipo de dispositivo que pueda canalizar la mezcla de vapor y agua evitando así derramar en las áreas no designadas.
Agua	3.1	Alto consumo de agua.	Impacto negativo y temporal. Extensión no determinada.	<ul style="list-style-type: none"> Medir y respetar el volumen de agua conccionado o asignado por las autoridades para estas actividades. Buscar formas de reducir el consumo de agua durante esta y las demás actividades del proyecto, sin comprometer la seguridad y salud de los trabajadores, así como los resultados de las actividades.
Aire	3.1	Emisión de ruido moderado a alto.	Impacto negativo, local y temporal.	<ul style="list-style-type: none"> Utilizar sistemas de abatimiento de ruido; barreras físicas para aislación acústica, silenciadores, rock mufflers, etc. Utilizar todas las medidas posibles para la reducción del ruido y no sobrepasar el límite recomendable por la OMS, o en su defecto por SEMARNAT. Considerar la ubicación y cercanía de comunidades y áreas de trabajo local al planificar y situar las plataformas de perforación.
	3.3	Reducción en la calidad del aire por emisión de gases tóxicos y/o contaminantes como H ₂ S, CO ₂ , etc.	Impacto negativo y continuo. Extensión local o regional.	<ul style="list-style-type: none"> Revisión y dar mantenimiento periódico a la maquinaria y equipo utilizado durante esta y otras etapas. Utilizar como es sugerido el equipo de control de descargas. Contar con equipo respiratorios, mascarillas y oxígeno en caso de ser necesario utilizarlos. Contar y hacer del conocimiento de todo el personal el plan de contingencias y las medidas de seguridad necesarias previo a la apertura del pozo. Contaminantes en las emisiones generadas, especialmente por su toxicidad como H₂S, NH₃ y mercurio volátil no condensable deberán ser monitoreadas en sus concentraciones; asegurándose de no sobrepasar las normas aplicables. En caso de ser necesario utilizar sistemas de abatimiento para remover el H₂S y el mercurio de los otros gases no condensables. Contar con equipos respiratorios personales y suministro de oxígeno en caso de emergencia.
		Emisión de ruido alto por descarga del pozo y pruebas posteriores.	Impacto negativo y continuo. Extensión local o regional.	<ul style="list-style-type: none"> Utilizar sistemas de abatimiento de ruido; barreras físicas para aislación acústica, silenciadores, rock mufflers, etc. Utilizar todas las medidas posibles para la reducción del ruido y no sobrepasar el límite recomendable por la OMS, o en su defecto por SEMARNAT. Considerar la ubicación y cercanía de comunidades y áreas de trabajo local al planificar y situar las plataformas de perforación.

Tabla 5.6 Medidas preventivas o de mitigación para los posibles impactos ambientales generados durante la tercera etapa del proyecto.

d. Etapa 4: Planificación de la planta o abandono del sitio y restauración

En esta etapa del proyecto se deberá tener ya definidas las áreas a restaurar. Esta etapa debe cubrir acciones como el correcto cierre, desmantelamiento y restauración de las zonas intervenidas que no continuarán utilizándose; independientemente de si se prosigue con el desarrollo de la planta geotérmica o se cerrarán todos los pozos perforados. A continuación se describen las actividades a realizar durante esta etapa del proyecto:

- **Actividad 4.1:** Retiro de equipo, infraestructura y maquinaria instalada; así como el cierre de pozos exploratorios una vez decidido cuáles pozos se cerrarán. Esta actividad incluye el correcto manejo de residuos, ya sean residuos peligrosos o de manejo municipal; llevando a cabo las acciones correspondientes para su almacenamiento, traslado y disposición adecuada.
- **Actividad 4.2:** Restauración de suelos intervenidos. Esta actividad incluye el retiro de las lonas plastificadas que fueron utilizadas en la impermeabilización de los suelos. Descompactación del suelo intervenido, para posteriormente reintegrar el horizonte de materia orgánica que fue removido en la primera etapa del proyecto. Durante estas mismas actividades se procurará reconstruir la topografía natural de la zona en caso de que haya sido modificada.
- **Actividad 4.3:** Restauración de la vegetación removida o intervenida. Las especies utilizadas para la restauración de las zonas intervenidas se deberán escoger de acuerdo con la vegetación prevaleciente en la zona. De igual forma se deberán considerar las condiciones edafológicas posteriores a la restauración para asegurar que el suelo sea adecuado para el desarrollo de la nueva vegetación.

Para la segunda actividad de esta etapa, es importante tener claro que el numeral 3.20 de la NOM-150-SEMARNAT-2006 define como *Restauración del suelo* al “conjunto de actividades correspondientes al restablecimiento de las condiciones que conlleven a recuperar las características fisicoquímicas del suelo del área afectada, para igualarlas a las de áreas adyacentes al momento de iniciar las actividades de restauración, por medio del establecimiento de una cobertura vegetal del sitio y si es necesario por medio de la realización de obras de ingeniería ambiental”.

La Tabla 5.7 contiene las normativas aplicables para las actividades mencionadas en esta etapa; así como los impactos potenciales durante estas actividades. Además, en la Tabla 5.8 se presenta una serie de recomendaciones que a pesar de no ser normativas, podrían ayudar a la mejor recuperación y preservación del medio ambiente en la zona del proyecto.

Etapa 4 - Posibles Impactos Ambientales

Componente Ambiental	Actividad	Norma y/o disposición aplicable	Descripción del potencial impacto	Clasificación del impacto
Suelo	4.1	<p>NOM-150-SEMARNAT-2006:</p> <ul style="list-style-type: none"> - En caso que el pozo geotérmico resulte improductivo, se debe cerrar conforme las disposiciones técnicas de la NOM-004-CNA-1996 (numeral 4.5.3). - En caso de que el pozo resulte productivo se deberá delimitar el área a utilizar a futuro con una malla (numeral 4.5.7). - Al término de las actividades se debe realizar la limpieza del sitio, a fin de evitar la contaminación de áreas aledañas; disponiendo los residuos peligrosos y no peligrosos generados por tal acción de acuerdo a la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de Residuos y otras normatividades vigentes (numeral 4.5.2). <p>DOF 11-08-2014, Ley de Energía Geotérmica:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Retirar los bienes que se hayan instalado en el área geotérmica por motivo de la exploración o explotación de yacimientos geotérmicos (Art. 34. XI). <p>DOF 22-05-2015, Ley General para la Prevención y Gestión Integral de Residuos:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Se deberá clasificar, identificar y plasificar los residuos generados de estas actividades de acuerdo a esta Ley General para la Prevención y Gestión de Residuos Peligrosos. Una vez ya clasificados, los residuos se deberá realizar su manejo y disposición de acuerdo al reglamento de esta Ley. 	Contaminación poco probable del suelo por el manejo de residuos tóxicos.	Impacto negativo y ocasional. Impacto puntual en caso de no llegar a ser lixiviado e incorporado al acuífero.
	4.2	<p>NOM-150-SEMARNAT-2006:</p> <ul style="list-style-type: none"> - En caso de que el pozo resulte improductivo, el área del proyecto y zonas aledañas que hayan resultado afectadas, deben ser restauradas a condiciones similares a las prevalecientes en las áreas adyacentes al momento del inicio del proyecto (numeral 4.5.5). <p>DOF 11-08-2014, Ley de Energía Geotérmica:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Los permisionarios o concesionarios ejecutarán las acciones de prevención y de reparación de daños al medio ambiente o al equilibrio ecológico, derivados trabajos de exploración o explotación de las áreas geotérmicas que realicen, y estarán obligados a sufragar los costos respectivos (Art. 45). 	Recuperación de la capacidad de infiltración del suelo.	Impacto positivo en caso de no haber contaminado la superficie del suelo. Impacto puntual y permanente.
Agua	4.2	<p>NOM-150-SEMARNAT-2006:</p> <ul style="list-style-type: none"> - En caso de que el pozo resulte improductivo, el área del proyecto y zonas aledañas que hayan resultado afectadas, deben ser restauradas a condiciones similares a las prevalecientes en las áreas adyacentes al momento del inicio del proyecto (numeral 4.5.5). <p>DOF 25-08-2014, Reglamento de la Ley de Aguas Nacionales:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Los permisionarios estarán obligados a dotar las facilidades necesarias a efecto de que la autoridad competente pueda monitorear e identificar posibles afectaciones al agua subterránea, captaciones de la misma, así como a la infraestructura existente derivadas de la exploración (Art. 23 Viii). <p>DOF 11-08-2014, Ley de Energía Geotérmica:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Los permisionarios o concesionarios ejecutarán las acciones de prevención y de reparación de daños al medio ambiente o al equilibrio ecológico, derivados trabajos de exploración o explotación de las áreas geotérmicas que realicen, y estarán obligados a sufragar los costos respectivos (Art. 45). 	Recuperación total o parcial de la escorrentía superficial natural, en caso de haber sido modificada.	Impacto positivo, puntual y permanente.
Aire	4.1	<p>NOM-150-SEMARNAT-2006:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Al término de las actividades de perforación de los pozos, en caso que el área de interés geotérmico resulte improductiva se debe desmantelar y retirar todo el equipo e instalaciones que ya no sean requeridas (numeral 4.5.1). <p>DOF 11-08-2014, Ley de Energía Geotérmica:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Retirar los bienes que se hayan instalado en el área geotérmica por motivo de la exploración o explotación de yacimientos geotérmicos (Art. 34. XI). <p>NOM-081-ECOL-1994:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Respetar los límites máximos permisibles del nivel sonoro en ponderación "A" emitido por fuentes de ruido fijas establecidos en la última modificación de la norma publicada en el DOF 03-12-2013, en su artículo único (numeral 5.4). 	Emisión de ruido moderada por el desmantelamiento y traslado de maquinaria.	Impacto negativo, puntual y temporal.
Flora	4.3	<p>NOM-150-SEMARNAT-2006:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Las zonas donde a consecuencia de las actividades de perforación se haya alterado la vegetación y no se requieran durante el ciclo de vida del pozo se deberán restaurar (numeral 4.5.4). - Las especies utilizadas en la restauración deberán estar en función de la vegetación prevaleciente, susceptibles a desarrollarse en el sitio y sus condiciones edafológicas (numeral 4.5.6). <p>DOF 11-08-2014, Ley de Energía Geotérmica:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Los permisionarios o concesionarios ejecutarán las acciones de prevención y de reparación de daños al medio ambiente o al equilibrio ecológico, derivados de trabajos de exploración o explotación de las áreas geotérmicas que realicen, y estarán obligados a sufragar los costos respectivos (Art. 45). 	Recuperación de las zonas intervenidas; e incluso posible incremento de área cubierta por vegetación.	Impacto positivo, puntual y permanente.
Fauna	4.3	<p>NOM-150-SEMARNAT-2006:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Las zonas donde a consecuencia de las actividades de perforación se haya alterado la vegetación y no se requieran durante el ciclo de vida del pozo se deberán restaurar (numeral 4.5.4). <p>DOF 11-08-2014, Ley de Energía Geotérmica:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Los permisionarios o concesionarios ejecutarán las acciones de prevención y de reparación de daños al medio ambiente o al equilibrio ecológico, derivados de trabajos de exploración o explotación de las áreas geotérmicas que realicen, y estarán obligados a sufragar los costos respectivos (Art. 45). 	Rehabilitación de las zonas intervenidas.	Impacto positivo, puntual y permanente.

Tabla 5. 7 Posibles impactos ambientales asociados a las actividades que corresponden a la cuarta etapa del proyecto. Basado en el Informe Preventivo de Mexxus-RG (2013).

Etapa 4 - Recomendaciones adicionales a las normativas

Componente Ambiental	Actividad	Descripción del potencial impacto	Clasificación del Impacto	Medidas Preventivas y/o Mitigación
Suelo	4.1	Contaminación poco probable del suelo por el manejo de residuos tóxicos.	Impacto negativo y ocasional. Impacto puntual en caso de no llegar a ser lixiviado e incorporado al acuífero.	<ul style="list-style-type: none"> - Contar con un protocolo para el correcto cierre de los pozos, la desinstalación de tuberías, gestión de residuos y sustancias peligrosas; así como el traslado de todos éstos. - Análisis de calidad de suelos del área de trabajo una vez desarmado y retirado el equipo y todas las instalaciones; limpieza y remediación en caso necesario. - El cierre de los cabezales de los pozos incluye el sellado del pozo con cemento, removiendo el cabezal del pozo y rellenando la depresión alrededor de la cabeza del pozo en caso de ser necesario.
	4.2	Recuperación de la capacidad de infiltración del suelo.	Impacto positivo en caso de no haber contaminado la superficie del suelo. Impacto puntual y permanente.	<ul style="list-style-type: none"> - Revisar las lonas impermeables durante su retiro. En caso de derrame de algún combustible u otra sustancia peligrosa o contaminante; limpiar y/o retirar el volumen de suelo afectado antes de iniciar las actividades de descompactación del suelo.
Agua	4.2	Recuperación total o parcial de la escorrentía superficial natural, en caso de haber sido modificada.	Impacto positivo, puntual y permanente.	<ul style="list-style-type: none"> - Consultar la información adquirida respecto a la topografía y distribución de la vegetación del área antes de haber realizado las intervenciones, con el fin de asegurar una correcta y fiel restauración en cuanto a topografía y escorrentías naturales se refiere.
Aire	4.1	Emisión de ruido moderada por el desmantelamiento y traslado de maquinaria.	Impacto negativo, puntual y temporal.	<ul style="list-style-type: none"> - Los límites máximos establecidos por SEMARNAT en cuanto a emisión de ruido varían de acuerdo al horario; procurar realizar estas actividades durante el horario más permisible.
Flora	4.3	Recuperación de las zonas intervenidas; e incluso posible incremento de área cubierta por vegetación.	Impacto positivo, puntual y permanente.	<ul style="list-style-type: none"> - Consultar la información anteriormente recolectada de la topografía y distribución de la vegetación del área afectada, con el fin de asegurarse de haber realizado una correcta restauración. En este caso se asegura que el resultado de la restauración de la vegetación sea lo más similar al estado original del área intervenida; tanto en distribución, densidad y especies de flora.
Fauna	4.3	Rehabilitación de las zonas intervenidas.	Impacto positivo, puntual y permanente.	<ul style="list-style-type: none"> - Monitoreo posterior a la etapa de restauración de la vegetación para asegurarse que las especies faunísticas que fueron desplazadas están reincorporándose al ambiente del que fueron desplazadas.

Tabla 5. 8 Medidas preventivas o de mitigación para los posibles impactos ambientales generados durante la cuarta etapa del proyecto

e. Medidas Adicionales

Como se solicita en la NOM-150-SEMARNAT-2006, numeral 4.3.8, es necesario contar con un plan de contingencias previamente aprobado por el responsable del proyecto. Este plan sólo será útil si es del conocimiento de todos los empleados antes de empezar las actividades. Otra de las obligaciones del responsable del proyecto es la de instruir a su personal a proteger el ambiente. Evitar capturar, perseguir, cazar, recolectar o traficar especies de flora y fauna durante todas las etapas del proyecto, como lo señala el numeral 4.2.11 de esta misma norma.

Además, como se ha expresado en la Tabla 5.2, es necesario desde el inicio realizar una documentación detallada del estado físico y ambiental de la zona donde se llevará a cabo el proyecto; en especial en las nuevas áreas a intervenir. Esto incluye topografía, estudio de la calidad de los suelos, crear una línea base de datos biológicos, tanto de flora como de fauna. Estas líneas base y la demás información previamente recolectada, serán clave para el éxito durante la etapa de restauración de las zonas afectadas.

Contar con esta información es de vital importancia para evitar posibles disputas a futuro en cuanto a las obligaciones de remediación ambiental que les corresponde a los encargados del proyecto. En este mismo sentido, también es recomendable obtener una línea base detallada en cuanto a calidad del agua para el acuífero que se encuentre dentro del área del proyecto; en especial contaminantes relacionados a actividades de exploración y explotación geotérmica.

Así mismo, se debe realizar un censo en aspectos relacionados a la salud de las poblaciones cercanas, así como obtener un promedio del ruido ambiental antes de empezar las actividades del proyecto; estos datos podrán servir a futuro en caso de ser necesario esclarecer responsabilidades. Esta información podrá ser útil para detectar oportunamente, o bien para descartar relaciones causa-efecto de los impactos ambientales del proyecto y la salud de los habitantes en zonas aledañas.

En cuanto al manejo y disposición final de los residuos generados por las actividades de perforación y evaluación de los pozos, la NOM-150-SEMARNAT-2006, numeral 4.3.6, únicamente pide realizar el análisis CRETÍ para la clasificación de estos residuos y así determinar el correcto manejo y disposición de los mismos. La NOM-052-SEMARNAT-2005, establece el procedimiento de identificación y clasificación de residuos peligrosos, y también proporciona listados de tipos de residuos ya catalogados como peligrosos. De acuerdo a esta última norma, un residuo se considerará peligroso si presenta al menos una de las siguientes características: corrosividad, reactividad, explosividad, toxicidad ambiental, inflamabilidad, o es biológica-infecciosa.

Esta misma norma define la *toxicidad ambiental* como la característica de una sustancia o mezcla de sustancias que ocasiona un desequilibrio ecológico (numeral 5.13). Esta norma considera una sustancia como tóxico-ambiental al contener y sobrepasar los límites máximos permisibles para al menos uno de constituyentes tóxicos identificables en el extracto PECT (Tabla 2 de la NOM-052-SEMARNAT-2005); conociéndose como extracto PECT al procedimiento de extracción de constituyentes tóxicos inorgánicos (metales), orgánicos semivolátiles y orgánicos volátiles (numeral 7.5.1).

El procedimiento para realizar el extracto PECT se detalla en la NOM-053-SEMARNAT-1995. Al realizar el extracto PECT a una muestra de residuo, encontrando constituyentes tóxicos en la muestra pero que no sobrepasen la concentración límite permisible, no se considerará como residuo tóxico que requiera de un manejo y disposición final especial; a pesar de que la muestra pueda contener constituyentes tóxicos.

La NOM-157-SEMARNAT-2009 establece los elementos y procedimientos para instrumentar planes de manejo de residuos mineros; de donde se deriva la NOM-141-SEMARNAT-2003, la cual establece el procedimiento para caracterizar los jales, entre otras normativas relacionadas a la construcción, uso y cierre de las presas de jales. En la NOM-157-SEMARNAT-2009, se enlista otros tipos de prueba para determinar la peligrosidad de un residuo, las cuales podrían ser útiles y aplicables a proyectos de perforación geotérmica.

De la última norma mencionada, numeral 5.4.2.4.3, señala que cuando la concentración en el extracto a utilizar para hacer las pruebas sea superior a los límites establecidos para el extracto PECT, se concluirá que el residuo es peligroso por la toxicidad asociada al elemento en cuestión y no se continuará con pruebas posteriores.

De no ser así, se procederá con la evaluación de la peligrosidad de los residuos mineros; que consta de dos métodos (Anexos Normativos I y V de la NOM-141-SEMARNAT-2003). El primero, determina la movilidad de los constituyentes tóxicos con agua, conforme a la *prueba para realizar la extracción de metales y metaloides en jales, con agua en equilibrio con CO₂*. El segundo, consiste en evaluar la peligrosidad en función del potencial de generación de drenaje ácido de acuerdo con la *prueba de balance ácido-base para jales que contienen sulfuros*. Estos métodos buscan evaluar e identificar la fracción extraíble de los metales y metaloides tóxicos bajo condiciones ambientales; pues esta fracción es la que puede llegar a representar un riesgo ambiental ya que es móvil en el ambiente.

Es recomendable buscar otros métodos para identificar componentes tóxicos en los residuos que se generarán por la perforación de los pozos geotérmicos, así como su toxicidad ambiental aparte del análisis CRETl. Al complementar estos análisis con otros similares a los mencionados en las normas diseñadas para jales mineros, se podrá determinar si realmente los residuos que generará este proyecto pueden ser perjudiciales al ambiente o no.

En muchos países se han observado limitaciones tanto institucionales como de capacidad financiera para que las agencias gubernamentales puedan imponer y hacer cumplir los requerimientos de aspecto ambiental y social. Esto no debería significar que las empresas o partes encargadas de desarrollar un proyecto deban tomar ventaja de esta situación; por el contrario, deben procurar defender y cumplir la ética medioambiental y las leyes aplicables (Ogola, 2005).

De igual manera, cuando las regulaciones del país en el que se realicen los proyectos difieran a los reglamentos internacionales, se espera que los proyectos cumplan con las normas que sean las más estrictas. Estas buenas prácticas harán que la aceptación social del proyecto sea positiva, además de mantener la imagen de las empresas e instituciones involucradas.

LÍNEAS BASE PARA POSIBLES AFECTACIONES RELACIONADAS A CONTAMINACIÓN DE AGUA Y CONTAMINACIÓN ACÚSTICA

Como se destacó en el capítulo anterior, es de vital importancia establecer el estado ambiental actual del área del proyecto por medio de líneas base biológicas, de calidad del agua, salud, contaminación acústica, entre otras. Este capítulo tiene como objetivo establecer el estado actual de acuífero Valle Ixtlán-Ahuacatlán, en cuanto a calidad de agua se refiere, con base en la información disponible del área de estudio hasta hoy en día. Además, se establece las áreas aptas para realizar las actividades de perforación dentro del área del proyecto y al mismo tiempo cumplir con las normativas ambientales en cuanto a contaminación acústica.

Para presentar la línea base para la composición química del agua, se utilizaron tres series de datos; datos de muestras adquiridas y analizadas por la empresa Reykjavík Geothermal en el año 2014; datos adquiridos por CONAGUA en el año 1974 y trabajados y publicados por la Universidad Politécnica de Huatusco en el año 2014; y por último, datos de muestras de aguas tomadas en el campo geotérmico La Primavera, presentadas por Pandarinath y Domínguez en el año 2015. Todos estos datos provienen de muestras adquiridas en manantiales, ríos, pozos de aprovechamiento, así como pozos geotérmicos. Se utiliza en este trabajo datos provenientes del campo geotérmico La Primavera ya que debido a la cercanía de este campo al área de estudio, así como la similitud en cuanto al contexto geológico, la información publicada por Pandarinath y Domínguez podría ser similar en cuanto a composición con los fluidos geotérmicos que se obtendrán en el prospecto Volcán El Ceboruco.

En cuanto a contaminación acústica, se realizó una estimación de la atenuación de ruido por divergencia geométrica, considerando una fuente fija con niveles de ruido similares a los que se presentan durante las actividades de perforación por exploración geotérmica de acuerdo a autores como Ogola (2005), Bayer *et al.* (2013) y Barbier (2002). A partir de estas estimaciones se proponen dos mapas, indicando las zonas factibles para ubicar las plataformas de perforación respetando los límites espaciales del proyecto. Además, se busca con estos mapas indicar de forma clara la distancia mínima necesaria que deberá existir entre los límites de las comunidades y las plataformas de exploración para respetar la Norma Oficial Mexicana y los lineamientos por parte de la OMS en cuanto a contaminación acústica.

a. Línea base para la composición química del agua en el acuífero Valle Ixtlán-Ahuacatlán y alrededores

El agua residual de los procesos de exploración y explotación geotérmica, se componen tanto de agua expulsada por los separadores de vapor, así como de los fluidos de condensación por el vapor utilizado en la generación de energía. El agua residual producto de condensación, se caracteriza por poseer alta temperatura, bajo pH y posible contenido de metales pesados (WBG, 2007). Las características fisicoquímicas específicas de las aguas residuales geotérmicas dependerán de las condiciones particulares del reservorio y de la planta.

Siempre existe el riesgo de contaminación del agua por elementos como As, B, Hg, Zn, Pb, Cl, Li, entre otros; debido a los fluidos geotérmicos y/o lodos de perforación. Por lo que se debe realizar un monitoreo constante del estado de las tuberías, así como de la calidad del agua, tanto superficial como del acuífero subyacente; este monitoreo debe ser obligatorio durante todas las etapas del proyecto.

Monitorear la calidad del agua es importante, no sólo por los impactos que puede tener en la salud de las comunidades que hacen uso del acuífero, sino también por el impacto que puede tener en los cultivos; actividad en la que claramente gran parte de la economía de la zona está basada. Por esta razón, el monitoreo de la calidad del agua se debe hacer tanto para prevenir y detectar oportunamente impactos en la salud y en la economía local. Remediar problemas ambientales de este tipo resulta ser bastante difícil y costoso; por ello es importante manejar correctamente desde el inicio los residuos con potencial tóxico y dar mantenimiento a las tuberías de los pozos.

Se presenta una recopilación de datos provenientes de manantiales, ríos y pozos de aprovechamiento del acuífero Valle Ixtlán-Ahuacatlán con el fin de contar con información del estado actual de los cuerpos de agua en la zona. De igual forma se presentan datos obtenidos de muestras de agua en manantiales y pozos geotérmicos del campo La Primavera, en el estado colindante de Jalisco. En este capítulo no se presentan concentraciones de elementos traza por la falta de datos para este acuífero, ya sean de carácter público o científico.

i. Datos propiedad de Reykjavík Geothermal

La empresa RG como parte de la campaña de estudios realizados en el 2014 para Mexxus-RG, llevó a cabo un breve muestreo de calidad del agua del acuífero y nos dio acceso a sus resultados para este trabajo de tesis. Este muestreo se realizó en cinco puntos que se localizan dentro del área del acuífero, del proyecto y también dentro de la microcuenca las Guásimas. Una de estas cinco muestras fue tomada en el río El Obispo, río arriba; la cual es la muestra con más baja temperatura registrada. Las demás muestras fueron tomadas en manantiales; tres muestras fueron tomadas cerca del cauce del río El Obispo (Figura 6.1) y únicamente se considera caliente una muestra de manantial, ya que su temperatura es superior a la temperatura ambiente.

La Tabla 6.1 indica algunos parámetros físico-químicos de las muestras, como la temperatura del agua en el momento de recolección de estas muestras, pH, dureza del agua (en este caso saturación de CaCO_3), así como sólidos totales disueltos (STD).

Ubicación de la toma de muestras de agua del acuífero Valle Ixtlán-Ahuacatlán

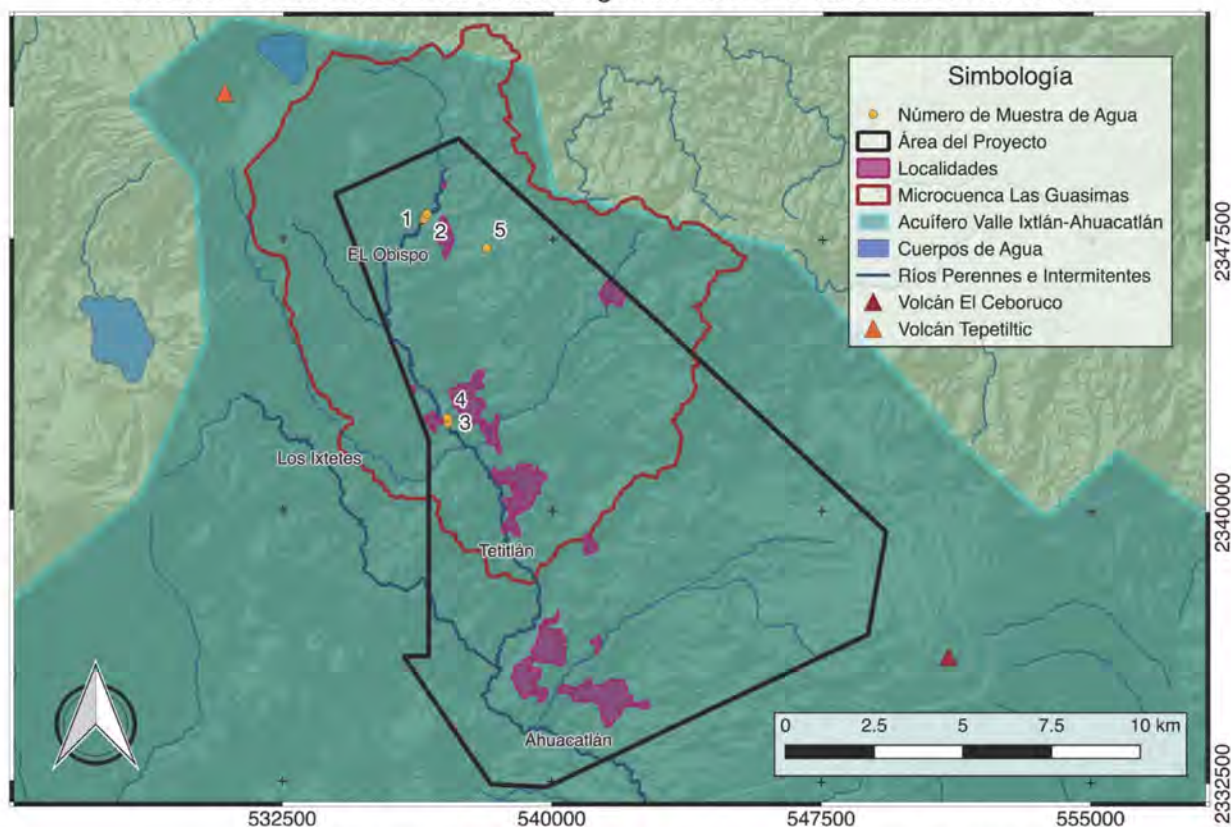


Figura 6.1 Ubicación de la recolección de las muestras estudiadas en el año 2014 por RG.

Número de Muestra	Temp. de Muestra [°C]	pH	CaCO_3 [%]	TSD [mg/L]
1	28.7	6.5	1.30	115.00
2	22.8	7.3	2.80	50.00
3	30.4	6.7	4.90	242.00
4	26.6	6.7	1.60	100.00
5	32.0	6.8	12.20	383.00

Tabla 6. 1 Parámetros físico químicos obtenidos de las muestras recolectadas por RG en el año 2014.

En la Tabla 6.2, se indica el número y nombre de muestra, ambiente de recolección, concentración de iones principales, porcentaje de error obtenido al realizar el balance iónico de cada una de las muestras, así como el tipo de agua a la que corresponde cada una de estas. Seguido, se presenta un diagrama de Schoeller en la Figura 6.2, indicando la concentración de aniones y cationes utilizados para la clasificación del tipo de agua. En este mismo diagrama las muestras se indican por su nombre, seguido del ambiente de recolección, se utiliza *M* para indicar las muestras tomadas en manantiales y *R* para las muestras tomadas en ríos.

No. Muestra	Nombre	Tipo de Ambiente	Concentración en ppm ó mg/L							% Error de Balance Iónico	Tipo de Agua
			Cl ⁻	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ⁻	Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺		
1	Jalacate JAS-01	Manantial	11.59	68.62	3.04	24.50	6.00	13.40	7.80	10.65	HCO ₃ - Ca ²⁺
2	Jalacate JAS 02	Río	1.87	52.02	1.21	10.50	4.80	6.30	3.10	2.32	HCO ₃ - Ca ²⁺
3	Jalacate JAS-03	Manantial	52.00	114.23	21.07	55.90	7.90	20.20	12.50	2.08	SO ₄ ²⁻ - Ca ²⁺
4	Jalacate JAS-04	Manantial	11.22	62.31	11.43	15.80	6.10	11.50	7.20	5.65	HCO ₃ - Ca ²⁺
5	Las Guademas	Manantial	110.42	173.17	9.11	112.90	13.90	27.40	14.00	3.66	Cl ⁻ - Na ⁺

Tabla 6.2 Número de muestra, ambiente de recolección, aniones y cationes principales, porcentaje de error obtenido al realizar el balance iónico y tipo de agua a la que corresponde cada una de las muestras.

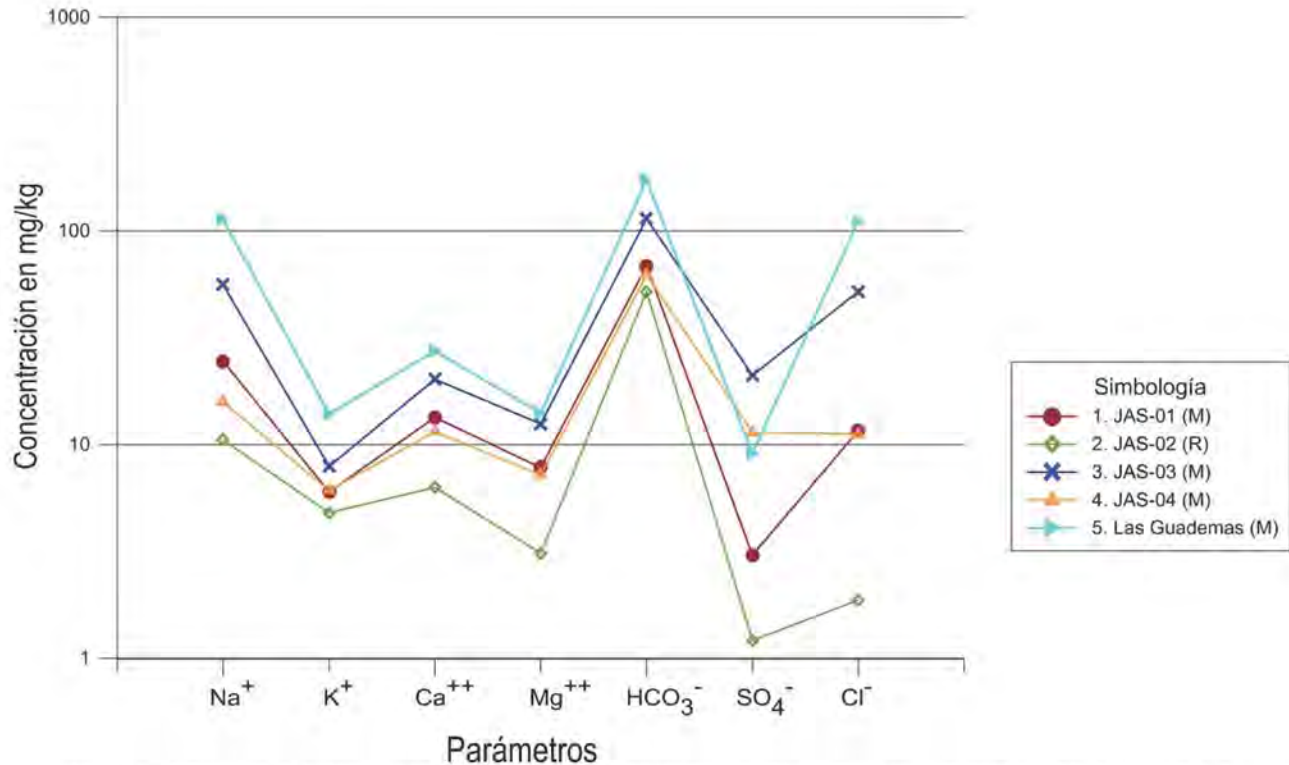


Figura 6.2 Diagrama de Schoeller para aniones y cationes principales de las muestras recolectadas por RG de la Tabla 6.2

Como se comentó en el capítulo tres, ya que es difícil señalar y hablar de calidad del agua sin establecer el uso específico que se le dará a este recurso, es mejor evaluar la calidad el agua en cuanto a su potabilidad. La Tabla 6.3 presenta los límites máximos permisibles establecidos por la OMS (WHO, 2017), el Consejo de la Unión Europea (2015) y la Secretaría de Salud de México (2000), para las especies disueltas en las muestras de agua tomadas por RG en el año 2014. Las siglas *NE* se refiere a los casos en donde el lineamiento no especifica ningún límite para la concentración en cuestión; también se incluye el nivel de pH de las muestras analizadas. Las concentraciones de iones disueltos de la Tabla 6.2 que no están presentes en la Tabla 6.3, se debe a que no cuentan con un límite establecido hasta el momento por ninguna de las tres recomendaciones o normas utilizadas en este trabajo.

Componente	Lineamiento OMS (2017) [mg/l]	Normas UE (2015) [mg/l]	NOM-127-SSA1-1994 (2000) [mg/l]	Muestra 1 [mg/l]	Muestra 2 [mg/l]	Muestra 3 [mg/l]	Muestra 4 [mg/l]	Muestra 5 [mg/l]
B	2.40	1.00	NE	0.191	0.094	1.169	0.110	3.266
Cl	NE	250	250	11.594	1.873	52.000	11.218	110.419
F	1.50	1.50	1.50	0.223	0.124	0.231	0.158	0.291
CaCO ₃	NE	NE	500	1.300	2.800	4.900	1.600	12.200
Na	50	200	200	24.500	10.500	55.900	15.800	112.900
NO ₃	50	50	10	0.682	2.404	5.647	12.234	3.003
SO ₄	500	250	400	3.036	1.210	21.069	11.426	9.113
TDS	NE	NE	1000	115	50	242	100	383
pH	NE	6.5 - 9.5	6.5 - 8.5	6.5	7.3	6.7	6.7	6.8

Tabla 6.3 Límites permisibles para ciertos componentes disueltos en el agua potable, establecidos por normativas internacionales y nacionales; así como la relación con las concentraciones en las muestras analizadas.

Se señala a manera de ejemplo en la Tabla 6.3, que la concentración de boro sobrepasa los lineamientos establecidos por la OMS y la UE en el caso de las muestras 3 y 5. En el caso de la muestra 4, los niveles de nitrato sobrepasan la norma establecida por la Secretaría de Salud. En cuanto al valor del pH, todas las muestras se encuentran dentro del rango establecido por la UE y la Secretaría de Salud. En la Figura 6.3. se presentan los cocientes de las concentraciones de las especies señaladas en la Tabla 6.3, entre los valores de los límites permisibles de la NOM-127-SSA1-1994. En el caso del boro, se indica el cociente en relación al lineamiento establecido por la OMS debido a la ausencia de una regulación nacional.

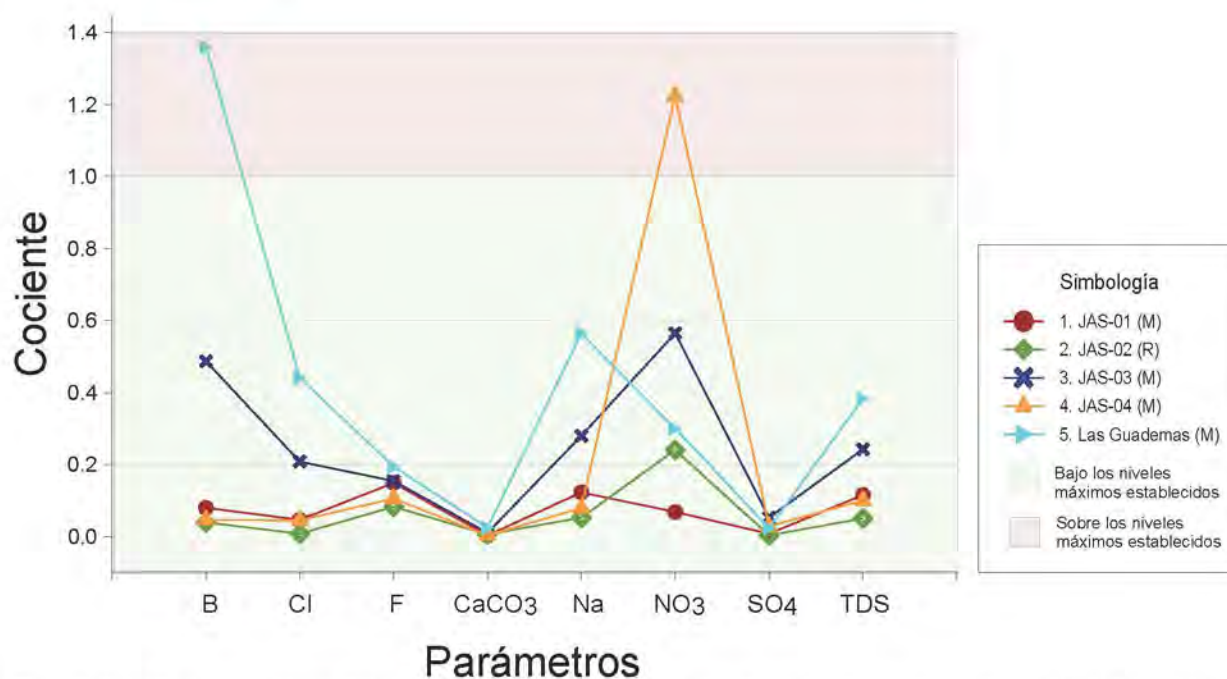


Figura 6.3 Gráfica con el cociente de las concentraciones de las especies analizadas en las muestras de agua con relación al valor límite permisible de acuerdo a la NOM-127-SSA1-1994, para los datos presentados en la Tabla 6.3. Únicamente en el caso del boro se obtuvo el cociente utilizando el límite máximo recomendado por la OMS (WHO, 2017).

Respecto a las muestras 3 y 5 en cuanto al contenido de boro, estos se pueden relacionar a actividades antropogénicas, debido a que el boro de ocurrencia natural contenido en aguas superficiales se encuentra por debajo de 0.5 mg/l (WHO, 2009). Concentraciones considerablemente mayores a los 0.5 mg/l en acuíferos y aguas superficiales se debe a la lixiviación de suelos contaminados de boratos y borosilicatos, así como la descarga de aguas de desecho debido a que el boro es un agente común en productos de limpieza y otros tipos de detergente de uso doméstico (WHO, 2009).

En cuanto al alto contenido de nitratos en la muestra 4, esto también se puede relacionar a actividades antropogénicas. El nitrato puede llegar a estar contenido en agua superficial y subterránea como consecuencia de actividades de agricultura (uso en exceso de fertilizantes nitrogenados inorgánicos o abono), de fuentes industriales, de la disposición de desechos urbanos y de la oxidación de productos de desechos nitrogenados en excreciones humanas y animales, incluyendo fosas sépticas (WHO, 2011). Las concentraciones de nitratos en aguas superficiales llega a cambiar rápidamente debido al movimiento de los fertilizantes junto con el escurrimiento superficial, la absorción por fitoplancton y la desnitrificación por bacterias; mientras que en aguas subterráneas el cambio en la concentración de nitratos es un proceso lento (WHO, 2011).

ii. Datos CONAGUA

En el año 1979, CONAGUA realizó un estudio del acuífero Valle Ixtlán-Ahuacatlán, en donde se tomaron doce muestras en manantiales y pozos de aprovechamiento. Estos mismos datos fueron utilizados y publicados en el *Estudio Técnico Justificativo de la Universidad Politécnica de Huatusco*, del año 2014. De este estudio se concluye que las muestras de agua tomadas y analizadas corresponden a agua de baja a media salinidad y de bajo contenido de sodio, por lo que puede utilizarse sin restricción alguna para fines de riego.

Con base en el mismo estudio de la Universidad Politécnica de Huatusco, se sabe que las profundidades del nivel estático registradas para año 1979 variaban de 2.9 metros a 13 metros. Los valores más someros se registran en la parte norte del acuífero; mientras que los valores piezométricos más profundos se registran en la parte sur y sureste del acuífero. No existen estudios piezométricos de conocimiento público para el acuífero Valle Ixtlán-Ahuacatlán realizados recientemente.

De las doce muestras recolectadas por CONAGUA en el año 1979, se utilizan en este trabajo únicamente seis, las que presentan un error menor al 12% en el balance iónico. En la Figura 6.4 se indica la ubicación de las muestras recolectadas por CONAGUA utilizadas en este trabajo. En la Tabla 6.4 se indica el número, nombre, nivel de pH y total de sólidos disueltos (TDS) de las muestras indicadas en la Figura 6.4

Ubicación de muestras de agua del acuífero Valle Ixtlán-Ahuacatlán tomadas por CONAGUA (1979)

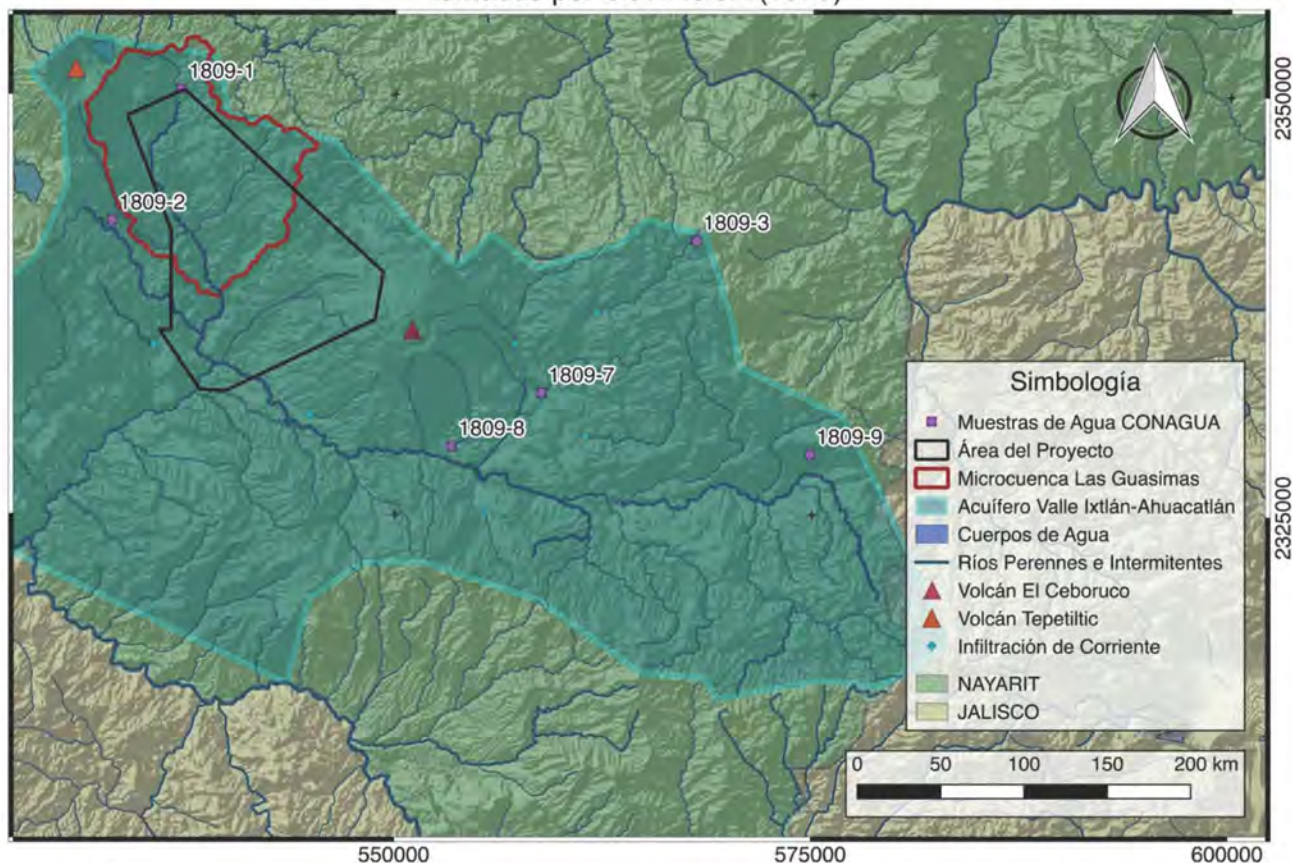


Figura 6. 4 Ubicación de las muestras de agua recolectadas por CONAGUA en el año 1979. Únicamente se indica la ubicación de las muestras utilizadas en este trabajo.

Número de Muestra	Nombre	pH	TSD [mg/L]
1	1809-1	6.8	99
2	1809-2	7.4	445
3	1809-3	7.4	50
4	1807-7	7.5	206
5	1809-8	7.7	182
6	1809-9	7.9	234

Tabla 6.4 Parámetros fisicoquímicos de las muestras obtenidas por CONAGUA en 1979. Fuente: Estudio Técnico Justificativo de la Universidad Politécnica de Huatusco (2014).

En la Tabla 6.5 se presentan los datos de las muestras de CONAGUA utilizadas: el nombre de las muestras, las concentraciones de aniones y cationes principales, tipo de ambiente en el que se recolectó, porcentaje de error obtenido al realizar el balance iónico y su clasificación de tipo de agua. En la Figura 6.5 se presenta el diagrama de Schoeller para los aniones y cationes de la Tabla 6.5, se indica en el diagrama el nombre y ambiente de recolección de cada muestra; se utiliza en la simbología (M) para manantiales y (P) para pozos de aprovechamiento.

No. Muestra	Nombre	Tipo de Ambiente	Concentración en ppm ó mg/L							% Error de Balance Iónico	Tipo de Agua
			Cl ⁻	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ⁻	Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺		
1	1809-1	Manantial	3.50	67.10	0.00	10.00	4.70	8.00	3.50	11.70	HCO ₃ ⁻ - Ca ²⁺
2	1809-2	Manantial	92.30	213.50	0.00	88.00	12.50	24.00	13.30	6.81	HCO ₃ ⁻ - Na ⁺
3	1809-3	Manantial	7.10	27.40	0.00	5.70	3.10	6.00	0.40	2.20	HCO ₃ ⁻ - Ca ²⁺ - Na ⁺
4	1809-7	Pozo	10.60	134.20	0.00	25.00	6.60	16.00	7.60	10.09	HCO ₃ ⁻ - Ca ²⁺
5	1809-8	Pozo	10.60	94.50	14.40	24.00	4.70	16.00	6.40	4.86	HCO ₃ ⁻ - Ca ²⁺
6	1809-9	Manantial	10.60	158.60	0.00	30.00	7.40	16.00	8.60	11.97	HCO ₃ ⁻ - Ca ²⁺ - Na ⁺

Tabla 6.5 Muestras obtenidas por CONAGUA en 1979, ambiente de recolección, aniones y cationes principales, porcentaje de error en el balance iónico y tipo de agua. Fuente: Estudio Técnico Justificativo de la Universidad Politécnica de Huatusco (2014).

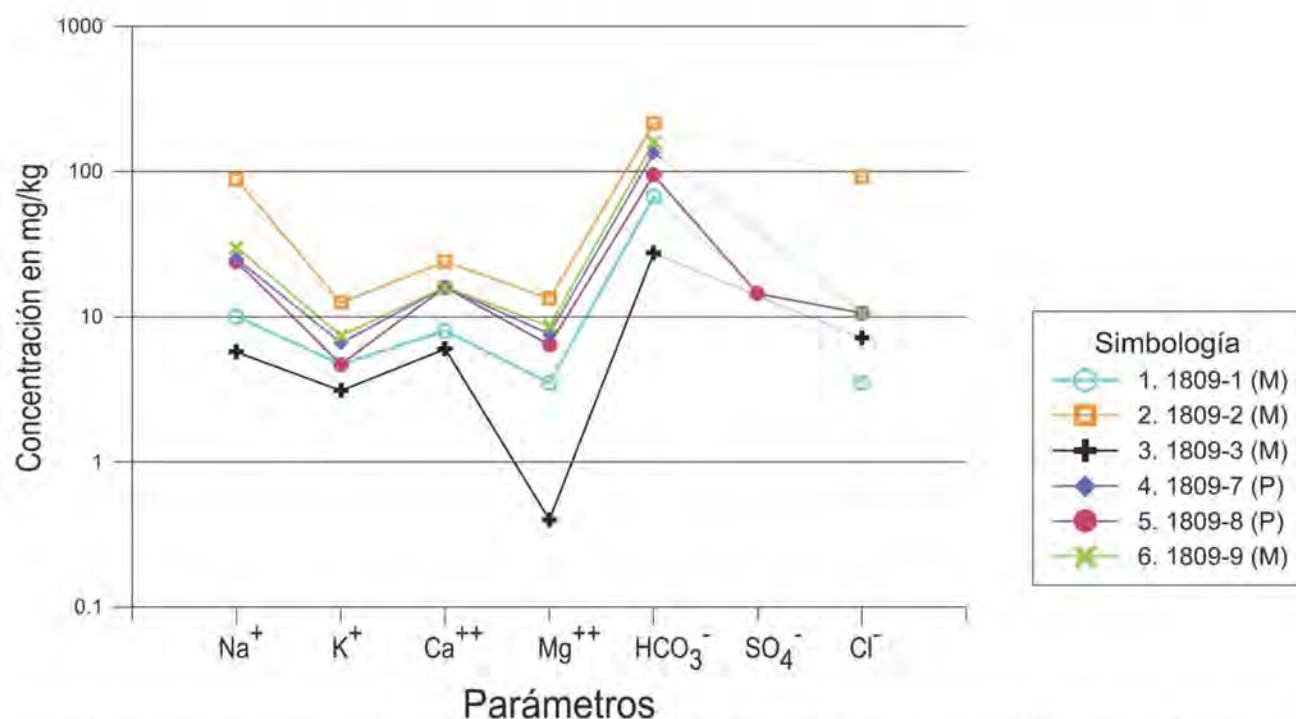


Figura 6.5 Diagrama de Schoeller para aniones y cationes de las muestras utilizadas del estudio del Acuífero Valle Ixtlán-Ahuacatlán, realizado por CONAGUA en el año 1979.

iii. Datos Campo Geotérmico La Primavera

Pandarínath y Domínguez (2015) realizaron una evaluación de las temperaturas obtenidas con geotermómetros de soluto para muestras de agua en manantiales termales y pozos geotérmicos en La Primavera. En esta publicación se recopilaron datos de muestras obtenidas y presentadas por diversos autores; como lo son datos de muestras de manantiales por Templos (1980); de manantiales y pozos geotérmicos por Mahood *et al.* (1983); y datos de pozos geotérmicos por Gutiérrez-Negrín (1991).

El campo geotérmico La Primavera, o también conocido como Cerritos Colorados, se localiza en el estado de Jalisco, a 120 kilómetros en dirección sureste de la zona del proyecto Volcán El Ceboruco (Figura 6.6). Tanto el campo geotérmico La Primavera como El Ceboruco, se encuentran dentro de la zona oeste del CVT, ubicados dentro del Bloque Jalisco; por lo que comparten varias características geológicas. El Bloque Jalisco es una provincia geológica que se caracteriza por la intersección de tres sistemas de fallas extensionales independientes con orientación NW-SE, E-W y N-S, los cuales son el Graben Tepic-Zocoalco, el Graben Chapala y el Graben Colima respectivamente. Esto ha dado origen a una cadena volcánica con múltiples calderas, que nace desde Guadalajara en el estado de Jalisco, hasta Tepic en el estado de Nayarit.

Ubicación del Campo Geotérmico La Primavera, en relación al área del proyecto



Figura 6.6 Ubicación del Campo Geotérmico La Primavera, en relación al Acuífero Valle Ixtlán-Ahuacatlán y al área de estudio.

En la Tabla 6.6 se presentan las muestras compiladas por Pandarinath y Domínguez (2015), también se señala el nombre de las muestras, ambiente, concentración en ppm de aniones y cationes, porcentaje de error en el balance iónico, así como el tipo de agua. En este trabajo, de las 26 muestras que originalmente se presentan en la publicación del año 2015, sólo se utilizaron 24, las que tuvieron un porcentaje de error en el balance iónico menor a 12%.

No. Muestra	Nombre	Tipo de Ambiente	Concentración en ppm ó mg/L							% Error de Balance Iónico	Tipo de Agua
			Cl ⁻	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ⁻	Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺		
1	Orfanato	Manantial	112.00	452.00	43.00	267.00	11.00	5.40	0.81	2.95	HCO ₃ ⁻ - Na ⁺
2	Río Caliente	Manantial	106.00	487.00	43.00	280.00	11.00	3.50	0.40	3.13	HCO ₃ ⁻ - Na ⁺
3	Agua Brava	Manantial	94.00	495.00	31.00	268.00	12.50	3.80	0.46	3.20	HCO ₃ ⁻ - Na ⁺
4	Arroyo Verde	Manantial	94.00	487.00	30.00	268.00	11.00	4.10	0.46	3.77	HCO ₃ ⁻ - Na ⁺
5	Agua Caliente	Manantial	155.00	377.00	5.00	275.00	9.50	1.50	0.35	7.08	HCO ₃ ⁻ - Na ⁺
6	Cañón de las Flores	Manantial	5.40	90.00	6.00	35.00	2.80	2.30	0.86	1.31	HCO ₃ ⁻ - Na ⁺
7	Yuca Trailer Park	Manantial	1.60	81.00	3.00	31.00	5.00	1.00	0.85	3.05	HCO ₃ ⁻ - Na ⁺
8	RC_T_1	Manantial	118.00	490.40	31.10	266.10	12.60	13.00	0.60	2.12	HCO ₃ ⁻ - Na ⁺
9	RC_T_2	Manantial	109.50	492.80	34.90	263.20	11.90	10.90	1.20	1.64	HCO ₃ ⁻ - Na ⁺
10	RC_T_3	Manantial	107.40	551.40	31.90	263.80	13.00	11.80	0.90	1.37	HCO ₃ ⁻ - Na ⁺
11	RC_T_4	Manantial	85.30	431.90	24.00	264.90	9.60	10.60	0.70	10.34	HCO ₃ ⁻ - Na ⁺
12	RC_T_5	Manantial	94.60	485.60	24.00	260.00	10.70	10.60	0.70	4.20	HCO ₃ ⁻ - Na ⁺
13	RC_T_6	Manantial	102.40	517.30	24.00	261.10	11.90	11.30	0.90	1.45	HCO ₃ ⁻ - Na ⁺
14	RC_T_7	Manantial	165.00	395.30	0.50	260.00	10.70	4.80	0.10	2.94	HCO ₃ ⁻ - Na ⁺
15	AC_T_1	Manantial	42.50	128.10	78.80	71.70	17.00	18.00	10.90	5.36	HCO ₃ ⁻ - Na ⁺
16	AC_T_2	Manantial	79.00	137.60	149.80	112.20	21.60	27.20	10.30	5.82	HCO ₃ ⁻ - Na ⁺
17	AC_T_3	Manantial	165.40	192.70	0.00	131.10	19.00	22.40	6.60	3.56	HCO ₃ ⁻ - Na ⁺
18	PR-1-1981_M	Pozo Geotérmico	851.00	360.00	61.00	650.00	105.00	0.80	0.01	0.29	HCO ₃ ⁻ - Na ⁺
19	PR-2-1981_M	Pozo Geotérmico	1120.00	2350.00	234.00	2000.00	107.00	0.20	0.01	8.96	HCO ₃ ⁻ - Cl ⁻ - Na ⁺
20	PR-1	Pozo Geotérmico	1100.00	11.00	40.00	730.00	170.00	1.20	0.01	6.04	Cl ⁻ - Na ⁺
21	PR-8	Pozo Geotérmico	870.00	420.00	110.00	810.00	130.00	1.40	0.02	6.79	Cl ⁻ - Na ⁺
22	PR-9	Pozo Geotérmico	1030.00	200.00	54.00	650.00	145.00	1.80	0.01	2.12	Cl ⁻ - Na ⁺
23	PR-12	Pozo Geotérmico	1300.00	61.00	22.00	810.00	214.00	3.20	0.06	3.46	Cl ⁻ - Na ⁺
24	PR-13	Pozo Geotérmico	865.00	229.00	92.00	778.00	128.00	1.00	0.02	10.55	Cl ⁻ - Na ⁺

Tabla 6.6 Muestras correspondientes al Campo Geotérmico La Primavera, ambiente de recolección, aniones y cationes principales, porcentaje de error en el balance iónico y tipo de agua. Fuente: Pandarinath y Domínguez (2015).

En las Figuras 6.7 y 6.8 se presenta los diagramas de Schoeller con los datos de la Tabla 6.5, para las muestras obtenidas en manantiales y las muestras obtenidas en pozos geotérmicos respectivamente.

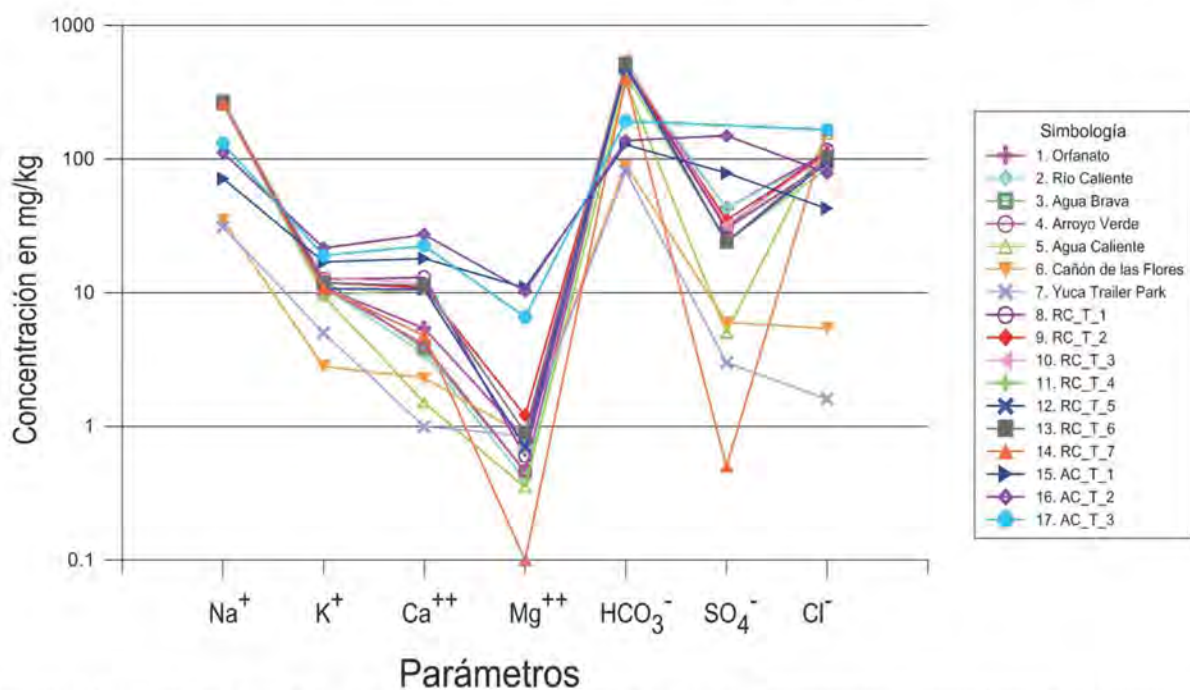


Figura 6.7 Diagrama de Schoeller para concentraciones de aniones y cationes de las muestras de agua obtenidas en manantiales utilizadas por Pandarinath y Domínguez (2015).

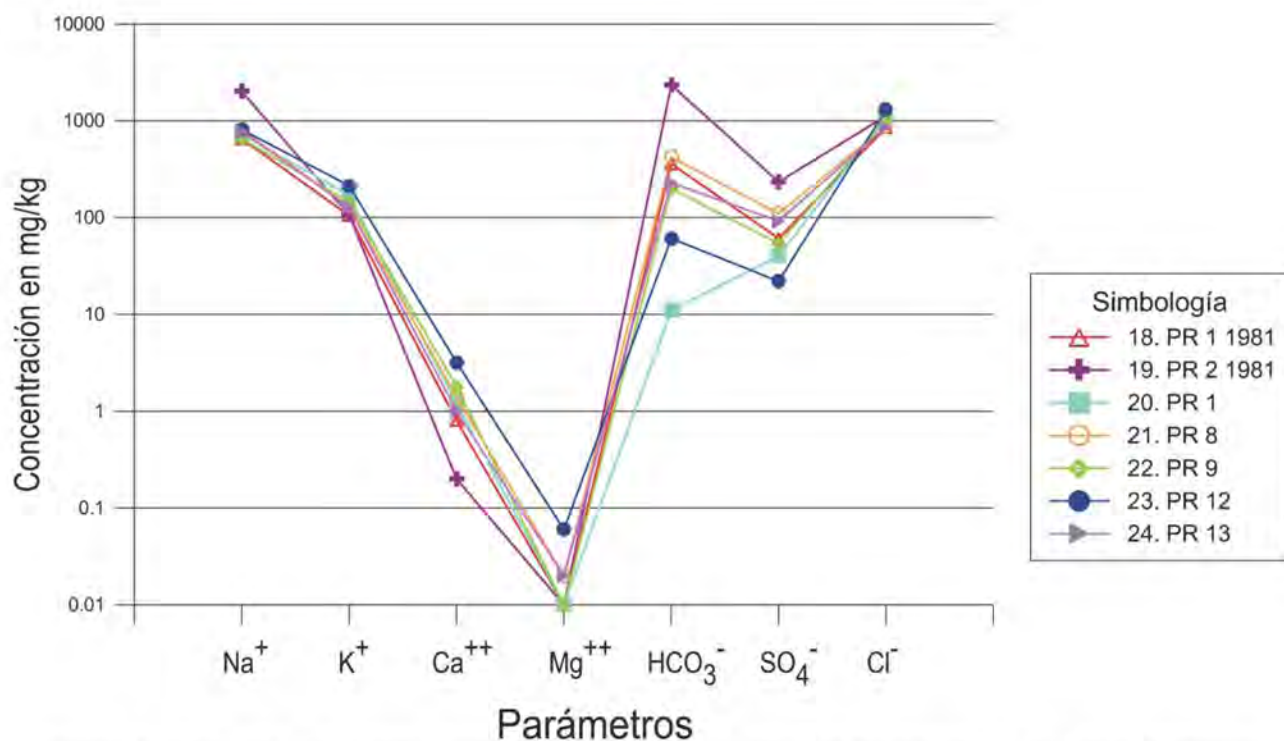


Figura 6. 8 Diagrama de Schoeller para concentraciones de aniones y cationes de las muestras obtenidas de pozos geotérmicos utilizadas por Pandarinath y Domínguez (2015).

iv. Rango de valores obtenidos

A continuación los rangos de valores de las concentraciones de cationes y aniones principales presentados para los tres casos anteriores se representaran de forma gráfica mediante diagramas de caja y bigote. En la Figura 6.9 se muestra a manera de ejemplo un diagrama de caja y bigote para señalar ubicación de la información que se presentará en los diagramas siguientes.

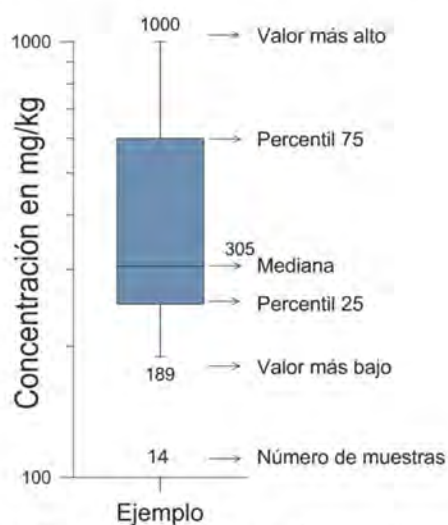


Figura 6. 9 Diagrama de caja y bigote. Se indica en este diagrama el valor más alto y más bajo del conjunto de datos utilizados, número de muestras utilizadas, los percentiles 25 y 75, y la mediana.

Como se señaló antes, tanto las muestras recolectadas por RG en el año 2014, como las muestras recolectadas por CONAGUA en el año 1979 corresponden en su mayoría a manantiales pertenecientes al acuífero Valle Ixtlán-Ahuacatlán. En las Figuras 6.10 y 6.11 se muestra los rangos de valores obtenidos de las concentraciones de iones principales disueltos en las muestras de agua tanto para los datos de RG, como para los datos de CONAGUA respectivamente. Se excluyeron en esta gráfica las muestras no recolectadas en manantiales; se descartaron las muestras recolectadas en ríos por RG y pozos de aprovechamiento por CONAGUA. Cabe señalar que para SO_4 únicamente se muestra el rango de concentraciones obtenidas para las muestras del año 2014; ya que como se observa en la Tabla 6.5, las muestras de CONAGUA reportan concentraciones de cero ppm de este ion.

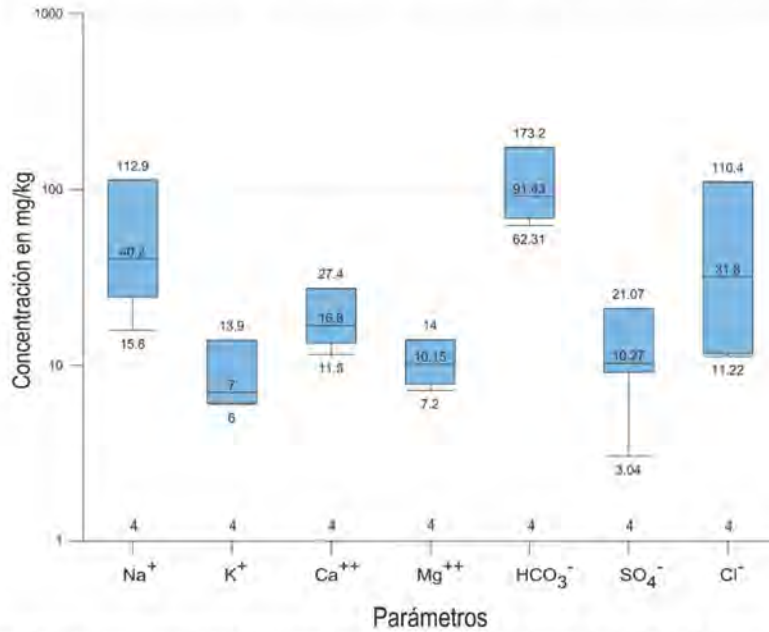


Figura 6.10 Rango valores de las concentraciones de iones principales para los datos de la Tabla 6.2. Muestras de agua recolectadas y analizadas por RG (2014).

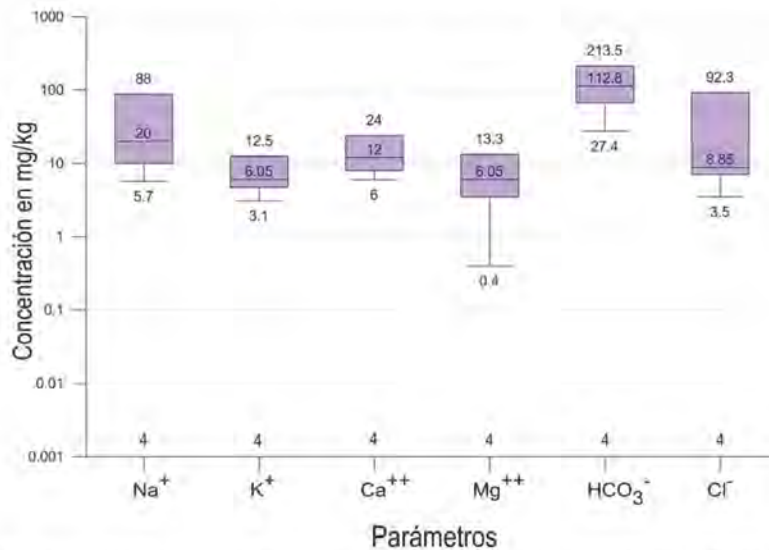


Figura 6.11 Rango de valores de las concentraciones de iones principales para los datos de la Tabla 6.5. Muestras de agua recolectadas y analizadas por CONAGUA (1979).

En cuanto al rango de valores de las muestras del campo geotérmico La Primavera, estas se separaron de acuerdo al ambiente de recolección. La Figura 6.12 indica los rangos de valores obtenidos para muestras adquiridas en manantiales termales y la Figura 6.13 indica los rangos de valores obtenidos para las muestras adquiridas en pozos geotérmicos.

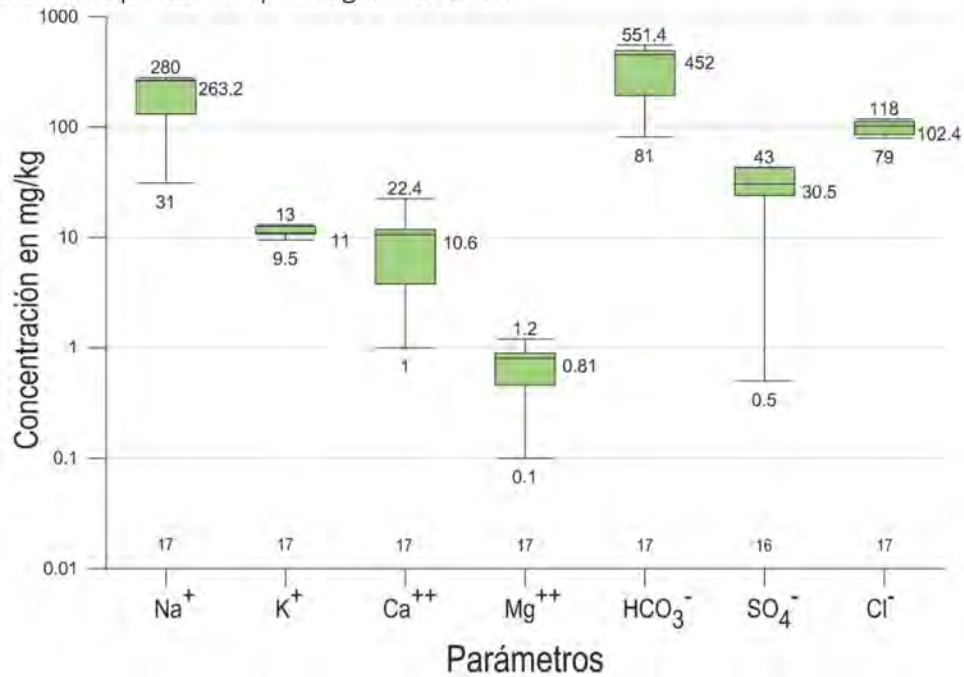


Figura 6.12 Rango de valores de las concentraciones de iones principales para las muestras recolectadas en manantiales dentro del campo geotérmico La Primavera. Datos presentados por Pandarinath y Domínguez (2015).

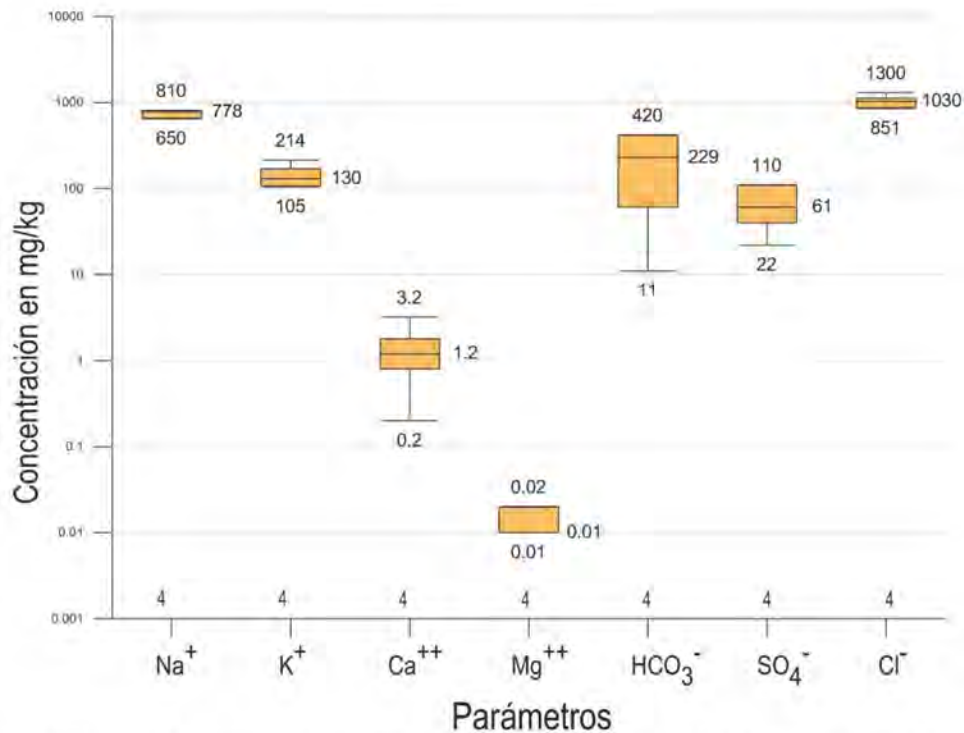


Figura 6.13 Rango de valores de las concentraciones de iones principales para las muestras de agua obtenidas de pozos geotérmicos en La Primavera. Datos presentados por Pandarinath y Domínguez (2015).

En la Figura 6.14 se muestra el rango de valores obtenidos en todas las muestras recolectadas en manantiales; ya sean muestras de RG o CONAGUA para el caso del acuífero Valle Ixtlán-Ahuacatlán, y también para el campo geotérmico La Primavera.

Las concentraciones de las muestras recolectadas en el año 2014 por RG coinciden en mayor parte con las concentraciones de las muestras recolectadas por CONAGUA en el año 1979. Es claro que las muestras recolectadas más recientemente presentan un rango de valores más pequeños; esto se puede deber a un proceso más meticuloso en la recolección de muestras, o bien, mayor precisión en los nuevos métodos de análisis en muestras de agua.

Se considera apropiado para futuros muestreos en manantiales dentro de la zona de estudio, no esperar un rango de valores mayores a estas concentraciones. De lo contrario, rangos de valores fuera de estas concentraciones se podrán asociar a actividades antropogénicas como lo es la explotación de recursos geotérmicos, uso de fertilizantes para agricultura o descarga de aguas de desecho por comunidades o industrias.

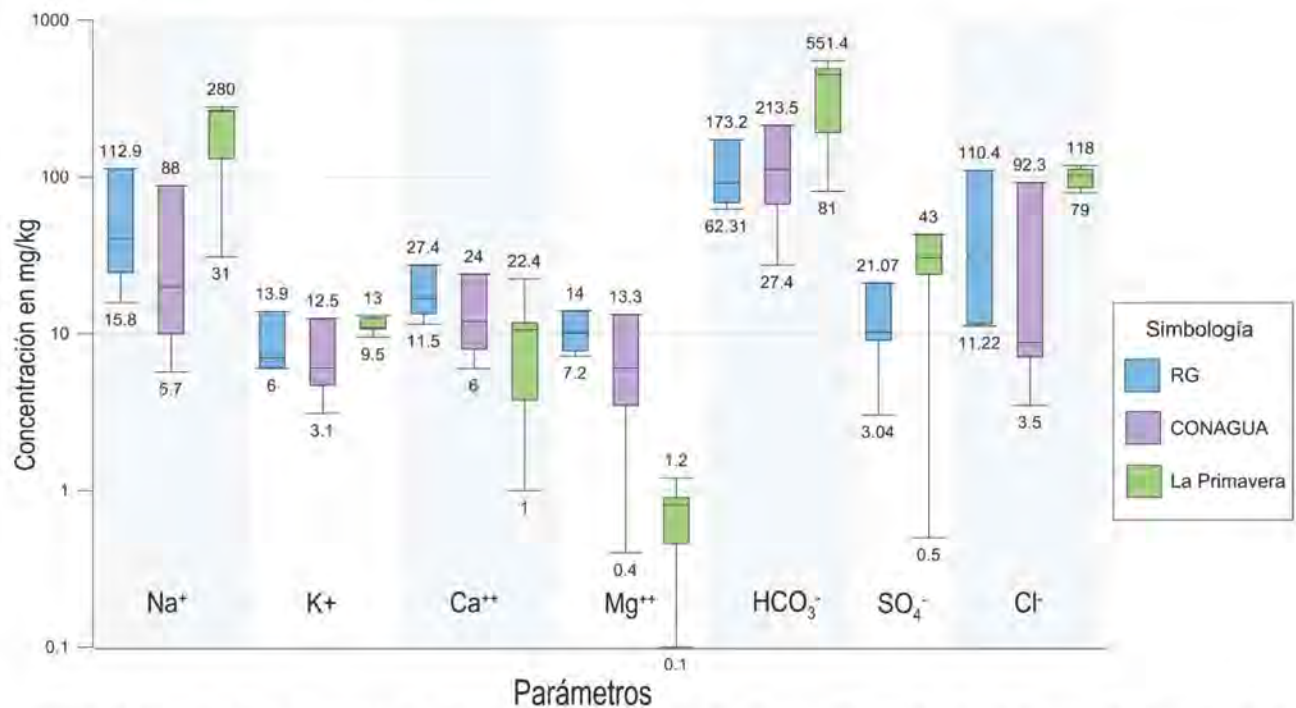


Figura 6.14. Rangos de valores obtenidos para concentraciones de iones principales en muestra de agua tomadas en manantiales. Se incluye muestras tomadas por RG y CONAGUA en el acuífero Valle Ixtlán-Ahuacatlán y muestras de agua tomadas en el campo geotérmico La Primavera.

La extracción, reinyección y descarga de fluidos geotérmicos puede afectar tanto en calidad como en cantidad a los cuerpos de agua; ya sea subterráneos o superficiales. Como ejemplo de impactos específicos se incluye la introducción de fluidos geotérmicos a acuíferos productivos más someros durante las actividades de extracción o reinyección. Otro ejemplo de afectación es la reducción de flujo de manantiales geotermales en los alrededores de las actividades de extracción de fluidos geotérmicos, tal como se menciona en los Lineamientos Medioambientales, Salud y Seguridad para la Generación de Energía Eléctrica del Grupo del Banco Mundial (WBG, 2007).

Entre las medidas que se pueden tomar para evitar este tipo de problemas se incluye (WBG, 2007):

- Elaboración de un modelo geológico e hidrogeológico el cual integre aspectos geológicos, estructurales y tectónicos, tamaño del reservorio, límites, propiedades geotécnicas e hidráulicas de la rocas que componen el reservorio.
- Completar evaluación hidrogeológica y balance de aguas durante la etapa de planificación del proyecto, para identificar interconexiones hidráulicas entre la extracción geotérmica y los puntos de reinyección, así como fuentes de agua potable o rasgos de agua superficial.
- Evitar impactos negativos en los cuerpos de agua superficiales, descargando únicamente aguas residuales que cumplan por completo con la calidad de agua y temperatura aceptada por las normas o regulaciones.
- Aislar la producción de vapor y otros fluidos geotérmicos de formaciones hidrológicas más superficiales, en especial de las que puedan llegar a ser utilizadas como fuente de agua potable o para otros usos. Para ello es necesario utilizar cubiertas aislantes para los pozos.

De igual manera, durante la reinyección, el riesgo de contaminar cuerpos de agua aún está presente. Múltiples son las regulaciones a nivel internacional que recomiendan recubrir las tuberías de cemento de los pozos exploratorios; con el propósito de aislar la tubería y evitar fugas de fluidos a cuerpos de agua subterráneos, previniendo así su contaminación.

Los pozos tanto de producción como de reinyección deben contar con una cubierta de acero y cemento para aislar el fluido geotérmico del ambiente y otros yacimientos de agua subterránea. De igual manera, es importante realizar la reinyección a la profundidad adecuada, con la certeza de estar realizando la reinyección dentro del reservorio geotérmico del que se extrajo el recurso y no en los acuíferos que se utilizan como fuentes de agua para la población de la zona (WBG, 2007).

b. Estimación de los niveles de contaminación acústica para el área del proyecto

El ruido se puede definir como el sonido no deseado. Se conoce como sonido a las secuencias de ondas compresivas que viajan a partir de una fuente; estas emisiones comúnmente son medidas con base en la presión sonora que presenta en un determinado lugar y con condiciones acústicas particulares (Patsa y Zarrouk, 2012). Aunque en un sentido físico, tanto la música como una conversación o el ruido, no son más que diversas formas de variación de presión sonora, el ruido se determina de acuerdo al grado de rechazo al ser percibido por el oído humano; este rechazo se debe a aspectos psicológicos.

La contaminación acústica o exposición prolongada a altos niveles de ruido resulta ser uno de los problemas medioambientales más frecuentes. Entre los efectos negativos de la contaminación acústica se pueden mencionar problemas de comunicación, pérdida de capacidad para toma de decisiones, así como diversos problemas a la salud. La prolongada exposición a altos niveles de presión sonora puede ocasionar a la salud problemas como discapacidad auditiva temporal o permanente, hipertensión, alteraciones en el sueño e incluso problemas cardiacos (Patsa y Zarrouk, 2012). Es por ello que, tanto a nivel internacional como nacional, existen leyes o normativas para regular los niveles de ruido a los que una persona puede estar expuesta en diversas circunstancias, así como los períodos de exposición máximos recomendados.

Generalmente este aspecto no se suele estudiar a detalle al realizar un análisis de impacto ambiental debido a la lejanía entre las plantas geotérmicas y comunidades aledañas. Sin embargo, en caso de existir poblados cercanos a los sitios planificados para perforación exploratoria o para las futuras instalaciones de la planta, este debe ser un aspecto prioritario.

En este caso el área del proyecto que comprende la zona con permisos para realizar actividades de exploración cubre 16 comunidades. Además, cercano a sus límites se ubican de igual manera otras dos comunidades. Por ello, se debe planificar y ubicar los pozos exploratorios a una distancia suficientemente alejada de estas. Generalmente en la etapa de perforación de los pozos, así como en la etapa de prueba de los mismos, es cuando se presentan los mayores niveles de ruido, actividades que se tienen contempladas realizar en este proyecto.

Durante la evaluación de los pozos, que corresponde a la tercera etapa del proyecto, el vapor a alta presión es liberado a través de un silenciador, alcanzando altos niveles de ruido (en algunos casos mayores a 100 dB). El impacto acumulativo del ruido dependerá del número de pozos bajo evaluación simultáneamente, así como de la maquinaria utilizada. Esta evaluación generalmente llega a tomar alrededor de 60 días, por lo que presenta un impacto temporal en los alrededores; a pesar de ser un impacto temporal se deberá de tomar en consideración las comunidades (Ogola, 2005). La Tabla 6.7 indica las fuentes de ruido más comunes relacionadas a la perforación de pozos geotérmicos, así como un estimado de los niveles de ruido que cada una de estas actividades puede representar.

Actividad	Nivel de Ruido (dB)
Perforación en seco	85 - 120
Perforación con lodos	80
Descarga vertical de los pozos (para remover escombros por perforación)	Hasta 120
Pruebas normales de pozo utilizando silenciadores	70 - 110
Maquinaria de diesel (para compresores y generadores de energía)	45 - 55
Maquinaria pesada (como excavadoras y/o removedoras)	Hasta 90

Tabla 6.7. Actividades relacionadas a la perforación de pozos geotérmicos y los niveles de ruido que pueden llegar a representar.
Fuente: Ogola (2005).

Como se mencionó en el segundo capítulo, Bayer *et al.* (2013) y Barbier (2002) estiman que los pozos geotérmicos durante actividades de perforación o bajo mantenimiento pueden presentar niveles de ruido entre los 90 y los 122 dB en descarga libre, y de 75-90 dB utilizando silenciadores. A esto hay que agregar que el umbral del dolor en los humanos inicia a partir de los 120 dB. Con base en estas referencias se presenta la Tabla 6.8, en la que se indican los niveles de ruido que se pueden percibir a distancias variables a partir de una fuente de ruido fija; en este caso, un pozo de exploración geotérmica. Para esta tabla, se han propuesto diferentes niveles de ruido para la fuente fija, los cuales se eligieron a partir de la información presentada por Bayer *et al.* (2013), Barbier (2002) y Ogola (2005).

Distancia de la fuente [m]	Nivel de ruido estimado a distancias variables de la fuente [dB]					
	Sin utilizar silenciadores				Con silenciadores	
1	122	120	110	100	90	80
10	102	100	90	80	70	60
25	94	92	82	72	62	52
50	88	86	76	66	56	46
75	84	82	72	62	52	42
100	82	80	70	60	50	40
200	76	74	64	54	44	34
300	72	70	60	50	40	30
400	70	68	58	48	38	28
500	68	66	56	46	36	26
600	66	64	54	44	34	24
700	65	63	53	43	33	23
800	64	62	52	42	32	22
900	63	61	51	41	31	21
1000	62	60	50	40	30	20
1200	60	58	48	38	28	18
1400	59	57	47	37	27	17
1600	58	56	46	36	26	16
1800	57	55	45	35	25	15
2000	56	54	44	34	24	14
2200	55	53	43	33	23	13
2400	54	52	42	32	22	12
2600	54	52	42	32	22	12
2800	53	51	41	31	21	11
3000	52	50	40	30	20	10
3200	52	50	40	30	20	10
3400	51	49	39	29	19	9
3600	51	49	39	29	19	9
3800	50	48	38	28	18	8
4000	50	48	38	28	18	8

- No cumple con norma para áreas residenciales ni escuelas.
- Residencial (6:00 -22:00 horas) y escuelas durante el receso.
- Residencial (22:00 - 6:00 horas).

Tabla 6.8 Estimación de la atenuación del ruido por divergencia geométrica para distintas distancias fuente-receptor en un espacio exterior. Los valores estimados de ruido se clasifican en rojo, naranja y verde, de acuerdo a la modificación de la NOM-081-SEMARNAT-1994 en el año 2013, en cuanto a su cumplimiento para zonas residenciales y escuelas.

Los valores mostrados en la tabla anterior son estimaciones considerando la atenuación del sonido por *divergencia geométrica*, en donde la distancia entre el receptor y la fuente es un espacio exterior libre plano, sin barreras artificiales o naturales y sin cambios de topografía significativos.

La existencia de cuerpos alrededor de la fuente fija o pendientes del suelo no siempre dará como resultado una atenuación del sonido. En algunos casos, cuerpos, barreras o irregularidades en la topografía pueden comportarse como superficies reflejantes, por lo que el receptor puede llegar a recibir el sonido por dos vías; la directa y la reflejada por la superficie. Esto puede ser causado por la topografía u otros objetos o barreras que sirven de obstáculo para la propagación libre de las ondas sonoras (Ramos-Ridao, 2009). Otros factores de los que dependerá este fenómeno son: el ángulo de rozamiento entre las ondas sonoras y la barrera, la frecuencia del ruido, la porosidad del suelo, barrera u objeto, entre otros (Patsa y Zarrouk, 2012).

Además existen otros factores que pueden contribuir significativamente a la atenuación o falta de atenuación de las ondas sonoras. Un ejemplo es el *coeficiente de atenuación del aire*, γ [dB/km], el cual depende en gran medida de la humedad relativa del aire, así como de la frecuencia del ruido en estudio. Considerando una humedad relativa del 90% a 20 °C, γ puede presentar valores alrededor de 0.27 [dB/km] para frecuencias de 125 Hz. Para frecuencias de 4000 Hz, con valores de humedad relativa del 50% a 20 °C, γ se estima alrededor de 29 [dB/km] (Ramos-Ridao, 2009).

En algunos casos la densidad de la vegetación suele ayudar a aminorar el ruido tanto para pozos exploratorios como para las plantas geotérmicas en sí. Sin embargo, la vegetación debe de cumplir una serie de características necesarias para observar una reducción significativa del ruido. Esta deberá ser una barrera lo suficientemente ancha y profunda para disminuir perceptiblemente el ruido. Además, su follaje deberá ser bastante espeso y extenderse verticalmente en gran medida. En el área del proyecto prácticamente no se cuenta con vegetación que cumpla con estas características (Ramos-Ridao, 2009).

Es importante destacar que la Tabla 6.8 considera como única fuente de ruido un pozo en perforación o en exploración; no toma en cuenta el ruido ambiental ni el ruido acumulativo ocasionado por otras fuentes. Por lo tanto, estas distancias nos proporcionan una idea de cuán alejado deberían estar las plataformas de perforación de los límites de las comunidades en un sentido general. Sumando otros factores, es muy probable que en la práctica estas distancias deben considerarse como mínimas.

La Norma Oficial Mexicana NOM-081-SEMARNAT-1994 (Tabla 6.9), permite niveles máximos de emisión de ruido variables de acuerdo a las actividades que se desarrollen en el área en mención, así como a diferentes horarios. Esta tabla se publicó en el Diario Oficial de la Federación en el año 2013, como modificación de la norma ya mencionada. En esta modificación considera como zona residencial áreas con viviendas habitacionales unifamiliares, viviendas habitacionales con comercio en planta baja, viviendas habitacionales con oficinas, también centros de barrio y zonas de servicios educativos.

Se sugiere planificar la ubicación de los pozos exploratorios a partir de distancias que permitan percibir los niveles de ruido generado por las actividades de exploración en igual o menor medida a 50 dB, límite de contaminación acústica que corresponde para zonas residenciales durante horario nocturno en la Tabla 6.9.

Zona	Horario	Límite Máximo Permisible dB (A)
Residencial (exteriores)	6:00 a 22:00	55
	22:00 a 6:00	50
Industrial y Comerciales	6:00 a 22:00	68
	22:00 a 6:00	65
Escuelas (áreas exteriores de juego)	Durante el juego	55
Ceremonias , festivales y eventos de entretenimiento	4 horas	100

Tabla 6.9 Límites máximos permisibles de ruido de acuerdo a la modificación del numeral 5.4 de la NOM-081-SEMARNAT-1994.

Sin embargo, una mejor práctica sería adoptar niveles máximos de emisión de ruido menores a los mencionados en la Norma Oficial Mexicana NOM-081-SEMARNAT-1994; por ejemplo tomar los Lineamientos Generales de Medioambiente, Salud y Seguridad del Banco Mundial (WBG, 2007). Estos lineamientos están basados y justificados en publicaciones anteriores de la Organización Mundial de la Salud, principalmente *Guidelines for Community Noise* (WHO, 1999). En dicha publicación no sólo establece los límites máximos aceptables de emisión de ruido sino también justifica estos límites por las consecuencias que pueden causar a la salud a corto y largo plazo al estar expuesto a emisiones de ruido mayores a las mencionadas. Estos lineamientos establecen un límite máximo de 55 dB durante un horario diurno, mientras que el límite máximo en horario nocturno es de 45 dB.

Esta práctica se sugiere, ya que durante la etapa de perforación de pozos exploratorios, estos pueden llegar a emitir durante días ruido constante por actividades como perforación, apertura y desfogue de pozos, toma de registros, estabilización en la presión de los pozos y evaluación de la producción de vapor y de agua de los pozos (Ogola, 2005). Como se mencionó en el cuarto capítulo, para la segunda y tercera etapa del proyecto se tiene contemplada una duración de las actividades de 70 y 65 días respectivamente.

En la Figura 6.15 se muestra la distancia mínima que se debe respetar entre las plataformas de perforación y el límite de las comunidades existentes dentro del área del proyecto. En la Figura 6.15, estas distancias se obtienen de las estimaciones presentadas en la Tabla 6.8, así como las indicaciones en la modificación de la NOM-081-SEMARNAT-1994 para zonas residenciales en horario nocturno, que no debe de sobrepasar los 50 dB. En esta figura únicamente se muestran las distancias consideradas para fuentes de ruido en niveles de 80, 100 y 120 dB.

Distancia mínima de separación entre comunidades y pozos de perforación para diferentes niveles de ruido, en cumplimiento de la NOM-081-SEMARNAT-1994.

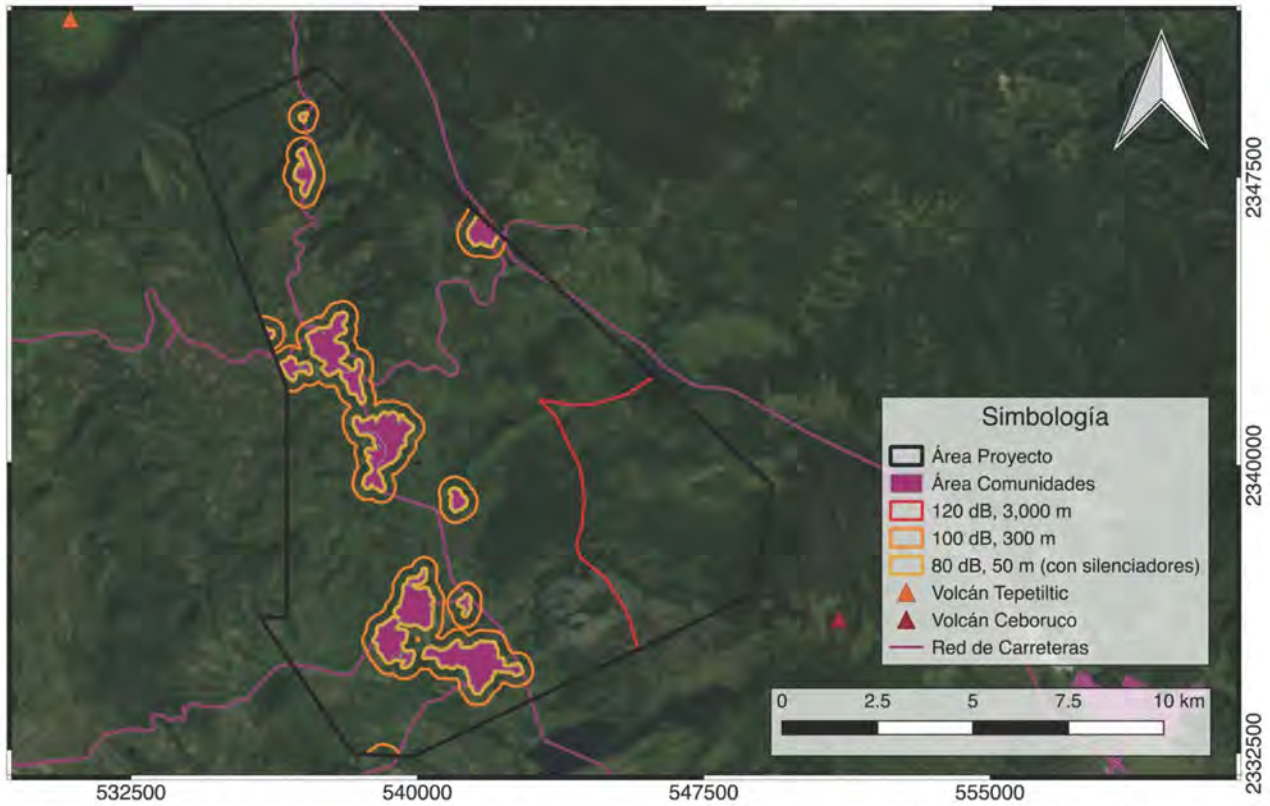


Figura 6.15 Distancia mínima necesaria entre los pozos de perforación y las comunidades para no sobrepasar los límites de emisión de ruido para zonas residenciales en horario nocturno, de acuerdo a leyes establecidas por SEMARNAT.

La Figura 6.16 muestra de igual manera la distancia mínima necesaria entre las plataformas de perforación y el límite de las comunidades para no exceder los límites máximos recomendados en zonas residenciales en horario nocturno. En este caso se consideran los límites propuestos por la OMS, así como el Grupo del Banco Mundial, considerando fuentes de ruido fijas en niveles de 80, 100 y 110 dB. Debido a que el límite máximo recomendado es 5 dB menor que las normas establecidas por SEMARNAT, en este mapa no se muestran las distancias necesarias para fuentes de ruido fija mayores o igual a 120 dB. Esto se debe a que la distancia necesaria requerida a partir de los límites de las comunidades existentes exceden los límites del área del proyecto.

Distancia mínima de separación entre comunidades y pozos de perforación para diferentes niveles de ruido, de acuerdo a lineamientos de la Organización Mundial de la Salud.

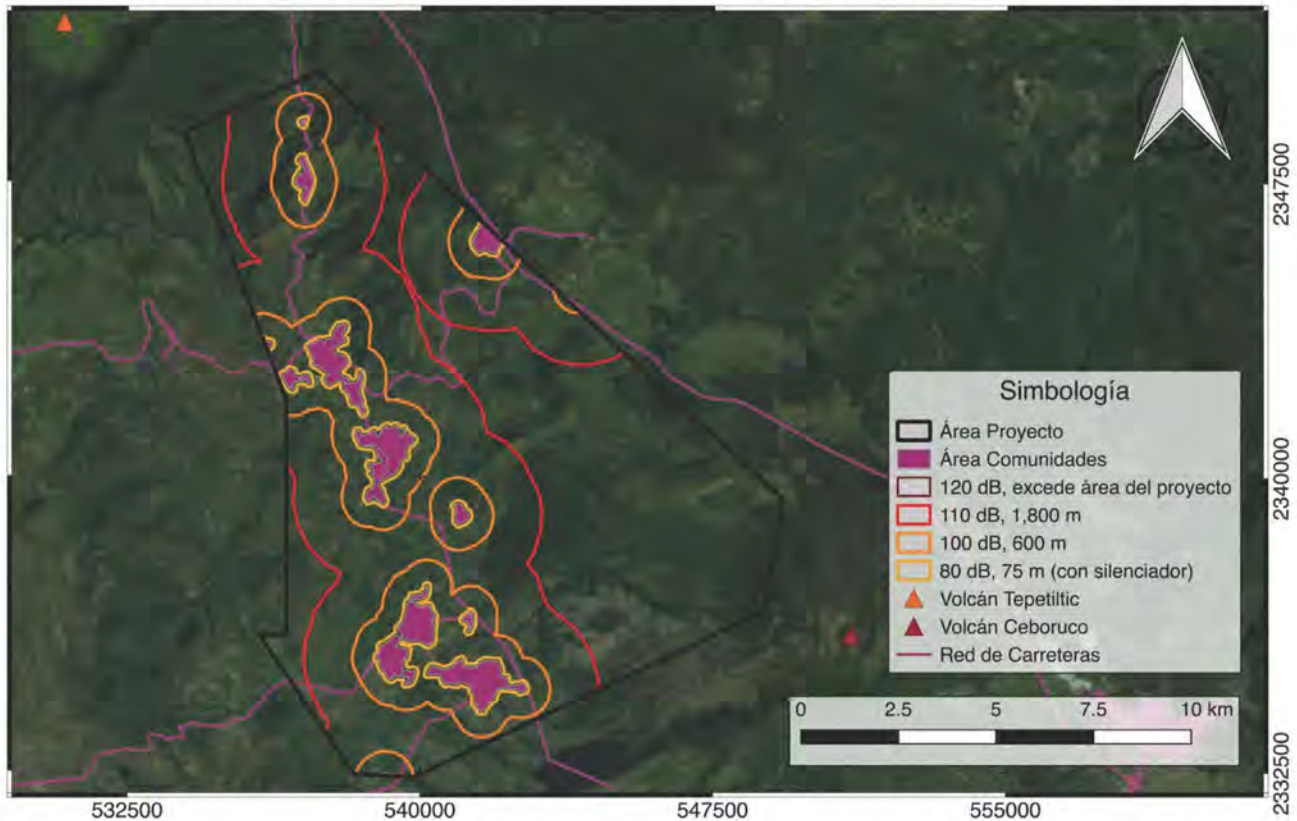


Figura 6.16 Distancia mínima necesaria entre los pozos de perforación y las comunidades para no sobrepasar los límites de emisión de ruido para zonas residenciales en horario nocturno, de acuerdo a la OMS y el Grupo del Banco Mundial.

DiPippo (2008) comenta que un pozo ya productor sin sistema de abatimiento abierto en descarga vertical a la atmósfera, presenta niveles de ruido de 71-83 dB a una distancia de 900 metros de la fuente. Como comparación se puede mencionar que una área urbana considerada altamente ruidosa muestra niveles similares de ruido. Sin embargo, exponer a comunidades rurales a niveles de ruido similares claramente representa una mayor afectación psicológica debido a la gran diferencia respecto a los niveles de ruido ambiental a los que están acostumbrados.

Considerando la información presentada por DiPippo (2008), se puede inferir que el uso de sistemas de abatimiento para los pozos de exploración es indispensable para este proyecto. De lo contrario el área disponible para situar las plataformas de perforación se reducirá significativamente a causa de la contaminación acústica. Además de los silenciadores, es necesario utilizar equipo para el control de descargas de vapor o gases a la atmósfera, que reduzcan al mínimo los niveles de ruido emitidos así como olores, ya que está establecido en la especificación 4.4.2 y 4.4.4 de la Norma Oficial Mexicana NOM-150-SEMARNAT-2006.

Los Lineamientos Generales de Medioambiente, Salud y Seguridad del Grupo del Banco Mundial (WBG, 2007), presentan una lista de medidas para prevención y mitigación del ruido, entre ellas:

- Seleccionar los equipos y maquinaria que emitan los menores niveles de ruido.
- Instalar silenciadores u otros sistemas de abatimiento en los pozos para atenuar la velocidad de descarga.
- Instalar barreras acústicas; sin ranuras entre paneles y con una densidad continua de superficie de mínimo 10 kg/m^2 . En este caso las barreras deben estar localizadas lo más cerca posible de la fuente de ruido para ser efectivas.
- Reubicar las fuentes de ruido a zonas más lejanas de las áreas sensibles al ruido.
- Ubicar instalaciones permanentes lo más lejano posible de áreas comunes (y comunidades en este caso).

DISCUSION

Como lo expresa la NOM-150-SEMARNAT-2006:

“La energía geotérmica se considera una energía limpia si se toman algunas medidas para su explotación. Durante el proceso de construcción de pozos exploratorios y evaluación preliminar de estos, se pueden ocasionar diversas afectaciones al ambiente. En este sentido, resulta necesario establecer medidas adecuadas para estas actividades a fin de prevenir, controlar y mitigar los impactos ambientales que estas puedan producir, principalmente en lo que se refiere al manejo de residuos, así como para la protección de los mantos freáticos, cuerpos superficiales de agua, flora y fauna silvestres, suelo y subsuelo y calidad del aire”.

El desarrollo de proyectos de exploración y explotación geotérmica tienen el potencial de generar múltiples beneficios si son correctamente desarrollados. Durante todas las etapas del proyecto se deberá observar una buena práctica, donde la protección al medio ambiente, y la seguridad y salud de las personas sean siempre el aspecto prioritario. Emisiones de gases contaminantes, aguas residuales, así como emisión de ruido deberán de cumplir las normas mexicanas establecidas para cada caso. Si existen lineamientos o regulaciones internacionales más estrictas, una mejor práctica será apegarse a estas. En caso de no existir una legislación que regulen algún potencial efecto negativo del proyecto, no deberá ser excusa para no tomar las medidas adicionales recomendadas por otros lineamientos internacionales.

Además de cumplir con no sobrepasar los límites para cualquier tipo de emisión o residuo generado durante el desarrollo del proyecto, también se debe buscar minimizar lo mayor posible otros tipos de impacto ambientales y sociales. Ejemplo de ello podría ser intervenir la menor cantidad de área posible para la creación de accesos y plataformas de perforación, esforzarse en no interferir o afectar la vida cotidiana de los habitantes alrededor al mantener las emisiones de ruido lo mínimo posible, no interferir o bloquear caminos de uso regular durante largos períodos de tiempo, entre otros.

La detallada creación de líneas base para estudiar y establecer todos los aspectos ambientales que sean posibles en el área del proyecto y alrededores es de vital importancia para la correcta planificación y desarrollo del proyecto. Líneas base de calidad de agua, biodiversidad, ruido ambiental promedio, calidad del aire, estudios de suelo, realizar censos de variables sociales de las poblaciones como salud, educación y factores socioeconómicos, deberán de estar listos antes de iniciar las actividades del proyecto. De igual manera los planes de contingencia para las actividades del proyecto deberán de estar preparadas, aprobadas por el encargado del proyecto y ser del conocimiento de todos los trabajadores y otras personas involucradas.

Es indispensable realizar actividades de monitoreo de los aspectos ambientales que ya fueron estudiados en las líneas base creadas, así como aspectos nuevos que puedan resultar interesantes. Las actividades de monitoreo constante son las que hacen que un análisis de impacto ambiental logre convertirse en una gestión a lo largo de la vida de un proyecto. Gracias al análisis de los nuevos datos obtenidos, en conjunto con las líneas base establecidas antes de iniciar el proyecto, se puede lograr detectar oportunamente impactos ambientales no previstos y modificar acciones para su efectiva corrección y mitigación. De igual manera se puede observar la falta de impactos previstos, lo que en algunos casos puede significar un ahorro de recursos al modificar los planes del proyecto que se está desarrollando.

Además, con el propósito de evitar especulaciones, desinformación y como consecuencia de la falta de aceptación social del proyecto; es importante tener comunicación previa con las comunidades cercanas, proporcionar información acerca del proyecto, resolver dudas, así como escuchar comentarios y sugerencias. Es importante que esta comunicación continúe a lo largo de toda la vida del proyecto. Entre las preocupaciones más comunes que los ciudadanos tienen en cuanto al desarrollo de este tipo de proyectos se puede mencionar el manejo de residuos, emisiones de gas, uso y contaminación del agua, pérdida de hábitat animal, bloqueo del paso para especies migratorias, ruido y olores (Ogola, 2005).

a. Reinyección

En la Ley de Energía Geotérmica, Artículo 36, expresa la necesidad de reinyección, con el fin de mantener el carácter renovable del recurso: "Las aguas geotérmicas que provengan del ejercicio de un permiso o concesión geotérmica deberán ser reinyectadas al área geotérmica con el fin de mantener la sustentabilidad del mismo, en términos de las disposiciones que resulten aplicables".

La reinyección tiene los beneficios de conservar el carácter renovable del recurso y de evitar accidentes ambientales que puedan contaminar suelo, vegetación o cuerpos de agua por el incorrecto manejo de aguas residuales geotérmicas. Además, las actividades de reinyección pueden también disminuir considerablemente las emisiones de gases contaminantes. Sin embargo, durante las actividades de reinyección, el riesgo de contaminar cuerpos de agua está presente si no se tiene el cuidado de realizarlo de manera correcta.

Múltiples son las regulaciones a nivel internacional que recomiendan aislar las tuberías y evitar fugas de fluidos geotérmicos a cuerpos de agua subterráneos. Los pozos tanto de producción como de reinyección deben contar con una cubierta de acero, aparte de la cubierta de cemento, para aislar el fluido geotérmico del ambiente y otros yacimientos de agua subterránea. Además, es importante realizar la reinyección a la profundidad adecuada, con la certeza de estar reinyectándola dentro del reservorio geotérmico del que se extrajo el recurso (WBG, 2007).

De acuerdo con el informe preventivo realizado por RG en el año 2013; en las cuatro etapas en la que consta el proyecto es posible, pero poco probable, provocar impactos en el agua. Mantener esta baja posibilidad dependerá de la rigurosidad con la que se acaten las especificaciones necesarias para cada etapa. Seguir tanto las recomendaciones del Banco Mundial expuestas en el capítulo anterior, así como las normas nacionales en materia de exploración geotérmica y protección ambiental, es indispensable para cumplir con el cuidado de la calidad del agua.

b. Calidad del agua

A pesar de haber sido presentada la información recolectada del estado actual del Acuífero Valle Ixtlán-Ahuacatlán para ciertos parámetros físicos y químicos del agua; falta mucha más información para contar con una línea base de calidad del agua aceptable para este caso en particular. Es importante tomar muestras de agua del acuífero y de cuerpos de agua superficiales cercanos y dentro de la zona del proyecto; así como determinar el contenido de contaminantes comunes en el agua relacionados a actividades de exploración y explotación geotérmica como lo son el As, B, Hg, Zn, Pb y Li.

De las muestras de agua recolectadas y estudiadas por RG únicamente se obtuvieron las concentraciones de iones principales y boro. De los datos recolectados por CONAGUA y del área del campo geotérmico La Primavera, únicamente se cuenta con información acerca de los iones principales. Además hay que tomar en consideración que el error en el balance iónico de las muestras de agua presentadas en el capítulo seis algunas veces son bastante altas. Una muestra de los datos de RG, la mitad de las muestras de CONAGUA y dos muestras del campo geotérmico La Primavera presentan errores superiores al 10% por lo que no se recomienda tomarse en consideración de ser posible.

En este caso al realizar nuevos y más detallados estudios en cuanto a calidad de agua no sólo se estará aportando nueva información acerca de posibles contaminantes y elementos tóxicos a nivel traza; también se estará aportando información quizás ya existente, pero con menor porcentaje de error y por lo tanto más fiable. Además, esta información podrá ser también aprovechada por los municipios que utilizan agua de esta área; la cual puede ser una contribución de parte de los encargados del proyecto hacia las comunidades.

Es importante que la población y municipalidades cuenten con estudios detallados de calidad del agua. México particularmente tiene problemas sanitarios y ambientales en muchos de sus acuíferos, especialmente por el contenido de arsénico y fluoruro en el agua. CONAGUA a través de la Gerencia de Saneamiento y Calidad del Agua en el año 2002 (actualmente ya no en operación), estimó que tan sólo dentro de los acuíferos estudiados en Aguascalientes, Coahuila, Chihuahua, Durango, Guanajuato, Hidalgo, Jalisco, San Luis Potosí, Sonora y Zacatecas, más de dos millones de personas se encuentran expuestas a niveles de arsénico y/o fluoruro mayores a los establecidos por la Secretaría de Salud.

Estas cifras se estimaron considerando los límites establecidos en la NOM-127-SSA1-1994 para el año 2000, en donde se acepta una concentración de fluoruro de hasta 1.5 mg/l (ver Tabla 6.3), y concentraciones de arsénico de hasta 0.05 mg/l. Esta norma en su actualización en el Diario Oficial de la Federación en el mismo año indica que el límite permisible de concentración de arsénico se ajustaría anualmente hasta cumplir con la meta de 0,025 mg/l para el año 2005. Los límites permisibles para concentraciones de arsénico propuestos por la OMS (WHO, 2011); el Consejo de la Unión Europea (2015) o la Agencia de Protección Ambiental de EEUU (US EPA, 2006); coinciden en concentraciones máximas de arsénico permisibles de hasta 0.01 mg/l.

Una de las razones por las que diferentes lineamientos en cuanto a calidad del agua no coinciden en su totalidad entre países u organizaciones, se debe a que muchos de estos lineamientos, en especial los impuestos por gobiernos, consideran diversas razones para establecer los límites máximos permisibles, no únicamente aspectos relacionados a salud. Entre estas razones se puede mencionar la economía e infraestructura del país en cuestión, la accesibilidad a diferentes tratamientos de agua, y los costos para los tratamientos necesarios. Vale la pena destacar que los costos para la potabilización del agua dependerá de los tratamientos a los que se deberá someter este recurso; y el número y tipo de tratamientos dependerá de la calidad del agua en su estado inicial. Considerando la geología de ciertas regiones en México, es posible que el agua directamente extraída de gran número de acuíferos necesiten pasar por diversos tratamientos o que estos sean más costosos para potabilizar el agua siguiendo si se quiere alcanzar una calidad del agua potable como la recomendada por la OMS, por ejemplo. Esto podrá ser una de las razones de la discrepancia entre los límites máximos permisibles de arsénico en México y de otros organismos o gobiernos.

Por otro lado, se debe tener en cuenta de que la ingesta de arsénico inorgánico en cantidades significativas durante largos períodos de tiempo, ya sea en alimentos o en el agua, puede aumentar el riesgo a desarrollar cáncer de piel, pulmones, vejiga e hígado. También se ha demostrado su relación con problemas del sistema circulatorio, así como el desarrollo de enfermedades y complicaciones en la piel; como hiperqueratosis, hiperpigmentación e hipopigmentación (WHO, 2011; CONAGUA, 2002; US EPA, 2009). Se considera que cantidades mayores a 0.01 mg/l son una ingesta significativa de arsénico y los períodos de ingesta de arsénico mayores a cinco años son factores suficientes para desarrollar algún grado de arsenicismo (WHO, 2011).

Generalmente el arsénico se presenta en el agua de manera natural en concentraciones entre 0.001 a 0.002 mg/l. Sin embargo, en aguas subterráneas llegan a existir casos en donde la concentración de arsénico puede llegar a ser significativamente elevada.

Particularmente en el caso de México se han identificado tres ambientes geohidrológicos en donde el agua subterránea llega a presentar concentraciones muy por encima de los límites permisibles. Estos ambientes son los acuíferos aluviales del norte y centro de México, áreas mineras y aguas geotérmicas asociadas a rocas volcánicas relativamente jóvenes en el centro de México (Smedley y Kinniburgh, 2002; y Arregín-Cortés, 2012).

Casos de altas concentraciones de arsénico en campos geotérmicos son discutidos por Birkle y Merkel (2000), para el campo Los Azufres en Michoacán; y González-Partida *et al.* (2001), para el campo Los Humeros, en Puebla. Para estos casos, ambos campos asociados al Cinturón Volcánico Transmexicano, se reportaron concentraciones de hasta 0.80 mg/l y 0.74 mg/l respectivamente. Estos hechos sugieren que las aguas geotérmicas de alguna manera están afectando el agua de menor temperatura de las zonas; las cuales muy probablemente sirven de suministro para las poblaciones cercanas (Arregín-Cortés, 2012).

Debido a que el área del proyecto, así como el Acuífero Valle Ixtlán-Ahuacatlán se encuentran claramente relacionados a la Franja Volcánica Transmexicana desde un punto de vista geológico, sería bastante factible encontrar concentraciones de arsénico similares a los casos antes mencionados. Esta es otra de las razones por la cual es indispensable obtener una línea base muy bien detallada tanto de la calidad del agua, así como información relacionada a la salud actual que presenta la población dentro y en los alrededores del área del proyecto. Estas líneas base se deberán obtener antes de iniciar cualquier actividad del proyecto, con el fin de poder identificar oportunamente cualquier cambio en la calidad del agua y/o de la salud de quienes la consumen, como ya se mencionó en el quinto capítulo.

En cuanto a las muestras de agua recolectadas por RG en el año 2014, se observó en la Tabla 6.3, así como en la Figura 6.3 que el contenido de boro sobrepasa los lineamientos establecidos por la OMS y el Consejo de la Unión Europea para las muestras 3 y 5; así como la muestra 4 sobrepasa el contenido de nitrato establecido por la NOM-127-SSA1-1994. Todas estas muestras corresponden a manantiales.

En ambos casos en el capítulo anterior se hace énfasis en la probable relación de estas altas concentraciones con actividades antropogénicas. Estas altas concentraciones, también son un aspecto que vale la pena señalar en este capítulo, en especial por los problemas de salud que se pueden derivar de la ingesta elevada de boro y nitratos contenidos en el agua.

El exceso de boro en el agua potable puede causar problemas gastrointestinales como vómitos, dolor abdominal, diarrea y náuseas; así como congestión vascular, crecimiento del hígado, lesiones cutáneas, entre otros (WHO, 2017). En cuanto al sistema nervioso, están afectaciones en el cerebro y meninges, letargo, dolores de cabeza entre otros (EPA Ireland, 2009; WHO, 2009). De acuerdo a la OMS, los niños son los mayormente afectados por altas concentraciones de boro en el agua potable (WHO, 2009). De igual manera se recomienda evitar una ingesta mayor a 1.0 mg/l de boro en mujeres embarazadas por posibles afectaciones al feto (EPA Ireland, 2009).

La OMS establece actualmente un valor máximo de 2.4 mg/l de boro contenido en el agua potable, considerando un peso corporal de 60 kg y una ingesta diaria de dos litros de agua. En varias ocasiones la OMS ha establecido valores menores al actual, incluso llegando a 0.5 mg/l. La dificultad y costos elevados para remover el boro durante procesos de potabilización del agua, así como el gran número de estudios inconclusos acerca de los límites tolerables de boro en el ser humano, ha llevado a establecer el valor de 2.4 mg/l, aclarando que este límite es considerado como una concentración máxima aceptable, más no la recomendable (WHO, 2006; WHO, 2009; WHO, 2017). La OMS recomienda a las autoridades competentes avisar a centros de salud cuando las concentraciones de boro en el agua sobrepasen los valores de 2.4 mg/l (WHO, 2017). También se deberá considerar como un problema cuando las concentraciones de boro en el agua de riego sean mayores a 2.0 mg/l, ya que el exceso de boro puede acumularse en ciertos tipos de cosechas (EPA Ireland, 2009).

En cuanto a nitrato contenido en el agua potable, tanto el Consejo de la Unión Europea como la OMS establecen una concentración límite de 50 mg/l; mientras que las normas mexicanas establecen el límite en 10 mg/l (Tabla 6.3). Esto se debe a que niños, en especial menores a 12 meses de edad, están considerablemente expuestos a desarrollar *metahemoglobinemia*, o *síndrome del bebé azul* al ingerir agua con mayores concentraciones de 10 mg/l de nitratos. La metahemoglobinemia causa la disminución de la capacidad de liberar oxígeno a los tejidos. De igual manera, las regulaciones estadounidenses establecen los límites máximos de nitratos en el agua en 10 mg/l (WUA, 2016).

c. Biodiversidad

El Informe Preventivo elaborado por Mexxus-RG estima que ninguna de las cuatro etapas del proyecto representará algún impacto dentro de esta componente ambiental. Se considera que las áreas potenciales a intervenir durante el desarrollo del proyecto no coincidirán con sitios o zonas ecológicamente importantes para el refugio, alimentación o reproducción de ninguna especie que tenga o no algún tipo de estatus dentro de la NOM-059-SEMARNAT-2010.

Esta idea tiene congruencia con la NOM-150-SEMARNAT-2006, en donde únicamente se concederá el permiso para realizar pozos de explotación geotérmica dentro de zonas agrícolas, ganaderas o eriales; vetando el uso de áreas naturales protegidas o terrenos forestales. Sin embargo, una mejor práctica será contar con un especialista en el tema que visite el área del proyecto, realice la línea base de biodiversidad en el área y determine la existencia o no de especies de flora o fauna susceptibles a algún tipo de impacto por las actividades del proyecto.

Es de vital importancia el aporte de un especialista en biodiversidad en el área de estudio. En especial por la falta de información y detalles acerca de la flora y vida silvestre para una zona de estudio a tan pequeña escala; hasta ahora no se cuenta con la información mínima necesaria para determinar realmente si habrá o no daños a la biodiversidad por las actividades de exploración geotérmica.

d. Contaminación Acústica

Como se señala en la Tabla 6.7, durante las actividades de exploración geotérmica se generan niveles de ruido por encima de las normativas nacionales y de las recomendaciones por organismos internacionales, como la OMS o el Grupo del Banco Mundial. Ya que muchos de estos proyectos se desarrollan en zonas bastante retiradas de cualquier población, por lo general no se toma en consideración el ruido que pueden llegar a generar. Sin embargo, este no es el caso en el proyecto Volcán El Ceboruco, en donde hay una clara presencia de varias comunidades dentro y en los alrededores del área del proyecto.

Las Figuras 6.11 y 6.12, son mapas del área del proyecto indicando las zonas aptas para ubicar las plataformas de perforación. Se toma en cuenta la ubicación de las comunidades y al mismo tiempo no sobrepasar los niveles de emisión de ruido (NOM-081-SEMARNAT-1994; y WHO, 1999). Durante la creación de estos mapas, así como al ubicar y señalar los límites más externos de cada población, salta a la vista la situación del poblado El Ocotillo, cuya ubicación se puede observar mejor dentro del contexto del área del proyecto en la Figura 4. 13. Desde al menos el mes septiembre del año 2016, existe una plataforma de perforación a una distancia considerablemente corta de El Ocotillo. Como se observa en la Figura 7.1, esta plataforma está situada a menos de 200 metros de los límites del poblado.

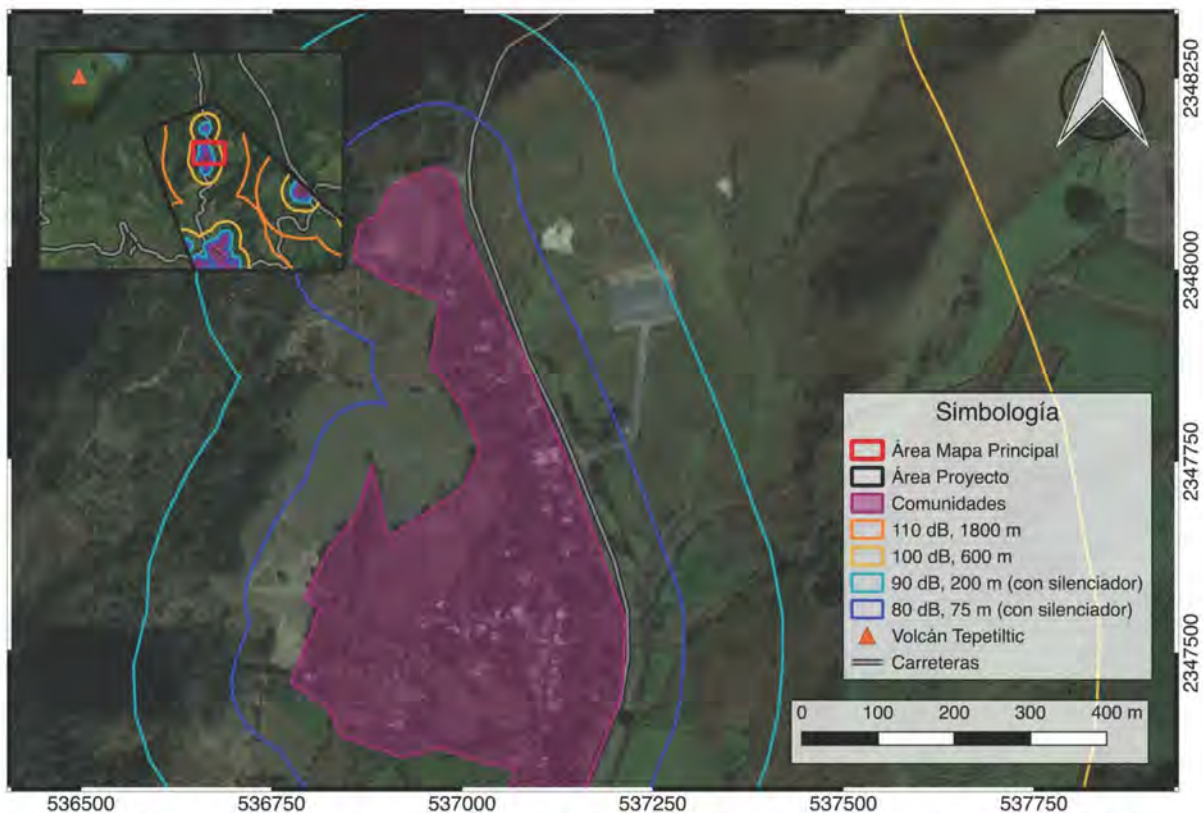


Figura 7. 1 Poblado de El Ocotillo dentro del municipio Santa María del Oro y la zona del proyecto. A menos de 200 metros al noreste del poblado se observa los trabajos para la preparación de una plataforma de perforación

Realizar actividades de perforación sobre esta plataforma, claramente representaría una contaminación acústica grande para las personas de la zona. En la Figura 7.1 se indican con límites de distintos colores, las zonas vetadas para situar fuentes de ruido fijas de acuerdo con diferentes rangos de decibeles esperados. Estos límites están basados en las recomendaciones de la OMS, considerando áreas residenciales en horario nocturno. En esta figura se observa que la emisión de ruido total de las actividades de perforación, desfogue y evaluación del pozo no deberán sobrepasar los 90 dB para poderse utilizar la plataforma de perforación en su ubicación actual.

No sobrepasar un nivel de ruido mayor a 90 dB durante todas actividades y las etapas del proyecto parece ser imposible de acuerdo con diversos autores como Ogola (2005), Bayer *et al.* (2013), Barbier (2003) y DiPippo (2008). Para establecer los límites que se señalan en las Figuras 6.11, 6.12 y 7.1, se realizó una estimación de atenuación del sonido en condiciones ideales, sin tomar en cuenta el demás ruido ambiental y ruido acumulativo proveniente de otras fuentes. No se está considerando el ruido de otras maquinarias que se podrían utilizar al mismo tiempo durante la perforación, desfogue y evaluación de los pozos. En este sentido, las distancias aquí indicadas deberían de considerarse como las distancias mínimas que se deberán respetar.

Definitivamente situar una plataforma de perforación a la distancia mínima aceptable, esperando que las emisiones de ruido durante todas las etapas del proyecto sean menores a 90 dB cuando múltiples autores indican lo contrario, es claramente una práctica socialmente irresponsable por parte de los encargados del proyecto. Es evidente que durante algún punto del desarrollo del proyecto se estarán sobrepasando los límites de ruido máximos establecidos por NOM-081-SEMARNAT-1994 (Tabla 6.9).

Se deberá considerar reubicar esta plataforma de perforación; que si bien cumple con las solicitudes de la NOM-150-SEMARNAT-2006, en cuanto a ubicarla fuera de áreas naturales protegidas y terrenos forestales, estará en algún punto en incumplimiento con otras normas ambientales. Además, el situar una plataforma de perforación en un lugar que claramente afectará la forma de vida de las personas; tanto por la emisión de ruido, como de gases e incremento del paso de personal y maquinaria, es una acción que demuestra imposición y falta de sensibilidad social. Se deberán replantear las políticas de la empresa y considerar incluir valores sociales a las actividades de planificación de sus proyectos.

e. Calidad del Aire

Como ya se vio anteriormente, las actividades de exploración y explotación geotérmica pueden generar emisiones de gases tóxicos o de efecto invernadero. Como se vio en el segundo capítulo; el gas que resulta más preocupante en el aspecto ambiental es el CO₂ por ser el principal gas de efecto invernadero que emiten estas actividades. El gas que más preocupa en cuanto a salud y a escala local es el H₂S; como se indica en la Tabla 2.2, la exposición a este gas puede causar efectos adversos a la salud desde muy bajas concentraciones.

El impacto a la salud más importante es la exposición a gases como H_2S , seguido por accidentes durante la etapa de construcción (Ogola, 2005). Por ello, la gran cercanía de El Ocotillo a una fuente de H_2S es también una de las razones por las que utilizar la plataforma identificada en la Figura 7.1 resultaría ser una práctica irresponsable. La posible exposición del H_2S a las comunidades y trabajadores deberá ser cuidadosamente analizada y evaluada durante todas las etapas del proyecto.

Aparte de contar con una correcta ubicación, otra de las medidas para cuidar y prevenir la exposición de comunidades y personal de trabajo a gases contaminantes es una total o parcial reinyección de los gases al reservorio, junto con otros fluidos geotérmicos. También durante todas las etapas del proyecto se deberán monitorear los niveles de emisiones de gases contaminantes y tóxicos.

En esta sección nuevamente hay que resaltar la necesidad de crear una línea base de las condiciones de salud de las comunidades aledañas, y así contar con la información necesaria para descartar o asociar posibles efectos a la salud a causa de las emisiones de los pozos geotérmicos. De igual manera, en este caso en particular es ideal contar con una línea base de las condiciones de salud, también de los empleados del proyecto. Como se señaló en el capítulo dos y cinco, concentraciones mayores de 20 ppm de H_2S en el aire pueden ocasionar daños a la salud; pero este límite máximo se reduce a 2 ppm de H_2S para personas asmáticas. Es importante identificar si existen o no casos de asma entre las personas que viven a los alrededores o empleados. En caso de no contar con esta información, las concentraciones de H_2S no deberán de sobrepasar las 2 ppm en ningún momento.

El hecho de que no exista estrictamente una ley mexicana en cuanto a las concentraciones máximas permitidas de H_2S en particular, no exenta de responsabilidad a las empresas en caso de desarrollarse problemas de salud en las personas expuestas; así como tampoco lo exenta de los daños ambientales ocasionados.

En cuanto a la seguridad de los empleados, los Lineamientos Ambientales, de Salud y Seguridad para la Generación de Energía Geotérmica (WBG, 2007), recomienda altamente instalar un sistema de monitoreo de H_2S , así como un sistema de alerta. Además de desarrollar un plan de contingencia, como planes de evacuación y reincorporación a actividades. Este plan debe de incluir la previa organización de equipos de respuesta ante emergencias; así como considerar primero a los trabajadores que debido a su actividad o ubicación tengan mayor riesgo de exposición que otras personas. También es necesario tener y contar con el fácil acceso a mascarillas respiratorias, suministros de oxígeno en caso de emergencia, entre otros.

En cuanto a la posible exposición de H₂S a las comunidades, se pueden mencionar como medidas de prevención y mitigación las siguientes:

- Considerar factores clave medioambientales como proximidad de las comunidades, morfología y predominancia de los vientos en la región para poder situar las plataformas de perforación.
- Realizar una evaluación de riesgo por exposición a este y otros tipos de gases, aplicable a los trabajadores de las actividades de exploración, así como las comunidades cercanas. A partir de esta información desarrollar planes de emergencia y alerta.
- Instalación de una red de monitoreo de ácido sulfhídrico, considerando el número y ubicación de las estaciones con base en modelos de dispersión, concentración de las emisiones y ubicación de las comunidades más cercanas o posiblemente afectadas.
- La red de monitoreo deberá estar bajo continua actividad con el propósito de identificar de manera oportuna las concentraciones altas de H₂S.
- Contar con un plan de emergencia y sistema de alerta para las comunidades cercanas, con el que se asegure una respuesta efectiva y oportuna.
- Para asegurar una buena ejecución de los planes de emergencia; es necesario informar, documentar y explicar en qué consistirán estos planes a las comunidades.

f. Importancia de los Análisis de Impacto Social

Vanclay (2003) indica que los impactos sociales son cambios en uno o más de los siguientes ámbitos a continuación enlistados:

- Forma de vida de las personas; cómo viven, trabajan e interactúan cotidianamente.
- Su cultura; creencias, costumbres, valores, idioma o dialecto.
- Su comunidad; su cohesión, estabilidad, carácter, servicios e instalaciones.
- Sus sistemas políticos; el grado en que las personas pueden participar en las decisiones que afectan sus vidas.
- Su entorno; la calidad del aire y agua que utiliza la población, la disponibilidad y calidad de los alimentos que consume, el nivel de peligro o riesgo, polvo o ruido al que está expuesta, acceso y control sobre estos recursos.
- Su salud y bienestar; la salud es un estado del bienestar total desde el punto de vista físico, mental y social, y no solamente la ausencia de enfermedad.
- Sus derechos tanto personales como a la propiedad; especialmente si las personas se ven económicamente afectadas o si sufren desventajas personales que pueden incluir la violación de sus libertades civiles.

A diferencia de la mayoría de evaluaciones de impacto ambiental, las evaluaciones de impacto social no deberían limitarse a identificar y mitigar o eliminar efectos negativos; también tienen el potencial de revisar, modificar y crear nuevas políticas a implementar para asegurarse de obtener beneficios para las comunidades de una manera u otra. Por ello, siempre deberían de realizarse dentro del marco de planificación de nuevos proyectos, sea un requisito legal o no (IAIA, 2015).

Este tipo de análisis debe contribuir con el empoderamiento de los grupos vulnerables en la comunidad, se debe aplicar una perspectiva de género en todas las evaluaciones, y el respeto por los derechos humanos debe respaldar todas las acciones propuestas y tomadas. De acuerdo con la IAIA (2015), las fases principales que comprende la evaluación de impacto social son:

1. Entender los problemas particulares.
2. Predecir, analizar y evaluar las vías de impacto posible.
3. Desarrollar e implementar estrategias.
4. Diseñar e implementar programa de monitoreo.

Las personas necesitan medios de subsistencia sostenibles para sobrevivir, por lo que todas las intervenciones deben considerar los impactos en los medios de subsistencia de las comunidades, sean indígenas o no. Lo ideal como gestión social es mejorar las capacidades y medios de subsistencia de las comunidades; y no socavar las bases de los recursos naturales en los que descansa la economía de la población; en este caso lo son las actividades agrícolas.

Además, la industria geotérmica es capaz de proveer un amplio rango de oportunidades de empleo, desde la exploración, perforación, manufactura de turbinas, operación y desarrollos alternos con los recursos geotérmicos. Es una buena práctica, en medida de lo posible, crear oportunidades de trabajo para que las comunidades locales sean parte de la cadena productiva del proyecto de acuerdo con sus capacidades y/o a la capacitación que se les pueda proporcionar para incorporarlos. De esta manera, no sólo se crean nuevas oportunidades de empleo e incrementa la economía local; sino también las comunidades se sentirán más identificados y parte del proyecto. Para ello es necesario identificar cuáles son los sectores clave en los que las comunidades pueden contribuir.

Las partes involucradas en el desarrollo de un proyecto deben reconocer la influencia significativa de esta gestión para el éxito, tiempo de operación y costos de los proyectos (Vanclay *et al.*, 2012). Al contemplar e implementar una evaluación de impacto social como gestión; incluyendo la consulta previa, libre e informada a todas las comunidades afectadas por igual; se podrán observar como ventajas:

- Mayor certeza de fondos correctamente invertidos y el aumento de probabilidad de éxito del proyecto.
- Evitar o reducir los riesgos ambientales y sociales que pueden ocasionar conflictos entre las industrias y comunidades.
- Contar con un proceso para informar e incorporar todas las partes involucradas, y poder así desarrollar confianza para futuros beneficios mutuos, así como popularidad de las empresas.
- Dejar un legado positivo más allá de la vida operacional del proyecto.

Es indiscutible que la habilidad de tomar las ventajas y oportunidades de cada proyecto y comunidad en particular y desarrollarlas, dependerá mucho de la buena voluntad e intención de los inversionistas y otras partes involucradas.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

En este trabajo se presenta una actualización del uso de suelo del área del proyecto y alrededores, obtenida por medio de la clasificación supervisada de las imágenes satelitales Landsat OLI *path/row* 30/45 correspondientes al mes de noviembre del año 2016. De esta actualización sobresale el uso de suelo destinado a agricultura en el área de estudio. En el área del proyecto el 43.22% del uso del suelo está destinado a actividades agrícolas, equivalente a 64.38 km². En el caso de la microcuenca Las Guásimas, las actividades agrícolas cubren un 40.30%, lo que equivale a 49.50 km².

De acuerdo a la última actualización de REPDA en el año 2012, el 82.4% de las concesiones del acuífero Valle Ixtlán-Ahuacatlán, que cubre y sobrepasa toda el área del proyecto y cuenca, están destinadas a actividades como agricultura, actividades pecuarias y/o de acuacultura. Este número de concesiones representa para el acuífero el 66.4% del volumen de agua extraído. Es indiscutible que su principal medio de subsistencia descansa en actividades relacionadas al sector primario.

Se establece la línea base para la composición química del agua del acuífero Valle Ixtlán-Ahuacatlán a partir de datos proporcionados por RG, adquiridos en el año 2014; y datos de CONAGUA adquiridos en el año 1979, publicados por la Universidad Politécnica de Huatusco en el año 2014. Sumado a estos datos, la línea base presentada incluye información de la composición química del agua del campo geotérmico La Primavera, publicada por Pandarinath y Domínguez (2015). Los rangos de valores obtenidos de los iones principales para los tres casos son similares. Se debe tener en consideración también para futuros estudios el alto porcentaje de error en el balance iónico de las muestras obtenidas por CONAGUA.

La línea base para la composición química del agua únicamente contiene información acerca de la concentración de iones mayores, faltando información detallada de diversos contaminantes, como elementos tóxicos relacionados a exploración geotérmica, así como otros contaminantes en concentraciones traza.

En cuanto a contaminación acústica, se presentan dos mapas señalando las distancias mínimas que se deberán respetar para no sobrepasar los límites de emisión de ruido establecidos por la NOM-081-SEMARNAT-1994 y las recomendaciones de la OMS; y de esta manera no afectar a los poblados dentro de la zona del proyecto o cercanos a éste. La elaboración de estos mapas fue realizada por medio de la estimación de la atenuación de ruido por divergencia geométrica, junto con el uso de sistemas de información geográfica.

Al evaluar los mapas obtenidos, la plataforma de perforación mostrada en la Figura 7.1 llama la atención por la incorrecta ubicación de la misma. A menos de 200 metros del poblado El Ocotillo, realizar operaciones de perforación en esa plataforma podrá representar grandes impactos en la calidad del aire y contaminación acústica. Además de ser mal visto este tipo de acciones por su naturaleza impositiva e insensible ante las posibles afectaciones de la vida de las personas.

RECOMENDACIONES

Para que la energía geotérmica gane popularidad como alternativa de energía renovable, es necesario desarrollar este tipo de proyectos de la mejor manera posible en cuanto a responsabilidad social y protección ambiental. Al comprometerse a una buena práctica ambiental y social para cada acción incluida dentro del plan del proyecto, se estará actuando de la mejor posible en cada etapa del mismo, protegiendo así cada componente ambiental o social que pudiera verse afectada.

Se recomienda obtener líneas base de aspectos ambientales y sociales como se comentó anteriormente, antes de iniciar la construcción de una nueva plataforma o realizar cualquier otra actividad del proyecto. Esta información también deberá ser complementada con constantes actividades de monitoreo; así como el análisis e incorporación de los nuevos datos que se van a ir adquiriendo a los registros que ya se tengan. Como se ha comentado anteriormente, esta información servirá de guía para los procesos de restauración del área intervenida, y para identificar oportunamente impactos en el ambiente o en la salud de las personas y tomar medidas al respecto.

Es necesario y urgente realizar estudios detallados de la calidad del agua en la zona del proyecto, enfocados en aspectos relacionados a la salud humana, en especial en cuanto a contenido de arsénico; esto, debido a la similitud del contexto geológico de la zona del proyecto con casos ya reportados de elevado contenido de arsénico en acuíferos cercanos o dentro de los campos geotérmicos de Los Humeros y Los Azufres. Así mismo, replantear los límites permisibles y las acciones que se puedan tomar en cuanto a contenido de arsénico disuelto en el agua potable por la NOM-127-SEMARNAT-1994; el cual es mayor a dos veces el límite recomendable por la OMS y de otros lineamientos o legislaciones de diversas organizaciones y países. También de ser posible, realizar otros estudios hidrogeológicos complementarios del acuífero Valle Ixtlán-Ahuacatlán para contar con información actualizada; por ejemplo, concesiones otorgadas y su consumo, niveles piezométricos, entre otros.

Recolectar información más detallada de aspectos relacionados a biodiversidad en toda la zona de estudio y sus alrededores. Así mismo, estos estudios deberían ser comparados con las listas de especies bajo algún tipo de protección de la NOM-059-SEMARNAT-2010, pues sin estudios detallados realizados correctamente por un experto en el tema, no tiene aportación ni forma de aplicación esta norma.

Los planes de gestión y medidas de mitigación deben estar fuertemente enfocadas en no afectar la cantidad ni calidad del agua disponible, sea superficial o del acuífero. También se deberá buscar no afectar la calidad del suelo y aire que podría dañar las actividades con las que subsiste la mayoría de personas en el área del proyecto y del acuífero. Esto en gran medida se puede asegurar buscando siempre reinyectar, y monitorear constantemente el estado de las tuberías y pozos con el fin de evitar fugas de fluidos geotérmicos al ambiente. Además, porque las leyes nacionales en materia de exploración y explotación de energía geotérmica obligan a los proyectos a reinyectar los fluidos geotérmicos con el fin de mantener el carácter renovable del recurso y cuidar de los ecosistemas.

Se recomienda descartar por completo la idea de hacer uso de la plataforma mostrada en la Figura 7.1; tanto por aspectos de aceptación social del proyecto, imagen de la empresa y por el potencial riesgo a la salud por alta exposición de H₂S a las comunidades de los alrededores del proyecto, especialmente El Ocotillo. La ausencia de normativas nacionales en cuanto a contaminación del aire por algunos gases tóxicos, no debería ser excusa para no acatar las recomendaciones y lineamientos internacionales respecto a este tipo de emisiones. Sumado a esto, de realizarse actividades de exploración en esta plataforma es bastante probable violar la NOM-081-SEMARNAT-1994 en cuanto a contaminación acústica.

En caso de no existir una normativa aún en México para algún tema en específico, se deberán buscar lineamientos y recomendaciones de otras organizaciones y buscar aplicarlos. Al tratarse de agentes contaminantes, también se recomienda realizar evaluaciones de riesgo por exposición, para identificar los factores determinantes de la exposición y buscar maneras de evitarla o reducirla.

También se recomienda consultar otras normativas nacionales que puedan mejorar las prácticas y normas ya existentes para este tipo de proyectos. Como por ejemplo, buscar una mejor técnica para la caracterización de residuos peligrosos para el ambiente y así contar con un plan más apropiado para el manejo y disposición final de esos residuos. Estas actividades se podrían mejorar al estudiar e incorporar ciertos procedimientos que están ya establecidos en normas relacionadas a la industria minera.

Los datos obtenidos deberán ser objeto de regular análisis y revisión, se deberán comparar con estándares operativos tanto nacionales como internacionales, de manera que se puedan aplicar medidas correctivas a tiempo. Las actividades de evaluación y monitoreo de características sociales y ambientales, desde el inicio de las actividades de exploración hasta el desmantelamiento de instalaciones, es de vital importancia para una continua y correcta gestión del proyecto.

Se espera que las partes interesadas en el desarrollo del proyecto cumplan con los estándares más altos posibles en materia de gestión social y ambiental. Es decir, cumplir con más que sólo las obligaciones legales ambientales y sociales, asegurando así una buena relación entre todas las partes involucradas, teniendo como consecuencia un buen desarrollo del proyecto.

REFERENCIAS

- Alvarado-González, R. (2012). *Geomorfología y evolución del volcán Ceboruco, Nayarit (Tesis de maestría)*. Facultad de Filosofía y Letras, División de Estudios de Posgrado, Posgrado en Geografía. Ciudad Universitaria, México D.F.
- Araúz-Torres, A., Thorsteinsson, T. & Fridriksson, T. (2015). Modelling H₂S dispersion from San Jacinto-Tizate geothermal power plant, Nicaragua. *World Geothermal Congress, Australia, 2015*.
- Arregín-Cortés, F., Chávez-Guillén, R., Soto-Navarro, P. & Smedley, P. (2012). Understanding the Geological and Medical Interface of Arsenic: An overview of arsenic occurrence in the groundwater in Mexico. *The 4th International Congress on Arsenic in the Environment, Australia, 2012*.
- Barbier, E. (2002). Geothermal energy technology and current status: an overview. *Renewable and Sustainable Energy Reviews, 6*, 3-65.
- Bayer, P., Rybach, L., Blum, P. & Brauchler, R. (2013). Review on life cycle environmental effects of geothermal power generation. *Renewable and Sustainable Energy Reviews, 26*, 446-463.
- Birkle, P. & Merkel, B. (2000). Environmental impact by spill of geothermal fluids at the geothermal field of Los Azufres, Michoacán, Mexico. *Water, Air, and Soil Pollution, 124*, 371 - 410.
- Björnsson, S. (2010). *Geothermal development and research in Iceland*. Orkustofnun, Reykjavik, Iceland.
- Bond, A., Morrison-Saunders, A. & Pope, J. (2012). Sustainability assessment: the state of the art. *Impact Assessment and Project Appraisal, 30(1)*, 53 - 62.
- Centro Mexicano de Derecho Ambiental, CEMDA. (2017). *Marco jurídico de las energías renovables en México*. Ciudad de México, 2017.
- Comisión Federal de Electricidad, CFE. (1993). *Mapa de Regionalización Sísmica de México*. Datos publicador por la Secretaría de Gobernación, 2016. Recuperado de https://datosabiertos.segob.gob.mx/DatosAbiertos/Descargas/geologicos/RegionalizacionSismica_CFE
- Comisión Nacional del Agua, CONAGUA. (2015). *Actualización de la disponibilidad media anual de agua en el acuífero Valle Ixtlán-Ahuacatlán (1809), Estado de Nayarit*. Diario Oficial de la Federación, 20 de abril de 2015.

- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, CONABIO. (1998). *Hidrografía*, extraído de *Hidrografía e hidrometría*, IV.6.1 (A). Atlas Nacional de México Vol. II. Escala 1:4000000. Instituto de Geografía, UNAM. Mapa publicado en 1998, última actualización 2008. Recuperado de <http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/>
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, CONABIO. (2001). *Tipos de climas de la República Mexicana de acuerdo a la clasificación de Köppen modificado por García E., escala 1:1000000*. Mapa realizado en 1998, publicado en 2001, última actualización 2008. Recuperado de <http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/>
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, CONABIO. (2014). *Localidades rurales y urbanas 1, 2; 2010. Escala 1:1*. Basado en datos estadísticos del 2010, del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). Mapa publicado en 2014, última actualización 2014. Recuperado de <http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/>
- Comisión Nacional para el Desarrollo de los Pueblos Indígenas, CDI. (2010). *Catálogo de Localidades Indígenas 2010*. Recuperado de <http://www.cdi.gob.mx/localidades2010-gobmx/index.html>
- Consejo de la Unión Europea, 2015. *Directiva 98/83/CE del Consejo de 3 de noviembre de 1998 relativa a la calidad de las aguas destinadas a consumo humano*. Modificación por la Directiva de la Unión Europea, 5 de octubre de 2015.
- Díaz, A. y Torres, I. (2016). *Campesinos en Nayarit amenazados por el 'fracking'*. Vice Noticias, 22 de mayo de 2016. Recuperado de https://www.vice.com/es_mx/article/pp5q37/destruccion-del-ecosistema-gas-toxico-aire-apestoso-y-el-riesgo-de-vivir-junto-a-planta-geotermica-en-nayarit
- DiPippo, R. (2008). *Geothermal Power Plants*, 2nd ed. Massachusetts, U.S.A.: Elsevier.
- DiPippo, R. (2012). Environmental Impact of Geothermal Power Plants en *Geothermal Power Plants*, 3th ed. Massachusetts, U.S.A.: Elsevier.
- DOF 03-12-2013. Acuerdo por el cual se modifica el numeral 5.4 de la Norma Oficial Mexicana NOM-081-SEMARNAT-1994, Que establece los límites máximos permisibles de emisión de ruido de las fuentes fijas y su método de medición.
- DOF 11-08-2014. *Ley de la Industria Eléctrica*.
- DOF 11-08-2014. *Ley de Energía Geotérmica*.
- DOF 11-08-2014. *Ley de Hidrocarburos*.
- DOF 25-08-2014. *Reglamento de la Ley de Aguas Nacionales*.

- DOF 31-10-2014. *Reglamento de la Ley General de Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en materia de Evaluación de Impacto Ambiental.*
- DOF 31-10-2014. *Reglamento de la Ley de Energía Geotérmica.*
- DOF 31-10-2014. *Reglamento de la Ley de la Industria Eléctrica.*
- DOF 09-01-2015. *Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente.*
- DOF 22-05-2015. *Ley General para la Prevención y Gestión Integral de Residuos.*
- DOF 24-03-2016. *Ley de Aguas Nacionales.*
- Dogdu, M. & Bayari, C. (2005). Environmental impact for geothermal fluids on surface water, groundwater and streambed sediments in the Acarkay Basin, Turkey. *Environmental Geology*, 47, 325-340.
- Environmental Protection Agency of Ireland, EPA Ireland. (2001). *Parameters of Water Quality: Interpretation and Standards.* Wexford, Ireland. 24 -119.
- Esparza, M.L. (2006). Presencia de arsénico en el agua de bebida en América Latina y su efecto en la salud pública. *Natural Arsenic in Groundwaters of Latin America, Mexico City, 2006.*
- Ferrari, L., Pasquare, G., Venegas, S., Castillo, D. & Romero, F. (1994). Regional tectonics of western Mexico and its implications or the northern boundary for the Jalisco block. *Geofísica Internacional*, 33(1), 139-51.
- Ferrari, L., Petrone, C.M., Francalanci, L., Tagami, T., Eguchi, M., Conticelli, S., Manetti, P. & Venegas-Salgado, S. (2003). Geology of San Pedro-Ceboruco Graben, western Trans-Mexican Volcanic Belt. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 20(3), 165-81.
- Ferrari, L., Valencia-Moreno, M. & Bryan, S. (2005). Magmatismo y tectónica en la Sierra Madre Occidental y su relación con la evolución del margen occidental de Norteamérica. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 100(3), Tomo LVII, 343-378.
- Ferrari, L., Schaaf, P., Francalanci, L., Petrone, C.M. & Conticelli S. (2006). The San Pedro-Cerro Grande volcanic complex (Nayarit, Mexico): Inferences on volcanology and magma evolution. *Geological Society of America, Special Paper*, 402, 65-98.
- Flores-Espino, F., Booth, S. & Graves, A. (2017). *Mexico's Geothermal Market Assessment Report.* National Renewable Energy Laboratory, Reporte Técnico NREL/TP-6A20-63722.

- Frey, H.M., Lange, R.A., Hall, C.M. & Granados, H.D. (2004). Magma eruption rates constrained by $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ chronology and GIS for the Ceboruco - San Pedro volcanic field, western Mexico. *Geological Society of America Bulletin*, 116(3/4), 259-276.
- Fridriksson, T., Merino, A., Orucu, A. & Audinet, P. (2017). Greenhouse gas emissions from geothermal power production. *42th Workshop on Geothermal Reservoir Engineering, California, 2017*.
- García, E. (2004). *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen*, 5ta ed. Instituto de Geografía - UNAM, Ciudad de México.
- Glasson, J., Therivel, R. & Chadwi, A. (2012). Principles and Procedures en *Introduction to environmental impact assessment*, 4th ed. New York, U.S.A.: Routledge.
- González-Partida, E., Tello-Hinojosa, E. y Verma, M.P. (2001). Interacción agua geotérmica-manantiales de Los Humeros, Puebla, México. *Ingeniería Hidráulica en México*, XVII(2), 185-194.
- Guardado, L. (2016) *Grupo Dragón contamina medio ambiente y daña salud pública en Nayarit*. Crítica Digital Noticias, 9 de febrero de 2016. Recuperado de <http://www.diario-critica.mx/nota.php?id=45273>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía, INEGI. (2010). *Censo de Población y Vivienda, 2010*. Recuperado de <http://www.beta.inegi.org.mx/proyectos/ccpv/2010/>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía, INEGI. (2013). *Conjunto de datos vectoriales de uso de suelo y vegetación escala 1:250000, serie V, 2da ed*. Mapa realizado en 2013, publicado en 2015, última actualización 2015. Recuperado de <http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/>
- International Agency for Research on Cancer, IARC. (2017). *Agents Classified by the IARC Monographs, Volumes 1-118*. World Health Organization. Geneva, 2017.
- International Association for Impact Assessment, IAIA. (2015). *Evaluación de Impacto Social: Lineamientos para la evaluación y gestión de impactos sociales de proyectos*. Recuperado de <http://www.iaia.org>.
- Kagel, A., Bates, D. & Gawell, K. (2007). A Guide to Geothermal Energy and the Environment. *Geothermal Energy Association*. Recuperado de <http://geo-energy.org/pdf/reports/AGuide toGeothermalEnergyandtheEnvironment10.6.10.pdf>
- Lemus, J. (2015). *La CFE tiene competidores*. Reporte Índigo, 23 de noviembre de 2015. Recuperado de <https://www.reporteindigo.com/reportes/la-cfe-tiene-competidores/>

- Mexus-RG. (2013). *Informe Preventivo, Proyecto: Perforación de Pozos Exploratorios en la Zona Geotérmica "Volcán El Ceboruco"*. Reykjavík, Islandia. Diciembre de 2013.
- Nelson, S.A. (1980). Geology and petrology of Volcán Ceboruco, Nayarit, Mexico. *Geological Society of America Bulletin*, 91, Part II, 2290-2431.
- NOM-053-SEMARNAT-1993, Que establece el procedimiento para llevar a cabo la prueba de extracción para determinar los constituyentes que hacen a un residuo peligroso por su toxicidad al ambiente. *Diario Oficial de la Federación*, 2 de octubre de 1993.
- NOM-081-SEMARNAT-1994, Que establece los límites máximos permisibles de emisión de ruido de las fuentes fijas y su método de medición. *Diario Oficial de la Federación*, 22 de junio de 1994.
- NOM-127-SSA1-1994, Salud ambiental, agua para uso y consumo humano- límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización. *Diario Oficial de la Federación*, 22 de noviembre de 2000.
- NOM-004-CNA-1996, Requisitos para la protección de acuíferos durante el mantenimiento y rehabilitación de pozos de extracción de agua y para el cierre de pozos en general. *Diario Oficial de la Federación*, 24 de julio de 1996.
- NOM-001-SEMARNAT-1996, Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de agua residuales en aguas y bienes nacionales. *Diario Oficial de la Federación*, 23 de abril de 2003.
- NOM-141-SEMARNAT-2003, Que establece el procedimiento para caracterizar los jales, así como las especificaciones y criterios para la caracterización y preparación del sitio, proyecto, construcción, operación y postoperación de presa de jales. *Diario Oficial de la Federación*, 13 de septiembre de 2004.
- NOM-052-SEMARNAT-2005, Que establece las características, el procedimiento de identificación, clasificación y los listados de los residuos peligrosos. *Diario Oficial de la Federación*, 23 de junio de 2006.
- NOM-150-SEMARNAT-2006, Que establece las especificaciones técnicas de protección ambiental que deben observarse en las actividades de construcción y evaluación preliminar de pozos geotérmicos para exploración, ubicados en zonas agrícolas, ganaderas y eriales, fuera de áreas naturales protegidas y terrenos forestales. *Diario Oficial de la Federación*, 6 de marzo de 2007.
- NOM-157-SEMARNAT-2009, Que establece los elementos y procedimientos para instrumentar planes de manejo de residuos mineros. *Diario Oficial de la Federación*, 30 de agosto de 2011.

- NOM-059-SEMARNAT-2010. Protección ambiental - Especies nativas de México de flora y fauna silvestres- Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio - Lista de especies en riesgo. *Diario Oficial de la Federación*, 30 de diciembre de 2010.
- Ogola, P. (2005). Environmental and social considerations in geothermal development. *Workshop for Decision Makers on Geothermal Projects and Management, UNU-GTP and KengGen, Kenia*.
- Pandarínath, K. & Domínguez-Domínguez, K. (2015). Evaluation of the solute geothermometry of thermal springs and drilled wells of La Primavera (Cerritos Colorados) geothermal field, Mexico: A geochemometrics approach. *Journal of South American Earth Sciences*, 65, 109-124.
- Pardo, M. & Suárez, G. (1995). Shape of the subducted Rivera and Cocos plates in southern Mexico: Seismic and tectonic implications. *Journal of Geophysical Research*, 100(B7), 12,357-12,373.
- Patsa, E. & Zarrouk, S. (2012). Noise from geothermal drilling. *International Conference on Sustainable Energy and Environmental Protection, Dublin, 2012*.
- Petrone, C.M., Tamagi, T., Francalanci, L., Matsumura, A. & Sudo, M. (2001). Volcanic systems in the San Pedro-Ceboruco graben (Nayarit, Mexico) in the light of new K-Ar geochronological data. *Geochemical Journal*, 35, 77-88.
- Ramos-Ridao, A.F. (2009). *Medidas de Ruido*. Universidad de Granada, Área de Tecnologías del Medio Ambiente, Departamento de Ingeniería Civil, España.
- Rojas, F. (2016). *Grupo Dragón pondrá en marcha la Unidad 3 de 25,5 MW en Domo de San Pedro, México*. Piensa en Geotermia, 21 de abril de 2016. Recuperado de <http://www.piensageotermia.com/grupo-dragon-ponto-pondra-en-marcha-la-unidad-3-de-255-mw-en-domo-de-san-pedro-mexico/>
- Romo-Jones, J.M., Gutiérrez-Negrín, L.C., Sánchez-Cornejo, C., González A.N. & García-Gutiérrez, A. (2018). *2017 Mexico Country Report*. IEA Geothermal, February 2018, pp. 1-4.
- Rosas-Elguera, J., Ferrari, L., Garduño-Monroy, V.H. & Urrutia-Fucuauchi J. (1996). Continental boundaries of the Jalisco Block and their influence in the Pliocene-Quaternary kinematics of western Mexico. *Geology*, 24. 921-924.
- Reykjavik Energy. (2014). *Environmental Report 2014*. Reykjavik Energy, Reykjavik, Iceland. Recuperado de https://www.or.is/sites/or.is/files/umhverfsisskyrsla_or_enska_2014.pdf

- Secretaría de Energía, SENER. (2015). *Prospectiva del Sector Eléctrico 2015-2029*. Recuperado de https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/44328/Prospectiva_del_Sector_Electrico.pdf
- Secretaría de Energía, SENER. (2016). *Manual de Procedimientos de la Dirección General de Impacto Social y Ocupación Superficial*. Ciudad de México, 24 de noviembre de 2016.
- Secretaría de Energía, SENER. (2017). *Atlas Nacional de Zonas con Alto Potencial de Energías Limpias*. Secretaría de Energía, 17 de abril de 2018. Recuperado de <https://www.gob.mx/sener/articulos/atlas-nacional-de-zonas-con-alto-potencial-de-energias-limpias?idiom=es>
- Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano, SEDATU. (2014). *Atlas de Riesgo y Peligros Naturales del municipio de Ahuacatlán, Nayarit, México*.
- Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano, SEDATU. (2014). *Atlas de Riesgo y Peligros Naturales del municipio de San Pedro Lagunillas, Nayarit, México*.
- Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano, SEDATU. (2013). *Atlas de Riesgo y Peligros Naturales del municipio de Santa María del Oro, Nayarit, México*.
- Sieron, K. & Siebe, C. (2008). Revised stratigraphy and eruption rates of Ceboruco stratovolcano and surrounding monogenetic vents (Nayarit, Mexico) from historical documents and new radiocarbon rates. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 176, 241-264.
- Smedley, P. & Kinniburgh, D. (2002). A review of the source, behavior and distribution of arsenic in natural waters. *Applied Geochemistry*, 17, 517-569.
- United Nations Children's Fund, UNICEF. (2008). *UNICEF Handbook on Water Quality*. New York, 2008.
- Universidad Politécnica de Huatusco. (2014). *Estudio Técnico Justificativo del Acuífero Valle Ixtlán-Ahuacatlán en el estado de Nayarit*. Convenio de colaboración con la Comisión Nacional del Agua, número SGT-OCLSP-NAY-14-EP-148-RF CC.
- United States Environmental Protection Agency, US EPA. (2009). *National Primary Drinking Water Regulations*. Recuperado de <https://www.epa.gov/ground-water-and-drinking-water/national-primary-drinking-water-regulations>
- Vanclay, F. (2003). Social Impact Assessment: International principles for social impact assessment. *Impact Assessment and Project Appraisal*, 21(1), 5-11.

- Vanclay, F., Esteves, A. & Franks, D. (2012). Social impact assessment: the state of art. *Impact Assessment and Project Appraisal*, 30(1), 34-42.
- World Bank Group, WBG. (2007). *Environmental, Health and Safety (EHS), General Guidelines*.
- World Bank Group, WBG. (2007). *Environmental, Health and Safety Guidelines for Geothermal Power Generation*.
- World Health Organization, WHO. (2017). *Guidelines for Drinking-water Quality*, 4th ed. incorporating the first addendum. Geneva, 2017.
- World Health Organization, WHO. (2011). *Guidelines for Drinking-water Quality - 4th ed.* Geneva, 2011.
- World Health Organization, WHO. (2009). *Boron in drinking water: Background document for development of WHO Guidelines for Drinking-water Quality*. Geneva, 2009.
- World Health Organization, WHO. (2006). *Guidelines for Drinking-water Quality: First Addendum to Third Edition. Volume 1, Recommendations, 3rd ed.* Geneva, 2006.
- World Health Organization, WHO. (2000). *Air Quality Guidelines for Europe, Regional Office for Europe, 2nd ed.* Copenhagen, 2000.
- World Health Organization, WHO. (1999). *Guidelines for Community Noise, Cluster of Sustainable Development and Healthy Environment*. Geneva, 1999.
- Water Utility Authority, WUA. (2016). *Informe de Calidad del Agua 2016, Albuquerque Bernalillo County, Water Utility Authority*. Nuevo México, 2016.

BIBLIOGRAFÍA

- Betancourt-Majano, J.R., Castro-Salinas, J.U. y Hurtado-Leonor, C.R. (2016). *Guía de estandarización para el diseño de plataformas geotérmicas en El Salvador*. Universidad de El Salvador, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Diplomado en Geotermia para América Latina 2016.
- Chou, S.J. (2003). *Hydrogen Sulfide: Human Health Aspects*. World Health Organization, Geneva, 2003.
- Esparza, C. (2006). *The presence of arsenic in drinking water in Latin-America and its effect on public health. Natural Arsenic in Ground waters of Latin America, International Congress*. Ciudad de México, Junio de 2006.

- Fridleifsson, I.B. & Haraldsson, I.G. (2011). Geothermal energy in the world with special reference to Central America. Short Course on Geothermal Drilling, Resource Development and Power Plants, El Salvador. *United Nations University, Geothermal Training Programme and LaGeo S.A. de C.V., 2011.*
- Gunnarsson, I., Sigfússon, B., Stefánsson, A., Arnórsson, S., Scott, S.W., & Gunnlaugsson, E. (2011). Injection of H₂S from Hellisheidi power plant, Iceland. *Thirty-Sixth Workshop on Geothermal Reservoir Engineering. Stanford University, California, 2011.*
- Hiriart, G. (2011). *Evaluación de la Energía Geotérmica en México.* Informe para el Banco Interamericano de Desarrollo y la Comisión Reguladora de Energía. México, Mayo de 2011.
- Hiriart, G. (2011). *Tecnologías de punta y costos asociados para generación distribuida, autoabastecimiento y cogeneración con recursos geotérmicos en México. Reporte final.* Energy Sector Management Assistance Program, Unidad de Energía de América Latina y el Caribe del Banco Mundial. Mayo 2011.
- Internacional Geothermal Association, IGA. (2013). *Geothermal Exploration Best Practices: A guide to resource data collection, analysis, and presentation for geothermal projects.* IGA Service GmbH. Bochum, Germany.
- Jiménez-Cisneros, B., Torregrosa, M.L. y Aboites-Aguilar, L. (2010). *El agua en México: causas y encauses, 1ra ed.* Academia Mexicana de Ciencias y Comisión Nacional del Agua. México, 2010.
- Maochang, H. (2001). Possible environmental impacts of drilling exploratory wells for geothermal development in the Brennisteinsfjöll area, SW-Iceland. *United Nations University, Geothermal Training Programme, 5, 83-114.*
- Ministry of Communications, Works and Labour; Government of Montserrat (2015). *Environmental Impact Assessment for: Geothermal - Drilling of the 3rd Exploratory Well.* Draft prepared and submitted by Atom Solutions Incorporated, Noviembre de 2015.
- Naciones Unidas (2008). *Declaración de las Naciones Unidas sobre los Derechos de los Pueblos Indígenas.* Resolución aprobada por la Asamblea General de las Naciones Unidas, 13 de septiembre de 2007.
- Pérez-Denicia, E., Fernández-Luqueño, F., Vilariño-Ayala, D., Montañó-Zetina, L.M. & Maldonado-López, L.A. (2017). Renewable energy sources for electricity generation in Mexico: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews, 78(2017), 597-613.*

- Rodas, M.A. (2010). *Preliminary Environmental Impact Assessment for the Geothermal Field Chachimbiro in Ecuador: A case comparison with Bjarnarflag Geothermal field in Iceland*. University of Iceland, Faculty of Civil and Environmental Engineering
- Thorolfsson, G. (2010). Silencers for Flashing Geothermal Brine, Thirty Years of Experimenting. *World Geothermal Congress 2010, Bali, Indonesia*.
- Uwase A. (2014). Preliminary Terms of Reference (TOR) and Environmental Impact Assessment (EIA) of Geothermal exploration drilling in Bugarama, Rwanda. *United Nations University, Geothermal Training Programme, 31*, 675-696.
- Vega-Gleason, S. (2002). *Riesgo sanitario ambiental por la presencia de arsénico y fluoruros en los acuíferos de México*. Federación Mexicana de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente; AIDIS. México, FEMISCA.