

**UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRES
FACULTAD DE INGENIERIA
CARRERA DE INGENIERIA PETROLERA
INSTITUTO DE INGENIERIA PETROLERA
MAESTRIA EN INGENIERIA DE RESERVORIOS: EXPLORACION,
EVALUACION Y MEDIO AMBIENTE – SEGUNDA VERSION**



TESIS DE MAESTRIA

**“EVALUACION DEL IMPACTO AMBIENTAL EN LAS FASES DEL CICLO DE AGUA
DEL FRACTURAMIENTO HIDRAULICO EN EL MUNICIPIO DE MACHARETI,
CHUQUISACA”**

Postulante: Ing. Saulo Hans Cáceres Larico

Tutor: Msc. Ing. Gabriela Guisbert Lizarazu

LA PAZ – BOLIVIA

2020



**UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS
FACULTAD DE INGENIERIA**



LA FACULTAD DE INGENIERIA DE LA UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS AUTORIZA EL USO DE LA INFORMACIÓN CONTENIDA EN ESTE DOCUMENTO SI LOS PROPÓSITOS SON ESTRICTAMENTE ACADÉMICOS.

LICENCIA DE USO

El usuario está autorizado a:

- a) Visualizar el documento mediante el uso de un ordenador o dispositivo móvil.
- b) Copiar, almacenar o imprimir si ha de ser de uso exclusivamente personal y privado.
- c) Copiar textualmente parte(s) de su contenido mencionando la fuente y/o haciendo la cita o referencia correspondiente en apego a las normas de redacción e investigación.

El usuario no puede publicar, distribuir o realizar emisión o exhibición alguna de este material, sin la autorización correspondiente.

TODOS LOS DERECHOS RESERVADOS. EL USO NO AUTORIZADO DE LOS CONTENIDOS PUBLICADOS EN ESTE SITIO DERIVARA EN EL INICIO DE ACCIONES LEGALES CONTEMPLADAS EN LA LEY DE DERECHOS DE AUTOR.

ÍNDICE GENERAL

CAPITULO I: MARCO GENERAL

1.1	Introducción	1
1.2	Justificación del Tema	2
1.3	Problema	2
1.3.1	Fundamentación del Problema	2
1.3.2	Definición del Problema	3
1.3.3	Análisis del Problema	3
1.3.4	Descripcion del Problema	4
1.4	Objetivos.....	5
1.4.1	Objetivo General	5
1.4.2	Objetivos Específicos.....	5
1.5	Metodología	5
1.5.1	Tipo de Investigación	5
1.5.2	Tipo de Método.....	5
1.5.3	Tipos de Técnicas de Investigación	5
1.6	Alcances	6
1.6.1	Alcance Sectorial	6
1.6.2	Alcance Subsectorial	6
1.6.3	Alcance Institucional	6
1.6.4	Alcance Geográfico.....	7
1.6.5	Alcance Temporal.....	7

CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

2.1	Marco Conceptual.....	8
2.1.1	Shale Gas	8
2.1.2	Proyectos de Gas No Convencional	8
2.1.3	Candidatos para el Fracturamiento Hidráulico	10
2.1.4	La Técnica del Fracturamiento Hidráulico	11

2.1.5	Desarrollo de las Fracturas	12
2.1.6	Post fracturamiento Hidráulico	12
2.1.7	Consideraciones antes de realizar el Fracturamiento Hidráulico	13
2.1.8	Equipos del Fracturamiento Hidráulico.....	14
2.1.9	Lutitas en Bolivia.....	15
2.1.10	Contenido General de la Evaluación de Impacto Ambiental (EIA).....	17
2.1.11	Método Arboleda.....	18
2.2	Marco Jurídico	21
2.2.1	Decreto Supremo N° 3856	21
2.2.2	Decreto Supremo N° 3549	22
2.2.3	Apertura de Áreas Protegidas a la Actividad Petrolera en Bolivia (DS N° 2366)	22
2.2.4	Ley Marco de la Madre Tierra y Desarrollo Integral para Vivir Bien (Ley N°300, 2012)	23
2.2.5	Ley de los Derechos de la Madre Tierra (Ley N° 71).....	23
2.2.6	Normas Complementarias al Decreto Supremo N° 24176 (DS N° 28592)	23
2.2.7	Ley de Hidrocarburos (Ley N° 3058).....	23
2.2.8	Reglamento de Áreas Protegidas (DS N° 24781, 1997).....	24
2.2.9	Reglamento de la Ley del Medio Ambiente (DS N° 24176).....	24
2.2.10	Ley del Medio Ambiente (Ley N° 1333).....	24
2.3	Marco Institucional	24
2.3.1	Objetivo	25
2.3.2	Misión	25
2.3.3	Visión.....	25

CAPITULO III: MARCO PRÁCTICO

3.1	Caracterización del Ciclo del Agua en el Fracturamiento Hidráulico	26
3.1.1	Análisis.....	26
3.1.1.1	Naturaleza o Razón Fundamental	26
3.1.1.2	Estado.....	26
3.1.1.3	Argumentos para su Realización.....	26
3.1.1.4	Descripción General.....	27

3.1.1.5	Localización Física	29
3.1.1.6	Área Requerida	32
3.1.1.7	Disponibilidad de Servicios Básicos	32
3.1.1.8	Descripción de las Operaciones	33
3.1.2	Etapas y Componentes	40
3.1.3	Acciones Susceptibles de Producir Impacto (ASPI).....	42
3.1.4	Aspectos Ambientales	48
3.1.5	Descripción de las ASPI	51
3.2	Caracterización del Ambiente (Municipio Machareti)	56
3.2.1	Componentes Ambientales	58
3.2.2	Factores Ambientales Representativos del Impacto (FARI).....	58
3.2.2.1	Clima	58
3.2.2.2	Geología	59
3.2.2.3	Aire	60
3.2.2.4	Suelo	61
3.2.2.5	Agua.....	63
3.2.2.6	Vegetación Terrestre.....	65
3.2.2.7	Fauna.....	65
3.2.2.8	Demográfico	68
3.2.2.9	Cultural.....	69
3.2.2.10	Económico	70
3.2.3	Estudios en el Municipio de Machareti	71
3.3	Evaluación de los Impactos Ambientales	74
3.4.1	Aplicación del Método Arboleda	74
3.4	Formulación del Plan de Manejo de los Impactos Ambientales (PMI).....	76
3.5.1	Succión de Agua Superficial y Producción de Agua Subterránea.....	76
3.5.2	Transporte de Agua en Cisternas	76
3.5.3	Transporte y Almacenaje de Acido	77
3.5.4	Transporte y Almacenaje de Aditivos Químicos	77

3.5.5	Transporte y Almacenaje de Arena	77
3.5.6	Mezcla de Agua, Arena y Aditivos Químicos	78
3.5.7	Inyección de Agua, Acido, Arena y Aditivos Químicos.....	78
3.5.8	Almacenamiento de Agua Residual.....	79
3.5.9	Transporte de Agua Residual	80
3.5.10	Inyección al Pozo Clase II	80
3.5.11	Almacenamiento en Tanques de Evaporación	80
3.5.12	Descarga al Suelo	81

CAPITULO IV: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1	Conclusiones.....	82
4.2	Recomendaciones.....	83

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

GLOSARIO DE TÉRMINOS

DEDICATORIA

Este trabajo va dedicado especialmente a un gran amigo, Alex Aduviri Rodríguez (Q.E.P.D.) por su incomparable amistad y apoyo desinteresado en todo momento.

AGRADECIMIENTOS

A mis queridos padres, Franz y Sabina, por el aliento y comprensión.

A mi familia, Noemí y Jali, por su paciencia, comprensión y amor en todo este tiempo.

A mi estimada tutora, la Msc. Ing. Gabriela Guisbert, por haberme guiado en todo momento.

A los amigos de la maestría por todas las experiencias vividas.

A mi estimada amiga Nashira Salazar por todo el apoyo y la buena onda.

A todos los docentes de la maestría por el conocimiento impartido y las ganas de seguir aprendiendo más.

Al Dr. Udo Zimmerman y al Msc. Ing. Marco Montesinos por la oportunidad de cursar esta maestría.

A la Msc. Ing. Shirley López por su predisposición de ayudar en todo momento.

RESUMEN EJECUTIVO

Hoy en día, el fracturamiento hidráulico es una técnica muy controvertida a nivel mundial debido a que existen varios argumentos a favor y en contra de su aplicación. Estos argumentos hacen eco en dos principales aspectos, aspecto económico y aspecto ambiental. Esta investigación se centra principalmente en el aspecto ambiental exponiendo el caso del Municipio de Machareti ubicado en el departamento de Chuquisaca. Para tal efecto, se realizó una evaluación del impacto ambiental en cada fase del ciclo del agua del fracturamiento hidráulico aplicado a dicho Municipio; esta evaluación involucra varias etapas y aspectos a considerar.

En un principio se realizó la caracterización del ciclo del agua del fracturamiento hidráulico en donde se identificaron 5 fases: adquisición de agua, mezcla química, inyección al pozo, recepción del flujo de retorno y gestión de dicho flujo.

En la segunda etapa se realizó la caracterización del medio ambiente en el Municipio de Machareti para la cual se tomaron varias muestras de suelo y agua cumpliendo los respectivos protocolos de muestreo y conservación. Paralelamente, se consultó de bibliografía actualizada para la caracterización del resto de los componentes ambientales del Municipio de Machareti. Es importante mencionar que en este municipio se alberga un considerable número de habitantes Guaraníes que intentan construir un ambiente autosustentable para su vida.

Las dos etapas anteriores permitieron identificar y evaluar los impactos ambientales en cada una de las fases del ciclo del agua del fracturamiento hidráulico; esta evaluación se realizó aplicando el método de Arboleda, el cual está respaldado por una ecuación que toma en cuenta varios aspectos ambientales.

Finalmente, se plantean varias medidas de prevención en las distintas fases del ciclo del agua del fracturamiento hidráulico que pueden implementarse y exigirse a las empresas operadoras del país para reducir el impacto ambiental.

ABSTRACT

Today, the Fracking is a technique so controversial in the world cause there are many arguments for and against its application. These arguments are related with the economic and environmental aspects. This investigation develops the environmental aspect in the Municipality of Machareti located in the Chuquisaca Department. For this purpose, an environmental impact assessment was carried out in each phase of the water cycle of hydraulic fracturing applied to Machareti; this assessment involves many stages and aspects to consider.

Initially, the characterization of the water cycle of the hydraulic fracturing was carried out, where 5 phases were identified: acquisition of water, chemical mixing, injection into the well, reception of the return flow and management of said flow.

In the second stage, the characterization of the environment was carried out in the Municipality of Machareti, for which several soil and water samples were taken, following the respective sampling and conservation protocols. At the same time, an updated bibliography was consulted for the characterization of the rest of the environmental components of the Municipality of Machareti. It is important to mention that this municipality houses a considerable number of Guaraní inhabitants who try to build a self-sustaining environment for their lives.

The two previous stages allowed identifying and evaluating the environmental impacts in each of the phases of the water cycle of hydraulic fracturing; This evaluation was carried out by applying the Arboleda method, which is supported by an equation that takes into account many environmental aspects.

Finally, several prevention measures are proposed in the different phases of the water cycle of hydraulic fracturing that can be implemented and demanded to the operating companies of the country to reduce the environmental impact.

CAPITULO I: MARCO GENERAL

1.1 Introducción

El fracturamiento hidráulico involucra la inyección de fluidos dentro el pozo, bajo elevadas presiones, capaces de fracturar las rocas con baja permeabilidad que contienen petróleo y/o gas. Ya por los años de 1940 el fracturamiento hidráulico era usado para mejorar la producción de gas y petróleo en rocas convencionales, pero la combinación del fracturamiento hidráulico y la perforación direccional logro convertirlo en un método económico para producir gas y petróleo de rocas no convencionales. Esta situación permitió el incremento de la producción de gas y petróleo en reservorios no convencionales en varios países del mundo en donde lidera Estados Unidos.

Argentina es el primer país latinoamericano en aplicar esta técnica. La fracturación hidráulica se viene realizando desde el 2016 en Neuquén y Río Negro; y próximamente habrá fracturación en las provincias de Salta y Mendoza. En Colombia, el año 2018 se radicó un proyecto de ley con el objetivo de prohibir el fracturamiento hidráulico en la nación cafetera; el propósito es impedir la exploración y explotación de yacimientos no convencionales y pretende que el país inicie un proceso de transición para que dejen de usarse combustibles fósiles.

En Bolivia hasta el momento no se sabe si el fracturamiento hidráulico se implementará o no. El 2018, la estatal petrolera YPFB conjuntamente con YPFB Chaco S.A. y la empresa canadiense Cancambria Energy Corp suscribieron el documento “Condiciones para el Convenio de estudio para la evaluación del potencial hidrocarburífero de áreas reservadas a favor de YPFB, Área Miraflores – Municipio de Machareti del Departamento de Chuquisaca”. De acuerdo con el Ministro de Hidrocarburos, Luis Sánchez, hasta que no se entreguen los resultados de un estudio para determinar del potencial del gas no convencional no se conocerá si la aplicación de esta técnica es adecuada y rentable. Esta situación crea una preocupación sobre el uso del fracturamiento hidráulico en Bolivia y del impacto que podría provocar sobre el medio ambiente, especialmente en las reservas de agua superficial y subterránea.

En respuesta a estas preocupaciones, se realizará una investigación sobre el fracturamiento hidráulico en Bolivia y el impacto ambiental que provocaría en el Municipio de Machareti, Chuquisaca que es el lugar en donde la empresa canadiense CanCambria Energy Corp. pretende aplicar esta técnica por primera vez en el país.

1.2 Justificación del Tema

- Magnitud: Actualmente en el mundo el fracturamiento hidráulico es una de las técnicas más utilizadas para la obtención de gas húmedo o gas caliente. Cada vez existen más países que aceptan este método pero al mismo tiempo existen otros que lo prohíben, principalmente por motivos ambientales. En Bolivia, en los últimos años, se habla más de la posibilidad de aplicar la técnica del fracturamiento hidráulico por los llamativos volúmenes de gas no convencional evaluados previamente, en el Chaco Boliviano, por la empresa canadiense Cancambria Energy Corp.
- Trascendencia: Los estudios ambientales sobre el fracturamiento hidráulico en Bolivia asentarían las bases para la elaboración de una legislación ambiental específica respecto a su aplicación. De esta manera se estaría protegiendo el medio ambiente y social del lugar en donde se pretende aplicarlo y al mismo tiempo se haría un control íntegro de todas sus actividades.
- Económico: A pesar de que aún no se sabe con certeza el grado de afectación de esta técnica sobre el medio ambiente, el agua dulce, de origen superficial y/o subterráneo, es uno de los recursos más afectados debido a los grandes volúmenes que se necesita para la aplicación de esta técnica. Este recurso hídrico es vital para el desarrollo económico y social de la comunidad en donde se pretende aplicar esta técnica y en caso de faltar este recurso podría afectarla de manera directa e indirecta.

1.3 Problema

1.3.1 Fundamentación del Problema

- Hechos Observables: Falta de una normativa técnica específica para el fracturamiento hidráulico.

- Antecedentes: Evaluación de las reservas de gas no convencional por parte de la empresa canadiense Cancambria Energy Corp.
- Síntomas: Disminución de las reservas probadas de gas convencional.

1.3.2 Definición del Problema

- ¿Qué?: La falta de una normativa técnica específica para el fracturamiento hidráulico.
- ¿A quién afecta?: Al medio ambiente.
- ¿Dónde?: En el Municipio de Machareti del Departamento de Chuquisaca.
- ¿Cuándo?: Aun no se aplicó en Bolivia.

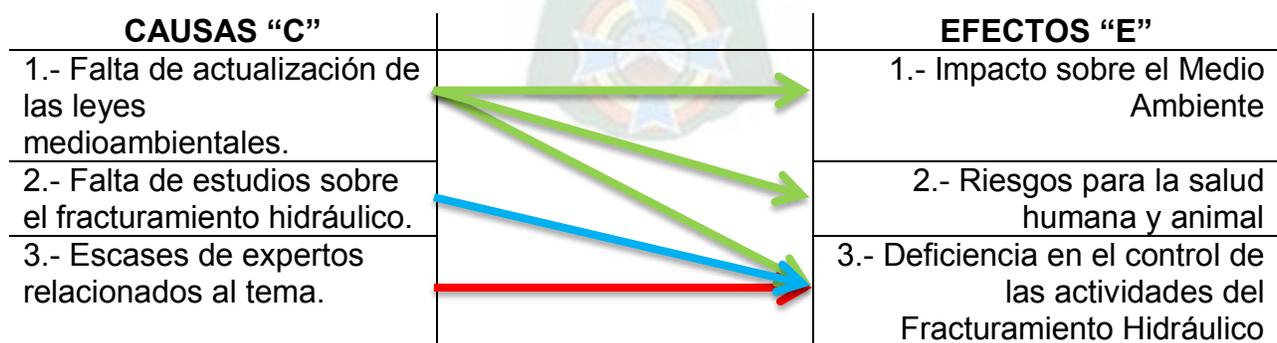
Entonces el problema sería:

La falta de una normativa técnica específica para el fracturamiento hidráulico afectaría al medio ambiente en el Municipio de Machareti del Departamento de Chuquisaca si se aprueba su aplicación.

1.3.3 Análisis del Problema

La tabla a continuación muestra las relaciones entre las causas y efectos del problema en cuestión.

Tabla 1.1
Análisis de Causas y Efectos del Problema



Fuente: Elaboración Propia (2020)

Del análisis de causas y efectos del problema se obtiene el siguiente resumen:

- ✓ C1: E1, E2 y E3
- ✓ C2: E3
- ✓ C3: E3

1.3.4 Descripción del Problema

Es de gran importancia mantenerse actualizado en la Industria Petrolera ya que en cada momento se van implementando nuevas tecnologías en todas sus etapas (Upstream, midstream y downstream). Pese a que el precio de los hidrocarburos no ha sido estable en los últimos 10 años, la industria petrolera ha buscado la manera de producir hidrocarburos de manera más económica y rentable, y tal parece que lo ha logrado con el desarrollo del fracturamiento hidráulico, por lo menos en los Estados Unidos, a pesar de que en varios países, especialmente en Europa, se ha prohibido.

El fracturamiento hidráulico es una técnica que ha tomado fuerza en los últimos años pese a que existen muchas controversias sobre el impacto que provocaría al medio ambiente y a la salud de las personas y animales. Son varios los estudios que se realizan antes de realizar su aplicación, los cuales son exigidos de acuerdo a una legislación ambiental muy rigurosa que es elaborada por especialistas del área (EPA, 2016).

En la actual Ley del Medio Ambiente N°1333 del año 1992 el tema del fracturamiento hidráulico es nuevo ya que no se menciona en ninguno de sus acápites pese a que en el año 2017 se firmó un convenio entre la empresa estatal Yacimientos Petrolíferos Fiscales Bolivianos (YPFB) y la empresa canadiense Cancambria Energy Corp para realizar un estudio del potencial de las reservas de hidrocarburos no convencionales en la zona de Miraflores del Municipio de Machareti ubicado en el Departamento de Chuquisaca.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo General

Evaluar el impacto ambiental en cada fase del ciclo de agua del fracturamiento hidráulico en el Municipio de Machareti, Chuquisaca.

1.4.2 Objetivos Específicos

- Identificar los aspectos ambientales del fracturamiento hidráulico capaces de producir impactos al medio ambiente.
- Caracterizar el medio ambiente del Municipio de Machareti ubicado en el departamento de Chuquisaca.
- Aplicar la metodología Arboleda para la evaluación del impacto ambiental.
- Formular un Plan de Manejo Ambiental (PMI) con medidas preventivas para los posibles impactos ambientales negativos.

1.5 Metodología

1.5.1 Tipo de Investigación

- Nombre: Explicativa
- Utilidad: Sirve para determinar las causas y consecuencias de un fenómeno concreto.
- ¿Por qué?: Este tipo de investigación no solo busca el qué sino el porqué de las cosas y como han llegado al estado en cuestión.

1.5.2 Tipo de Método

- Nombre: Analítico
- ¿Por qué?: Se desglosara las secciones que conforman la teoría general para estudiar con mayor profundidad cada elemento por separado y de esta forma establecer las relaciones de causa, efecto y naturaleza del fenómeno de estudio.

1.5.3 Tipos de Técnicas de Investigación

- Nombre: Fichaje

- Concepto: Ficha que contiene una serie de información de extensión variable pero todos referidos a un mismo tema.
- ¿Por qué?: Permitirá registrar la información relevante de la investigación.
- Instrumento: Ficha parafraseada

- Nombre: Mapa Conceptual y Mental
- Concepto: Organizador de ideas y/o conceptos
- ¿Por qué?: Favorece el recuerdo y el aprendizaje de manera organizada y jerarquizada.
- Instrumento: Dibujo

- Nombre: Observación
- Concepto: Acción de observar algo con mucha atención y detenimiento para adquirir algún conocimiento sobre su comportamiento o sus características.
- ¿Por qué?: Permitirá tomar información, registrarla para su posterior análisis y de esta manera obtener el mayor número de datos posibles.
- Instrumento: Guía de Observación.

1.6 Alcances

1.6.1 Alcance Sectorial

El estudio medioambiental se realizara en el sector del Upstream. Este sector está comprendido por las actividades de exploración y producción de hidrocarburos.

1.6.2 Alcance Subsectorial

La producción de gas no convencional por medio del fracturamiento hidráulico es la actividad a ser evaluada.

1.6.3 Alcance Institucional

Este estudio medioambiental involucra a la empresa estatal Yacimientos Petrolíferos Fiscales Bolivianos (YPFB) y a la empresa canadiense Cancambria Energy Corp; ambas están interesadas en aplicar por primera vez la técnica del fracturamiento hidráulico.

1.6.4 Alcance Geográfico

Según estudios realizados por la empresa Cancambria Energy Corp la zona de Miraflores, ubicada en el Municipio de Machareti, provincia Luis Calvo del Departamento de Chuquisaca, es la que cuenta con un gran potencial de gas no convencional en la formación Los Monos.

1.6.5 Alcance Temporal

Se utilizarán datos y bibliografía de los últimos 10 años (2009) para estudiar la técnica del fracturamiento hidráulico, ya que desde ese año se intensificó la producción de gas no convencional.

Así mismo, para la caracterización medioambiental del Municipio de Machareti se utilizarán datos actuales (2019) de las características de su suelo y agua.



CAPITULO II: MARCO TEORICO

2.1 Marco Conceptual

2.1.1 Shale Gas

El shale gas o gas de esquisto es una forma de gas no convencional que se encuentra atrapado en el interior de formaciones de pizarra o esquistos. Las pizarras o esquistos son un conjunto de rocas metamórficas de bajo a medio grado de metamorfismo (provenientes de las lutitas), pertenecientes al grupo de silicatos. Dentro de los esquistos más comunes se puede encontrar: esquisto de mica, hornablenda, clorita y talco. Éstos provienen de arcillas o lodos, los cuales han sufrido procesos metamórficos de diversas temperaturas y presiones. Su estructura foliada permite que sean fácilmente separables en delgadas láminas, manteniendo su composición.

Dentro de la familia de los esquistos, los esquistos negros contienen material orgánico, que a ciertas condiciones de temperatura y presión se fragmentan, formando gas natural. Debido a la baja densidad del gas natural, éste suele deslizarse a través del esquisto formando depósitos convencionales de gas natural. Sin embargo, la alta impermeabilidad de esta roca bloquea el paso de grandes cantidades de gas natural, las cuales son absorbidas por la arcilla del esquisto, dando lugar al Shale Gas.

2.1.2 Proyectos de Gas No Convencional

Los proyectos de exploración y explotación de gas no convencional están comprendidos por las siguientes fases:

- Pre-desarrollo: exploración, identificación en superficie del área para el pozo y los medios de acceso al lugar. Esta fase incluye: identificación del lugar y su selección; caracterización del lugar – establecimiento de las condiciones iniciales del aire, agua, tierra, geología y del terreno profundo; evaluación inicial de potenciales impactos ambientales; desarrollo inicial de un modelo conceptual geológico y evaluación de riesgos geológicos; perforaciones exploratorias para evaluar la geología y las reservas (identificar si el gas puede producirse o no de manera rentable); sísmica; y asegurar los permisos necesarios para el desarrollo y

operación. Esta fase también incluye la construcción del área del pozo y la preparación del lugar incluyendo la construcción de caminos y cualquier estructura para la contención del agua.

- Diseño y construcción del pozo, fracturamiento hidráulico y completación del pozo: Esta fase incluye la perforación de pozos pilotos; perforación horizontal para determinar las propiedades del reservorio y las técnicas de completación requeridas; desarrollo del modelo geológico conceptual siguiendo pruebas de fracturas; diseño y construcción del pozo y su cabezal (perforación, tubos de revestimiento, cementación, pruebas de integridad); fracturamiento hidráulico en multi-etapas (inyección de fluido fracturante, manejo del retorno y producción de agua y emisiones); y finalmente la completación del pozo.

Antes de iniciar una adecuada recuperación de gas se perforan y fracturan entre 2 a 3 pozos y de esta manera se determina si existe gas y si puede ser extraído. Esta fase de exploración incluye una fase de evaluación en donde se perforan y fracturan más pozos (entre 10 a 15) con el objetivo de: caracterizar las lutitas, examinar la tendencia de propagación de las fracturas, y establecer si las lutitas pueden producir gas de manera económica. Posteriormente, mas pozos pueden ser perforados (alcanzando un total de 30 pozos) para cerciorarse de la viabilidad económica de las lutitas a largo plazo. Una vez que se han definido las propiedades y contenido del reservorio, se da inicio al programa de perforación y recuperación.

- Producción (extracción del gas): La fase de producción involucra la producción comercial de gas no convencional. El área construida para el pozo se expande y se construyen las instalaciones necesarias, incluyendo tanques de almacenamiento, embalses y estructuras de contención secundarias. Se transporta al lugar el equipo necesario, agua y aditivos químicos. La perforación horizontal es seguida por el fracturamiento hidráulico y posteriormente por la producción del gas.
- Cese del proyecto, cierre del pozo y desmantelamiento: El pozo es desmantelando una vez que alcanza la etapa final de su ciclo de producción. Las secciones del pozo son llenadas con cemento para prevenir el flujo de gas dentro de las zonas

que contienen agua o hasta la superficie. Una tapa es soldada para luego ser enterrada, y se trabaja en el lugar para devolverlo en las mejores condiciones.

Los volúmenes de agua que podrían ser requeridos para el desarrollo de las operaciones de exploración y explotación de gas no convencional en un lugar específico dependen de:

- La demanda general de agua, como ser: saneamiento, limpieza de los equipos, entre otros.
- El método de perforación y el avance, el total de la profundidad vertical perforada y la longitud de pozos horizontales, y el grado en que se pueda utilizar el agua para hacer frente a las pérdidas de circulación durante la perforación.
- El número de plataformas de perforación.
- El número de pozos horizontales fracturantes por plataforma de perforación.
- Detalle de los programas de fracturamiento hidráulico, como ser: número de etapas de fracturamiento hidráulico (en función de la longitud horizontal) en cada pozo y el volumen actual de agua utilizada en cada etapa.
- El momento y duración de la construcción de proyectos y operaciones de exploración y explotación de gas no convencional.

Otros factores que influyen directamente en el consumo de agua son los volúmenes de fluido de retorno y producción de agua que se generan en las operaciones de fracturamiento y el grado en el que estos volúmenes pueden ser tratados y reciclados, por lo cual se reducirían los volúmenes de agua que en otra situación se tendrían que recolectar de otras fuentes disponibles.

2.1.3 Candidatos para el Fracturamiento Hidráulico

Las formaciones con alta fragilidad son excelentes candidatos para fracturarlos hidráulicamente. Cuando una roca es frágil ayuda a mantener las fracturas abiertas después de su creación. Un elevado módulo de Young y una baja relación de Poisson indican que la roca es frágil.

Los buenos candidatos para un re-fracturamiento hidráulico, y de esta manera mejorar la recuperación de gas y petróleo, son: reservorios fracturados naturalmente, valores altos de gas inicial en el lugar (IGIP, por sus siglas en inglés), altos valores de presión y buenas propiedades de reservorio.

2.1.4 La Técnica del Fracturamiento Hidráulico

El fracturamiento hidráulico es frecuentemente usado para mejorar la producción de gas y petróleo en las rocas con baja permeabilidad y es una de las muchas actividades que ocurren durante la vida de un pozo de producción de gas y petróleo.

El fracturamiento hidráulico se realiza en intervalos aislados a lo largo de la perforación horizontal, esto debido a que es imposible aplicar presión en toda esa longitud del pozo (1,000-5,000 pies). La presión se controla con el volumen de fluido que el operador puede bombear dentro el pozo; los intervalos son aislados mediante packers. El fluido fracturante se inyecta al pozo de producción, dentro la roca objetivo, bajo presiones que son capaces de fracturar la roca contenedora de gas y/o petróleo. Una vez que se detiene la inyección, la presión comienza a disminuir y las fracturas que fueron creadas empiezan a cerrarse. Por lo general el fluido fracturante transporta un agente apuntalante (generalmente arena) hacia las nuevas fracturas creadas para mantenerlas abiertas y de esa manera crear caminos para que el petróleo, gas y fluidos fracturantes puedan fluir con mayor facilidad al pozo. Se coloca un tapón dentro el casing para aislar la zona estimulada del pozo. Se repite todo el ciclo de perforación-inyección-tapón a determinados intervalos a lo largo de la sección objetivo del reservorio. Finalmente, los tapones son perforados, permitiendo el flujo de hidrocarburos y fluidos hacia el pozo. La mezcla de petróleo/gas/fluido fracturante es separada en superficie y el fluido fracturante (más conocido como agua de retorno) es almacenado en tanques o piletas para su gestión de acuerdo a las normas gubernamentales. Para un pozo en particular, la aplicación del fracturamiento hidráulico dura entre 3 a 10 días (EPA, 2015).

Actualmente, los únicos países productores de gas no convencional son: Estados Unidos, Canadá y China; se piensa que Argentina, México y Argelia empezaran la producción comercial en el año 2030 y 2020 (Statista, 2016).

2.1.5 Desarrollo de las Fracturas

La intensidad de los esfuerzos tiene efecto en el control del crecimiento en altura de la fractura. Los esfuerzos in situ son dependientes del tipo de roca, es decir, las arcillas tienen esfuerzos horizontales mayores que las arenas. El crecimiento en altura de la fractura va a ser limitado por la presencia de estratos con mayores valores de esfuerzos por arriba o por debajo del estrato a fracturar. El ancho de la fractura será también dependiente de los esfuerzos y a mayor esfuerzo hay un menor ancho de fractura. La presión de tratamiento, que es la presión que necesitamos para empujar la roca en ambas caras de la fractura, será siempre superior al esfuerzo mínimo por lo que a mayor esfuerzo mínimo mayor será la presión de fractura durante el tratamiento. Este concepto es muy importante porque puede implicar limitaciones para el equipamiento a utilizar en superficie, así como el de tener una idea de la probabilidad de que las fracturas alcancen a una reserva de agua subterránea.

Un análisis similar permite establecer que la disminución de presión de poro en un yacimiento maduro incrementa el esfuerzo efectivo de la roca. En otras palabras, es más difícil iniciar una fractura cuando el campo petrolero está en su etapa madura que en su etapa inicial de explotación.

Al realizar una perforación horizontal el pozo puede intersectar un gran número de fracturas naturales existentes en el reservorio. La dirección de perforación del trepano se elige en base a la tendencia de fractura conocida en cada área.

2.1.6 Post fracturamiento Hidráulico

Después de que el pozo es perforado, el reservorio fracturado y el gas está presente en el pozo, la instalación de equipos para la prueba de producción del pozo recién fracturado puede ser instalada. Esta prueba permite determinar las características del reservorio como ser: presión, límites, permeabilidad o contribución a la zona. La instalación se realiza adyacente al pozo y representa una simplificación y minimización

de la instalación de los equipos de producción. Durante esta prueba el tratamiento del gas producido es casi similar al proceso de producción, con la diferencia de que éste es quemado y no almacenado.

2.1.7 Consideraciones antes de realizar el Fracturamiento Hidráulico

Selección y diseño del tubo de revestimiento (casing): En algunos casos, durante el tratamiento de fracturación hidráulica, el casing de producción puede llegar a rajarse debido a que se excede su presión de rotura o presenta fallas en su fabricación. La contaminación de agua fresca puede ser causada por fugas de hidrocarburos o agua salada que provienen de la formación productora si y solo si el tubo de revestimiento o la operación de cementación no se hizo apropiadamente.

Cementación: La principal razón que provoca la contaminación de aguas subterráneas es malos trabajos de cementación en los tubos de revestimiento. Es por esta razón que la operación de cementación debe ser altamente regulada por una entidad competente para proteger el agua fresca de cualquier tipo de contaminación.

Fallas Geológicas: El fracturamiento hidráulico puede causar la reactivación o deslizamiento de fallas debido a que se altera la condición del esfuerzo in situ del reservorio. El deslizamiento o movimiento de fallas está directamente relacionado al coeficiente de fricción o factor de fricción. Datos experimentales de distintos tipos de rocas bajo diferentes condiciones de esfuerzo mostraron que el factor de fricción varía en un rango de 0.6 – 1.0. A medida que el esfuerzo in situ es modificado debido al fracturamiento hidráulico, el factor de fricción a lo largo de las fallas desactivadas y planos de fracturas, cambia, lo que puede provocar la reactivación, inestabilidad y fallamiento de las rocas (Belyadi y Fathi; 2017). Las fallas actúan como un camino hacia la superficie para los fluidos fracturantes y esto conlleva a un fracaso en la operación de fracturamiento hidráulico debido a las elevadas fugas del fluido fracturante hacia la falla lo que provocaría impactos severos al medioambiente.

Sismos: La reactivación o deslizamiento de fallas puede conllevar a actividades sísmicas comúnmente menor a 1.0 en magnitud; sin embargo en casos muy raros, actividad sísmica de magnitud 3.0 se reportaron en Estados Unidos (Ellsworth, 2013).

La estabilidad de las fallas depende de su posición respecto a las fracturas hidráulicas. Perpendicularmente a las fracturas hidráulicas la estabilidad de la región incrementa, mientras que las regiones en la dirección de propagación de las fracturas hidráulicas se convierten inestables. La producción de hidrocarburos de los reservorios no convencionales podría también desencadenar actividad sísmica (Gao, 2015).

2.1.8 Equipos del Fracturamiento Hidráulico

La potencia hidráulica (hhp) para el tratamiento de fracturamiento hidráulico ha incrementado de un promedio de 75 hhp a más de 1,500 hhp. Hay casos en donde, con una potencia hidráulica disponible de 15,000 hhp, más de 10,000 hhp fueron utilizados; en contraste, en los primeros tratamientos de fractura hidráulica se usaron entre 10-15 hhp.

Los primeros trabajos de fractura hidráulica trabajaban de 2-3 bbl/min. Hoy en día las bombas trabajan a un caudal de 100 bbl/min. La presión en superficie en algunos lugares es menos de 100 psi pero en otros lugares alcanza los 20,000 psi. (Hibbeler y Rae, 2005)

Para el tratamiento de fractura hidráulica se requieren equipos especiales, los cuales incluyen tanques de almacenamiento, camiones con químicos y varios tipos de tuberías, mangueras y uniones. Los tanques de fractura son grandes tanques de remolque diseñados para contener elevadas cantidades de agua fresca. Los aditivos químicos son transportados al lugar en camiones de plataforma, los cuales contienen bombas diseñadas para el bombeo de los aditivos hacia los mezcladores. El ácido es generalmente transportado al lugar por un camión, el cual puede almacenar hasta 5,000 galones de ácido; si el pozo está ubicado en un lugar con difícil acceso, el ácido puede transportarse de un lugar a otro mediante bombeo. Los agentes apuntalantes son almacenados en tanques grandes los cuales suministran el agente (generalmente arena) al mezclador mediante cintas transportadoras; estos tanques pueden almacenar entre 350,000 – 450,000 libras de apuntalante.

El mezclador recupera el agua fresca de los tanques con la ayuda de bombas de succión y lo mezcla con el apuntalante en una tolva. El agua y apuntalante es

combinado con los aditivos químicos a determinadas concentraciones lo que da lugar al fluido fracturante, el cual es presurizado y transferido a las bombas, las cuales a su vez se encargan de transferir al fluido a través de bombas de desplazamiento positivo hacia el tráiler manifold. El manifold actúa como una estación de transferencia y bombea el fluido a través de líneas superficiales al cabezal de fractura que se encuentra instalado en el cabezal de pozo.

2.1.9 Lutitas en Bolivia

Las formaciones Tequeje en el norte, Limoncito en el centro y los Monos en el sur son rocas madre del Devónico Medio. Casi todas las rocas madre maduraron durante el Neógeno debido a la sedimentación en el ante país y en las cuencas tipo piggyback; por lo tanto participan en el sistema petrolero actual. En Bolivia la principal roca madre la constituyen las lutitas del Paleozoico, con mayor o menor riqueza según las zonas, y algunos niveles del Maastrichtiano (Mesozoico).

La secuencia silúrico-devónica en la zona del subandino sur y Chaco es muy potente (más de 4000 m) con importantes espesores de lutitas (especialmente dentro de las formaciones Kirusillas, Icla y Los Monos) alternando con areniscas (formaciones Santa Rosa, Huamampampa e Iquiri), de las cuales algunas constituyen reservorios comprobados (Moretti, 1994). Todos estos sedimentos siliciclasticos se depositaron en un ambiente marino somero dominado por el oleaje y las tormentas en un marco tectónico de ante país (Montemurro, 1994; Sempere, 1995). De igual forma que en el Subandino norte y centro, el Devónico terminal está caracterizado por el comienzo de depósitos arenosos y re-sedimentados con evidencias de glaciación que continúan hasta el Carbonífero medio (grupos Machareti y Mandiyuti).

Los resultados obtenidos durante varios años sobre la estratigrafía y evolución paleo geográfica y geodinámica de las cuencas paleozoicas de Bolivia permiten definir de forma general la geometría de estas cuencas y la distribución de ambientes sedimentarios, sobre todo en cuanto a las relaciones proximal-distal. Estos dos aspectos condicionan la presencia de lutitas y la riqueza en materia orgánica, y por lo tanto influyen de forma determinante en el potencial petrolero de las rocas madre. Las

rocas paleozoicas del Ordovícico al Devónico de Bolivia se depositaron en una misma cuenca que cubrían toda la zona occidental y central del país, incluida las zonas de Madre de Dios, Subandino y Chaco. La geometría de la cuenca era alargada en dirección NO-SE, limitada al SO por un margen activo con abundantes aportes clásticos, y al NE por un margen cratónico relativamente estable, con menos aportes. De esta forma, el mayor desarrollo de espesores de lutitas, así como la presencia de ambientes anóxicos que permitieron la preservación de la materia orgánica, se encuentra a lo largo del eje de la cuenca y hacia su borde NE. Sobre este borde se ha podido establecer la presencia de ambientes deltaicos e inter deltaicos, sobre todo en las areniscas de las formaciones El Carmen y Roboré.

El devónico medio es la roca madre clásica de Bolivia. Es la roca madre en todos los campos del Subandino Sur y del Boomerang, que son actualmente las zonas más productivas. Desde un punto de vista geoquímico, el Devónico es una roca madre pobre con un S2 inicial promedio de 2 mg HC/g, pero su interés radica en su gran espesor.

En el Subandino Sur y Chaco, todas las lutitas de la serie devónica presentan calidad de roca madre en las formaciones Los Monos (378 – 365 Ma) o Icla-Huamampampa (396-378 Ma). Estas pertenecen a secuencias de sedimentos silico-clásticos de plataforma marina con una paleo batimetría de 50-200 metros.

Indiscutiblemente la Formación Los Monos es la principal roca madre. Las muestras de campo son parcialmente maduras, el mejor IH es de 465 y el COT máximo de 2%. Los pozos muestreados pueden presentar un potencial débil pero no despreciable (S2 residual entre 1 y 3 mg HC/g) sobre todo en cuanto a su espesor, como por ejemplo en los pozos Parapeti-X1, Pilcomayo-X1 y Camiri 201. El espesor total de la serie en el caso de Camiri es de 1800 m porque esta duplicada (estructura en dúplex) ya que el espesor normal de la serie es de 700 m.

La formación Huamampampa es más arenosa pero sus lutitas presentan un potencial equivalente al de otras formaciones, con un COT máximo de 2.5% y un S2 de 7.6% mg

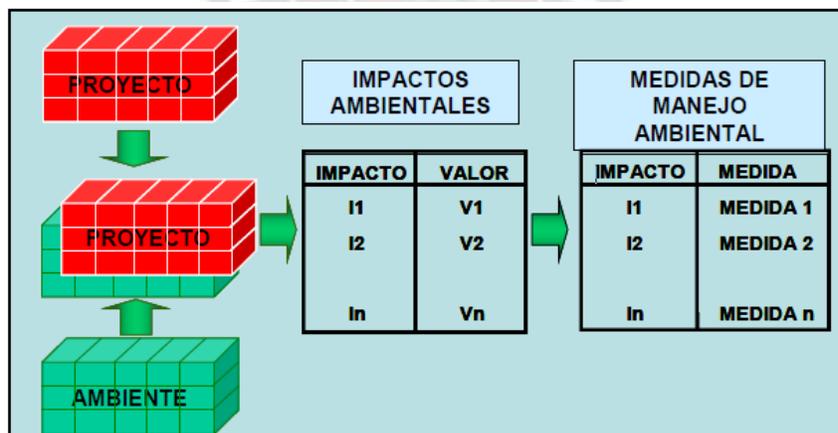
HC/g (pozo Honduras-X2). En valor promedio, la parte de lutitas no constituye más de 25% de la formación y presentaría un COT inicial de 1-1.5%.

La formación Icla es muy similar pero tiene más lutitas. Los valores más altos se encontraron en el pozo Caigua-X3 con COT de 1.3% y S2 de 2.7 mg HC/g. Las lutitas de la formación Iquiri tienen un potencial similar al de las formaciones Los Monos o Limoncito; estas muestras no son nunca inmaduras.

2.1.10 Contenido General de la Evaluación de Impacto Ambiental (EIA)

En términos generales se puede decir que la EIA se inicia con un “enfrentamiento” entre el proyecto y el ambiente, del cual resultan los impactos ambientales, que luego deben ser evaluados para determinar su significancia y posteriormente para cada uno de los ellos se plantea una medida de manejo que elimine o reduzca las consecuencias del cambio generado (ver figura 2.1). Las medidas de manejo serán del tipo preventivas ya que aún no se ha aplicado el fracturamiento hidráulico en el Municipio de Machareti.

Figura 2.1: Esquema Conceptual del Desarrollo de la EIA

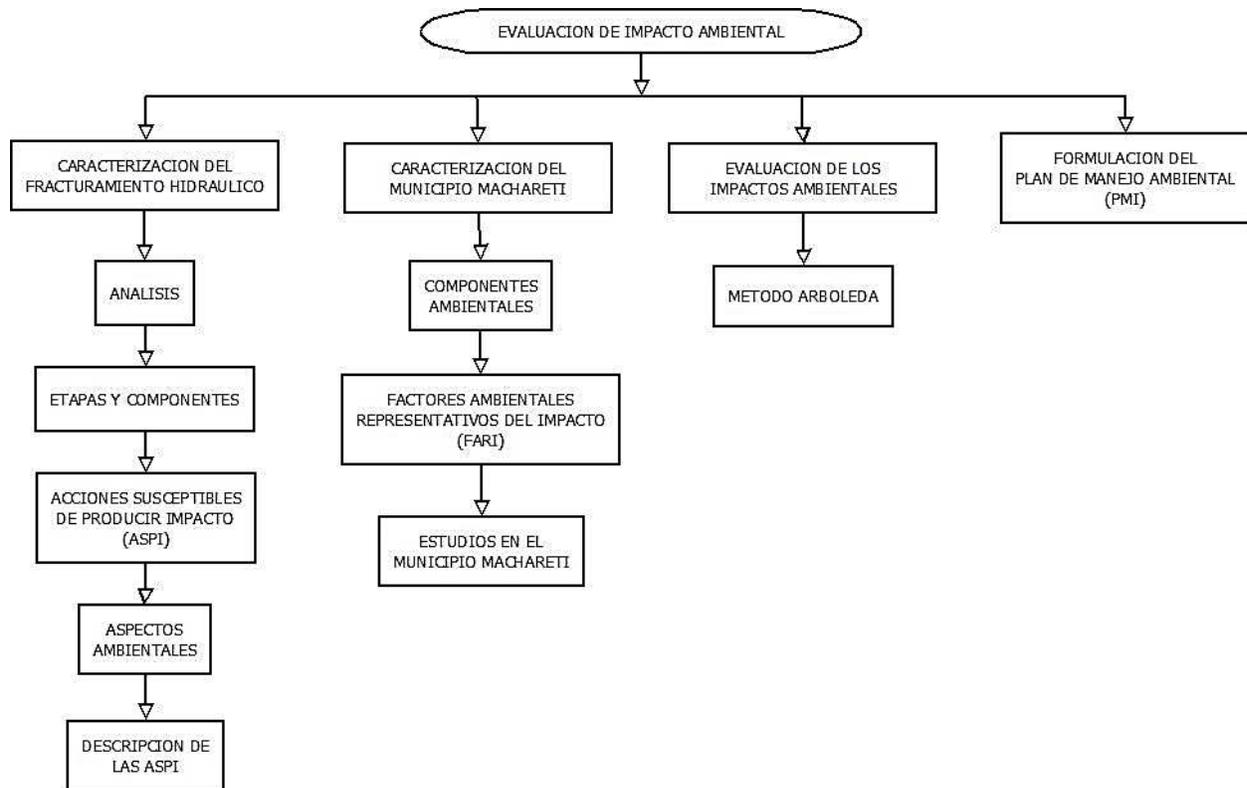


Fuente: Arboleda (2008)

Se puede concluir entonces que toda EIA se debe realizar siguiendo secuencialmente cuatro (4) grandes fases o componentes, tal como se muestra en el diagrama 2.1. Este procedimiento es el que se aplicara en el siguiente capítulo (aplicación práctica).

Diagrama 2.1

Contenido de la Evaluación de Impacto Ambiental



Fuente: Elaboración Propia (2020)

2.1.11 Método Arboleda

Es un método de evaluación de los impactos ambientales que fue desarrollado por la Unidad de Planeación de Recursos Naturales de las Empresas Públicas de Medellín con el propósito de evaluar todo tipo de proyectos. Ha sido aprobado por autoridades ambientales y por entidades internacionales como el Banco Mundial y el Banco Interamericano de Desarrollo.

Para comenzar, cada impacto se debe evaluar con base en los siguientes parámetros o criterios:

Clase (C): Este criterio define el sentido del cambio ambiental producido por una determinada acción del proyecto, el cual puede ser: positivo (+, P) si mejora la condición ambiental analizada o negativo (-, N) si la desmejora.

Presencia (P): En la mayoría de los impactos hay certeza absoluta de que se van a presentar, pero otros pocos tienen un nivel de incertidumbre que debe determinarse. Este criterio califica la posibilidad de que el impacto pueda darse y se expresa como un porcentaje de la probabilidad de ocurrencia, tal como se indica a continuación:

- Cierta: si la probabilidad de que el impacto se presente es del 100% (se califica con 1.0).
- Muy probable: si la probabilidad está entre 70 y 100 % (se califica entre 0.7 y 0.99).
- Probable: si la probabilidad está entre 40 y 70 % (0.4 y 0.69).
- Poco probable: si la probabilidad está entre 20 y 40 % (0.2 y 0.39).
- Muy poco probable: si la probabilidad es menor a 20 % (0.01 y 0.19).

Duración (D): Con este criterio se evalúa el período de existencia activa del impacto, desde el momento que se empiezan a manifestar sus consecuencias hasta que duren los efectos sobre el factor ambiental considerado. Se debe evaluar en forma independiente de las posibilidades de reversibilidad o manejo que tenga el impacto. Se expresa en función del tiempo de permanencia o tiempo de vida del impacto, tal como se indica a continuación:

- Muy larga o permanente: si la duración del impacto es mayor a 10 años (se califica con 1.0).
- Larga: si la duración es entre 7 y 10 años (0.7 – 0.99).
- Media: si la duración es entre 4 y 7 años (0.4 y 0.69).
- Corta: si la duración es entre 1 y 4 años (0.2 y 0.39).
- Muy corta: si la duración es menor a 1 año (0.01 y 0.19).

Evolución (E): Califica la rapidez con la que se presenta el impacto, es decir la velocidad como éste se despliega a partir del momento en que inician las afectaciones y hasta que el impacto se hace presente plenamente con todas sus consecuencias. Este criterio es importante porque dependiendo de la forma como evoluciona el impacto, se puede facilitar o no la forma de manejo. Se expresa en términos del tiempo transcurrido entre el inicio de las afectaciones hasta el momento en que el impacto

alcanza sus mayores consecuencias o hasta cuando se presenta el máximo cambio sobre el factor considerado, tal como se indica a continuación:

- Muy rápida: cuando el impacto alcanza sus máximas consecuencias en un tiempo menor a 1 mes después de su inicio (se califica con 1.0).
- Rápida: si este tiempo está entre 1 y 12 meses (0.7 – 0.99).
- Media: si este tiempo está entre 12 y 18 meses (0.4 y 0.69).
- Lenta: si este tiempo está entre 18 y 24 meses (0.2 y 0.39).
- Muy lenta: si este tiempo es mayor a 24 meses (0.01 y 0.19).

Magnitud (M): Este criterio califica la dimensión o tamaño del cambio sufrido en el factor ambiental analizado por causa de una acción del proyecto. Se expresa en términos del porcentaje de afectación o de modificación del factor (por este motivo también se denomina magnitud relativa) y puede ser:

- Muy alta: si la afectación del factor es mayor al 80%, o sea que se destruye o cambia casi totalmente (se califica con 1.0).
- Alta: si la afectación del factor está entre 60 y 80 %, o sea una modificación parcial del factor analizado (se puede calificar 0.7 – 0.99).
- Media: si la afectación del factor está entre 40 y 60 %, o sea una afectación media del factor analizado (0.4 y 0.69).
- Baja: si la afectación del factor está entre 20 y 40 %, o sea una afectación baja del factor analizado (0.2 y 0.39).
- Muy baja: cuando se genera una afectación o modificación mínima del factor considerado, o sea menor al 20 % (0.01 y 0.19).

Finalmente, se realiza la calificación ambiental del impacto (Ca) la cual es una expresión de la acción conjugada de los criterios con los cuales se calificó el impacto ambiental y representa la gravedad o importancia de la afectación que este está causando. Para tal efecto se aplica la ecuación 2.1 que permite obtener y explicar las relaciones de dependencia que existen entre los cinco criterios anteriormente indicados.

$$Ca = C * (P * (7,0 * E * M + 3,0 * D)) \quad (2.1)$$

Dónde:

Ca = Calificación Ambiental

C = Clase

P = Presencia

E = Evolución

M = Magnitud

D = Duración

De acuerdo con las calificaciones asignadas individualmente a cada criterio, el valor absoluto de “Ca” será mayor que cero y menor o igual que 10. El valor numérico que resulta de la ecuación 2.1 se convierte luego en una expresión que indica la importancia del impacto asignándole unos rangos de calificación de acuerdo con los resultados numéricos obtenidos, como se muestra en la tabla 2.1:

Tabla 2.1

Calificación del Impacto Ambiental

Calificación Ambiental (puntos)	Importancia del Impacto Ambiental
Ca ≤ 2,5	Poco Significativo o Irrelevante
2,5 < Ca ≤ 5,0	Moderadamente Significativo o Moderado
5,0 < Ca ≤ 7,5	Significativo o Relevante
Ca ≥ 7,5	Muy Significativo o Grave

Fuente: Arboleda (2008)

2.2 Marco Jurídico

2.2.1 Decreto Supremo N° 3856

Promulgado el 03 de abril de 2019, tiene por objeto modificar el Reglamento de Prevención y Control Ambiental – RPCA, aprobado por Decreto Supremo N° 24176, de 8 de diciembre de 1995, modificado por el Decreto Supremo N° 3549, de 2 de mayo de

2018. También modifican el artículo 11 y los Anexos “A”, “B”, “C-1”, “C-2” y “D” del Decreto Supremo N° 3549 de 2 de mayo de 2018.

Con este decreto es posible identificar en qué categoría se encuentra la operación del fracturamiento hidráulico. Correspondería una categoría 1 - Sector de Hidrocarburos, por lo cual es necesario realizar una evaluación de impacto ambiental integral.

2.2.2 Decreto Supremo N° 3549

Promulgado el 02 de mayo de 2018, tiene por objeto modificar, complementar e incorporar nuevas disposiciones al Reglamento de Prevención y Control Ambiental (RPCA) aprobado por Decreto Supremo N° 24176, de 8 de diciembre de 1995 y el Decreto Supremo N° 28592, de 17 de enero de 2006, para optimizar la gestión ambiental, ajustando los Instrumentos de Regulación de Alcance Particular (IRAPs) y los Procedimientos Técnico-Administrativos, priorizando las funciones de Fiscalización y Control Ambiental, en el marco de la normativa ambiental vigente.

2.2.3 Apertura de Áreas Protegidas a la Actividad Petrolera en Bolivia (DS N° 2366)

Promulgado el 20 de mayo de 2015 por el Presidente Evo Morales Ayma en Consejo de Ministros. Este decreto tiene por objeto establecer las medidas para el aprovechamiento de los recursos hidrocarburíferos en todo el territorio nacional, en el marco de su carácter constitucional, estratégico y de interés público para el desarrollo del país; vinculado a la reducción de la extrema pobreza en comunidades que habitan las áreas protegidas y la gestión integral de los sistemas de vida. Este decreto es parte de un paquete que se ha venido desarrollando desde hace tiempo para vulnerar los derechos y los esfuerzos por mantener una zona de protección ecológica. Parte de este paquete fue el de reducir a un simple trámite administrativo el proceso de consulta a los pueblos indígenas para actividades petroleras.

2.2.4 Ley Marco de la Madre Tierra y Desarrollo Integral para Vivir Bien (Ley N°300, 2012)

La presente Ley tiene por objeto establecer la visión y los fundamentos del desarrollo integral en armonía y equilibrio con la Madre Tierra para Vivir Bien, garantizando la continuidad de la capacidad de regeneración de los componentes y sistemas de vida de la Madre Tierra, recuperando y fortaleciendo los saberes locales y conocimientos ancestrales, en el marco de la complementariedad de derechos, obligaciones y deberes; así como los objetivos del desarrollo integral como medio para lograr el Vivir Bien, las bases para la planificación, gestión pública e inversiones y el marco institucional estratégico para su implementación.

2.2.5 Ley de los Derechos de la Madre Tierra (Ley N° 71)

La ley N° 71 fue aprobada el 21 de diciembre del año 2010 con el objetivo de reconocer los derechos de la Madre Tierra, así como las obligaciones y deberes del Estado Plurinacional y de la sociedad para garantizar el respeto de estos derechos.

2.2.6 Normas Complementarias al Decreto Supremo N° 24176 (DS N° 28592)

Promulgada el 17 de enero de 2006, aprueba las Normas Complementarias al Decreto Supremo N° 24176 de 8 de 1995. Título IX. Capítulo del Reglamento General de Gestión Ambiental. Título IX Capítulo Único. Artículo 169 del Reglamento de Prevención y Control Ambiental y Título I, Capítulo II, III, Título II, Capítulo I, II y Título IV del Reglamento de Prevención y Control Ambiental, que como Anexo forma parte integrante del presente Decreto Supremo.

2.2.7 Ley de Hidrocarburos (Ley N° 3058)

Promulgada el 17 de mayo de 2005 por el Honorable Congreso Nacional para normar las actividades hidrocarburíferas de acuerdo a la Constitución Política del Estado y establecer los principios, las normas y los procedimientos fundamentales que rigen en todo el territorio nacional para el sector hidrocarburífero. Todas las personas individuales o colectivas, nacionales o extranjeras, públicas, de sociedades de economía mixta y privadas que realizan y/o realicen actividades en el sector

hidrocarburífero, Yacimientos Petrolíferos Fiscales Bolivianos (YPFB), los servidores públicos, consumidores y usuarios de los servicios públicos, quedan sometidos a la presente Ley.

2.2.8 Reglamento de Áreas Protegidas (DS N° 24781, 1997)

Este reglamento fue elaborado para regular la gestión y cuidado de las áreas protegidas en función a lo establecido en la Ley del Medio Ambiente y Convenio sobre Diversidad Biológica aprobada por la Ley N° 1580 de 15 de junio de 1994.

2.2.9 Reglamento de la Ley del Medio Ambiente (DS N° 24176)

Este decreto aprueba la reglamentación de la Ley del Medio Ambiente, integrada por los reglamentos de (a) General de Gestión Ambiental, (b) Prevención y Control Ambiental, (c) en Materia de Contaminación Atmosférica, (d) en Materia de Contaminación Hídrica, (e) para Actividades con Sustancias Peligrosas y (f) de Gestión de Residuos Sólidos, así como sus respectivos anexos, instrumentos que forman parte integrante del decreto supremo.

2.2.10 Ley del Medio Ambiente (Ley N° 1333)

Fue promulgada el 27 de abril de 1992 y publicada el 15 de junio del mismo año. Está en actual vigencia, es de carácter general y no enfatiza en ninguna actividad específica. Esta ley tiene por objeto la protección y conservación del medio ambiente y los recursos naturales, regulando las acciones del hombre con relación a la naturaleza y promoviendo el desarrollo sostenible con la finalidad de mejorar la calidad de vida de la población.

2.3 Marco Institucional

El Ministerio de Hidrocarburos es el responsable de planificar el desarrollo integral del sector energético y desarrollar estrategias para el cumplimiento de la política Hidrocarburífera de Bolivia, en coordinación con las distintas entidades del sector y el Ministerio de Planificación del Desarrollo. Asimismo, cuenta con facultades para aplicar las estrategias del desarrollo e integración energética regional y nacional, negociar

tratados internacionales para el sector energético en coordinación con el Ministerio de Relaciones Exteriores y suscribir convenios internacionales.

2.3.1 Objetivo

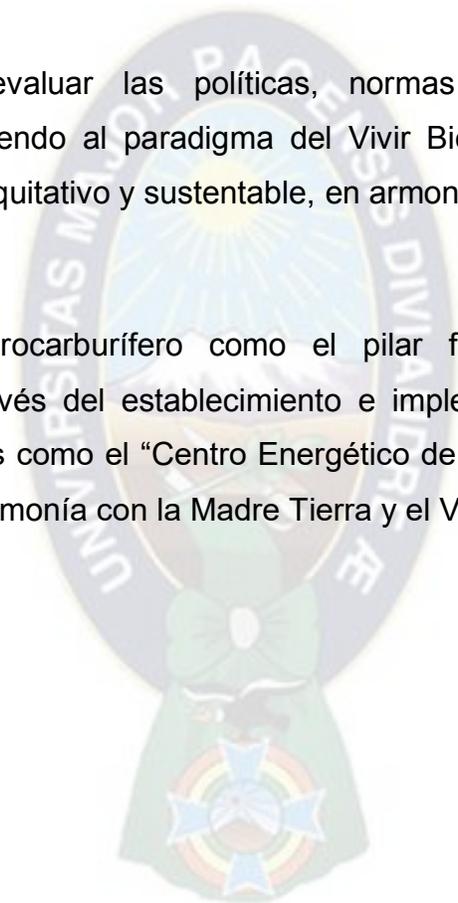
Uno de los objetivos del Ministerio de Hidrocarburos es: implementar y promover la gestión socio ambiental que garantice la sostenibilidad ambiental y social del uso de recursos hidrocarburíferos.

2.3.2 Misión

Formular, gestionar y evaluar las políticas, normas y planes de desarrollo hidrocarburífero, contribuyendo al paradigma del Vivir Bien de los bolivianos, en el marco de un crecimiento equitativo y sustentable, en armonía con la Madre Tierra.

2.3.3 Visión

Consolidar al sector hidrocarburífero como el pilar fundamental del desarrollo económico y social, a través del establecimiento e implementación de políticas del sector, proyectando al país como el “Centro Energético de la Región”, en el marco del desarrollo sostenible, en armonía con la Madre Tierra y el Vivir Bien”.



CAPITULO III: MARCO PRÁCTICO

3.1 Caracterización del Ciclo del Agua en el Fracturamiento Hidráulico

Al caracterizar el proyecto, es fundamental enfocarse solo en aquellos aspectos que provocan gran inquietud en el público y otras partes interesadas ya que mucha información irrelevante puede crear confusión y desviar la atención de lo significativo e importante.

3.1.1 Análisis

3.1.1.1 Naturaleza o Razón Fundamental

El principal objetivo del fracturamiento hidráulico es lograr producir en superficie los hidrocarburos atrapados en rocas con baja permeabilidad, tal es el caso de la formación Los Monos en Bolivia. Para lograr este objetivo se deben cumplir ciertos objetivos secundarios como ser: crear una red de fracturas en la roca madre, gestionar de manera adecuada la producción de aguas residuales del pozo en superficie y elaborar un adecuado programa para la perforación de más pozos que fracturaran hidráulicamente la misma roca.

3.1.1.2 Estado

El tema del fracturamiento hidráulico en Bolivia es relativamente nuevo. En el año 2013 YPFB anuncio que estaba iniciando, juntamente con la empresa canadiense Cancambria Energy Corp, los estudios para identificar gas no convencional en la región del Chaco Boliviano. Hasta la fecha no se realizó la perforación de ningún pozo de gas/petróleo para aplicar la técnica del fracturamiento hidráulico, solamente pruebas piloto en Chuquisaca.

3.1.1.3 Argumentos para su Realización

Después de una evaluación previa del potencial de reservas no convencionales en el Chaco Boliviano por parte de la empresa Cancambria Energy Corp, se empezó a contemplar la idea de aplicar la técnica del fracturamiento hidráulico en la zona de Miraflores del Municipio de Machareti.

“Actualmente creemos que los recursos in situ en Miraflores pueden exceder los 100 TCF (trillones de pies cúbicos) y más aún en el Chaco” (Cancambria Energy Corp, 2019).

3.1.1.4 Descripción General

Los fluidos del fracturamiento hidráulico están compuestos en su mayoría por agua y en menor proporción por arena y químicos solubles en él. Un pozo demanda entre 15,000 m³ - 20,000 m³ de agua para la producción de gas no convencional; este volumen depende de las características de la formación a ser fracturada, el diseño de la producción y la operación de fractura (EPA, 2016)¹. La fuente de agua varía pero generalmente se capta de las aguas subterráneas, aguas superficiales o aguas residuales que previamente pasaron por un proceso de tratamiento.

El ciclo del agua en el fracturamiento hidráulico está compuesto por 5 fases, cada fase está conformada por una actividad que involucra el uso de agua y ayuda al proceso del fracturamiento hidráulico; estas fases son las siguientes:

- Adquisición de agua: el agua puede captarse de la superficie y/o de algún acuífero para preparar el fluido fracturante.
- Mezcla química: El fluido inyectado al pozo es una mezcla de 95% de agua, 4,5% arena y 0,5% químicos.
- Inyección al Pozo: Inyección y movimiento del fluido fracturante a través del pozo de producción de gas/petróleo y dentro la formación objetivo (lutitas).
- Recepción del Flujo de Retorno (agua residual): La recolección y manejo del agua, in situ, que retorna a superficie después del fracturamiento hidráulico
- Gestión del Flujo de Retorno: El transporte del agua residual para su eliminación o reutilización.

Estas actividades pueden impactar en las fuentes de agua potable bajo ciertas circunstancias. Los impactos pueden variar dependiendo de la combinación de las actividades en los ciclos del agua del fracturamiento hidráulico y varios factores a

¹ La EPA (Agencia de Protección del Medio Ambiente) es una agencia del gobierno federal de los Estados Unidos encargada de proteger la salud humana y el medio ambiente.

escala local o regional. A continuación se mencionan las combinaciones entre actividades y factores que pueden presentarse:

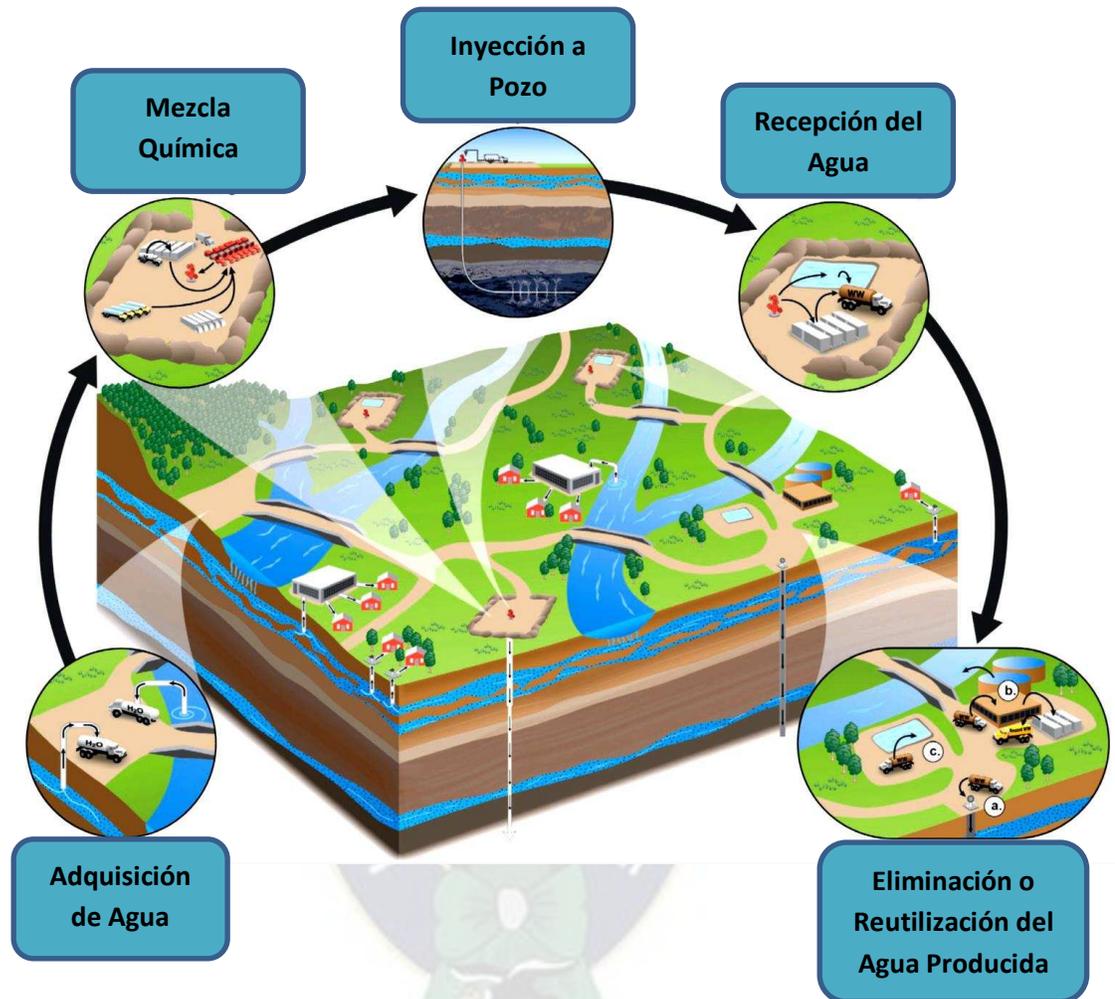
- Adquisición de agua en épocas o lugares de baja disponibilidad de agua, particularmente en lugares donde el agua es limitada o con una declinación de sus reservas de agua subterránea.
- Derrames durante el manejo de los fluidos de fracturamiento hidráulico, químicos o agua producida. Esto conlleva en grandes volúmenes o altas concentraciones de químicos que pueden alcanzar los depósitos de agua subterránea.
- Inyección de fluidos de fracturamiento hidráulico en pozos que tienen una inadecuada integridad mecánica, lo cual permite que los gases o líquidos puedan moverse hacia las aguas subterráneas.
- Inyección de fluidos de fracturamiento hidráulico directamente en las aguas subterráneas.
- Descarga de aguas residuales del fracturamiento hidráulico, que tuvieron un inadecuado tratamiento, sobre las aguas superficiales o el suelo.
- Descarga o almacenamiento de aguas residuales del fracturamiento hidráulico en suelos sin recubrimiento, lo cual puede provocar la contaminación de acuíferos.

En la última fase del ciclo del agua en el fracturamiento hidráulico se incluyen las actividades de:

- Eliminación del agua residual a través de la inyección subterránea a pozos Clase II.
- Tratamiento del agua residual seguido por su reutilización en otra operación de fractura hidráulica o descarga sobre aguas superficiales.
- Eliminación a través de la evaporación o percolación en el suelo.

Figura 3.1

Ciclo del Agua del Fracturamiento Hidráulico



Fuente: EPA (2016)

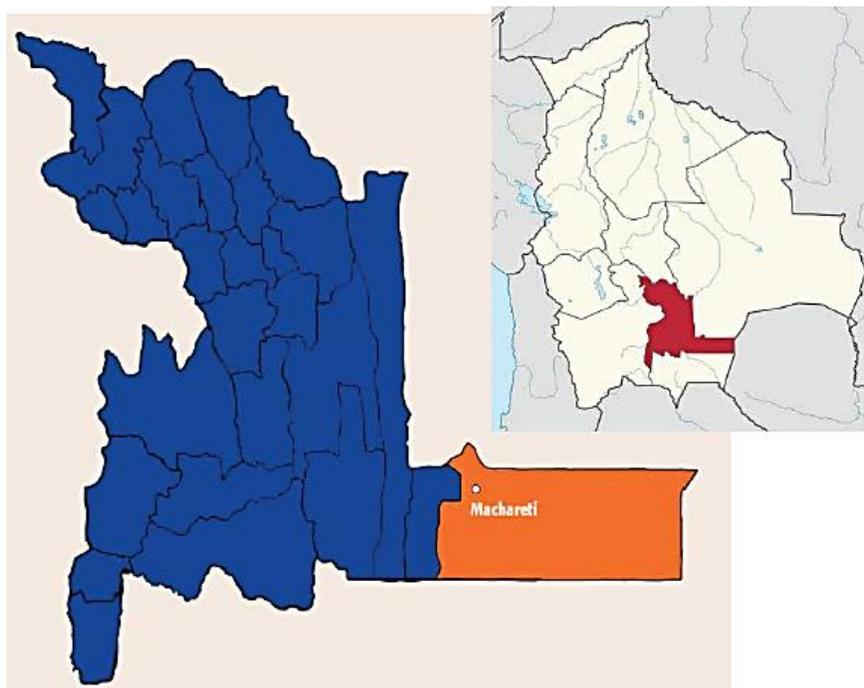
3.1.1.5 Localización Física

El fracturamiento hidráulico se pretende realizar en el Municipio de Machareti del Departamento de Chuquisaca. El Municipio de Machareti es la tercera sección municipal de la provincia Luis Calvo; está ubicado al sudeste del país, limitado por las coordenadas 20° 27' 45" y 21° 0' 34" de latitud sur y los paralelos 62° 11' 50" y 63° 47' 25" de longitud oeste. Se encuentra en la Ruta 9, carretera que conecta el Departamento de Santa Cruz con la ciudad de Yacuiba (Departamento de Tarija). Se

sitúa a 585 km del Departamento de Chuquisaca, en la región del Chaco Boliviano cercano a la frontera con la República de Paraguay (ver figura 3.2).

Figura 3.2

Ubicación del Municipio de Machareti



Fuente: IPDRS² (2012)

Según datos de los últimos dos censos nacionales de población y vivienda (2001 y 2012) la población en el Municipio de Machareti se mantuvo. La composición poblacional del municipio por sexo y edad muestra la preponderancia de población masculina.

² Instituto para el Desarrollo Rural de Sudamérica (IPDRS).

Tabla 3.1*Población empadronada en el Municipio de Machareti*

Grupos de Edad	Subtotal	Hombres	Mujeres
0-3	656	363	293
4-5	324	172	152
6-19	2.281	1.229	1.052
20-39	2.153	1.206	947
40-59	1.269	705	564
60-mas	735	366	369
Total	7.418	4.041	3.377

Fuente: IPDRS, con datos del INE (2012)

A su vez se observa mayor aglomeración en el grupo etario de 6 a 19 años, presentando una población que tiene como base niños/as, adolescentes y jóvenes (ver tabla 3.1).

El Municipio de Machareti y la región del Chaco se caracterizan por la escasez de recursos hídricos, aunque existen pequeños cursos superficiales de agua permanente que se originan en la Serranía de Aguaragüe y que acumulan caudales más o menos significativos; estos al ingresar a la llanura chaqueña se percolan totalmente en los sedimentos aluviales. Los acuíferos en la Llanura Chaqueña están conformados por arenas sueltas de grano fino a medio, sub redondeadas y bien seleccionadas, arenas arcillosas, friables e intercalaciones de arcilla rojiza y arcilla limosa. Dadas las características descritas, la permeabilidad relativa en esta zona es alta y consecuentemente la importancia hidrogeológica también lo es. No obstante, los rendimientos de los pozos subterráneos abiertos en la zona son moderados (0.6 a 6.0 litros por segundo) debido a la limitación de recarga que tienen los acuíferos, ya que solo reciben tres cursos de agua desde el Aguaragüe: ríos Machareti, Tigüipa y Camatindi (PTDI³, 2016).

³ Plan Territorial de Desarrollo Integral (PTDI).

Las aguas subterráneas de la llanura también existen gracias a la infiltración directa del agua de lluvia que cae en sedimentos permeables, y por la percolación de los ríos que descienden desde el subandino a la llanura chaqueña. El agua de las lluvias que escurre de la cordillera se retiene en “pequeñas lagunas” naturales, en cambio en las áreas más áridas y alejadas, la población ha construido lagunas artificiales, los atajados, que acumulan agua de lluvias en la estación húmeda (diciembre a marzo); estos dos tipos de depósitos son la principal fuente de consumo de agua en la región tanto para los animales como para las personas (PDM⁴, 2012-2016).

3.1.1.6 Área Requerida

Durante la construcción, el área para el pozo (plataforma de perforación) típicamente cubre entre 2 y 6 hectáreas, y esta área se reduce a 1 o 2 hectáreas durante la operación; el tamaño depende de la profundidad del pozo y el número de pozos que se perforaran en dicha área. Adicionalmente al área destinada para el pozo, se afecta entre 2 – 5 hectáreas para la construcción de caminos y servicios públicos para dar servicio a la plataforma de pozo (Olsen ,2016).

3.1.1.7 Disponibilidad de Servicios Básicos

Por lo general, los servicios básicos se encuentran instalados en la misma plataforma de perforación y están ubicados en un área denominada “campamento”.

El suministro de agua se lo realiza a través de cisternas o tuberías instaladas dependiendo la fuente de captación; en ambos casos se realiza un previo tratamiento antes de consumirla o en algunos casos se realiza la compra de agua potable mineralizada en botellas.

Para los servicios de sanitario se utilizan baños portátiles que descargan los residuos a un pozo séptico; los residuos son succionados de manera periódica por un camión cisterna.

La energía eléctrica se obtiene por medio de generadores eléctricos base diésel y la telecomunicación se realiza a través de radios portátiles.

⁴ Plan de Desarrollo Municipal (PDM).

3.1.1.8 Descripción de las Operaciones

Como ya se explicó anteriormente, el ciclo del agua del fracturamiento hidráulico está formado por 5 fases, las cuales se explican a mayor detalle a continuación:

➤ **Adquisición del Agua**

La adquisición de agua puede realizarse de diferentes maneras en las cuales la fuente de agua varía de acuerdo a su ubicación. Por tal motivo, se pueden identificar 3 escenarios para dicha adquisición:

- a) La fuente de agua se encuentra cerca al pozo de gas/petróleo.- Para captar este recurso se debe instalar una bomba de agua que esté conectada a un conjunto de tuberías que transportan el agua al pozo. La fuente puede ser un lago y/o río.
- b) La fuente de agua se encuentra lejos del pozo de gas/petróleo.- Se debe analizar si resulta económicamente factible instalar tubos como el caso anterior y si la topografía del terreno lo permite. Lo más adecuado es transportar el agua por medio de camiones cisterna para lo cual se requiere adecuar los caminos existentes hasta el pozo o en algunos casos abrir nuevos caminos.
- c) La fuente de agua se encuentra en el subsuelo.- Para su adquisición se tiene que perforar un pozo de agua. El depósito de agua puede ser somero o profundo, dependiendo la geología del lugar. Para realizar esta actividad se requiere maquinaria especializada, más aun si el nivel freático está a una profundidad considerable.

El agua utilizada para el fracturamiento hidráulico es generalmente agua fresca recolectada de las fuentes indicadas anteriormente y se llega a utilizar una elevada cantidad de agua en periodos de tiempo relativamente cortos. Las reservas de agua pueden variar dependiendo de la disponibilidad del agua local o regional; de las leyes, regulaciones y políticas; y prácticas de gestión del agua. De acuerdo a una simulación de fracturamiento hidráulico aplicada a un pozo en el chaco boliviano se estimó un consumo de agua de 10,000 m³.

El agua producida después de aplicar el fracturamiento hidráulico, y otras fuentes de baja calidad de agua también pueden ser utilizadas para la preparación de nuevos

fluidos fracturantes y de esa manera reducir la captación de agua superficial. Por lo general, la proporción de agua utilizada proveniente del agua producida después de aplicar el fracturamiento hidráulico es relativamente baja. Este porcentaje puede aumentar o disminuir dependiendo de la disponibilidad de pozos Clase 2, los cuales son comúnmente usados para inyectar el agua producida de pozos de gas y petróleo.

➤ **Mezcla Química**

Los fluidos de fracturamiento hidráulico son preparados para crear y hacer crecer las fracturas en la roca objetivo y al mismo tiempo transportar un agente apuntalante hacia los pozos de gas y petróleo dentro de las fracturas recién creadas. Los fluidos de fracturamiento hidráulico están generalmente compuestos por fluidos base, un agente apuntalante y varios aditivos químicos; los fluidos base conforman en gran proporción en volumen al fluido fracturante.

Los fluidos base pueden ser una sola sustancia (agua) o una combinación de sustancias (agua y nitrógeno por ejemplo); el agua es el fluido que más se usa como fluido base (EPA, 2015). El agente apuntalante conforma el segundo mayor componente en el fluido fracturante; la arena (cuarzo) es el agente apuntalante que más se utiliza ya que un 98% de pozos en Estados Unidos lo reportan como agente apuntalante (EPA, 2015). Entre otros agentes apuntalantes se incluyen a aquellos fabricados por el hombre o partículas especialmente diseñadas como ser: materiales cerámicos de alta resistencia o bauxita sinterizada⁵. Los aditivos químicos forman la porción más pequeña en la composición del fluido fracturante, sin embargo, en comparación con el agente apuntalante y el fluido base conllevan un gran potencial para impactar en la salud y en la calidad de las reservas de agua superficial y/o subterránea. Estos aditivos son agregados al fluido base para cambiar sus propiedades, como ser: ajustar el pH, incrementar el espesor del fluido o limitar el crecimiento bacteriano. La selección de qué tipo de aditivos usar depende de las características de la roca objetivo a fracturar (tipo de roca, temperatura y presión), de la

⁵ La bauxita sinterizada es una bauxita triturada y en polvo que es fusionada en perlas esféricas a altas temperaturas. La bauxita es una roca blanda formada principalmente por hidróxido de aluminio, muy abundante en la naturaleza.

economía y disponibilidad de los aditivos, y del operador de pozo o las preferencias y experiencia de la compañía de servicio.

La sustancia química que predomina en los aditivos químicos, la cual se utilizan para la preparación del fluido fracturante, es el reductor de fricción. La adición de estos químicos permite a los fluidos fracturantes y arena, u otro material solido considerado como agente apuntalante, a ser bombeados a la roca objetivo a elevados caudales y presiones como si solo el agua estuviera siendo bombeado.

En adición a los reductores de fricción se incluyen otros químicos, como ser:

- ✓ Biocidas para prevenir el crecimiento de microorganismos y reducir la bioincrustación de las fracturas.
- ✓ Eliminadores de oxígeno y otros estabilizadores para prevenir la corrosión de las tuberías de metal.
- ✓ Ácidos utilizados para remover el daño provocado por el lodo de perforación dentro el pozo.

➤ **Inyección al Pozo**

Durante la fase de inyección de fluidos fracturantes los fluidos se mueven a través de dos medios: el pozo de gas/petróleo y la red de fracturas que se crearon. Los pozos de gas y petróleo están diseñados y construidos para transportar fluidos hacia y desde la formación objetivo sin que existan fugas y al mismo tiempo prevenir el escape de estos fluidos fuera del pozo. Este aislamiento se consigue al bajar al interior del pozo varios tubos de revestimiento para luego cementarlos a profundidades equivalentes a las formaciones con contenido de petróleo, gas y/o agua.

El fracturamiento hidráulico es la actividad que más cambios provoca durante la vida de un pozo debido a que es sometido a elevadas presiones y temperaturas. A medida que el fluido fracturante ingresa al pozo, la presión aplicada al interior del pozo llega a alcanzar la presión de fractura de la roca objetivo. Según reportes, los valores máximos de presión aplicada a los pozos durante el fracturamiento hidráulico llegaron a variar entre 2,000 libras por pulgada cuadrada (psi, por sus siglas en ingles) y 12,000 libras

por pulgada cuadrada. Un pozo también puede experimentar cambios en la temperatura debido a la diferencia de temperaturas entre el fluido fracturante el cual es frío y la temperatura en fondo de pozo la cual es caliente; en algunos casos las temperaturas registradas llegaron a disminuir de 100°C a 18°C. Un pozo puede llegar a experimentar múltiples ciclos de cambio de presión y temperatura si es que el fracturamiento hidráulico está diseñado en múltiples etapas o si un pozo es re-fracturado⁶. Los tubos de revestimiento, el cemento y otros componentes del pozo necesitan estar en buen estado para resistir los cambios de presión y temperatura de manera que los fluidos de fracturamiento hidráulico puedan fluir hasta la roca objetivo sin que existan fugas en su recorrido.

El crecimiento de las fracturas durante el fracturamiento hidráulico depende tanto de las características de la roca objetivo como de la operación del fracturamiento hidráulico; este crecimiento puede ser controlado con el caudal y volumen con que se inyecta al pozo el fluido fracturante. La dirección del crecimiento de fracturas generalmente varía con la profundidad, el cual varía de un orden de decenas a centenas de pies en las formaciones de lutitas que son la roca objetivo (Fisher, Warpinski y Davies, 2012). Antiguamente se consideraba que las fracturas crecían de manera homogénea a un mismo ritmo con tamaño y forma idéntica en cualquier punto, actualmente se sabe que el crecimiento de las fracturas es complicado e implica muchas más consideraciones. El 1% de las fracturas tienen una altura mayor a 350 metros y la mayor altura reportada fue de 588 metros. Estos reportes sugieren que algunas fracturas pueden desarrollarse más allá de la roca objetivo e invadir dentro de las formaciones que la suprayacen (EPA, 2016).

➤ **Recepción del Flujo de Retorno (flowback)**

Después de la inyección del fluido fracturante al pozo, se despresuriza el pozo lo que provoca el flujo de fluidos hacia el pozo y posteriormente hasta la superficie. El fluido que inicialmente retorna a superficie después del fracturamiento hidráulico es mayormente fluido fracturante el cual se denomina “flowback” (fluido de retorno). El

⁶ En operaciones de fracturamiento hidráulico por etapas, algunas partes del pozo son aisladas y luego fracturadas hidráulicamente hasta que se fracture hidráulicamente la longitud total deseada.

porcentaje del fluido inyectado a pozo, el cual retorna a superficie, es altamente variable y depende principalmente de las características del reservorio; este porcentaje de retorno varía entre 15 – 80% del volumen inyectado a pozo (Rahm, 2011).

A medida que pasa el tiempo, el fluido que retorna a superficie contiene menos agua y grandes cantidades de petróleo y/o gas los cuales son separados y almacenados. El agua que retorna a superficie durante la producción de gas y petróleo es similar, en composición, al fluido que se encuentra naturalmente en la roca objetivo; esta agua se denomina “agua producida”. Este término es usado para referirse a cualquier agua, incluido el fluido de retorno, que retorna a superficie a través del pozo de producción como un subproducto de la producción de gas y petróleo.

El agua producida puede tener muchos constituyentes dependiendo de la composición del fluido fracturante inyectado a pozo y el tipo de roca que se fracturo hidráulicamente. De manera general, se pueden encontrar los siguientes componentes en el agua producida:

- Sales, incluidas aquellas compuestas por cloruros, bromuros, sulfatos, sodio, magnesio y calcio.
- Metales, incluidos el bario, manganeso, hierro y estroncio.
- Compuestos orgánicos de origen natural, incluidos el benceno, tolueno, etilbenceno, xileno (BTEX) así como también petróleo y grasa.
- Materiales radioactivos, incluido el Radio.
- Químicos del fracturamiento hidráulico y sus productos de transformación.

La cantidad de estos constituyentes en el agua producida varía de acuerdo a la región y las diferentes rocas objetivo. El agua producida de las formaciones de lutitas (shale gas) y areniscas o calizas (tight gas) es generalmente más salada en comparación con el agua producida de formaciones carboníferas (coalbed methane). Por ejemplo, la salinidad de las aguas producidas en un pozo de shale gas varía entre 1,500 – 300,000 miligramos de sólidos totales disueltos por litro (mg/L), mientras que el agua producida en reservorios carboníferos de gas varían entre 170 mg/L y 43000 mg/L⁷. Las

⁷ Para comparación, la salinidad promedio en el agua de mar es aproximadamente 35000 mg/L.

formaciones de lutitas y areniscas contienen generalmente materiales radioactivos incluidos el uranio, torio y radio, razón por la cual se han detectado materiales radioactivos en las aguas producidas de estas formaciones.

El volumen de agua producida por día en un pozo disminuye con el tiempo, por lo cual el volumen recolectado en superficie inmediatamente después del fracturamiento hidráulico es mayor en comparación cuando el pozo ya empieza producir petróleo y/o gas.

El agua producida fluye del pozo hacia los tanques o estanques de recolección por medio de una serie de tuberías o líneas de flujo antes de ser transportados a otros lugares para su gestión.

➤ **Gestión del Flujo de Retorno**

Generalmente, el agua producida en los pozos de fracturamiento hidráulico se gestiona mediante: inyección en pozos de Clase II, reutilización en otras operaciones de fracturamiento hidráulico o varias técnicas de eliminación en superficie. El flujo de retorno en los pozos de fracturamiento hidráulico, la cual es gestionada en superficie, se denomina “aguas residuales”. La gestión de las aguas residuales llega a ser afectada por el costo y otros factores, como ser: la disponibilidad local de métodos de eliminación, la calidad del agua residual, el volumen, la duración del método, el caudal de flujo de las aguas residuales en superficie, las regulaciones locales y gubernamentales y por último, de las preferencias de los operadores de pozo.

La eliminación de aguas residuales del fracturamiento hidráulico en pozos de Clase II resulta rentable, especialmente cuando el pozo de Clase II está ubicado dentro de una distancia razonable desde el pozo de fracturamiento hidráulico. Estos pozos generalmente se perforan en formaciones salinas profundas y están hechos específicamente para almacenar aguas residuales. Antes de inyectar dichas aguas se requiere realizar un tratamiento a dicho fluido para reducir la concentración de algunos componentes químicos.

Los estanques de evaporación y los pozos de percolación han sido utilizados por varios años en la industria del gas y petróleo para gestionar las aguas residuales y por ende también se ha utilizado en los pozos de fracturamiento hidráulico.

Por lo general, las prácticas de eliminación en superficie (tratamientos a nivel superficial y tanques de evaporación o riego) descargan el agua tratada o incluso, bajo ciertas condiciones, aguas residuales sin previo tratamiento directamente a las aguas superficiales y/o suelo. Si se descargan en superficie pueden desplazarse a través del suelo hacia las reservas de aguas subterráneas.

La descarga de aguas residuales tratadas sobre las aguas superficiales contribuye a elevar los niveles de sólidos totales disueltos (particularmente bromuros) ya que algunos tratamientos de aguas residuales no son capaces de removerlos adecuadamente; estos sólidos se encuentran en las aguas residuales del fracturamiento hidráulico. Otros constituyentes de las aguas residuales de fracturamiento hidráulico como el bario, estroncio y radio han sido encontrados en aguas superficiales debido a su contaminación con aguas residuales; el radio es el constituyente más abundante que se encontró en aguas superficiales (Departamento de Protección Ambiental de Pensilvania, 2016).

La reutilización de estas aguas residuales es otra alternativa para su gestión; su aplicación depende del lugar y de los operadores del Pozo. Cada unidad de tratamiento procesa el agua que sale de pozo, la trata y luego la descarga a la siguiente unidad de tratamiento. Las unidades de tratamiento de agua generan varios residuos.

Dependiendo del diseño de ingeniería para el programa de manejo del agua, se pueden tener varios tipos y tamaños de tanques de compensación y/o embalses que reciben y descargan el agua para apoyar en las operaciones y logísticas in situ de las unidades de tratamiento. El tratamiento de las aguas residuales de pozos de fracturamiento hidráulico es diferente al tratamiento de las aguas residuales asociadas a las refinerías y plantas petroquímicas; la principal diferencia es el que las refinerías y plantas petroquímicas tratan aguas residuales con pequeñas variaciones referentes al caudal y contaminantes, aspecto que no se presenta en las aguas residuales del

fracturamiento hidráulico. Una vez que las bases del diseño y el caudal están establecidos se puede estimar fácilmente el costo de tratamiento por volumen (por ejemplo, dólares/galón).

Por lo tanto, el tratamiento de las aguas residuales involucra a muchos aspectos, como ser: definir la naturaleza de las corrientes de agua que ingresan al tratamiento, evaluar y seleccionar la apropiada tecnología de tratamiento, definir los puntos de descarga del agua tratada, dar conformidad a las regulaciones ambientales y realizar una evaluación económica.

3.1.2 Etapas y Componentes

Los impactos ambientales se pueden generar en cualquier etapa del ciclo de vida del agua en el fracturamiento hidráulico, por lo que su caracterización debe cubrir cada una de estas etapas. Para tal efecto, es conveniente disgregar cada etapa en componentes o partes del mismo con características similares como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 3.2

Etapas y Componentes en el Ciclo de Vida del Agua en el Fracking

Etapa	Componentes
Adquisición de Agua	Camiones Cisterna
	Agua Superficial
	Agua Subterránea
	Carreteras
	Bombas de Agua
	Tuberías y Conexiones
	Pozos de Agua

Etapa	Componentes
Mezcla Química	Mezcladores
	Camión Transportador de Agua
	Cintas transportadoras
	Bombas Dosificadoras
	Camión transportador de Acido
	Tanques de Agua
	Unidades de Almacenaje de Arena
	Camión Transportador y Almacenador de Aditivos Químicos
	Unidad de Control
	Tanques de Almacenamiento de Fluidos
Inyección al Pozo	Bombas de Alta Presión y Volumen
	Agua dulce
	Acido
	Fluido Fracturante
	Manifold Principal con sus conexiones
	Cabezal de Pozo para Fracturamiento
	Controlador de Presión y Caudal
	Tuberías de Revestimiento
	Lechada de Cemento
	Roca Objetivo
Recepción de Agua Residual	Red de Fracturas
	Tanques de Almacenamiento
	Estanques Revestidos
	Sales y Metales Pesados
	Agua Connata
	Compuestos Orgánicos
	Materiales Radioactivos
	Químicos del Fluido Fracturante

Etapa	Componentes
Gestión del Agua Residual	Camiones y/o Cisternas
	Bombas de Agua
	Pozos Clase II
	Unidad de Tratamiento
	Estanques de Evaporación
	Pozos de Percolación
	Unidad de Control de Calidad
	Suelo
	Cuerpos de Agua Superficial y Subterránea

Fuente: Elaboración Propia (2020)

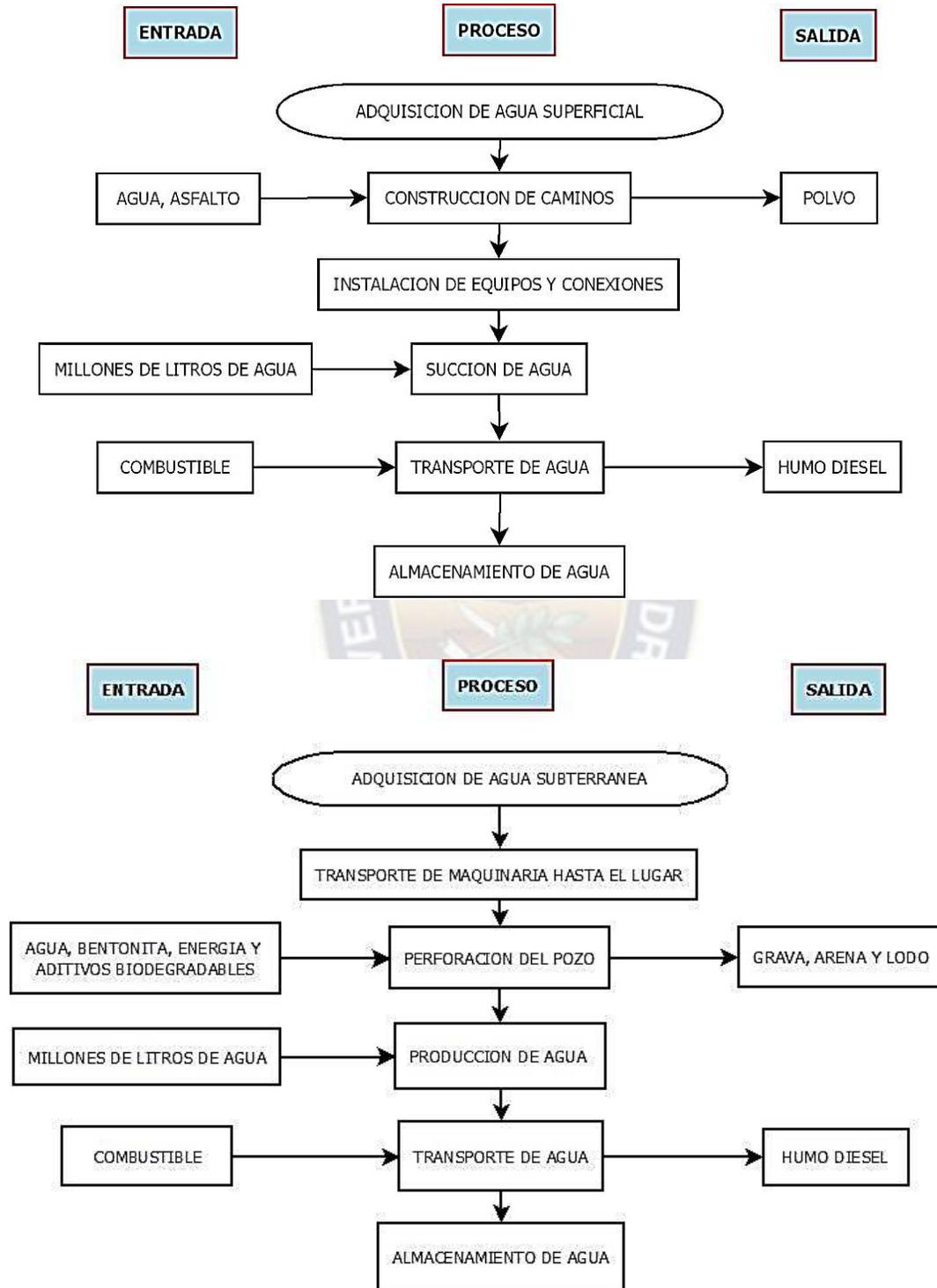
3.1.3 Acciones Susceptibles de Producir Impacto (ASPI)

Para la identificación de las ASPI se utilizarán diagramas que son similares a los de flujo de procesos o los balances de entrada y salida, los cuales van mostrando en forma secuencial y sistemática el ciclo de vida del agua en cada fase del fracturamiento hidráulico. Este paso permite identificar fácilmente aquellos puntos donde se presentan actividades que se pueden relacionar con el ambiente. La adquisición de agua se puede obtener de dos fuentes como se detalla en el diagrama 3.1.

La mezcla química involucra el manejo de varias sustancias químicas que son peligrosas tanto para el medio ambiente como para la salud humana y animal. Generalmente, todos los insumos necesarios para la preparación del fluido fracturante, a excepción del agua, se conservan y almacenan en la misma carrocería y/o contenedores en que fueron transportados. El diagrama 3.2 muestra el proceso de esta actividad.

Diagrama 3.1

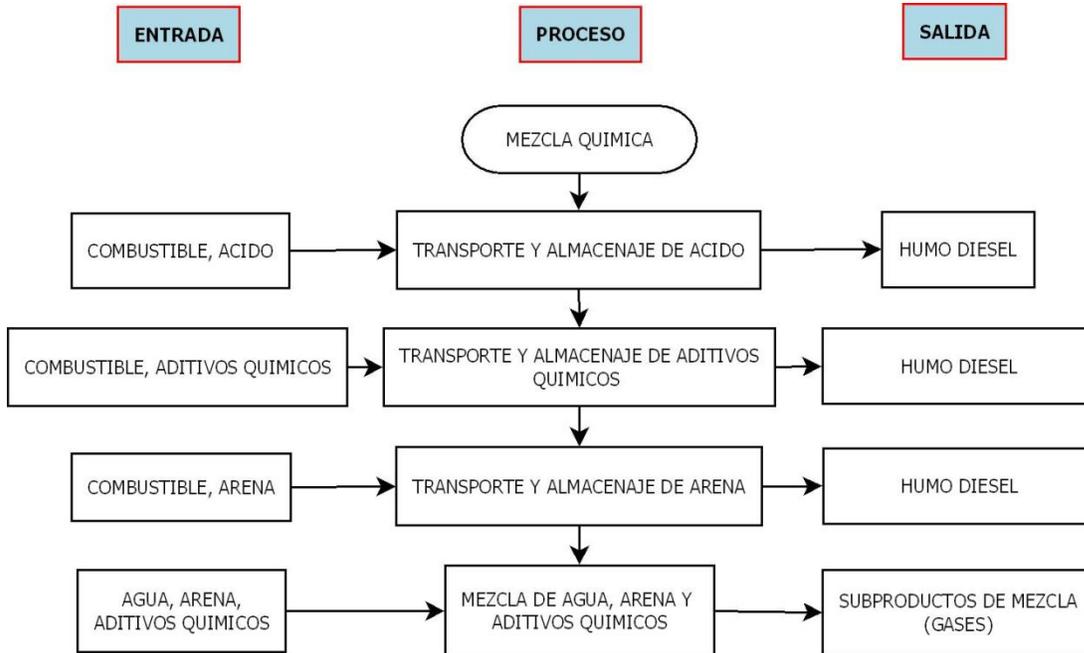
Proceso de Adquisición de Agua



Fuente: Elaboración Propia (2020)

Diagrama 3.2

Proceso de Mezcla Química

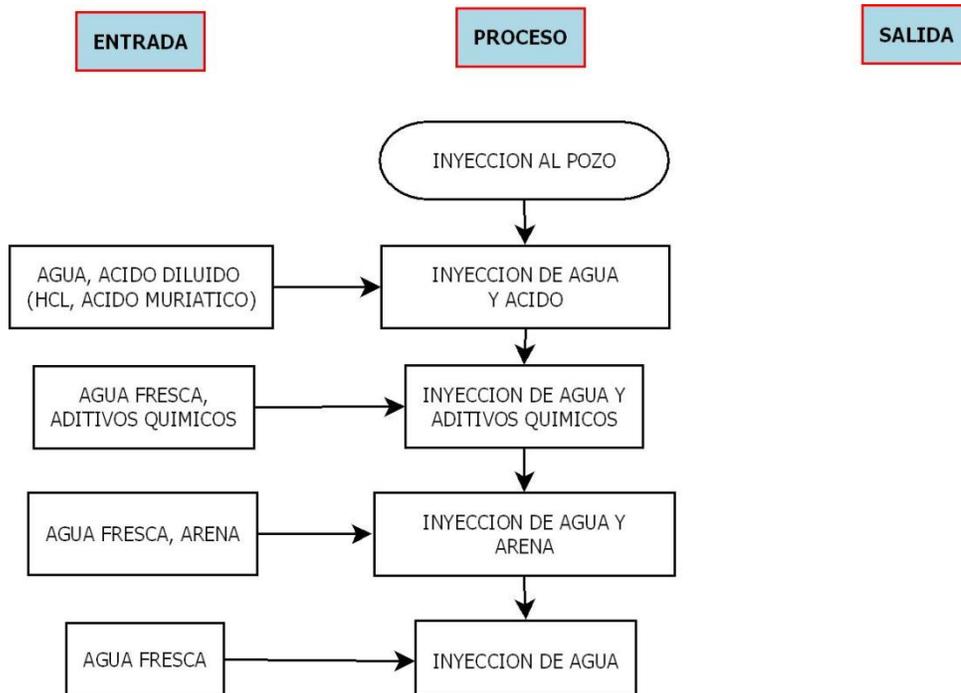


Fuente: Elaboración Propia (2020)

Durante la fase de inyección, la construcción y estabilidad del pozo son muy importantes para evitar fugas o escapes del fluido durante su viaje hasta fondo de pozo y posteriormente hasta la formación objetivo. La inyección del fluido fracturante se realiza en distintas fases como se muestra en el diagrama 3.3.

Diagrama 3.3

Proceso de Inyección al Pozo

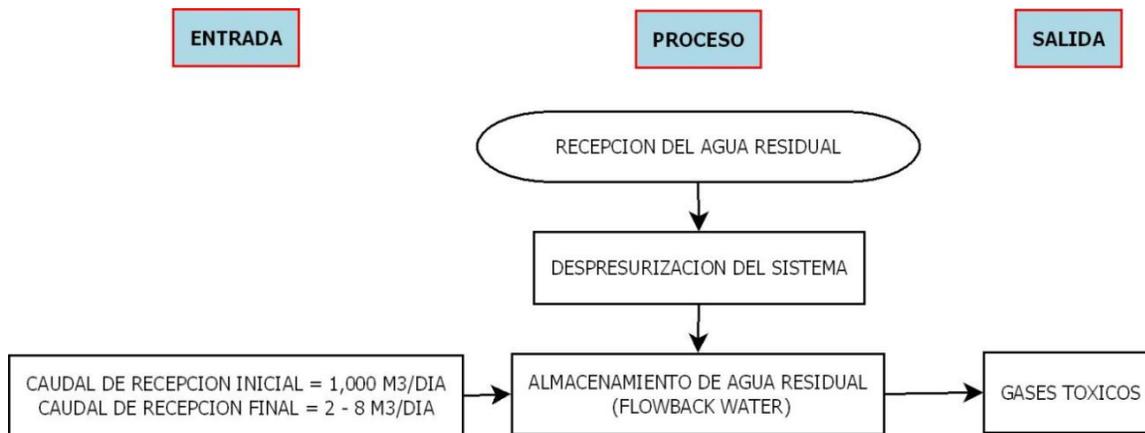


Fuente: Elaboración Propia (2020)

Durante la recepción de agua residual, los operadores de pozo deben almacenar y disponer grandes volúmenes de esta agua en superficie. Al inicio, el agua residual contiene químicos del fluido fracturante los cuales van desapareciendo o disminuyendo con el tiempo. El diagrama 3.4 muestra el proceso de esta actividad.

Diagrama 3.4

Proceso de Recepción de Agua Residual

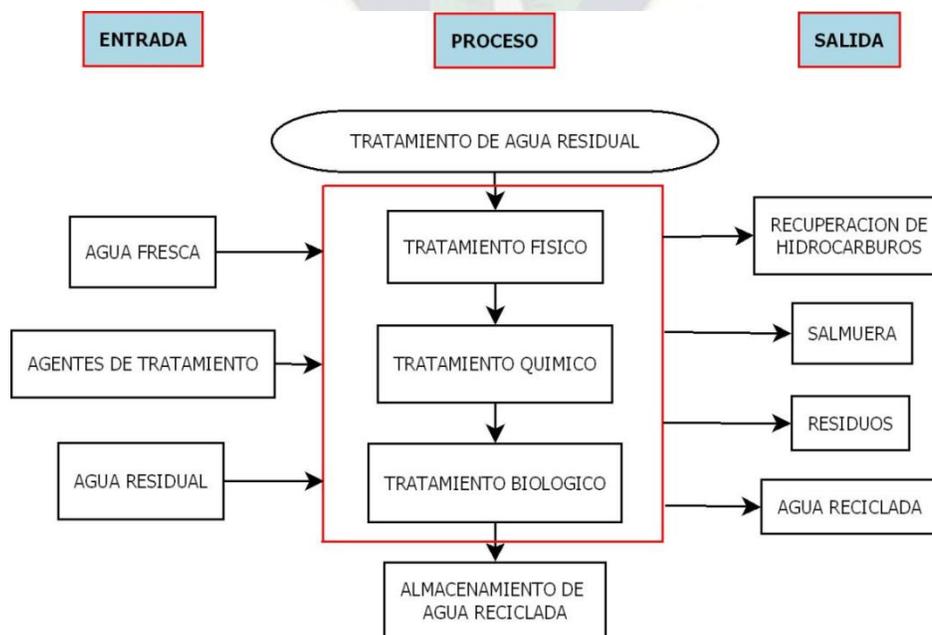


Fuente: Elaboración Propia (2020)

Para la reincorporación de las aguas residuales al medio ambiente se contemplan las siguientes actividades: tratamiento para su reciclaje, inyección a pozos de eliminación (pozos Clase II) y descarga al suelo con previo tratamiento. Los siguientes diagramas muestran los procesos para cada actividad mencionada anteriormente.

Diagrama 3.5

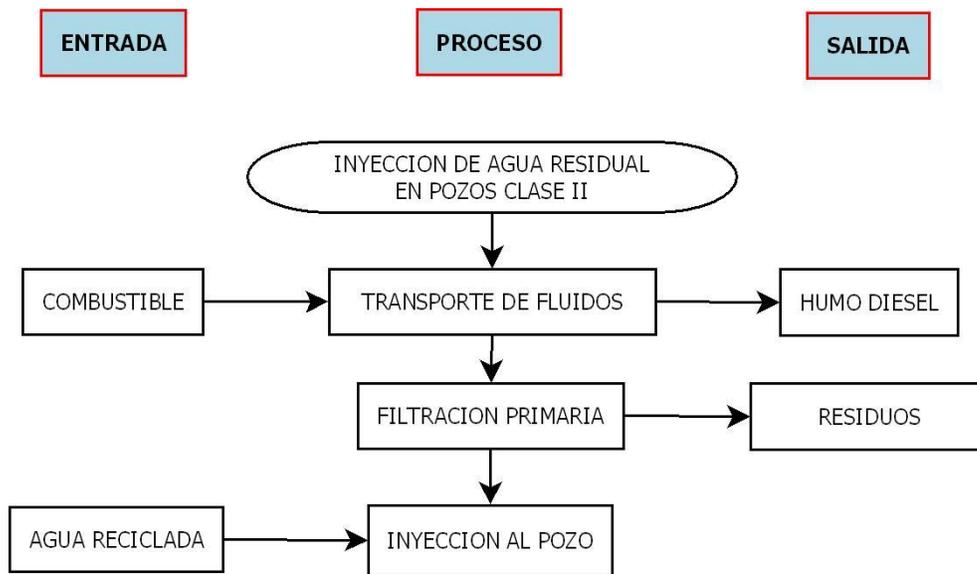
Proceso de Tratamiento de Agua Residual



Fuente: Elaboración Propia (2020)

Diagrama 3.6

Proceso de Inyección a Pozos Clase II



Fuente: Elaboración Propia (2020)

Diagrama 3.7

Proceso de Descarga de Agua Residual al Suelo



Fuente: Elaboración Propia (2020)

3.1.4 Aspectos Ambientales

Luego de haberse identificado las ASPI, se procede a determinar él o los aspectos ambientales que se pueden desprender de los mismos, los cuales, además de permitir ver más claramente la relación con el ambiente, son una manera de verificar si la actividad analizada es realmente un ASPI, porque si es imposible determinarle un aspecto ambiental es porque no tiene relación con el ambiente y por lo tanto se debe descartar pues es incapaz de generar impacto ambiental.

Tabla 3.3

Identificación de los Aspectos Ambientales

Etapa	ASPI	Aspecto Ambiental
Adquisición de Agua Superficial	Construcción de Caminos	<ul style="list-style-type: none"> - Genera polvo, ruido. - Genera movimiento de tierra y tala de árboles. - Afecta la flora y fauna del lugar. - Invade áreas protegidas.
	Succión de Agua	<ul style="list-style-type: none"> - Genera Ruido. - Disminución de la disponibilidad de agua. - Afecta a los habitantes y animales del lugar. - Disminuye la cría de bovinos.
	Transporte de Agua	<ul style="list-style-type: none"> - Genera tráfico vehicular. - Afecta a la fauna silvestre y doméstica. - Genera contaminación atmosférica.
Adquisición de Agua Subterránea	Producción de Agua	<ul style="list-style-type: none"> - Afecta la recarga de lagunas naturales.
	Transporte de Agua	<ul style="list-style-type: none"> - Genera tráfico vehicular. - Afecta a la fauna silvestre y doméstica. - Genera contaminación atmosférica.

Etapa	ASPI	Aspecto Ambiental
Mezcla Química	Transporte y Almacenaje de Acido	<ul style="list-style-type: none"> - Genera contaminación del suelo. - Genera contaminación de aguas superficiales. - Afecta la flora y fauna. - Genera emisión de gases tóxicos a la atmosfera. - Genera tráfico vehicular. - Afecta la salud de los trabajadores.
	Transporte y Almacenaje de Aditivos Químicos	
	Transporte y Almacenaje de Arena	
	Mezcla de Agua, Arena y Aditivos Químicos	
Inyección al Pozo	Inyección de Agua y Acido	<ul style="list-style-type: none"> - Genera contaminación del suelo. - Genera contaminación de las aguas subterráneas. - Genera Sismos. - Afecta la Salud de los habitantes y animales del lugar. - Reduce o elimina la cría de ganados. - Pone en riesgo la diversidad de flora.
	Inyección de Agua y Aditivos Químicos	
	Inyección de Agua y Arena	
	Inyección de Agua	
Recepción de Agua Residual	Almacenamiento del Agua Residual	<ul style="list-style-type: none"> - Genera emisión de gases tóxicos. - Afecta el suelo, flora y fauna. - Contamina las aguas subterráneas.
Tratamiento de Agua Residual	Tratamiento Físico	<ul style="list-style-type: none"> - Disminuye el uso de agua superficial y/o subterránea.
	Tratamiento Químico	
	Tratamiento Biológico	

Etapa	ASPI	Aspecto Ambiental
Inyección de Agua Residual en Pozos de Clase II	Transporte de Agua Residual	<ul style="list-style-type: none"> - Genera tráfico vehicular. - Genera contaminación atmosférica. - Afecta la flora. - Afecta la fauna silvestre y doméstica. - Afecta el suelo y agua superficial.
	Filtración Primaria (Tratamiento Físico)	<ul style="list-style-type: none"> - Genera estabilidad en el Pozo Clase II.
	Inyección al Pozo Clase II	<ul style="list-style-type: none"> - Afecta Aguas Subterráneas. - Afecta el Suelo. - Afecta Aguas Superficiales.
Descarga de Agua Residual al Suelo	Almacenamiento en Tanques	<ul style="list-style-type: none"> - Genera emisión de gases tóxicos a la atmosfera. - Afecta el suelo. - Contamina las aguas subterráneas.
	Eliminación de Sustancias Tóxicas	<ul style="list-style-type: none"> - Conserva las propiedades físico-químicas del suelo, agua superficial y subterránea.
	Descarga al Suelo	<ul style="list-style-type: none"> - Afecta el Suelo y cuerpos de agua superficial. - Afecta aguas subterráneas. - Afecta la flora y fauna. - Afecta la salud de los habitantes y animales del lugar.

Fuente: Elaboración Propia (2020)

3.1.5 Descripción de las ASPI

Es importante tener en cuenta que cada una de las ASPI debe ser descrita con todo detalle para que facilite su interpretación, evite confusiones con otras posibles acciones y suministre la información necesaria para las siguientes etapas de la EIA.

Tabla 3.4

Descripción de las ASPI

Etapas	ASPI	Descripción
Adquisición de Agua Superficial	Construcción de Caminos	En caso de no existir, se realizara la apertura de nuevos caminos desde el punto de captación de agua hasta la ubicación del pozo de gas. Posteriormente se nivelara y compactara el camino de tierra y finalmente, si es necesario, se realizara el asfaltado.
	Succión de Agua	Se succionaran entre 10,000,000 – 15,000,000 litros de agua. Algunos de los cuerpos de agua superficial en Machareti son: Rio Machareti, Quebrada Tigüipa, Rio Camatindi, Laguna Caigua y Rio Tairaiti.
	Transporte de Agua	El agua se transporta en camiones cisterna. Cada camión puede transportar 15,000 litros de agua por viaje, por lo cual, se requerirán entre 667 – 1,000 viajes para transportar toda el agua succionada.
Adquisición de Agua de Pozo	Producción de Agua	Se producirán alrededor de 10,000,000 – 15,000,000 litros de agua a un caudal promedio de 1 litro por segundo. Este volumen puede disminuir con la adquisición de agua en superficie.
	Transporte de Agua	El agua se transporta en camiones cisterna. Cada camión puede transportar 15,000 litros de agua, por lo cual se requerirán entre 667 – 1,000 viajes para transportar toda el agua producida.

Etapa	ASPI	Descripción
Mezcla Química	Recepción de Acido	El ácido generalmente es almacenado en el mismo contenedor en que se lo transporto. Un camión puede transportar hasta 19,000 litros y puede tener diferentes compartimientos para almacenar distintos tipos de ácidos.
	Recepción de Aditivos Químicos	Los aditivos químicos generalmente se almacenan en los mismos camiones en que fueron transportados. Estos camiones están equipados con bombas de alimentación para suministrar los aditivos directamente al mezclador. En algunas ocasiones los contenedores de aditivos químicos en estado líquido (760 – 1,420 litros) se descargan para ser almacenados en otro lugar antes de usarlos; los contenedores son de polietileno reforzado con una malla de acero o aluminio. Los aditivos químicos en estado sólido se transportan y almacenan en camiones de plataforma en bolsas de 23 – 25 kg los cuales son apilados en pallets que pueden contener hasta 40 bolsas.
	Recepción de Arena	La arena es almacenada en el sitio en grandes tanques o contenedores con capacidades desde 150,000 kg hasta 200,000 kg.
	Mezcla de Agua y Arena	El proceso de mezclado es monitoreado para mantener una mezcla uniforme independientemente del caudal y volumen de inyección.
	Mezcla con Aditivos Químicos	El mezclador es el encargado de realizar esta operación. Consiste en una bomba de succión centrifuga para el agua, bombas de alimentación para los aditivos químicos, varios proporcionadores para medir y alimentar arena y por último, un tanque de agitación central en donde se realiza la mezcla final.

Etapa	ASPI	Descripción
Inyección al Pozo	Inyección de Agua y Acido	Los fluidos son bombeados desde el mezclador hacia el manifold por medio de las mangueras de baja presión, para luego distribuirlo hacia las bombas de alta presión. El fluido es presurizado a través de las líneas de alta presión y enviado hacia el cabezal de inyección el cual puede soportar grandes volúmenes de fluidos presurizados para ser inyectados al pozo y finalmente hasta la roca objetivo. La presión y caudal de bombeo en superficie es alrededor de 20,000 psi y 200 bbl/min, respectivamente.
	Inyección de Agua y Aditivos Químicos	
	Inyección de Agua y Arena	
	Inyección de Agua	
Recepción de Agua Producida (Agua Residual)	Almacenamiento de Agua Residual	<p>El porcentaje que retorna a superficie varía entre 15 – 70% del volumen inyectado. Entonces, se tendrá en superficie entre 1,950,000 – 9,100,000 litros a un caudal inicial de 1,000 m³/día durante los primeros días hasta un caudal final de 2 – 8 m³/día.</p> <p>Las aguas residuales tienen un alto contenido de sólidos totales disueltos (STD), es decir, son portadoras, no solo de los productos químicos utilizados inicialmente, sino también de: metales pesados (mercurio, plomo, entre otros), elementos radiactivos (radón, radio o uranio, entre otros), iones (calcio, potasio y carbonatos), agua de la formación y subproductos de reacción gracias a la interacción química del fluido fracturante con los fluidos de la formación.</p>

Etapa	ASPI	Descripción
Tratamiento de Agua Residual	Tratamiento Físico	<p>Consiste en la remoción de partículas disueltas del agua residual. Los procesos más utilizados son: filtración primaria, nano filtración, centrifugado, destilación, compresión mecánica a vapor, destilación térmica, destilación de membrana y cámaras de sedimentación. Los sistemas de osmosis inversa y electrodiálisis pueden remover con mayor facilidad los sólidos totales disueltos y cloruros.</p>
	Tratamiento Químico	<p>Diferentes procesos de tratamiento químico pueden aplicarse dependiendo de las características de entrada y salida del agua residual. Entre estos procesos podemos mencionar: coagulación química, electrocoagulación, electro-floculación, filtración con carbón activado, intercambio iónico, ozonificación, esterilización con luz ultravioleta, entre otros.</p>
	Tratamiento Biológico	<p>Se limita a la reducción de constituyentes hidrocarbúricos y por lo general se remueven las sustancias inorgánicas. Existe un buen rendimiento en condiciones estáticas, sin embargo, algunos contaminantes pueden destruir o limitar el proceso de degradación biológica.</p>

Etapa	ASPI	Descripción
Inyección de Agua Residual en Pozos de Clase II	Transporte de Fluidos	Se transporta las aguas residuales que no se reciclaran hasta los pozos de Clase II. Un camión cisterna grande puede transportar hasta 22,500 litros en cada viaje, lo que implicaría que tendría que realizar entre 87 – 405 viajes, solamente de ida, para transportar toda el agua residual producida en pozo.
	Filtración Primaria (tratamiento físico)	Permite la filtración de sólidos mayores a 3 mm. La filtración de estos sólidos permitirá proteger los equipos utilizados en procesos posteriores (ejemplo bombeo) y también permitirá ecualizar el agua residual sin que se produzca sedimentación en dicha operación. Dependiendo de la aplicación y caudal se pueden utilizar diferentes tipos de filtros. Este tratamiento previene o reduce la contaminación de la formación geológica o del mismo pozo de clase II.
	Inyección al Pozo Clase II	El agua residual se inyecta a elevadas presiones dentro la formación geológica que está ubicada miles de metros bajo la superficie. La formación geológica tiene una elevada porosidad y la permeabilidad de sus paredes es casi nula.

Etapa	ASPI	Descripción
Descarga de Agua Residual en el Suelo	Almacenamiento en Tanques de Evaporación	El agua residual es almacenada en el mismo lugar del pozo. El lugar de almacenamiento está cubierto con una capa impermeable (por ejemplo, una geo membrana) para evitar la filtración al suelo.
	Eliminación de Sustancias Tóxicas	Se realiza la eliminación de metales tóxicos dejando un remanente salino que podría ser gestionado a través de la descarga del agua residual al suelo.
	Descarga al Suelo	Una vez realizado el pre-tratamiento al agua residual se procede a su descarga en el suelo siempre y cuando se tenga un valor aceptable de sólidos totales disueltos (TDS) de acuerdo a la flora y fauna del lugar.

Fuente: Elaboración Propia (2020)

3.2 Caracterización del Ambiente (Municipio Machareti)

La caracterización del ambiente es el segundo elemento de la EIA y es fundamental para el análisis de los impactos ambientales resultantes de la aplicación del fracturamiento hidráulico; se debe presentar en detalle las características y condiciones ambientales que mejor representan dichas afectaciones. Cabe aclarar que la caracterización del ambiente no tiene como propósito elaborar un inventario exhaustivo de todas las condiciones ambientales del área donde se localiza el proyecto, al contrario, debe incluir sólo los componentes y recursos que pueden ser afectados, excluyendo aquellos que no tienen ninguna relación con el mismo y por lo tanto no tienen aplicabilidad en la EIA ya que no están siendo alterados por las actividades del fracturamiento hidráulico.

Matriz 3.1

Componentes Ambientales Afectados por el Fracturamiento Hidraulico

COMPONENTES Y ACCIONES DEL FRACKING		COMPONENTES DEL AMBIENTE	FISICO						BIOTICO			SOCIAL				
			Clima	Geología	Geomorfología	Suelo	Agua	Aire	Paisaje	Vegetación Terrestre	Fauna Terrestre	Biota Acuática	Demográfico	Económico	Cultural	Político
ADQUISICION DE AGUA SUPERFICIAL	Construcción de Caminos		X			X	X				X	X			X	
	Succión de Agua						X					X	X	X		
	Transporte de Agua	X						X			X					
ADQUISICION DE AGUA SUBTERRANEA	Producción de Agua					X							X	X		
	Transporte de Agua	X						X			X					
MEZCLA QUIMICA	Transporte y Almacenaje de Acido	X				X	X	X		X	X		X			
	Transporte y Almacenaje de Aditivos Químicos	X				X	X	X		X	X		X			
	Transporte y Almacenaje de Arena							X		X	X					
	Mezcla de Agua, Arena y Aditivos Químicos	X				X	X	X		X						
INYECCION AL POZO	Inyección de Agua y Acido		X			X	X			X	X		X	X		
	Inyección de Agua y Aditivos Químicos		X			X	X			X	X		X	X		
	Inyección de Agua y Arena		X			X	X			X	X		X	X		
	Inyección de Agua		X			X	X			X	X		X	X		
RECEPCION DE AGUA RESIDUAL	Almacenamiento de Agua Residual	X				X	X	X		X						
TRATAMIENTO PARA RECICLAJE DE AGUA RESIDUAL	Tratamiento Físico					X	X									
	Tratamiento Químico					X	X									
	Tratamiento Biológico					X	X									
GESTION DE AGUA RESIDUAL EN POZOS CLASE II	Transporte de Agua Residual	X				X	X	X		X	X		X			
	Filtración Primaria (tratamiento Físico)		X				X									
	Inyección al Pozo Clase II					X	X									
GESTION DE AGUA RESIDUAL EN EL SUELO	Almacenamiento en Tanques de Evaporación	X				X	X	X		X			X			
	Eliminación de Sustancias Tóxicas					X	X									
	Descarga al Suelo	X				X	X	X		X	X		X	X		

Fuente: Elaboración Propia (2020)

3.2.1 Componentes Ambientales

El primer paso es determinar los componentes ambientales que pueden ser afectados por el fracturamiento hidráulico a través de un barrido sistemático de las acciones del proyecto susceptibles de producir impacto.

Como se explicó en un principio, se maneja un concepto integral del ambiente en donde se consideran de manera indisoluble lo natural y lo social y por lo tanto para efectos de la EIA se deben considerar siempre estos dos medios. Sin embargo, para efectos de manejo de la información y dado que el ambiente es muy amplio y complejo, se requiere desagregarlo en partes que puedan ser más fácilmente manejables por lo que se propone un tipo de clasificación de los varios que existen. Esta clasificación divide el ambiente en medios, componentes y factores, tal como se puede ver en la matriz 3.1 y en las tablas a continuación.

3.2.2 Factores Ambientales Representativos del Impacto (FARI)

Desde el punto de vista de la EIA, la caracterización del ambiente se debe enfocar en aquellos atributos (Municipio de Machareti) que pueden resultar mayormente afectados por las distintas acciones del proyecto (las ASPI) en cada una de sus fases. Estos atributos se denominan “Factores Ambientales Representativos del Impacto (FARI)”.

Luego de tener identificados los componentes del ambiente afectados, se procede a determinar dentro de cada uno de ellos los FARI.

3.2.2.1 Clima

El Municipio de Machareti se sitúa en la región subtropical boliviana y tiene un clima cálido. Según la clasificación de Thornthwaite⁸ los tipos climáticos son: semiárido seco, sub húmedo – seco, sub húmedo – húmedo y árido.

La precipitación pluvial en la región va de moderada a baja (800 a 400 milímetros). El promedio anual de lluvias alcanza a 719,5 milímetros en la serie climática 1986-2016 (PTDI, 2016).

⁸ Clasificación climática cuya principal característica fue la utilización de la evapotranspiración potencial como parámetro fundamental para la delimitación de los distintos tipos climáticos.

Entre los meses de junio a noviembre la evapotranspiración es mucho mayor que la precipitación, reduciendo esta diferencia a partir del mes de diciembre, cuando empieza la época lluviosa hasta el mes de abril. La tabla 3.5 muestra el FARI para el clima con su respectivo indicador.

Tabla 3.5

FARI en el Clima de Machareti

Componente	ASPI	FARI	Indicadores
Clima	Transporte de Agua Fresca	Calidad de las Precipitaciones	Acidez o Alcalinidad
	Transporte y Almacenaje de Ácido y Aditivos Químicos		
	Mezcla de Agua, Arena y Aditivos Químicos		
	Almacenamiento de Agua Residual		
	Transporte de Agua Residual		
	Almacenamiento en Tanques de Evaporación		
	Descarga al Suelo		

Fuente: Elaboración Propia (2020)

3.2.2.2 Geología

Según datos geográficos del Sistema de Planificación Integral del Estado (SPIE), se presentan tres modelos de elevación en el Municipio de Machareti: 318 a 734 msnm, 735 a 1.345 msnm y 1.346 a 1.999 msnm. Los dos extremos de alturas se sitúan en el Cerro Bay en la Serranía del Aguaragüe e Hito Villazón, situados a 1.599 y 380 m.s.n.m., respectivamente. De norte a sur no existen cambios bruscos en la pendiente, esta va bajando suavemente hacia el sur del territorio del municipio. La tabla 3.6 muestra el FARI para la geología con su respectivo indicador.

Tabla 3.6*FARI en la Geología de Machareti*

Componente	ASPI	FARI	Indicadores
Geología	Construcción de Caminos	Sismicidad	Máxima Aceleración en el Terreno (PGA)
	Inyección de Agua y Acido		
	Inyección de Agua y Aditivos Químicos		
	Inyección de Agua y Arena		
	Inyección de Agua		
	Filtración Primaria (tratamiento Físico)		

Fuente: Elaboración Propia (2020)

3.2.2.3 Aire

Existe contaminación del aire de algunas regiones como Camatindi, Tati, Tigüipa Pueblo. Esto se debe al humo desprendido por la quema de áreas chaqueadas, sin embargo estos casos no tienen aún mayor incidencia en la contaminación del aire. La tabla 3.7 muestra el FARI para el aire con sus respectivos indicadores.

Tabla 3.7*FARI en el Aire de Machareti*

Componente	ASPI	FARI	Indicadores
Aire	Transporte de Agua	Calidad	Partículas menores a 10 micrómetros de diámetro
	Transporte y Almacenaje de Acido		
	Transporte y Almacenaje de Aditivos Químicos		
	Transporte y Almacenaje de Arena		Concentración de Ozono Troposférico
	Mezcla de Agua, Arena y Aditivos Químicos		
	Transporte de Agua Residual		Concentración de Bióxido de Nitrógeno
	Almacenamiento en Tanques de Evaporación		
	Descarga al Suelo		

Fuente: Elaboración Propia (2020)

3.2.2.4 Suelo

Los suelos de la región son de origen aluvial y reciente (Cuaternario), generalmente son de color café amarillento. Hay poca dificultad para la penetración de las raíces, el drenaje varía de bueno a moderadamente malo y la textura en su mayoría es suelta.

Se distinguen 8 clases de suelo (I a VIII): I a IV calificadas para uso agrícola, V a VII no aptas para la agricultura, siendo útiles para pasturas y forestación, VIII solo utilizable en la preservación de vida silvestre, cobertura natural y recreación. Los suelos de la región en su mayoría están en las clases VI, VII y VIII, utilizables en pasturas y preservación ecológica. Los únicos suelos útiles en agricultura son arenosos a franco arenosos (clases II al IV), pero son susceptibles de la erosión. Estos últimos están más distribuidos en el área de transición (alrededores de Carandayti, Vuelta Grande, El Salvador), parte occidental de la llanura y finalmente en los piedemontes y terrazas

aluviales recientes del Subandino: Tigüipa Estación Tigüipa Pueblo, Camatindi, Machareti y Timboycito. La tabla 3.8 muestra el FARI para el suelo con sus respectivos indicadores.

Tabla 3.8

FARI en el Suelo de Machareti

Componente	ASPI	FARI	Indicadores
Suelo	Construcción de Caminos	Usos Actuales	Clase de Suelo
	Transporte y Almacenaje de Acido	Propiedades Físicas	Profundidad
	Mezcla de Agua, Arena y Aditivos Químicos		
	Inyección de Agua y Aditivos Químicos	Propiedades Químicas	pH
	Almacenamiento de Agua Residual		Conductividad Eléctrica
	Tratamiento Químico	Nutrientes	Cantidad de Nitrógeno Total
	Tratamiento Biológico		
	Transporte de Agua Residual		Fosforo Disponible
	Inyección al Pozo Clase II		
	Almacenamiento en Tanques de Evaporación		Carbón
	Eliminación de Sustancias Tóxicas		
Descarga al Suelo	Materia Orgánica		

Fuente: Elaboración Propia (2020)

Adicionalmente, se elaboró otra tabla para el componente del “suelo” según el DS. 3549 (ver anexo) el cual pertenece a la actual legislación ambiental en Bolivia.

3.2.2.5 Agua

El Municipio de Macharetí y la región del Chaco se caracterizan por la escasez de recursos hídricos, aunque existen pequeños cursos superficiales de agua permanente que se originan en la Serranía de Aguaragüe y que acumulan caudales más o menos significativos, los cuales al ingresar a la llanura chaqueña se percolan totalmente en los sedimentos aluviales (PTDI, 2016).

En la zona existen tres cuencas o ríos menores de bajos caudales. Las nacientes de estos ríos parten de la Serranía del Aguaragüe y sus cursos tienen dirección Oeste–Este y Norte-Sud, bordean las poblaciones de Camatindi, Macharetí Pueblo y las comunidades de Yuqui Caipipendi, Tatí, Tigüipa Pueblo y Timboycito; pertenecen a la subcuenca del río Pilcomayo y cuenca mayor del río de La Plata.

Los acuíferos en la Llanura Chaqueña están conformados por arenas sueltas de grano fino a medio, sub redondeadas y bien seleccionadas, arenas arcillosas, friables e intercalaciones de arcilla rojiza y arcilla limosa. Dadas las características descritas, la permeabilidad relativa en esta zona es alta y consecuentemente la importancia hidrogeológica también lo es. No obstante, los rendimientos de los pozos subterráneos abiertos en la zona son moderados, debido a la limitación de recarga que tienen los acuíferos, porque solo reciben tres cursos de agua desde el Aguaragüe: ríos Macharetí, Tigüipa y Camatindi. (PTDI, 2016).

Los niveles freáticos que alimentan esta agua se encuentran a mucha profundidad. La explotación de estas aguas solo es posible mediante la perforación de pozos como sucede en el puesto militar de Hito Villazón y en las comunidades de Cuatro Vientos, Simbolar, El Vinal, Campo León, Ipati de Ivo e Ivo (Kuruyuqui); los caudales varían de 0,6 a 6 litros por segundo (PTDI, 2016). El agua de las lluvias que escurre de la cordillera se retiene en “pequeñas lagunas” naturales, en cambio, en las áreas más áridas y alejadas la población ha construido lagunas artificiales como los “atajados”, que acumulan agua de lluvias en la estación húmeda (diciembre a marzo); estos dos tipos de depósitos son la principal fuente de consumo animal y humano de agua en la región (PDM 2012-2016). La tabla 3.9 muestra el FARI para el agua con sus respectivos indicadores.

Tabla 3.9

FARI en el Agua de Machareti

Componente	ASPI	FARI	Indicadores
Agua	Construcción de Caminos	Disponibilidad	Existencia de Lagunas Naturales
	Succión de Agua		Existencia de Lagunas Artificiales
	Producción de Agua	Uso final por Procedencia	Porcentaje de Agua de Lluvia, rio, vertiente y/o acequia que se Utiliza en Vivienda
	Transporte y Almacenaje de Aditivos Químicos	Calidad del Agua Superficial	pH
	Mezcla de Agua, Arena y Aditivos Químicos		Solidos Totales
	Inyección de Agua y Acido		Cloruros
	Inyección de Agua y Aditivos Químicos		Temperatura
	Inyección de Agua y Arena		Conductividad Eléctrica
	Inyección de Agua	Metales Pesados	Hierro
	Almacenamiento de Agua Residual	Dureza del Agua	Magnesio
	Tratamiento Químico		Calcio
	Tratamiento Biológico	Factores Hidrológicos del Agua Subterránea	Profundidad
	Transporte de Agua Residual		Nivel Estático
	Filtración Primaria (tratamiento Físico)		Caudal
	Inyección al Pozo Clase II		Capacidad Especifica
	Almacenamiento en Tanques de Evaporación		Calidad de las Aguas Subterráneas

Fuente: Elaboración Propia (2020)

Las aguas subterráneas de la llanura también proporcionan recursos hídricos al TIOC⁹, estas existen gracias a la infiltración directa del agua de lluvia que cae en sedimentos permeables y por la percolación de los ríos que descienden desde el subandino a la llanura chaqueña.

Adicionalmente, se elaboró otra tabla para el componente del “agua” de acuerdo al DS. 3549 (ver anexo) el cual pertenece a la actual legislación ambiental en Bolivia.

3.2.2.6 Vegetación Terrestre

El Municipio de Macharetí cuenta con una gran variedad de especies forestales nativas de diferentes tipos, como ser: herbáceas, arbustivas y arbóreas. Estos son explotados para la producción de madera de construcción, fabricación de muebles y leña para el consumo en el hogar. De acuerdo con el piso ecológico, algunas especies predominan y otras son escasas. La tabla 3.10 muestra el FARI para la vegetación terrestre con sus respectivos indicadores.

3.2.2.7 Fauna

La fauna silvestre en la región ha sido un potencial demasiado explotado por pobladores de la región y trabajadores contratados por las empresas madereras y petroleras poniendo en riesgo la existencia de algunas especies como el chancho tropero, jaguar, anta o tapir, iguana, urina y quirquinchos.

La fauna doméstica consiste en la cría y producción de bovinos criollos en un espacio donde las condiciones climáticas y geografías son adversas. Es así que se implementó el Centro Ganadero de Bovino Criollo “Yembiguasú” ubicado en la frontera con el Paraguay en la llanura chaqueña. Administrativamente está bajo la responsabilidad de la dirigencia de la Capitanía y las determinaciones respecto a este predio se toman en asamblea con participación de las 15 comunidades. La tabla 3.11 muestra el FARI para la fauna con sus respectivos indicadores.

⁹ TIOC significa Territorio Indígena Originario Campesino.

Tabla 3.10

FARI en la Vegetación Terrestre de Machareti

Componente	ASPI	FARI	Indicadores
Vegetación Terrestre	Construcción de Caminos	Diversidad	Especies Vegetales Nativas
	Transporte y Almacenaje de Acido		
	Transporte y Almacenaje de Aditivos Químicos	Superficie Ocupada	Superficie Destinada para la Agricultura
	Transporte y Almacenaje de Arena		Superficie utilizada en Ganadería
	Mezcla de Agua, Arena y Aditivos Químicos		Superficie con Vocación Ganadera
	Inyección de Agua y Acido		Superficie con Carga Animal
	Inyección de Agua y Aditivos Químicos		Superficie para la Forestación
	Inyección de Agua y Arena		
	Inyección de Agua		
	Almacenamiento de Agua Residual		
	Transporte de Agua Residual		
	Almacenamiento en Tanques de Evaporación		
	Descarga al Suelo		

Fuente: Elaboración Propia (2020)

Tabla 3.11

FARI en la Fauna de Machareti

Componente	ASPI	FARI	Indicadores
Fauna	Construcción de Caminos	Diversidad de Fauna Silvestre	Tipo de Mamíferos
	Succión de Agua		
	Transporte de Agua		Tipo de Aves
	Transporte de Agua		
	Transporte y Almacenaje de Acido		
	Transporte y Almacenaje de Aditivos Químicos	Especies Endémicas	Tipos
	Transporte y Almacenaje de Arena	Diversidad de Fauna Domestica	Ganado Bovino
	Inyección de Agua y Acido		
	Inyección de Agua y Aditivos Químicos		Ganado Caprino
	Inyección de Agua y Arena		
	Inyección de Agua		Ganado Ovino de Pelo y Lana
	Transporte de Agua Residual		
	Descarga al Suelo		Ganado Porcino

Fuente: Elaboración Propia (2020)

3.2.2.8 Demográfico

El Municipio de Machareti alberga a unos 3.000 habitantes guaraníes de todas las edades. En las comunidades hay organizaciones de mujeres, de jóvenes, de productores, regantes y también hay organizaciones de productores dedicados a proyectos ganaderos. En este municipio también hay otras organizaciones, que agrupan a sectores campesinos, gremiales, ganaderos, organizaciones territoriales de base (OTB), las últimas sobre todo en las áreas que son o tienden a consolidarse como centros urbanos. La tabla 3.12 muestra el FARI para la demografía con sus respectivos indicadores.

Tabla 3.12

FARI en la Demografía de Machareti

Componente	ASPI	FARI	Indicadores
Demográfico	Succión de Agua	Salud	Episodios Diarreicos (EDA) en niños menores de 5 años
	Transporte y Almacenaje de Acido		
	Transporte y Almacenaje de Aditivos Químicos		
	Inyección de Agua y Acido		
	Inyección de Agua y Aditivos Químicos		
	Inyección de Agua y Arena		
	Inyección de Agua	Numero de Habitantes	Población Empadronada Censo 2012
	Transporte de Agua Residual		
	Almacenamiento en Tanques de Evaporación		
	Descarga al Suelo		

Fuente: Elaboración Propia (2020)

3.2.2.9 Cultural

En el Municipio Machareti existen dos áreas protegidas, creadas por leyes municipales:

- Área Natural de Manejo Integrado Municipal “Ivi Maraei”.
- Reserva Municipal Histórica y de Vida Silvestre “Héroes del Chaco”.

Los objetivos de estas áreas protegidas son:

- a) Contribuir a mejorar la calidad de vida de los habitantes en el área protegida.
- b) Mantener la integridad de los sistemas ecológicos representativos de la llanura chaqueña.
- c) Contribuir a la conservación de las especies de flora y fauna nativa.
- d) Contribuir al establecimiento y gestión de un corredor biológico, y la mitigación de los efectos del cambio climático en la ecoregión del Chaco.
- e) Proteger y promover los valores históricos y culturales del área protegida asociados con la cultura del pueblo guaraní.
- f) Proteger y promover los valores históricos y culturales del área protegida asociados con la guerra del Chaco entre Bolivia y Paraguay (1932-1935).

Por otro lado, existe el Centro Ganadero de Bovino Criollo “Yembiguasú” que tiene por objetivo desarrollar la cría y producción de bovinos criollos en un espacio donde las condiciones climáticas y geográficas son adversas, factores superados por el entusiasmo constante de los habitantes de las comunidades de la Capitanía Machareti que es digno de admiración.

Finalmente, los bosques son las áreas de reserva formales y también las áreas de reserva comunales; las serranías y especialmente la serranía del Aguaragüe son los espacios en los que la naturaleza proporciona agua para la vida.

La tabla 3.13 muestra el FARI para el aspecto cultural con sus respectivos indicadores.

Tabla 3.13*FARI en el Aspecto Cultural de Machareti*

Componente	ASPI	FARI	Indicadores
Cultural	Construcción de Caminos	Áreas Protegidas	Superficie "Héroes del Chaco"
			Superficie "Ivi Maraai"
	Succión de Agua	Patrimonio Cultural	Superficie "Centro Ganadero Yembiguasú"
	Producción de Agua		

Fuente: Elaboración Propia (2020)

3.2.2.10 Económico

El PTDI 2016-2020 estipula que la principal actividad económica del municipio es la crianza de ganado bovino, seguido por el cultivo de maíz y pastizales. El ganado tiene como fuente de alimento más importante el ramoneo en los pastos naturales de la región y un porcentaje mínimo de pasturas cultivadas.

Los sistemas de producción son extensivos. La tecnología es rudimentaria, está restringida a algunas mangas de pastoreo y corrales para realizar el marcado del ganado, ordeño y vacunación. Los animales pasan la mayor parte del tiempo a campo abierto. El ganado consume, en su mayoría, el agua de atajados y lagunas naturales y artificiales. Pocos productores tienen bebederos y cubetas para dar agua al ganado.

La producción de carne vacuna es importante en la zona, al igual que el ordeño de leche y la producción de derivados lácteos. Estos alimentos son comercializados en los mercados locales, regionales y departamentales.

La tabla 3.14 muestra el FARI para la económica con sus respectivos indicadores.

Tabla 3.14*FARI en la Economía de Machareti*

Componente	ASPI	FARI	Indicadores
Económico	Succión de Agua	Tipo de Actividad Económica	Personas que se dedican a la Agricultura, Ganadería, Caza, Pesca y Silvicultura
	Producción de Agua		
	Inyección de Agua y Acido	Niveles de Productividad	Bovinos criollos en Yembiguasu
	Inyección de Agua y Aditivos Químicos		
	Inyección de Agua y Arena		
	Inyección de Agua		Venta de Animales de Descarte
	Descarga al Suelo		

Fuente: Elaboración Propia (2020)

3.2.3 Estudios en el Municipio de Machareti

Para completar la información del Municipio Machareti se consultó bibliografía del lugar e incluso se realizó un viaje hasta dicho municipio para tomar muestras de suelo y agua en diferentes puntos con el objetivo de caracterizarlas antes de que se realice cualquier tipo de proyecto relacionado al área de hidrocarburos. Las muestras se acondicionaron para analizarlas en el Laboratorio de Control Ambiental (LCA) de la Facultad de Ecología – UMSA. El detalle de los puntos de muestreo y resultados de los análisis se adjuntan en la parte de anexos.

La tabla 3.15 muestra la caracterización completa del Municipio de Machareti.

Tabla 3.15

Caracterización Ambiental de Machareti

Componente	FARI	Indicadores	Unidad de Medida	Valor	Fuente
Clima	Calidad de las Precipitaciones	pH	Cantidad de Iones de Hidrogeno	7,5	Medición Propia, 2019
Geología	Sismicidad	Máxima Aceleración en el Terreno (PGA)	Porcentaje (%)	1 - 3	Mapa Probabilístico de Amenaza Sísmica para Bolivia, 2019
Suelo	Usos Actuales	Clase de Suelo	Adimensional	Clase VI, VII y VIII (80% pasto natural y 20% pasto cultivado)	Plan de Desarrollo Municipal Machareti (PDM) 2006 - 2010
	Propiedades Físicas	Profundidad	Centímetros	> 30	Medición Propia, 2019
	Propiedades Químicas	pH	Cantidad de Iones de Hidrogeno	8,7	Laboratorio de Control Ambiental (LCA), 2019
		Conductividad Eléctrica	Micro siemens/centímetro	90	Laboratorio de Control Ambiental (LCA), 2019
	Nutrientes	Cantidad de Nitrógeno Total	Porcentaje (%)	0,027	Laboratorio de Control Ambiental (LCA), 2019
		Fosforo Disponible	Miligramos de fosforo/kilogramo de suelo	3,9	Laboratorio de Control Ambiental (LCA), 2019
		Carbón Orgánico	Porcentaje (%)	0,23	Laboratorio de Control Ambiental (LCA), 2019
		Materia Orgánica	Porcentaje (%)	0,39	Laboratorio de Control Ambiental (LCA), 2019
Agua	Disponibilidad	Existencia de Lagunas Naturales	Adimensional	Todo el año (1)	Machareti - Contribuciones para una agenda de gestión integral del agua, 2017
		Existencia de Lagunas Artificiales	Adimensional	Octubre - Mayo (0,7)	Machareti - Contribuciones para una agenda de gestión integral del agua, 2017
	Uso final por Procedencia	Porcentaje de Agua de lluvia, rio, vertiente y/o acequia que se Utiliza en Vivienda	Porcentaje	35,8%	Censo INE Machareti, 2012
	Calidad del Agua Superficial	pH	Cantidad de Iones de Hidrogeno	7,5	Medición Propia, 2019
		Solidos Totales	Miligramos/litro	595	Laboratorio de Control Ambiental (LCA), 2019
		Cloruros	Miligramos Cloro/litro	136	Laboratorio de Control Ambiental (LCA), 2019
		Temperatura	Grados Centígrados	14,2 - 26,5	Medición Propia, 2019
		Conductividad Eléctrica	micro siemens/centímetro	596	Laboratorio de Control Ambiental (LCA), 2019
	Metales Pesados	Hierro	Miligramos/litro	< 0,050	Laboratorio de Control Ambiental (LCA), 2019
	Dureza del Agua	Magnesio	Miligramos/litro	3,6	Laboratorio de Control Ambiental (LCA), 2019
		Calcio	Miligramos/litro	63	Laboratorio de Control Ambiental (LCA), 2019
	Factores Hidrológicos del Agua Subterránea	Profundidad	Metros	115	Mapa Hidrogeológico de Bolivia, 2011
		Nivel Estático	Metros	56,4	Mapa Hidrogeológico de Bolivia, 2011
		Caudal	Litros/segundo	1	Mapa Hidrogeológico de Bolivia, 2011
		Capacidad Especifica	Litros/segundo/metro	0,03	Mapa Hidrogeológico de Bolivia, 2011
Calidad de las Aguas Subterráneas	Solidos Disueltos Totales	Miligramos/litro	65 (Agua Muy Dulce)	Mapa Hidrogeológico de Bolivia, 2011	

Componente	FARI	Indicadores	Unidad de Medida	Valor	Fuente
Aire	Calidad	Partículas menores a 10 micrómetros de Diámetro	Microgramos/metro cubico	≤ 65,3	Red Mónica, 2019
		Concentración de Ozono Troposférico	Microgramos/metro cubico	35,6	Red Mónica, 2019
		Concentración de Bióxido de Nitrógeno	Microgramos/metro cubico	21,8	Red Mónica, 2019
Vegetación Terrestre	Diversidad	Especies Vegetales Nativas	Tipos de Especies	Algarrobo, Quebracho colorado-blanco, Toboroche Mistol, Chañar, Mistol, Cebil, Mara, Lapacho, Tusca, Kalapierna, Choroque, Guaranguay, Carnaval, Algarrobilla, Nogal, Tmboy, Quina, Garrancho, Tala, Sachasandía, Choromimi, Carahuata, Crespo, Malva, Ajata	Plan de Desarrollo Municipal Machareti 2006 - 2010 Machareti - Contribuciones para una agenda de gestión integral del agua, 2017
	Superficie Ocupada	Superficie Destinada para la Agricultura	Hectáreas	9,869	Centro de Investigación y Promoción del Campesinado (CIPCA)
		Superficie utilizada en Ganadería	Hectáreas	54,983	Centro de Investigación y Promoción del Campesinado (CIPCA)
		Superficie con Vocación Ganadera	Hectáreas	412,199	Centro de Investigación y Promoción del Campesinado (CIPCA)
		Superficie con Carga Animal	Hectáreas	396,51	Centro de Investigación y Promoción del Campesinado (CIPCA)
		Superficie para la Forestación	Hectáreas	357,676	Centro de Investigación y Promoción del Campesinado (CIPCA)
Fauna	Diversidad de Fauna Silvestre	Tipo de Mamíferos	Nombre	Chancho de Monte, Puma, Jochi, Comadreja, Gatos (titi y onza), Zorrino, Nutria, Mono, Anta, Liebre, Taitetú, Tatú, Jaguar, Oso Hormiguero, Huaso, Anta, Urina, Lón, Zorro, Conejo, Quirquincho, entre otros (mas de 80 variedades)	Plan de Desarrollo Municipal Machareti 2006 - 2010 Machareti - Contribuciones para una agenda de gestión integral del agua, 2017
		Tipo de Aves	Nombre	Loros, Charata, Urraca, Jilguero, Pavas, Paloma Torcaz, Chaicita, Perdiz, Tordo, Carpintero, Tucán, Pavas, Chuña, Cardenal, entre otros (alrededor de 300 aves)	Plan de Desarrollo Municipal Machareti 2006 - 2010 Machareti - Contribuciones para una agenda de gestión integral del agua, 2017
		Tipo de Reptiles	Nombre	Batracios, Víboras, Lagartijas, Tortuga, Iguana, Sapos, rococos, entre otros (mas de 80 variedades)	Plan de Desarrollo Municipal Machareti 2006 - 2010 Machareti - Contribuciones para una agenda de gestión integral del agua, 2017
	Especies Endémicas	Tipos	Nombre	Chancho Tropero, Armadillo o Corechi, Liebre-mara, Jaguar, Anta o Tapir, Iguana, Urina y Quirquinchos.	Plan de Desarrollo Municipal Machareti 2006 - 2010
	Diversidad de Fauna Domestica	Ganado Bovino	Unidades Ganaderas	≈ 79,302	Centro de Investigación y Promoción del Campesinado (CIPCA)
		Ganado Caprino	Unidades Ganaderas	≈ 9,362	Centro de Investigación y Promoción del Campesinado (CIPCA)
		Ganado Ovino de Pelo y Lana	Unidades Ganaderas	≈ 15,925	Centro de Investigación y Promoción del Campesinado (CIPCA)
		Ganado Porcino	Unidades Ganaderas	≈ 6,437	Centro de Investigación y Promoción del Campesinado (CIPCA)

Componente	FARI	Indicadores	Unidad de Medida	Valor	Fuente
Demográfico	Salud	Episodios Diarreicos (EDA) en niños menores de 5 años	Porcentaje (%)	103,05	Censo INE Machareti, 2001
		Casos de Infecciones Respiratorias Agudas (IRA) en niños menores de 5 años	Porcentaje (%)	17,27	Censo INE Machareti, 2001
	Número de Habitantes	Población Empadronada	Personas	7,418	Censo INE Machareti, 2012
Económico	Tipo de Actividad Económica	Personas que se dedican a la Agricultura, Ganadería, Caza, Pesca y Silvicultura	Porcentaje (%)	45% o mas	Censo INE Machareti, 2012
	Niveles de Productividad	Bovinos criollos en Yembiguasu	Unidades Ganaderas	835	Yembiguasu: Un territorio hostil pero productivo, 2014
		Venta de Animales de Descarte	Unidades Ganaderas/año	70	Yembiguasu: Un territorio hostil pero productivo, 2014
Cultural	Áreas Protegidas	Superficie "Héroes del Chaco"	Hectáreas	268,913	Machareti - Contribuciones para una agenda de gestión integral del agua, 2017
		Superficie "Ivi Maraai"	Hectáreas	91,700	Machareti - Contribuciones para una agenda de gestión integral del agua, 2017
	Patrimonio Cultural	Superficie "Centro Ganadero Yembiguasu"	Hectáreas	184,757.13	Instituto para el Desarrollo Rural de Sudamérica (IPDRS), 2015

Fuente: Elaboración Propia (2020)

3.3 Evaluación de los Impactos Ambientales

El propósito de este análisis dentro de la EIA es tratar de construir, lo más realmente posible, un modelo o escenario del estado futuro de Machareti con la aplicación del fracturamiento hidráulico. Para tal efecto, existen varios métodos para evaluar los impactos ambientales pero en este caso se aplicara específicamente el Método de Arboleda.

3.4.1 Aplicación del Método Arboleda

Como ya se explicó en la parte teórica, se aplicara la ecuación 2.1 para obtener la calificación ambiental de cada impacto ambiental. La tabla 3.16 es el resultado de la aplicación de dicho método de evaluación; esta tabla es el objetivo principal de la presente investigación.

Tabla 3.16

Evaluación del Impacto Ambiental en Machareti

Nro.	Impacto Ambiental	Clase	Presencia	Evolución	Duración	Magnitud	Calificación Ambiental		Importancia del Impacto Ambiental
							-	+	
1	Construcción de Caminos	+	0,5	0,7	1	1		4,0	Moderado
2	Succión de Agua Superficial	-	1	0,8	0,7	1	7,7		Significativo
3	Transporte de Agua en Cisternas	-	0,7	0,7	0,4	0,5	2,6		Moderado
4	Producción de Agua Subterránea	-	0,7	0,7	0,3	0,7	3,0		Moderado
5	Transporte de Agua en Cisternas	-	0,7	0,7	0,4	0,5	2,6		Moderado
6	Transporte y Almacenaje de Acido	-	0,5	0,7	0,8	0,8	3,2		Moderado
7	Transporte y Almacenaje de Aditivos Químicos	-	0,5	0,7	0,8	0,8	3,2		Moderado
8	Transporte y Almacenaje de Arena	-	0,6	0,8	0,5	0,6	2,9		Poco Significativo
9	Mezcla de Agua, Arena y Aditivos Químicos	-	0,4	0,7	0,4	0,6	1,7		Poco Significativo
10	Inyección de Agua y Acido	-	1	0,8	1	1	8,6		Muy Significativo
11	Inyección de Agua y Aditivos Químicos	-	1	0,8	1	1	8,6		Muy Significativo
12	Inyección de Agua y Arena	-	1	0,8	1	1	8,6		Muy Significativo
13	Inyección de Agua	-	1	0,8	1	1	8,6		Muy Significativo
14	Almacenamiento de Agua Residual	-	0,7	1	0,4	0,7	4,3		Moderado
15	Tratamiento Físico	+	0,7	1	0,7	0,8		5,4	Significativo
16	Tratamiento Químico	+	0,7	1	0,7	0,8		5,4	Significativo
17	Tratamiento Biológico	+	0,7	1	0,7	0,8		5,4	Significativo
18	Transporte de Agua Residual	-	0,5	0,7	0,5	0,8	2,7		Moderado
19	Filtración Primaria (tratamiento Físico)	+	0,4	0,8	0,5	0,5		1,7	Poco Significativo
20	Inyección al Pozo Clase II	-	0,6	0,6	0,7	0,7	3,0		Moderado
21	Almacenamiento en Tanques de Evaporacion	-	0,7	1	0,4	0,7	4,3		Moderado
22	Eliminación de Sustancias Tóxicas	+	0,5	0,8	0,2	0,3		1,1	Poco Significativo
23	Descarga al Suelo	-	0,9	1	0,8	0,8	7,2		Significativo
Total Absoluto							-82,6	23,0	
Impacto Neto							-59,6		

Fuente: Elaboración Propia (2020)

Como se puede observar en la tabla 3.16, existen algunos impactos que son positivos para el ambiente, lo que significa, que estos pueden ayudar a conservar mejor el ambiente en el que se pretende realizar el fracturamiento hidráulico.

3.4 Formulación del Plan de Manejo de los Impactos Ambientales (PMI)

Finalmente, se genera un plan de medidas que buscan prevenir o minimizar las consecuencias desfavorables de la aplicación de fracturamiento hidráulico, de tal modo que se conserven lo más fielmente posible las condiciones ambientales iniciales del Municipio de Machareti o su situación previa sin la aplicación del fracturamiento hidráulico. Estas medidas preventivas se formulan para cada fase en el ciclo de vida del agua durante el fracturamiento hidráulico.

3.5.1 Succión de Agua Superficial y Producción de Agua Subterránea

- Estudiar la posibilidad de utilizar fluidos base nitrógeno o dióxido de carbono para reducir la cantidad de agua necesaria para preparar el fluido fracturante.
- Implementar un sistema de tratamiento para reciclar el agua de los pozos más cercanos al lugar (por ejemplo, Pozo Sipotindi X-1). Este sistema tiene que estar diseñado de tal modo que pueda adaptarse para tratar y reciclar el agua proveniente del fracturamiento hidráulico.
- Reducir al mínimo el movimiento de suelos permeables.

3.5.2 Transporte de Agua en Cisternas

- Establecer un límite de velocidad máxima para los camiones y cisternas. Esta velocidad tiene que estar en función de precautelar la vida de los animales que transitan libremente por los caminos y carreteras.
- Realizar el mantenimiento correspondiente a todos los camiones y cisternas que brindan algún servicio a la compañía petrolera. Esto con el fin de reducir al mínimo las emisiones de gases tóxicos producto de la combustión interna en los motores de dichas movilidades.

3.5.3 Transporte y Almacenaje de Acido

- En caso de transportar distintos tipos de ácido o varios contenedores, fijar de la manera más segura cada uno de estos a la chata del camión.
- Revisar la hermeticidad de los contenedores que contienen al Acido. En caso de usar un contenedor de metal, se debe asegurar que este recubierto en su interior con una capa química resistente al acido.
- Asegurarse de que todas las piezas metálicas estén unidas y aisladas a tierra.
- Esperar no menos de 5 horas antes de abrir el tanque de almacenamiento.

3.5.4 Transporte y Almacenaje de Aditivos Químicos

- Revisar el estado de las bolsas de aditivos químicos secos antes de manipularlos.
- Los envases de las sustancias químicas en estado líquido deben ser preferentemente de polietileno de alta densidad, además de estar recubiertos por una malla de acero o aluminio.
- Antes de transportar las sustancias químicas a la zona de almacenaje, las válvulas inferiores de descarga deben estar completamente cerradas y aseguradas.
- Revisar el buen estado de los tanques de gas comprimido y los cilindros criogénicos.
- Asegurar de forma adecuada los químicos transportados dentro los contenedores de los camiones.
- Verificar la buena conexión a tierra de los tanques que almacenan líquidos inflamables.
- Revisar periódicamente durante el transporte de químicos la buena sujeción de los envases o pallets de bolsas de aditivos químicos a la carrocería del camión.

3.5.5 Transporte y Almacenaje de Arena

- Respetar la capacidad de carga de las volquetas y/o camiones.
- Asegurarse de que el caudal de bombeo sea mínimo para la descarga de arena.

3.5.6 Mezcla de Agua, Arena y Aditivos Químicos

- Revisar el estado y la correcta instalación de las juntas de unión o arandelas a la entrada y salida de cada bomba de succión y en los puntos de conexión.
- Realizar una prueba de hermeticidad en todas las conexiones antes de iniciar el proceso de mezcla.
- Proteger con un revestimiento adecuado (cemento o algún material impermeable y resistente a sustancias químicas) toda la superficie en la cual se mezcla y prepara el fluido fracturante. Este revestimiento no debe presentar agujeros ni rajaduras.
- Revisar el buen funcionamiento de todos los componentes del mezclador antes de iniciar las operaciones. Los componentes del mezclador son: bomba de succión centrífuga, bombas dosificadoras de productos químicos, dosificadores de arena y tanque agitador.
- Construir barreras de suelo compactado alrededor de la plataforma de pozo y también en su interior en lugares donde se almacenen grandes cantidades de fluidos peligrosos para el medio ambiente.
- Contar con varios absorbentes químicos industriales listos para usarse en cualquier momento.
- Revisar el estado de las mangueras y tuberías de baja presión antes de iniciar cualquier operación; se debe reemplazar las piezas gastadas.

3.5.7 Inyección de Agua, Acido, Arena y Aditivos Químicos

- Realizar un estudio que determine la presencia de fallas en el subsuelo en cercanías al pozo y en orientación al plano de fracturas que se pretende crear.
- Realizar un control de la cementación antes de realizar la inyección del fluido fracturante. Los registros para este control son: GR, TT, CCL, CBL, VDL y CET. Este control consiste en: evaluar la cementación, verificar la integridad del cemento, verificar el aislamiento hidráulico y determinar la calidad del cemento.
- Asegurarse que exista una separación mayor a 335 metros con respecto a otro pozo convencional y mayor a 2567 metros entre pozos no convencionales.

- Asegurarse de que todas las líneas de alta presión se encuentren sujetas a una superficie fija cada 2 metros, y antes y después de cada accesorio de unión o distribución.
- Realizar varias pruebas de buen funcionamiento e instalación a todos los componentes del sistema de bombeo y del manifold que han sido instalados manualmente.
- Si el pozo se encuentra cerca de una fuente de agua con volumen considerable, se deben ubicar barreras flotantes en sus orillas.
- Monitorear a cada momento que exista una mezcla homogénea en el mezclador sin importar el caudal o volumen de inyección al pozo; al mismo tiempo evitar altos o bajos caudales de flujo.
- Realizar un mantenimiento adecuado a todos los componentes de las bombas fracturadoras de alta presión y alto volumen. Los componentes que se encargan de impulsar y presurizar el fluido fracturante son: sellos, válvulas, asientos, varillas, muelles, émbolos, espárragos y pistones.
- Realizar una prueba de presión en las líneas de alta presión para detectar grietas o fugas, especialmente en las uniones que cambian bruscamente la dirección del fluido (por ejemplo codos de unión).
- Verificar el buen estado de los componentes del cabezal de fracturamiento, así como su válvula principal. Detectar la presencia de fisuras o pequeños huecos en su integridad física.

3.5.8 Almacenamiento de Agua Residual

- Verificar si la zona petrolera es húmeda o seca para tener un estimado del volumen de producción de aguas residuales que se recibirán en superficie.
- Asegurarse de que los estanques se encuentren completamente revestidos con un material impermeable (por ejemplo, geo membranas).
- Antes de despresurizar el sistema, verificar la buena conexión de todas las líneas receptoras de fluidos del pozo.

- Evitar la gestión del agua residual con deshidratación natural, es decir, aprovechar el calor del medio ambiente para evaporar las aguas residuales almacenadas en estanques abiertos.
- Aislar térmicamente las paredes exteriores del tanque para reducir el intercambio de calor con el ambiente y por lo tanto reducir la evaporación.
- Contar con tanques de almacenamiento o estanques impermeabilizados de reserva.

3.5.9 Transporte de Agua Residual

- Asegurarse de que no existan fugas en el contenedor de aguas residuales.
- Realizar varias paradas dependiendo la distancia del destino final para asegurarse de que no existan fugas de líquido.

3.5.10 Inyección al Pozo Clase II

- Revisar el estado de las conexiones antes de inyectar el agua residual.
- Realizar la inyección a caudales y presiones moderadas.
- Antes de realizar la inyección, verificar que los estratos supra e infra yacente tengan una permeabilidad nula y que la formación receptora sea porosa.
- Verificar en el pozo clase II el buen estado del cemento y las tuberías de revestimiento.
- Asegurarse de que exista una buena separación vertical entre las aguas subterráneas y la formación receptora de aguas residuales.
- Crear un programa eficiente de supervisión, control y monitoreo periódico sobre el comportamiento de este tipo de pozos.

3.5.11 Almacenamiento en Tanques de Evaporación

- Asegurarse de que los estanques se encuentren completamente revestidos con un material impermeable (por ejemplo, geo membranas).
- Llenar los tanques hasta un 80 % de su capacidad y dejar el resto en caso de que haya precipitaciones pluviales.

- Construir barreras de suelo compactado alrededor del tanque.

3.5.12 Descarga al Suelo

- Realizar las descargas lo más alejado posible de los cuerpos de agua superficial y/o cualquier otro ecosistema natural.
- Crear un desnivel hacia el centro del área donde se pretende descargar para evitar un descontrol del derrame.
- Evitar la descarga de las aguas residuales en suelos altamente permeables.
- Realizar análisis fisicoquímicos antes de cada descarga para asegurarse de una eficiente eliminación de sustancias tóxicas.



CAPITULO IV: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

➤ Al objetivo general

Se realizó la evaluación del impacto ambiental en cada una de las fases del ciclo de agua del fracturamiento hidráulico aplicado al Municipio de Machareti, Chuquisaca. De acuerdo al valor encontrado producto de esta evaluación, el fracturamiento hidráulico puede ser una técnica bastante agresiva con el medio ambiente (Municipio de Machareti) si no se toman las medidas apropiadas tanto en el área legal como en el área técnica.

➤ Primer Objetivo Especifico

Se identificaron los aspectos ambientales del fracturamiento hidráulico capaces de producir un impacto al Municipio de Machareti. El suelo y el agua son los componentes ambientales más afectados tomando en cuenta que este Municipio tiene problemas de abastecimiento de agua para el consumo humano y animal, siendo el agua de “atajado” su principal fuente de consumo.

➤ Segundo Objetivo Especifico

Se logró caracterizar el medio ambiente del Municipio de Machareti en donde hasta la fecha aún no se aplicó la técnica del fracturamiento hidráulico, solamente se realizaron estudios de evaluación del potencial de reservas no convencionales. Este Municipio se encuentra en plena etapa de autosuficiencia gracias al desarrollo de la ganadería y agricultura, a pesar de las dificultades que tienen con el abastecimiento de agua. Realizar trabajos relacionados al área hidrocarburífera sin previa consulta o coordinación con las Capitanías de Machareti estaría dando lugar a atentarse contra la salud y bienestar de las personas y animales del lugar.

Para esta caracterización se tuvo que viajar hasta el Municipio de Machareti para recolectar varias muestras de suelo y agua para luego analizarlas en el Laboratorio de Control Ambiental (LCA) de la UMSA. El análisis de agua indica que los parámetros

evaluados se encuentran en un rango aceptable para el consumo humano y animal. Al mismo tiempo, el análisis de suelo da buenos indicios para continuar e incentivar el cultivo de alimentos tanto para las personas como los animales.

Por motivos económicos solo se realizó el análisis físico-químico de los principales parámetros del agua que podrían ser afectados por la aplicación del fracturamiento hidráulico; de manera similar solo se realizó el análisis químico de los principales parámetros del suelo que podrían ser afectados por la aplicación del fracturamiento hidráulico.

➤ Tercer Objetivo Especifico

Se explicó y aplicó la metodología Arboleda para la evaluación del impacto ambiental en el Municipio de Machareti. Esta metodología resulta ideal para la evaluación del impacto ambiental en proyectos que involucran el manejo de grandes cantidades de agua. Actualmente es utilizado por entidades internacionales como el Banco Mundial y el BID.

➤ Cuarto Objetivo Especifico

Se formularon medidas preventivas de mitigación para cada impacto ambiental. Estas medidas están formuladas de acuerdo al nivel de diseño en que se encuentra el proyecto de fracturamiento hidráulico en el Municipio de Machareti, es decir, no se puede pretender formular medidas de manejo que estén totalmente diseñadas cuando el proyecto apenas esta como una idea o en la fase de reconocimiento.

4.2 Recomendaciones

- Con el objetivo de tener una mejor caracterización ambiental antes de que se aplique el fracturamiento hidráulico, se recomienda, recolectar más muestras de agua para realizar el análisis de los siguientes parámetros: cobre, plomo, manganeso, zinc, sulfatos, sodio, bromuros y nitratos.
- Con el objetivo de tener una mejor caracterización ambiental antes de que se aplique el fracturamiento hidráulico, se recomienda, recolectar más muestras de

suelo para realizar el análisis de los siguientes parámetros: calcio, magnesio, sodio, potasio, cobre, cadmio, hierro, manganeso, plomo, zinc y azufre.

- En caso de que se aplique la técnica del fracturamiento hidráulico en el Municipio de Machareti, se debe recolectar nuevamente muestras de suelo y agua para analizar los mismos parámetros que se analizaron antes de la aplicación del fracturamiento hidráulico. Este análisis es muy importante para determinar la magnitud del impacto ambiental en el Municipio de Machareti.
- Mejorar y adecuar la legislación ambiental boliviana para un supuesto caso de aplicación de fracturamiento hidráulico en Bolivia. Esta legislación permitirá realizar un mejor control a las empresas operadores y al mismo tiempo cuidara de mejor manera el medio ambiente en donde se pretenda aplicar el Fracking.
- Exigir a las empresas operadoras la composición química completa de todos los fluidos que se inyectan a fondo de pozo para la aplicación del fracturamiento hidráulico. No dejarse convencer con el pretexto de que es un secreto institucional y patentado. Esta información es de gran importancia para la evaluación del impacto ambiental, así como para la elaboración de un Plan de Manejo de Impactos Ambiental (PMI) completo.

BIBLIOGRAFIA

1. Roger O., Dawn K., Carlos C., Henning M., Lorraine G., “Environmental Impacts of Unconventional Gas Exploration and Extraction”, Ireland, 2016.
2. Speight J., “Deep Shale Oil and Gas”, Estados Unidos, 2017.
3. Speight J., “Shale Gas Production Processes”, Estados Unidos, 2013.
4. Speight J., “Handbook of Hydraulic Fracturing”, Estados Unidos, 2016.
5. Agencia de Protección al Medioambiente (EPA) de los Estados Unidos, “Hydraulic Fracturing for Oil and Gas: Impacts from the Hydraulic Fracturing Water Cycle on Drinking Water Resources in the United States”, editado por la Oficina de Investigación y Desarrollo, Washington, DC – Estados Unidos, 2016.
6. Ciencia, Ingeniería y Tecnología de la Energía, “Unconventional Oil and Shale Gas – Growth, Extraction, and Water Management Issues”, editado por Amber L. Tuft, Estados Unidos, 2015.
7. Garth T., “Evaluating a Groundwater Supply Contamination Incident Attributed to Marcellus Shale Gas Development”, editado por Stephen Polasky, Pensilvania – Estados Unidos, 2015.
8. Gerencia de Ingeniería de Pemex, “Guía de Diseño para Fracturamiento Hidráulico”, editado por Pemex, México, 2002.
9. Instituto Nacional de Salud, “Manual de Instrucción para la Toma, Preservación y Transporte de Muestras de Agua de Consumo Humano para Análisis de Laboratorio”, editado por Nava G, Bogotá – Colombia, 2011.
10. Jasechko S., “Hydraulic Fracturing near Domestic Groundwater Wells”, editado por Peter H., Oakland – Estados Unidos, 2017.
11. Mendoza J., “Gestión de las Aguas Residuales Producidas por la Industria de los Hidrocarburos no Convencionales”, México, 2015.
12. Karl O., Jens B., Thomas B., “Simulation of a Hydraulic Fracturing Wastewater Surface Spill on Agricultural Soil”, Estados Unidos, 2018.
13. Brian E., Laura R., Zacariah L., “An Evaluation of Water Quality in Private Drinking Water Wells near Natural Gas Extraction Sites in the Barnett Shale Formation”, Estados Unidos, 2012.

14. Nathaniel R., "Geochemical Evidence for Possible Natural Migration of Marcellus Formation Brine to Shallow Aquifers in Pennsylvania", editado por Karl K., North Haven – Estados Unidos, 2012.
15. Nicholas P., "Hydraulic Fracturing Operations – Handbook of Environmental Management Practices", editorial Scrivener, Estados Unidos, 2015.
16. Arboleda J., "Manual de Evaluación de Impacto Ambiental de Proyectos, Obras o Actividades", editado por Jorge Arboleda, Medellín – Colombia, 2008.
17. Chipana L., "Evaluación de Impacto Ambiental Generadas por Actividades de Exploración Hidrocarburífera en Áreas no Tradicionales del Norte de La Paz", Facultad de Ingeniería Petrolera UMSA, La Paz – Bolivia, 2018.
18. Roger C., "Análisis del Riesgo de la Explotación de Hidrocarburos no Convencionales en Bolivia", Facultad de Ingeniería Petrolera UMSA, La Paz – Bolivia, 2018.
19. Daniel G. (SERGEOMIN), "Mapa Hidrogeológico de Bolivia", digitalizado por Edgar A., Bolivia, 2011.
20. Observatorio San Calixto, "Mapa Probabilístico de Amenaza Sísmica para Bolivia", Bolivia, 2019.
21. Soliz L. y Mercado K., "Machareti - Contribuciones para una Agenda de Gestión Integral del Agua", editado por María Virginia Ortiz Echazú, La Paz – Bolivia, 2017.
22. Gobierno Autónomo Municipal de Sucre – Dirección de Medio Ambiente – Red Mónica Sucre, "Informe Anual 2019 Red de Monitoreo de la Calidad del Aire", Sucre – Bolivia, 2019.
23. J. Franco – Gobierno Municipal de Machareti, "Plan de Desarrollo Municipal", Chuquisaca – Bolivia, 2005.
24. Instituto Nacional de Estadística (INE), "Censo de Población y Vivienda 2001", Bolivia, 2002.
25. Instituto Nacional de Estadística (INE), "Censo de Población y Vivienda 2012", Bolivia, 2013.
26. Estudio de Caso, "Yembiguasú: Un Territorio Hostil pero Productivo", Bolivia, 2015.

GLOSARIO DE TÉRMINOS

Acuífero: Intervalo de roca subsuperficial que produciría agua, generalmente es la capa subyacente al reservorio de petróleo.

Agente Propelente: Material sólido usado en el fracturamiento hidráulico para mantener abiertas las grietas hechas en la roca reservorios después de aplicar altas presiones en el fluido fracturante. Arena, cerámica, o pequeños pellets abren las grietas para permitir el flujo de gas o petróleo.

Biocida: Sustancia química capaz de destruir algún tipo de forma de vida en el fracturamiento hidráulico. Son usados para evitar el crecimiento de bacterias y hongos.

Cabeza de Pozo: Porción del pozo de petróleo que está sobre la superficie en el suelo.

Calidad ambiental: Estructuras y procesos ecológicos que permiten el desarrollo sustentable (o racional), la conservación de la diversidad biológica y el mejoramiento del nivel de vida de la población humana. También puede ser entendida como el conjunto de propiedades de los elementos del ambiente que permite reconocer sus condiciones básicas.

Calificación: Proceso mediante el cual se decide si un estudio de impacto ambiental reúne los requisitos mínimos de forma y fondo necesarios para su aprobación.

Carácter: Referencia a la consideración positiva o negativa de un impacto respecto al estado previo a la acción; indica si, en lo que se refiere a la faceta de la vulnerabilidad que se esté teniendo en cuenta, ésta es beneficiosa o perjudicial (Ej. positivo y negativo).

Cemento: Minerales que crecen naturalmente entre granos clásticos y solidifica una roca.

Ciclo de proyecto: Etapas en la preparación de un proyecto desde la fase de idea hasta la ejecución y abandono.

Compensación: Subgrupo de las medidas de corrección mediante las cuales se propende restituir los efectos ambientales irreversibles generados por una acción o grupo de ellas en un lugar determinado, a través de la creación de un escenario similar al deteriorado, ya sea en el mismo lugar o en un área distinta.

Componente ambiental: Elemento constitutivo del ambiente.

Comportamiento: Evolución de los impactos ambientales previstos (si es a corto plazo y luego cesa; si aparece rápidamente; si su culminación es a largo plazo; si es intermitente, etc.).

Contaminación: Grado de concentración de elementos químicos, físicos, biológicos o energéticos por encima del cual se pone en peligro la generación o el desarrollo de la vida, provocando impactos que ponen en riesgo la salud de las personas y la calidad del medio ambiente.

Contingencias: Medidas frente a los riesgos o accidentes de un proyecto.

Desarrollo: Actividad que incrementa o disminuye las reservas gracias a perforación de pozos de producción.

Deterioro ambiental: Modificación que disminuye la calidad ambiental como consecuencia de una acción humana.

Diagrama de flujo: Método útil para identificar impactos indirectos. Se usa para establecer relaciones de causalidad lineal entre las acciones y el ambiente, particularmente en proyectos relativamente simples. Su aplicación se hace compleja en la medida que se multiplican las interacciones. Sin embargo, su uso promueve la identificación sistemática de los impactos realmente significativos.

Ecología: Ciencia que estudia la distribución y abundancia de los seres vivos.

Ecosistema: Unidad básica de estudio de la naturaleza.

Ecosistemas Ambientalmente Críticos: Ecosistemas que han perdido su capacidad de recuperación o autorregulación.

Ecosistemas ambientalmente sensibles: Ecosistemas altamente susceptibles al deterioro por la introducción de factores ajenos o exógenos.

Efectos: Cualquier modificación en el ambiente derivado de acciones humanas.

Elementos sensibles: Preocupaciones ambientales claves y parámetros ambientales relevantes para los impactos significativos.

Estado actual: Situación sin proyecto.

Estándares ambientales: Umbrales de aceptabilidad de deterioro o daño.

Estudio de Impacto Ambiental: Documento que sustenta el análisis ambiental preventivo y que entrega los elementos de juicio para tomar decisiones informadas en relación a las implicancias ambientales de proyectos.

Evaluación de Impactos: Identificación, medición, jerarquización y comparación de impactos ambientales.

Exploración: Proceso para identificar una formación geológica potencial en el subsuelo a través de la perforación de un pozo diseñado para evaluar el gas natural o petróleo.

Factores ambientales: Elementos que permiten caracterizar los impactos (tiempo, valor, cantidad, peligros, riesgos, daños, etc.).

Fango: Producto semisólido a sólido que resulta del almacenamiento inestable y/o la inestabilidad térmica del petróleo o productos del petróleo.

Fluido de Retorno: Porción del fluido fracturante inyectado que retorna a la superficie junto con petróleo, gas y salmuera cuando el pozo está produciendo.

Fluidos Fracturantes: Agua y aditivos químicos usados para fracturar hidráulicamente la roca reservorios y el agente propelente (arena o cerámica) bombeado dentro las fracturas para mantenerlas abiertas cuando se libera la presión.

Flujo de Agua de Retorno: El fluido fracturante que retorna de superficie a través del pozo durante y después el tratamiento hidráulico.

Fractura: Grieta natural o provocada por el hombre en una roca reservorio; una separación entre la formación geológica, tal como una unión o falla que divide la roca en dos o más piezas y que es comúnmente causada por esfuerzo en donde el esfuerzo de la roca es superado y se provoca que la roca pierda cohesión en su plano más débil. Las fracturas pueden proveer permeabilidad para el movimiento de los fluidos del reservorio. La orientación de la fractura puede ser en cualquier lado de la dirección horizontal – vertical. Los minerales llenarían toda la fractura convirtiendo una fractura abierta en una fractura sellada.

Gas de Lutita: Gas natural producido de formaciones lutíticas de baja permeabilidad.

Impacto ambiental: Cambio significativo en un parámetro ambiental en un período específico y en un área definida como resultado de una actividad particular, comparado con la situación que habría resultado sin acción.

Impactos positivos: Acciones que involucran un mejoramiento del ambiente.

Indicadores: Parámetro o valor que entrega indicaciones acerca de la condición de una variable, tema o fenómeno. Valores de referencia para analizar el comportamiento de los impactos.

Línea de base: Condición ambiental previa al desarrollo de un proyecto.

Lluvia acida: Fenómeno de precipitación que incorpora ácidos antropogénicos y otros químicos acidificados de la atmosfera hacia el suelo y agua.

Localización: Ubicación del proyecto en el territorio.

Lutita: Roca sedimentaria de grano fino que es formada por la compactación de capas finas de limo y minerales arcillosos; roca densa formada por millones de años de sedimentos antiguos de descomposición de material orgánico.

Magnitud: Informa de la extensión y cantidad del impacto.

Medidas de prevención: Diseño y ejecución de obras o actividades encaminadas a anticipar los posibles impactos negativos que un proyecto, obra o actividad pueda generar sobre el entorno humano y natural.

Medio ambiente: Entorno biofísico y sociocultural que condiciona, favorece, restringe o permite la vida.

Mitigación: Diseño y ejecución de obras o actividades dirigidas a moderar, atenuar, minimizar o disminuir los impactos negativos que un proyecto, obra o actividad pueda generar sobre el entorno humano y natural.

Monitoreo: Obtención espacial y temporal de información específica sobre el estado de las variables ambientales, destinada a alimentar los procesos de seguimiento y fiscalización ambiental.

Perforación Horizontal: Procedimiento de perforación en la cual el pozo es perforado verticalmente hasta una profundidad por encima de la formación objetivo para luego desviarlo a un arco de 90° de manera que la porción de producción del pozo se extienda horizontalmente a través de la formación.

Plan de manejo ambiental: Instrumento que detalla las acciones requeridas para prevenir, mitigar, controlar y compensar los posibles impactos ambientales negativos, o aquel que busca acentuar los impactos positivos, causados en el desarrollo de un proyecto, obra o actividad. Incluye programa de mitigación, programa de compensación, programa de respuestas a contingencias, programa de seguimiento y programa de capacitación.

Presión de Fractura: La presión necesaria para crear una fractura en una roca mientras se perfora en un hoyo abierto.

Salinidad: Concentración de sal en el agua.

Sismicidad Inducida: Actividad sísmica provocada por operaciones en el subsuelo. En el contexto de sismicidad inducida por la inyección de fluidos, la energía sísmica radiada es provocada por la liberación de energía tectónica.

Slickwater: Agua que contiene agentes de reducción de fricción, tales como cloruro de potasio, poliacrilamida u otros químicos utilizados para reducir la presión necesaria para bombear el fluido al pozo. Estos químicos reducen la fricción tubular en el pozo de 50 – 60 %.

Surfactante: Un tipo de químico caracterizado para reducir la resistencia interfacial a la mezcla entre petróleo y agua o para cambiar la grado en el cual el agua es mojable a la roca reservorio.

Territorio afectado: Incluye el área de localización del proyecto y obras/actividades anexas, y el área afectada por los impactos.

Tubo de revestimiento: Metal duro o tubería de plástico que alinea el pozo, previene el derrumbe del pozo y provee una barrera hacia la roca de afuera y aguas subterráneas.

Valores ambientales: Condiciones o elementos ambientales de valor patrimonial y/o interés que definen su protección.

ANEXOS

Anexo 1: Reporte de las Muestras de Suelo y Agua

		UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRES - FACULTAD DE INGENIERIA PETROLERA		
		Responsable del Muestreo:	Saulo Hans Cáceres Larico	
		Lugar de Muestreo:	Municipio de Machareti - Chuquisaca	
		Fecha de Muestreo:	12 de Octubre de 2019	
MUESTRAS DE SUELO Y AGUA				
Nro.	Muestra	Coordenadas GPS	Hora	Observaciones
1	MCH-A-1	S 20°48'25.3" W 63°22'03.5" h = 631 m	06:54	Rio Machareti pH=7-8 Trio=14.2°C Tambiente=14°C Profundidad=0.45 metros Nubosidad: Despejado
2	MCH-S-1	S 20°48'23.8" W 63°22'03.4" h = 635 m	07:50	Profundidad = 25 cm
		S 20°48'24.1" W 63°22'03.2" h = 634 m	08:20	Profundidad = 25 cm
3	MCH-A-2	S 20°55'00.3" W 63°22'57.6" h = 641 m	09:42	Quebrada Tigüipa pH = 7 Trio = 19°C Tambiente = 31°C Profundidad = 0.16 metros Nubosidad: Despejado Afluencia de Animales para consumir agua
4	MCH-S-2	S 20°55'00.0" W 63°22'57.4" h = 646 m	10:15	Suelo suave Cerca a la Quebrada Tigüipa Profundidad = 25 cm
		S 20°55'00.2" W 63°22'57.8" h = 645 m	10:29	Afluencia de Animales (Vacas, Gallinas, Cerdos, etc.) para alimentarse del suelo.
5	MCH-S-2'	S 20°54'59.8" W 63°22'57.9" h = 652 m	10:41	Suelo semi duro Muestra sacada dentro el bosque Profundidad = 25 cm
6	CMT-A-1	S 21°00'52.5" W 63°22'54.9" h = 570 m	11:18	Rio Camatindi pH = 7 Trio = 25°C Tambiente = 32°C Profundidad = 0.04 metros Nubosidad: Despejado Afluencia de Animales para consumir agua



UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRES - FACULTAD DE INGENIERIA PETROLERA

Responsable del Muestreo:	Saulo Hans Cáceres Larico
Lugar de Muestreo:	Municipio de Machareti - Chuquisaca
Fecha de Muestreo:	12 de Octubre de 2019

MUESTRAS DE SUELO Y AGUA

7	MCH-S-3	S 21°00'54.1" W 63°22'55.4" h = 574 m	11:50	Profundidad = 25 cm Suelo suave Muestra en medio de la flora
8	MCH-S-3'	S 21°00'53.4" W 63°22'55.0" h = 580 m	12:09	Profundidad = 25 cm Suelo duro Muestra cerca al río Camatindi
9	CGA-A-1	S 21°10'03.3" W 63°25'28.1" h = 480 m	14:22	Pueblo de Caigua. Agua proveniente de una Quebrada. pH = 7 Trio = 19.5°C Tambiente = 31°C Profundidad = 0.14 metros Nubosidad: Despejado Para consumo humano
10	MCH-S-4	S 21°10'03.4" W 63°25'28.2" h = 474 m	14:50	Profundidad = 25 cm Suelo duro Muestra cerca al conducto de agua dentro el Pueblo de Caigua
11	TRT-A-1	S 21°07'10.5" W 63°24'52.5" h = 484 m	15:40	Río Tairaiti pH = 7.5 Trio = 26.5°C Tambiente = 31°C Profundidad = 0.04 metros Nubosidad: Despejado Río con poco caudal
12	MCH-S-5	S 21°07'10.4" W 63°24'52.6" h = 481 m	16:00	Profundidad = 25 cm Suelo suave Muestra cerca al río Tairaiti
13	MCH-S-5'	S 21°07'10.2" W 63°24'52.9" h = 487 m	16:15	Profundidad = 25 cm Suelo suave Muestra sacada en medio de la flora
14	MCH-A-6	S 20°48'25.3" W 63°22'03.5" h = 631 m	19:45	Muestra sacada posiblemente de un pozo de agua en Machareti

Anexo 2: Identificación y Evaluación de Impactos Ambientales en el Suelo de Machareti

Etapa	Actividad	Impacto Ambiental		Efecto	Normas Permisibles
		Factor	Atributo		
Operación	Fracturamiento Hidraulico	Propiedades Quimicas	pH	Alteracion	DS 2400
			Conductividad Eléctrica	Aumenta	
		Nutrientes	Cantidad de Nitrógeno Total	Disminucion	
			Fosforo Disponible	Disminucion	
			Carbón Orgánico	Disminucion	
			Materia Orgánica	Disminucion	

Fuente: Elaboración Propia de acuerdo al DS 3549 (2020)

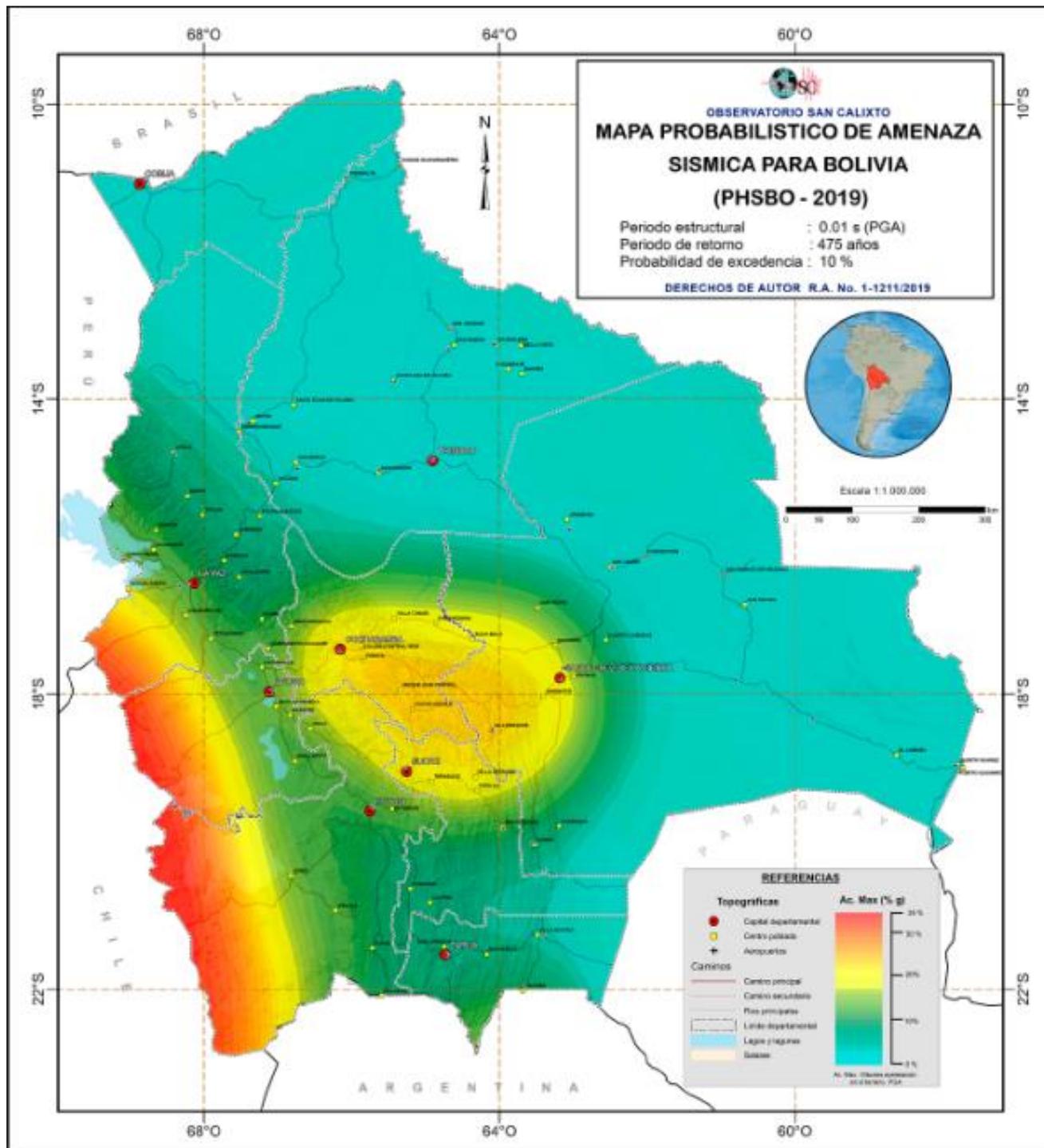
Anexo 3: Identificación y Evaluación de Impactos Ambientales en el Agua de Machareti

Etapa	Actividad	Impacto Ambiental		Efecto	Normas Permisibles	Observaciones
		Factor	Atributo			
Operación	Fracturamiento Hidraulico	Calidad del Agua Superficial	pH	Incremento de la acidez	NB 512	-
			Solidos Totales	Incremento		17-1090 mg/l
			Cloruros	Incremento		1670 - 181000 mg/l
			Temperatura	Incremento		-
			Conductividad Eléctrica	Incremento		6800-710000 umhos/cm
		Metales Pesados	Hierro	Incremento		13,8 - 242 mg/l
		Dureza del Agua	Magnesio	Incremento		-
			Calcio	Incremento		630-95000 mg/l

Fuente: Elaboración Propia de acuerdo al DS 3549 (2020)

Nota: Las observaciones indican los valores del agua producida después de aplicar el fracturamiento hidráulico.

Anexo 4: Mapa Probabilístico de Amenaza Sísmica para Bolivia



INFORME DE ENSAYO DE SUELO S91/19

Cliente: UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS
Solicitante: Sr. Saulo Hans Cáceres Larico
Dirección del cliente: Alto San Pedro, C/Pioneros de Rach Dale Nro.1116
Procedencia de la muestra: Municipio de Machareti
Provincia: Luis Calvo
Departamento: Chuquisaca
Punto de muestreo: Carretera Villa Montes - Machereti
Responsable del muestreo: Sr. Saulo Hans Cáceres Larico
Fecha de muestreo: 12 de octubre de 2019
Hora de muestreo: De 8:30 - 12:00
Fecha de recepción de la muestra: 25 de noviembre de 2019
Fecha de ejecución del ensayo: Del 25 de noviembre al 13 de diciembre, 2019
Caracterización de la muestra: Suelo
Tipo de muestra: Simple
Envase: Bolsa Ziploc
Código LCA: 91-1
Código original de muestra: Suelo MCH-S-3'

Resultado de Análisis

Parámetro	Método	Unidad	Límite de determinación	Suelo MCH-S-3' 91-1
pH acuoso	ISRIC 4		1 - 4	8,7
Conductividad eléctrica	ASPT 6	µS/cm	1,0	90
Fósforo disponible (P)	ISRIC 14-3	P /mg*kg-1	1,5	3,9
Nitrógeno total	ISRIC 6	%	0,0014	0,027
Carbón orgánico	ISRIC 5	%	0,060	0,23
Materia orgánica	ISRIC 5	%	0,10	0,39

- International Soil Reference and Information Center (ISRIC)

- Análisis de Suelos y Plantas tropicales (ASTP)

* Los resultados de este informe no deben ser modificados sin la autorización del LCA.

* La difusión de los resultados debe ser en su integridad.

La Paz, Diciembre 17 de 2019


Ing. Jaime Chincheros Paniagua
Responsable Laboratorio de Calidad Ambiental

JCh/lca



INFORME DE ENSAYO EN AGUA DE RÍO A238/19

Cliente: UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS
Solicitante: Sr. Saulo Hans Cáceres Larico
Dirección del cliente: Alto San Pedro, C/Pioneros de Roch Date, Nro. 1116
Procedencia de la muestra: Machareti
Provincia: Luis Calvo
Departamento: Chuquisaca
Punto de muestreo: **Río Machareti**
Responsable del muestreo: Sr. Saulo Hans Cáceres Larico
Fecha de muestreo: 12 de octubre de 2019
Hora de muestreo: 06:50
Fecha de recepción de la muestra: 25 de noviembre de 2019
Fecha de ejecución del ensayo: Del 25 al 27 de noviembre, 2019
Caracterización de la muestra: Agua de río
Tipo de muestra: Simple
Envase: Frasco de vidrio con 20 ml de muestra.
Código LCA: 238-1
Código original: Machareti -A-1

Resultado de Análisis

Parámetro	Método	Unidad	Límite de determinación	Machareti -A-1 238-1
Cloruros	SM-4500-Cl-B	mg Cl/l	0,020	136

SM = Standard Methods (For the Examination of Water and Wastewater)
EPA= Environmental Protection Agency (Sampling and Analysis Methods)

Los resultados de este informe no deben ser modificados sin la autorización del LCA.
La difusión de los resultados debe ser en su integridad.

La Paz, Diciembre 10 de 2019



Ing. Jaime Chincheros Paniagua
Responsable Laboratorio de Calidad Ambiental

c.c.: Arch.
JCH/LCA



INFORME DE ENSAYO EN AGUA A239/19

Cliente: UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS
Solicitante: Sr. Saulo Hans Cáceres Larico
Dirección del cliente: Alto San Pedro, C/Pioneros de Roch Date, Nro. 1116
Procedencia de la muestra: Machareti
Provincia: Luis Calvo
Departamento: Chuquisaca
Punto de muestreo: **Quebrada Tiquipaya**
Responsable del muestreo: Sr. Saulo Hans Cáceres Larico
Fecha de muestreo: 12 de octubre de 2019
Hora de muestreo: 09:42
Fecha de recepción de la muestra: 25 de noviembre de 2019
Fecha de ejecución del ensayo: Del 25 al 27 de noviembre, 2019
Caracterización de la muestra: Muestra líquida
Tipo de muestra: Simple
Envase: Frasco de vidrio con 15 ml de muestra.
Código LCA: 239-1
Código original: Machareti -A-2

Resultado de Análisis

Parámetro	Método	Unidad	Límite de determinación	Machareti -A-2 239-1
Calcio	EPA 215.1	mg/l	0,32	63

SM = Standard Methods (For the Examination of Water and Wastewater)
EPA= Environmental Protection Agency (Sampling and Analysis Methods)

Los resultados de este informe no deben ser modificados sin la autorización del LCA.
La difusión de los resultados debe ser en su integridad.

La Paz, Diciembre 10 de 2019



Ing. Jaime Chincheros Paniagua
Responsable Laboratorio de Calidad Ambiental



c.c.: Arch.
JCH/LCA



INFORME DE ENSAYO EN AGUA DE RÍO A240/19

Cliete: UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS
Solicitante: Sr. Saulo Hans Cáceres Larico
Dirección del cliente: Alto San Pedro, C/Pioneros de Roch Date, Nro. 1116
Procedencia de la muestra: Machareti
Provincia: Luis Calvo
Departamento: Chuquisaca
Punto de muestreo: **Río Camatindi**
Responsable del muestreo: Sr. Saulo Hans Cáceres Larico
Fecha de muestreo: 12 de octubre de 2019
Hora de muestreo: 11:20
Fecha de recepción de la muestra: 25 de noviembre de 2019
Fecha de ejecución del ensayo: 25 de noviembre de 2019
Caracterización de la muestra: Agua de Río
Tipo de muestra: Simple
Envase: Frasco de vidrio con 20 ml de muestra.
Código LCA: 240-1
Código original: Machareti -A-3

Resultado de Análisis

Parámetro	Método	Unidad	Límite de determinación	Machareti -A-3 240-1
Conductividad eléctrica	EPA 120.1	µS/cm	1,0	596

SM = Standard Methods (For the Examination of Water and Wastewater)
EPA= Environmental Protection Agency (Sampling and Analysis Methods)

Los resultados de este informe no deben ser modificados sin la autorización del LCA.
La difusión de los resultados debe ser en su integridad.

La Paz, Diciembre 10 de 2019



Ing. Jaime Chincheros Panigua
Responsable Laboratorio de Calidad Ambiental



c.c.: Arch.
JCH/LCA



INFORME DE ENSAYO EN AGUA A241/19

Cliente:	UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS
Solicitante:	Sr. Saulo Hans Cáceres Larico
Dirección del cliente:	Alto San Pedro, C/Pioneros de Roch Date, Nro. 1116
Procedencia de la muestra:	Machareti
	Provincia: Luis Calvo
	Departamento: Chuquisaca
Punto de muestreo:	Pueblo de Caigua
Responsable del muestreo:	Sr. Saulo Hans Cáceres Larico
Fecha de muestreo:	12 de octubre de 2019
Hora de muestreo:	14:22
Fecha de recepción de la muestra:	25 de noviembre de 2019
Fecha de ejecución del ensayo:	Del 25 al 28 de noviembre, 2019
Caracterización de la muestra:	Muestra líquida
Tipo de muestra:	Simple
Envase:	Frasco de vidrio con 15 ml de muestra.
Código LCA:	241-1
Código original :	Machareti -A-4

Resultado de Análisis

Parámetro	Método	Unidad	Límite de determinación	Machareti -A-4 241-1
Magnesio	EPA 242.1	mg/l	0,18	3,6

SM = Standard Methods (For the Examination of Water and Wastewater)
EPA= Environmental Protection Agency (Sampling and Analysis Methods)

Los resultados de este informe no deben ser modificados sin la autorización del LCA.
La difusión de los resultados debe ser en su integridad.

La Paz, Diciembre 10 de 2019



Ing. Jaime Chincheros Paniagua
Responsable Laboratorio de Calidad Ambiental



c.c.: Arch.
JCH/LCA



INFORME DE ENSAYO EN AGUA DE RÍO A242/19

Cliente: UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS
Solicitante: Sr. Saulo Hans Cáceres Larico
Dirección del cliente: Alto San Pedro, C/Pioneros de Roch Date, Nro. 1116
Procedencia de la muestra: Machareti
Provincia: Luis Calvo
Departamento: Chuquisaca
Punto de muestreo: **Río Tairaiti**
Responsable del muestreo: Sr. Saulo Hans Cáceres Larico
Fecha de muestreo: 12 de octubre de 2019
Hora de muestreo: 15:40
Fecha de recepción de la muestra: 25 de noviembre de 2019
Fecha de ejecución del ensayo: Del 25 de noviembre al 03 de diciembre, 2019
Caracterización de la muestra: Agua
Tipo de muestra: Simple
Envase: Frasco de vidrio con 15 ml de muestra.
Código LCA: 242-1
Código original: Machareti -A-5

Resultado de Análisis

Parámetro	Método	Unidad	Límite de determinación	Machareti -A-5 242-1
Hierro	EPA 236.2	mg/l	0,050	< 0,050

SM = Standard Methods (For the Examination of Water and Wastewater)
EPA= Environmental Protection Agency (Sampling and Analysis Methods)

Los resultados de este informe no deben ser modificados sin la autorización del LCA.
La difusión de los resultados debe ser en su integridad.

La Paz, Diciembre 10 de 2019



Ing. Jaime Chincheros Paniagua
Responsable Laboratorio de Calidad Ambiental



c.c.: Arch.
JCH/LCA

INFORME DE ENSAYO EN AGUA DE RÍO A243/19

Cliente: UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS
Solicitante: Sr. Saulo Hans Cáceres Larico
Dirección del cliente: Alto San Pedro, C/Pioneros de Roch Date, Nro. 1116
Procedencia de la muestra: Machareti
Provincia: Luis Calvo
Departamento: Chuquisaca
Punto de muestreo: **Río Machareti**
Responsable del muestreo: Sr. Saulo Hans Cáceres Larico
Fecha de muestreo: 12 de octubre de 2019
Hora de muestreo: 06:54
Fecha de recepción de la muestra: 25 de noviembre de 2019
Fecha de ejecución del ensayo: Del 25 al 27 de noviembre de 2019
Caracterización de la muestra: Agua
Tipo de muestra: Simple
Envase: Frasco de vidrio con 15 ml de muestra.
Código LCA: 243-1
Código original: Machareti -A-7

Resultado de Análisis

Parámetro	Método	Unidad	Límite de determinación	Machareti -A-7 243-1
Sólidos totales	EPA 160.3	mg/l	10	595

SM = Standard Methods (For the Examination of Water and Wastewater)
EPA= Environmental Protection Agency (Sampling and Analysis Methods)

Los resultados de este informe no deben ser modificados sin la autorización del LCA.
La difusión de los resultados debe ser en su integridad.

La Paz, Diciembre 10 de 2019



Ing. Jaime Chincheros Paniagua
Responsable Laboratorio de Calidad Ambiental



c.c.: Arch.
JCH/LCA