



## **Proyecto 17: Plan de líneas de investigación para el desarrollo de la geotermia**

*Plan estructurado para la aplicación de las líneas de investigación para el desarrollo geotérmico del Ecuador*

## 1. Introducción

El Instituto Nacional de Eficiencia Energética y Energías Renovables (INER), al ser el centro de investigación público en el área de eficiencia energética y energía renovable, tiene por misión el contribuir al desarrollo sostenible de la sociedad ecuatoriana, a través de la investigación científica y tecnológica, brindando insumos que faciliten la masificación de las mejores prácticas y la implementación de políticas y proyectos, en el campo de la eficiencia energética y las energías renovables.

En la actualidad, el uso de la geotermia en Ecuador se limita a balnearios y piscinas termales. La capacidad total instalada de energía geotérmica para aplicaciones directas de calor en 2009 fue de 5 MWt (Beate y Salgado, 2005), con un ligero aumento en los últimos cinco años. En términos de generación eléctrica, CELEC EP continúa realizando los estudios geo-científicos en 5 prospectos de interés para confirmar su potencial geotérmico.

El proyecto “Plan para líneas de investigación para el desarrollo de la geotermia” contempló la realización de estudios de reconocimiento inicial (geología de detalle y geoquímica de aguas y gases) en la parroquia Baños de Cuenca, con el objetivo de establecer metodologías de trabajo para el levantamiento de datos en campo.

Los resultados obtenidos permitieron elevar el nivel de conocimiento del prospecto geotérmico estudiado y ha permitido definir un plan de investigación nacional en base a la información recopilada de estudios realizados en el pasado, en las experiencias obtenidas tanto en la toma de muestras y datos en campo, y en la interpretación de los resultados. Todas las actividades de investigación fueron asesoradas técnicamente por expertos nacionales e internacionales, mediante el acompañamiento en las actividades del proyecto.

El “Plan de líneas de investigación para el desarrollo de la geotermia” fue elaborado en base a cinco categorías de causas identificadas, en donde se sugieren actividades o soluciones que ayudarán a mantener, mejorar y acelerar el proceso de investigación del recurso geotérmico en el Ecuador. Los indicadores sugeridos servirán para observar de manera objetiva el desarrollo del proceso.

Se sugiere implementar y mantener un modelo de gestión que sirva de guía para el desarrollo de las actividades relacionadas con la investigación geotérmica, que involucren a todos los actores e institutos públicos de investigación relacionados a esta línea. La aplicación del presente plan facilitará la planificación de nuevos programas y proyectos de investigación, la asignación de recursos, el establecimiento de objetivos complementarios y la evaluación de la eficacia global del proceso.

Los beneficios del aprovechamiento geotérmico en el Ecuador son sugestivos. Si el recurso geotérmico permanece desaprovechado, importantes oportunidades de desarrollo para el país quedarían marginadas al uso de otros recursos, los cuales carecen de los grandes beneficios que la geotermia otorga. Tecnologías de generación libres de contaminantes como solar, eólica o hidroeléctrica, dependen en gran medida de condiciones meteorológicas deseables para su operación, y están condicionadas a cambios estacionales que garanticen la abundancia del recurso para su correcto aprovechamiento. La geotermia

no depende de los factores antes mencionados, lo que se traduce en un factor de planta superior al 90%. Esto le permitiría al Ecuador contar con una energía de base para la generación de electricidad los 365 días del año. En la actualidad existen 16 zonas de interés geotérmico que todavía no han sido estudiadas en detalle.

## **2. Objetivos**

Los objetivos del presente reporte buscan:

- Dar a conocer el estado de la Geotermia en Ecuador.
- Analizar porque el recurso geotérmico no es aprovechado en Ecuador.
- Elaborar un plan táctico.
- Proponer soluciones e indicadores de trabajo.
- Establecer líneas de investigación.

## **3. Alcance**

El presente documento contiene el “Plan de líneas de investigación para el desarrollo de la geotermia” el cual fue elaborado en base a un análisis causa-efecto. Este análisis toma como punto de referencia la situación del país en 2008, antes de la gestión del INER, CELEC EP e INP. Se describe el estado de la geotermia en el Ecuador en base a la recopilación y análisis de estudios previos existentes en el país. Finalmente se definen líneas de investigación para la fase de exploración en base a la metodología utilizada durante las investigaciones realizadas en el prospecto Baños de Cuenca, que fueron la base para la elaboración del plan.

## **4. Contenido**

El documento se encuentra estructurado en cuatro partes:

- Resumen de la recopilación y análisis de la información existente
- Resumen del estado actual de la geotermia en el Ecuador
- Resumen de las investigaciones de alta entalpía
- Resumen de las investigaciones de baja entalpía
- Plan de líneas de investigación para el desarrollo de la geotermia

## **5. Recopilación y análisis de la información existente**

Durante el proceso de búsqueda de información se cumplieron las siguientes actividades:

- Identificación de organismos con información relacionada a geotermia;
- Obtención y documentación de la información recopilada.

### **5.1. Identificación de organismos con información relacionada a geotermia**

La Tabla 1 detallan los organismos que han manejado la información sobre proyectos de geotermia.

Tabla 1 Organismos que han manejado la información sobre proyectos geotérmicos

<b>Acrónimo</b>	<b>Nombre</b>	<b>Vigencia</b>	<b>Función</b>
<b>Organismos encargados de la energía</b>			
INECEL	Instituto Ecuatoriano de Electrificación	1961 – 1996	Generación, transmisión, distribución y comercialización
INE	Instituto Nacional de Energía	1982 – 1995	Investigación en energía renovable y eficiencia energética
MRNE	Ministerio de Recursos Naturales y	1973	Gestión
MEM	Ministerio de Energía y Minas (incluye una Dirección de		
MEER	Ministerio de Electricidad y Energía	2007 – hoy	
CELEC EP	Corporación Eléctrica del Ecuador, empresa pública		Generación, transmisión, distribución y comercialización
<b>Organismos encargados del agua</b>			
INERHI	Instituto Nacional de Recursos Hídricos	1966 – 1994	Administración del agua, más enfocado a riego
CNRH	Consejo Nacional de Recursos Hídricos	1994 – 2008	
SENAGUA	Secretaría Nacional del Agua	2008 – hoy	
INAMHI	Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología	1961 – hoy	
<b>Universidades</b>			
EPN	Escuela Politécnica Nacional		En particular, Instituto Geofísico
ESPE	Escuela Politécnica del Ejército		
<b>Organismos latinoamericanos</b>			
OLADE	Organización Latinoamericana de Energía	1973 – hoy	
CEPAL	Comisión Económica para América Latina y el Caribe		

## 5.2. Obtención y documentación de la información recopilada.

Se realizaron las gestiones correspondientes para tener acceso a la información mediante: Solicitudes formales a autoridades.

- Obtención de duplicados y escaneo de documentos.
- Taller de trabajo con las instituciones relacionadas a geotermia.

De esta manera se obtuvieron informes, mapas, reportes y talleres, como se desglosa a continuación:

### Informes y anexos

- Beate, B. and Salgado R. (2010). Geothermal Country Update for Ecuador, 2005 - 2010. Proceedings World Geothermal Congress 2010. Bali, Indonesia, 25-29 April 2010.
- CEPAL (2000). Proyecto OLADE/CEPAL/GTZ : Estudio para la Evaluación del Entorno del Proyecto Geotérmico Binacional “Tufiño-Chiles-Cerro Negro”
- CEPAL (2010). Geotermia en el Ecuador : una hoja de ruta para su desarrollo sustentable. Autor : E. Aguilera. Primera Conferencia Nacional de Energía Geotérmica en el Ecuador. Ibarra, Ecuador, 6 - 7 de julio de 2010. 45 p.
- INERHI (1984). Inventario hidrotermal del Ecuador. Instituto Ecuatoriano de Recursos Hidráulicos. Primera investigación. 314 p.
- INE (1981). Posibilidades de aplicación de la geotermia de baja entalpía en la zona de Cuenca. Instituto Nacional de Energía. Autores : M. Lopoukhine y H. Ojeda T. (RG-187.pdf, 40 p.)
- INE (1988). Estado actual y perspectivas de la geotermia de media y baja entalpía en el Ecuador. Instituto Nacional de Energía, Dirección de Desarrollo Energético. 25 p. (RG-189, 29 p.)
- Inguaggiato, S., Hidalgo, S., Beate, B. and Bourquin, J. (2010). Geochemical and isotopic characterization of volcanic and geothermal fluids discharged from the Ecuadorian volcanic arc. Geofluids (2010). 17p.
- MEER (2009). Plan Geotérmico de Generación Eléctrica para el Ecuador. 5 p + anexos : en particular 5 fichas correspondientes al Primer hasta el Quinto Informe de Consultoría del Plan de Aprovechamiento Geotérmico en el Ecuador
- MEER (2010). Plan para el aprovechamiento de los recursos geotérmicos en el Ecuador. Proyectos Tufiño, Chachimbiro y Chacana. Ministerio de Electricidad y Energía Renovable, Subsecretaría de Gestión de Proyecto.
- MEM (1988). La geotermia en el Ecuador. Ministerio de Energía y Minas, Departamento de Estudios y Proyectos Energéticos. Autores : E. Almeida (INECEL) y M. Balseca (INE). 43 p. (RG-188.pdf, 46 p)
- OLADE–Aquatec–BRGM (1980). Proyecto de investigación geotérmica de la república del Ecuador : estudio de reconocimiento, investigación hidrogeológica. Incluye informes, anexos. 362 p.

- OLADE–Aquater (1980). Proyecto de investigación geotérmica de la república del Ecuador : estudio de reconocimiento, investigación hidrogeológica. 25 Planos.
- OLADE–INECEL (1981). Aprovechamiento de los recursos geotérmicos de la zona Tufiño. Incluye informes y anexos. (RG-166). 351 p.
- OLADE–INECEL (1981). Aprovechamiento de los recursos geotérmicos de la zona Tufiño. OLADE – INECEL. 1981. (RG-166). 17 Planos.
- OLADE–INECEL (1987). Proyecto geotérmico binacional Tufiño – Chiles – Cerro Negro. Incluye informes y anexos. (RG-167). 1730 p.
- OLADE–INECEL (1987). Proyecto geotérmico binacional Tufiño – Chiles – Cerro Negro. (RG-167). 80 planos

## Mapas

- MRNE (1983). Mapa hidrogeológico nacional de la República del Ecuador. Escala 1:1000000. Ministerio de Recursos Naturales y Energéticos, Quito. Dirección General de Geología y Minas (DGGM) e Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI). Formatos pdf y jpg.
- IGM. Carta topográfica San José de Camarón. Escala 1:50 000. Instituto Geográfico Militar. Formato digital. Hoja de acceso restringido, correspondiente a la zona de interés geotérmico Salinas (Bolívar).
- INNIGEM. Mapas geológicos de Cuenca, Chimborazo y Guaranda. Escala 1:100 000 Instituto Nacional de Investigación Geológico, Minero, Metalúrgico. Hojas correspondientes a las zonas de interés geotérmico Salinas (Bolívar) y Baños (Cuenca).

## Reportes

- INAMHI (2012). Cuadro resumen de fuentes termales inventariadas por el INAMHI a nivel nacional - año 2012. Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología. 2 p. (96 puntos)

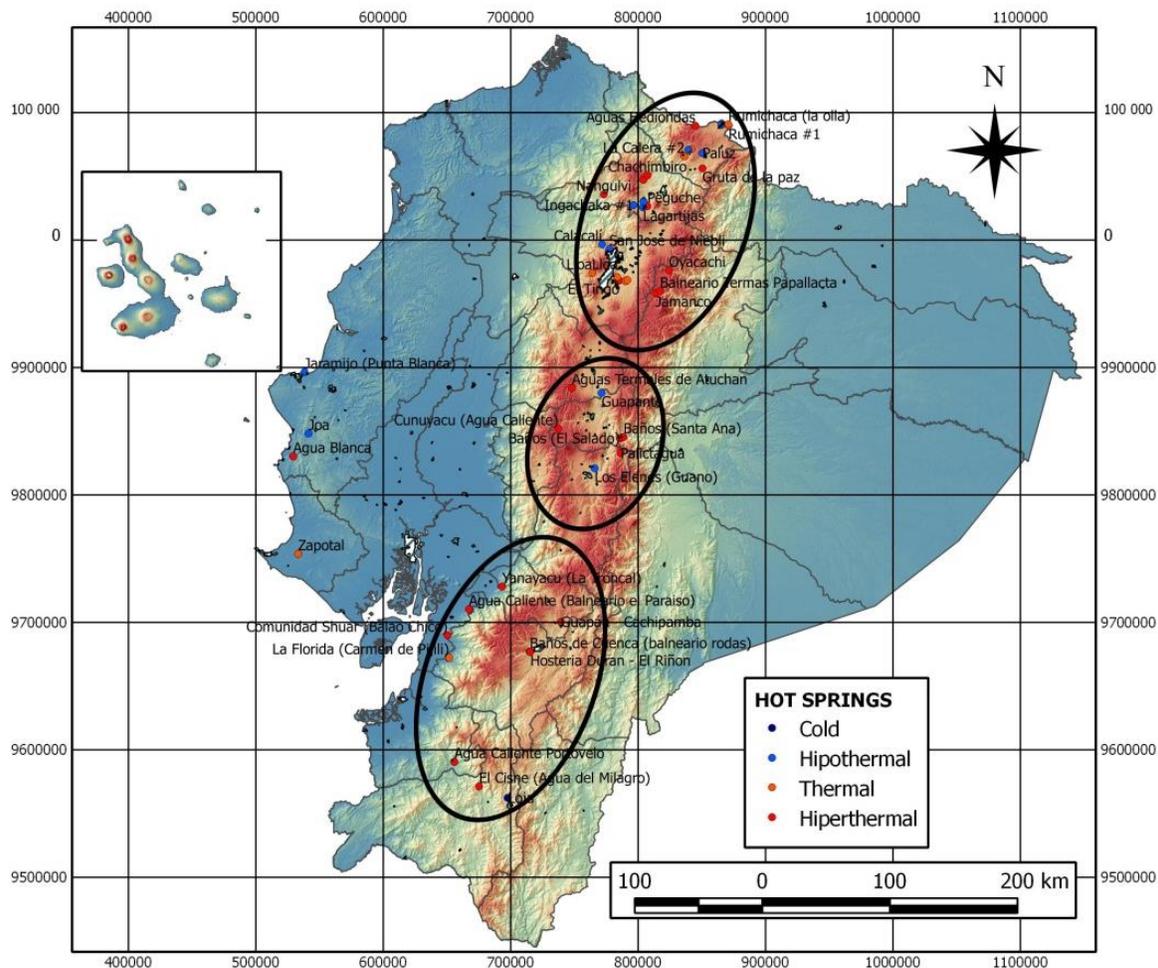
## Taller sobre energía geotérmica

Para complementar el proceso de recolección de información se realizó un taller sobre energía geotérmica convocando a los profesionales y científicos involucrados en temas relacionados a geotermia. A este evento asistieron 48 representantes de 16 instituciones del estado. Como resultado del taller se logró establecer un primer vínculo entre las instituciones con el fin de auscultar criterios, abrir canales de comunicación y establecer compromisos para un trabajo conjunto en el corto y largo plazo.

## 6. Estado actual de la geotermia en el Ecuador

El estudio de la geotermia de alta, media y baja entalpía inició en el año 1979 con el “Estudio de Reconocimiento Geotérmico Nacional de la República de Ecuador”, elaborado por INECEL, OLADE, Aquater, BRGM; resultado de este informe se definen tres grupos

con diferentes grados de interés geotérmico a lo largo del callejón interandino que atraviesa el Ecuador (Figura 1).

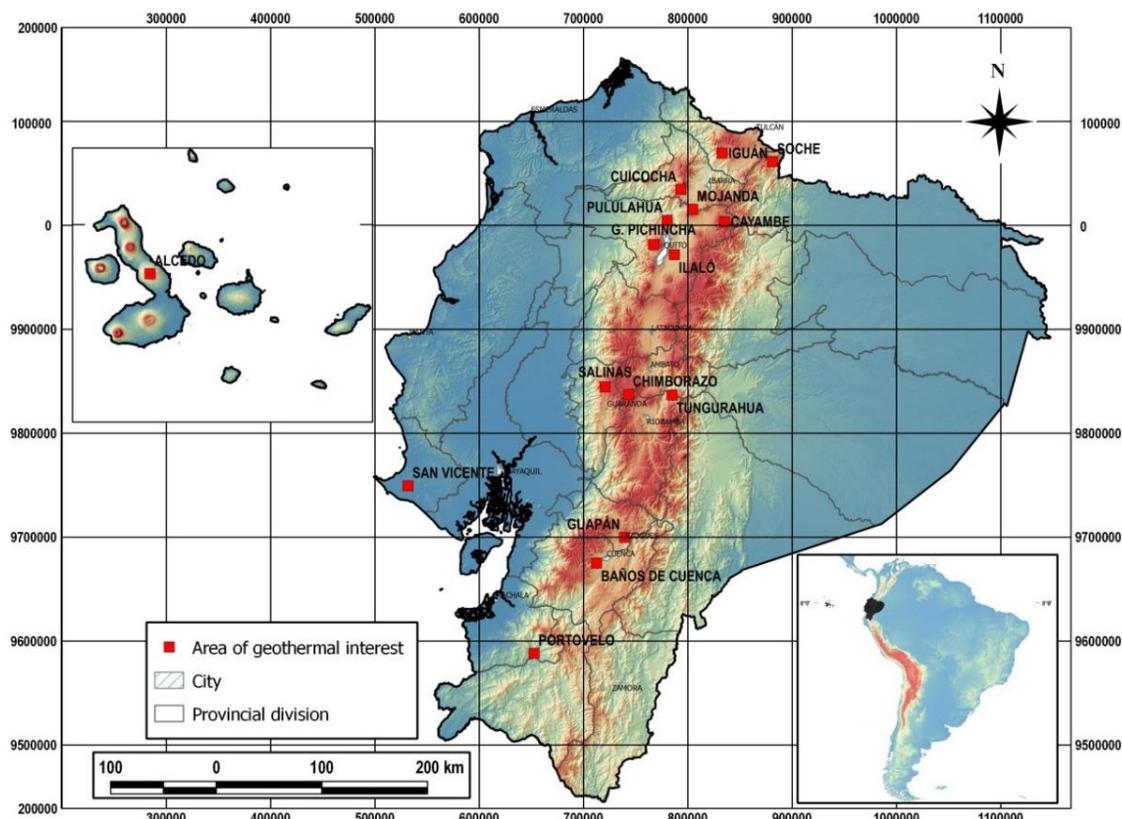


**Figura 1 Estudio de Reconocimiento Geotérmico Nacional, OLADE 1979.**

A partir de este primer estudio, se realizaron investigaciones complementarias en las zonas de interés que presentaban las manifestaciones superficiales más notables. (Tufiño, Chachimbiro, Chacana) Entre 1980 y 1982, el Instituto Nacional de Energía (INE) desarrolló varios proyectos dirigidos a la exploración de recursos geotérmicos de media y baja entalpía. Estos estudios no tuvieron continuidad debido al bajo costo del diésel que hacía poco atractivo el cambio en la matriz energética.

Entre 1986 y 1999 se desarrollaron los primeros estudios de prefactibilidad con asistencia técnica internacional de OLADE, CEPAL, y la IAEA. La exploración geotérmica fue interrumpida en 2002 debido a recortes en los presupuestos de investigación y a una crisis financiera interna. En 2007, luego de declararse como política de estado la diversificación de la matriz energética, se retomaron los estudios geotérmicos iniciados en 1970, esta vez a cargo de la Corporación Eléctrica del Ecuador (CELEC EP). En 2010, El Ministerio de Electricidad y Energía Renovable (MEER) publica el “Plan para el aprovechamiento de los recursos geotérmicos en el Ecuador”. En dicho estudio, se lista 21 localidades de Ecuador

que merecen la realización de estudios de reconocimiento y exploración geotérmica. Sólo cinco de estos lugares han sido estudiados (Tufiño-Chiles-Cerro Negro, Chachimbiro, Chacana, Chalpatán y Chalupas), debido a su potencial para generar electricidad. Los siguientes prospectos se encuentran sin ser desarrollados con poca información disponible: Chimborazo, Baños de Cuenca, Guapán, Alcedo, Guagua Pichincha, Pululahua, Cayambe, Cuicocha, Tungurahua, Ilaló, Salinas de Bolívar, San Vicente, Portovelo, IGUAN, Mojanda, y Soche (Figura 2).



**Figura 2** Mapa de ubicación de las zonas de interés geotérmico.

Un estudio de la caracterización geoquímica e isotópica de los fluidos volcánicos y geotérmicos del arco volcánico ecuatoriano se llevó a cabo en el año 2010 (Geochemical and isotopic characterization of volcanic and geothermal fluids discharged from the Ecuadorian volcanic arc. Inguaggiato et al., 2010.). Se identificaron los sitios de interés y se sugirió iniciar una actividad de monitoreo geoquímico sistemático y la investigación geológica complementaria para la exploración de energía geotérmica.

En el año 2013, el Gobierno Nacional, el Ministerio de Electricidad y Energía Renovable (MEER) a través del el Instituto Nacional de Eficiencia Energética y Energía Renovable (INER), consciente de la necesidad de aumentar el conocimiento del potencial de los recursos geotérmicos y fomentar la investigación científico-tecnológica en Ecuador, emprende el proyecto “Plan para líneas de investigación para el desarrollo de la geotermia”, dirigido al establecimiento de metodologías de trabajo a ser empleados en futuros proyectos de interés geotérmico de alta, media y baja entalpía. Los resultados obtenidos permitieron

elevant el nivel de conocimiento del prospecto geotérmico Baños de Cuenca y permitió definir una metodología de trabajo en base a la experiencia obtenida en la toma de muestras y datos en campo, así como en la interpretación de los resultados.

La Asociación de Energía Geotérmica (Gawell et al., 1999), estimó el potencial geotérmico del país en 1700 MWe en 1999. Sin embargo, este aparenta ser mucho mayor. Stefansson (2005) propone una relación empírica entre el número de volcanes activos en un área determinada y su potencial geo-termoeléctrico. En base a esta relación, si se consideran únicamente 20 volcanes activos en el arco volcánico ecuatoriano, el potencial estimado podría alcanzar los 3000MWe. (Beate, 2010) Si las calderas riolíticas como Chalupas y Chacana son consideradas, entre 30 y 40 volcanes podrían incrementar el potencial teórico en 8000 MWe. (Beate, 2010) Esto supera la capacidad instalada del sistema nacional interconectado, la cual es de 4700MWe. (CONELEC, 2013)

El Gobierno Nacional, con el objetivo de disminuir el consumo de los combustibles fósiles, ha impulsado el desarrollo de las energías renovables, sustentables y amigables con el ambiente. En 2011, el Consejo Nacional de Electricidad expidió una regulación que otorga precios preferenciales para la producción de energía con fuentes renovables en las que se incluye a la geotermia. Para el año 2020, el Plan de Expansión de Generación plantea un 90% de producción a base de energía hidroeléctrica, y la reducción de la generación termoeléctrica mediante la generación con fuentes energéticas no convencionales, como la eólica y la geotérmica.

## **7. Investigaciones de alta entalpía**

### **7.1. Tufiño Chiles Cerro Negro**

Los gobiernos de Ecuador y Colombia, a través del Ministerio de Electricidad y Energía Renovable y del Ministerio de Minas y Energía, respectivamente, suscribieron en el mes de julio de 2010 un acuerdo binacional con el propósito de estudiar conjuntamente la viabilidad de desarrollar un proyecto de generación de energía eléctrica basado en el recurso geotérmico identificado en la frontera de ambos países.

Para el desarrollo del acuerdo binacional, las autoridades mencionadas designaron en Ecuador, a la Corporación Eléctrica del Ecuador – CELEC EP y en Colombia a ISAGEN. Las instituciones previamente señaladas suscribieron en abril de 2011 un Convenio Específico junto con la Comunidad Andina de Naciones CAN con la finalidad de que este último organismo viabilice los procesos de contratación para la realización de estudios de prefactibilidad técnica, ambiental y financiera del Proyecto Geotérmico Binacional Tufiño-Chiles-Cerro Negro.

El 19 de enero de 2011, se suscribió una Declaración Presidencial conjunta entre Ecuador y Colombia en la que se acuerda conferir un mandato a ISAGEN para que sea la entidad que adelante los estudios y el desarrollo del proyecto. El 31 de enero de 2012, en Bogotá se reunieron el Ministro de Electricidad y Energía Renovable de Ecuador y el Ministro de Minas y Energía de Colombia en donde acordaron finalizar anticipadamente el convenio

suscrito con la CAN y destinar a ISAGEN como administrador del Convenio Específico firmado por las partes.

En la reunión de los presidentes de Ecuador y Colombia celebrada en diciembre del año 2012, los dos países ratificaron su voluntad de continuar con el impulso de este proyecto. Para llevar adelante los trabajos se cuenta con un fondo común en el que participan por partes iguales Ecuador y Colombia.

#### Estudios de prefactibilidad

Los resultados del estudio de gabinete de revisión del prospecto geotérmico Tufiño-Chiles-Cerro Negro se presentaron en 3 fases: En la fase 1, datos existentes fueron revisados con el propósito de: (1) identificar los vacíos y las deficiencias en los conjuntos de datos geológicos, geoquímicos, hidrogeológicos y geofísicos disponibles, (2) proporcionar una estimación preliminar del recurso potencial y (3) identificar los riesgos del recurso. La fase 2 direcciona un programa propuesto de exploración para evaluar con mejor detalle el recurso. La fase 3 provee los requerimientos técnicos, corporativos y de personal para las actividades de exploración. Finalmente la fase 4 proporciona un programa de desarrollo referencial integral con miras al aprovechamiento del recurso.

Si los estudios de prefactibilidad son positivos y se comprueba la existencia de un recurso de alta temperatura, se procederá a realizar los estudios de factibilidad que comprobarán la capacidad de producción del recurso. Si la etapa de factibilidad es positiva se procederá con los diseños definitivos y el desarrollo de la central.

### **7.2. Chacana (Jamanco – Cachiyacu)**

Se realizaron los estudios de prefactibilidad inicial durante el periodo julio 2011- abril 2012, que consisten en la integración de estudios de geología, geoquímica y geofísica del área de estudio.

Basados en los modelos conceptuales optimistas de Cachiyacu y Jamanco, se ha definido el tamaño probable del recurso para estos dos prospectos. La extensión superficial probable para Jamanco es de 0.87 km<sup>2</sup>, con una potencia media estimada en 13MWe. Para Cachiyacu la extensión media del reservorio es de 2.6Km<sup>2</sup> con una potencia estimada en 39MWe.

### **7.3. Chachimbiro**

La evaluación de los factores de riesgo en la exploración, que incluye la temperatura del reservorio, la permeabilidad y la química de los fluidos, indican que Chachimbiro es un prospecto relativamente riesgoso (Beate y Urquizo, 2015). Las principales inquietudes de riesgo son la temperatura y la permeabilidad del recurso, mientras que la química de fluidos arroja un nivel de riesgo bajo. Si la etapa de exploración resulta exitosa, las perforaciones exploratorias necesitarán delinear un volumen del recurso que sea suficiente para asegurar el primer incremento en la generación de energía.

A la fecha, se terminaron los términos de referencia para el inicio de las perforaciones exploratorias para comprobar los modelos conceptuales, y se espera que los trabajos empiecen 2015.

## 8. Investigaciones de baja entalpía

En la actualidad, la utilización de los recursos geotérmicos en Ecuador se limita a balnearios y piscinas termales. La capacidad total instalada de energía geotérmica para aplicaciones directas de calor en 2009 fue de 5 MWt (Beate y Salgado, 2005), con un ligero aumento en los últimos cinco años.

Excluyendo los prospectos con fines de generación eléctrica, se presenta un resumen de las zonas de interés para el aprovechamiento directo del recurso:

### 8.1. Baños de Cuenca (Tabla 2)

Prospecto ubicado a 8km SO de la zona industrial en la ciudad de Cuenca.

**Tabla 2 Baños de Cuenca**

Investigaciones realizadas	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 1988: Estado actual y perspectivas de la geotermia de media a baja entalpía en el Ecuador (INE).</li> <li>• 1990: Modelo geotérmico preliminar de áreas volcánicas del Ecuador, a partir de estudios químicos e isotópicos de manifestaciones termales (OIEA: Estudios geotérmicos con técnicas isotópicas y geoquímicas en América Latina).</li> <li>• 2014: Plan para líneas de investigación para el desarrollo de la geotermia (INER).</li> </ul>
Últimos hallazgos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Temperatura estimada del recurso: 100 a 145°C.</li> </ul>
Conclusiones y recomendaciones	<ul style="list-style-type: none"> <li>• El análisis de gases, no realizado en estudios previos, finalmente confirma una temperatura &lt;200°C, ubicando como competencia de INER las futuras investigaciones que se enfocaran en definir la viabilidad de perforar y aprovechar el recurso en:             <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Calefacción</li> <li>○ Procesos agroindustriales</li> <li>○ Balneología</li> </ul> </li> </ul>

### 8.2. Chalpatán (Tabla 3)

Caldera ubicada a 20km SO de la ciudad de Tulcán con una extensión aproximada de 130 km<sup>2</sup>.

**Tabla 3 Chalpatán**

Investigaciones realizadas	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 1982: Estudio de Prefactibilidad de la zona Chiles-Cerro Negro (OLADE-INECEL-Geotérmica italiana).</li> <li>• 1987: Proyecto binacional Tufiño-Chiles-Cerro Negro (OLADE-ICEL-INECEL-Aquater).</li> <li>• 2013: Estudio de prefactibilidad del modelo geotérmico integral de la Caldera de Chalpatán (CGS-INP-CELEC EP).</li> </ul>
Últimos hallazgos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Temperatura estimada del recurso: &lt;120°C.</li> <li>• Volumen estimado de agua caliente: 1.850 hm<sup>3</sup>.</li> </ul>
Conclusiones y recomendaciones	<p>Usar la calefacción para incrementar, no solo el confort habitacional, sino también la educación nutricional y, por ende, la mejora sanitaria de la población. Las principales aplicaciones de la geotermia, como motor de la socioeconomía local serían:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Calefacción urbana.</li> <li>• Cultivos mediante invernaderos: <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Especies de zonas más bajas (frutas y verduras),</li> <li>○ Especies de valor añadido (flores y algas proteínicas).</li> <li>○ Aumentar el número de cosechas y abundancia de las mismas.</li> </ul> </li> <li>• Otras aplicaciones agroindustriales: <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Implementación de piscifactorías de especies de agua dulce, para mejorar la dieta basada en exclusivamente en papa, arroz, chancho y gallina.</li> <li>○ Secado de madera y la industria de biomasa.</li> </ul> </li> <li>• Instalaciones balnearias.</li> </ul>

**8.3. Ilaló (Tabla 4)**

Involucra tres áreas, Tumbaco-Cumbayá, Sangolquí-El Tingo, La Merced-Ilaló. El Ilaló se ubica aproximadamente a 25km al sureste de Quito.

**Tabla 4 Ilaló**

Investigaciones realizadas	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 1988: Estado actual y perspectivas de la geotermia de media a baja entalpía en el Ecuador (INE).</li> <li>• 2010: Geothermal Country Update for Ecuador, 2005-2010 (Beate y Salgado).</li> <li>• 2013: Estudio de fuentes termales, fallas geológicas, descarga de calor en la caldera de Chacana y el aprovechamiento actual del recurso geotérmico (Pilicita B., 2013).</li> </ul>
Últimos hallazgos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Temperatura estimada del recurso: 85 a 105°C (INE, 1988).</li> <li>• Caudal probable: 150 m<sup>3</sup>/h (INE, 1988).</li> </ul>

Conclusiones y recomendaciones	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Las vertientes en Ilaló probablemente son salidas distales diluidas del sistema geotérmico de alta temperatura de la caldera Chacana, ubicado a 35 km al este (Beate y Salgado).</li> <li>• Estimación de la utilización del calor directo en varios complejos turísticos del Ecuador, incluyendo los complejos turísticos de Termas Papallacta, Jamanco, Ilaló, Cunuyacu, El Tingo y las áreas de El Tambo y Cachiyacu que en conjunto representaban una capacidad instalada de 1.35 MWT térmicos, una utilización anual de 26.74 TJ/año y un factor de capacidad de 0.633 (Beate y Salgado, 2010).</li> </ul>
--------------------------------	--

#### 8.4. Otros proyectos (Tabla 5)

Considerando que a nivel mundial los prospectos de media a baja entalpia representan aproximadamente el 90%, se incluyen los siguientes prospectos que poseen poca o ninguna información.

**Tabla 5 Proyectos de baja temperatura**

Nombre del prospecto	Ubicación	Temperatura estimada del reservorio [°C]	Trabajos complementarios sugeridos
Chimborazo (MEER, 2010)	A menos de 35 km de las ciudades de Ambato, Guaranda y Riobamba.	140	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Permiso ambiental.</li> <li>• Estudios geológicos.</li> <li>• Campaña de análisis geoquímicos de aguas y gases.</li> <li>• Campaña geofísica.</li> <li>• Pozos de gradiente.</li> </ul>
Oyacachi (MEER, 2010)	En la provincia de Napo, las únicas poblaciones cercanas son las de Oyacachi y Cangahua a 10 y 18 km respectivamente.	150	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Permiso ambiental.</li> <li>• Estudios geológicos con énfasis en mapeo, dataciones y estructuras.</li> </ul>

			<ul style="list-style-type: none"> <li>• Campaña geofísica.</li> <li>• Elaboración del modelo geotérmico conceptual.</li> </ul>
Salinas de Bolívar (MEER, 2010)	A 15 km al NNE de Guaranda, en la provincia de Bolívar.	< 25 (en superficie)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Estudios de reconocimiento.</li> </ul>
Cuicocha (MEER, 2010)	Ubicada a 45 km al suroeste de Ibarra.	La caldera contiene un la	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Estudios de reconocimiento.</li> </ul>
Tungurahua (MEER, 2010)	Localizado a 30 km al SE de Ambato en el límite de las provincias de Tungurahua y Chimborazo.	40 a 55 (en superficie)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Estudios de reconocimiento.</li> </ul>
San Vicente (MEER, 2010)	Localizado en 100 km al oeste de Guayaquil en la provincia de Santa Elena.	30 a 43 (en superficie)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Estudios de reconocimiento.</li> </ul>
Portovelo (MEER, 2010)	A 150 km al sur de Guayaquil en el distrito minero aurífero de Zaruma-Portovelo.	57 (en superficie)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Estudios de reconocimiento.</li> </ul>
Cuicocha, Cayambe, Pululahua, Guagua Pichincha, Tungurahua, Imbabura, Mojanda, Inguán, Soche y Reventador (MEER, 2010)	A lo largo del callejón interandino.	En algunos sitios se conoce la existencia de vertientes de agua caliente y gas pero en sitios de difícil acceso.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Solo poseen indicios vulcanológicos y necesitan estudios de reconocimiento.</li> </ul>

## 9. Plan de líneas de investigación para el desarrollo de la geotermia

### 9.1. Antecedentes

Bernardo Beate en 2010 elabora un primer plan para aprovechar el recurso geotérmico, enfocado en la generación eléctrica. Menciona que el plan es la propuesta para llevar a cabo un proyecto y que cualquier proyecto debe responder a las preguntas ¿Por qué?, ¿Qué?, ¿Cómo?, ¿Cuándo? y ¿Cuánto? (MEER, 2010). Él lo hace así:

- ¿Por qué?
  - Porque la política gubernamental apunta a contar con un sistema eléctrico confiable y sustentable en el tiempo. La diversificación de la matriz energética es básica.
- ¿Qué?
  - Aprovechar la energía geotérmica generando electricidad.
- ¿Cómo?
  - Analizando la información técnica existente, priorizando proyectos, elaborando fichas técnicas con la información resumida de 11 prospectos. Proponiendo actividades a corto plazo (**enfoca actividades exploratorias de superficie** a llevarse a cabo en el próximo año y medio **para poner a nivel de prefactibilidad inicial a los prospectos más prometedores**) y largo plazo (da un cuadro general de todo el **proceso** en actividades, tiempos y costos, desde la exploración inicial, pasando por las perforaciones de prefactibilidad, factibilidad y desarrollo, hasta la construcción y puesta en línea de la planta generadora.
- ¿Quién lo hace?
  - La unidad ejecutora que deberá ser conformada por el MEER. Sin embargo, la institución no cuenta con el personal especializado ni con las instalaciones. Por lo tanto debe recurrirse a la contratación de consultores nacionales y/o extranjeros para que prepare al personal local al mismo tiempo que se desarrollan las actividades de corto plazo. **Este grupo de gente joven tomará la posta de las responsabilidades futuras de las iniciativas geotérmicas.**
- ¿Cuándo se hace y Cuánto se necesita?
  - Implícitos en las tablas y cuadros, dependen de la actividad técnica que se realiza.

Eduardo Aguilera en la Hoja de Ruta (2010) señala que con el transcurso de los años casi todos los problemas identificados por CEPAL (2000) permanecen invariables (Tabla 6). Por consiguiente, **habría que delinear una estrategia para resolverlos** si es que se decide emprender el aprovechamiento industrial de la geotermia.

**Tabla 6 Problemas y razones identificadas por CEPAL (2000) y MEER (2010)**

<b>Problemas (CEPAL, 2000)</b>	<b>Razones (MEER, 2010)</b>
Ausencia de un Marco Regulatorio	Bajo precio de los combustibles fósiles
Falta de fuentes de financiamiento para las inversiones de riesgo;	Falta de decisión política y visión a largo plazo
Falta de alguna experiencia exitosa en la exploración del recurso	Falta de disponibilidad de capitales de alto riesgo
Continuos cambios en las políticas sectoriales del ejecutivo	Ausencia de marco regulatorio (generación eléctrica, usos directos)
Visión incompleta sobre las posibilidades de aprovechamiento del recurso	
Carencia de una fuente de información técnica actualizada	
Escases de recursos humanos especializados	

## 9.2. Estrategia

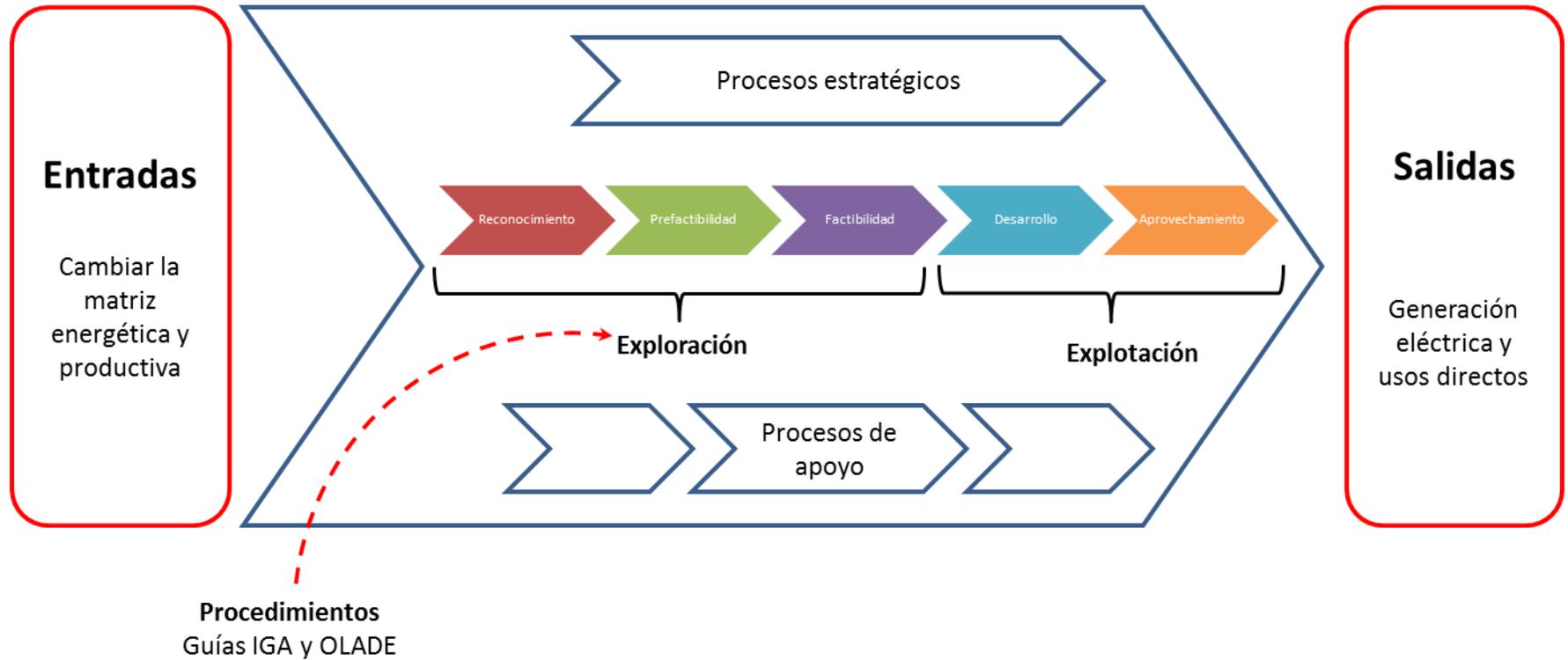
Para delinear la estrategia, el INER y CELEC EP realizaron una lluvia de ideas (Anexo 1), un mapa de procesos y un análisis de Causa-efecto. Las soluciones propuestas para corregir y/o solucionar de raíz las causas constituyen el plan. Para responder las preguntas ¿Por qué?, ¿Qué?, ¿Cómo?, ¿Cuándo? se ha establecido objetivos, calendario, indicadores, responsables, medios de verificación y supuestos.

## 9.3. Mapa de procesos (Figura 3)

Ilustra de manera global que posee y que no posee Ecuador para llevar a cabo los trabajos geotérmicos. Al proceso se le ha denominado “Aprovechamiento del recurso geotérmico”. Se considera como entrada del proceso los objetivos 10 y 11 del Plan del Buen Vivir 2013-2017: Cambio de matriz energética y productiva.

Hacia la derecha, se encuentran los procesos claves exploración y explotación del recurso geotérmico. En esta parte del mapa es preciso aclarar cuál es la función de las guías desarrolladas para la investigación geotérmica. Entre las más conocidas están las propuestas por la Asociación Internacional de Geotermia (IGA) y la Organización Latinoamericana de Energía (OLADE), **ninguna de ellas reconocida oficialmente para usarse en Ecuador.**

Figura 3 Mapa de procesos; Proceso Clave: Aprovechamiento del recurso geotérmico (exploración y explotación).



Su función es guiar la realización de actividades útiles para recopilar datos, analizar resultados y presentar proyectos para financiamiento. Actividades que son competencia de INER y CELEC EP (instituciones gubernamentales que promueven la investigación del recurso geotérmico). Es decir, las guías solo son procedimientos genéricos, con información técnica, que sirven para llevar a cabo ciertas actividades en los procesos claves de exploración y explotación del recurso.

En la parte superior e inferior de los procesos claves se sitúan los procesos estratégicos y de apoyo respectivamente. **Representan la realidad de Ecuador, la capacidad de gestión de los recursos geotérmicos.** No contienen información porque los actores, las actividades y su interrelación aún no se han definido. En la salida, se tiene que el único producto de la geotermia es el uso directo del recurso en balnearios y spas.

#### **9.4. Análisis Causa-efecto** (Figura 4)

Se empleó para analizar la relación cualitativa e hipotética de los diversos factores que no permiten la funcionalidad del proceso. En 1998 la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), proporcionó el primer panorama global de los factores que han impedido desarrollar y aprovechar el recurso geotérmico en América del Sur. Región a la que se denominó el “Hoyo Negro” de la geotermia. El estudio se enfocó en la evaluación de la *capacidad de gestión de los recursos geotérmicos*, considerando las interrelaciones existentes entre diferentes “dimensiones”:

- Política: Papel asignado a la geotermia dentro de las opciones nacionales de reestructuración energética.
- Jurídica: Mecanismos que regulan las condiciones de acceso y uso de los recursos geotérmicos.
- Económica: Restricciones y/o incentivos económicos; los papeles asignados al mercado e intervención pública (regulación y desregulación), nivel de gasto público comprometido con el desarrollo de los recursos geotérmicos.
- Física: Grado de información disponible y la consistencia técnica del inventario nacional de recursos geotérmicos.
- Ambiental: Regulaciones vinculadas al conocimiento, conservación y uso de los recursos energéticos en el marco del manejo integral del patrimonio natural.
- Tecnológica: Factores que favorecen o perturban la generación y absorción del progreso técnico; el carácter y capacidad de las organizaciones de investigación y desarrollo de los recursos, así como el tipo y nivel de transferencia tecnológica.
- Organizacional: Atribuciones y funciones conferidas a las instituciones encargadas de la gestión de los recursos geotérmicos.
- Educacional: Dotación y calificación de los recursos humanos incorporados al marco institucional vigente; el tipo y orientación de los programas de capacitación existentes.
- Social: Papel asignado a la geotermia en las estrategias y programas de energización con fines de equidad social.
- Internacional: Características de los programas de cooperación técnica y financiera y efectividad de sus resultados, así como las capacidades nacionales para diseñar acciones de cooperación horizontal.

**Figura 4 Análisis Causa-efecto.**



Un estudio complementario, realizado por la CEPAL en el año 2000 para “El caso Ecuador”, identificó siete problemas que afectan hasta impedir el desarrollo de la geotermia (Tabla 1). Así mismo, Beate en el “Plan para el aprovechamiento de los recursos geotérmicos en el Ecuador” (MEER, 2010) describe cuatro razones de peso por las cuales aún no se aprovecha el recurso (Tabla 6).

Estos “*factores, problemas y razones*” constituyen las causas del lento desarrollo de la industria geotérmica en Ecuador. En el diagrama Causa-efecto se analiza el problema durante el periodo 1993-2008. En 1993 se cerró la exploración geotérmica en INECEL. En 2008 fue aprobada la constitución vigente, donde se considera sector estratégico a la energía en todas sus formas (Art. 313, párrafo tercero) y, se precisa que el Estado constituirá empresas públicas para la **gestión** de sectores estratégicos (Art. 315, párrafo primero).

El análisis de Causa-efecto (Figura 4) muestra una perspectiva global del problema, denominado “**EL RECURSO GEOTÉRMICO NO ES APROVECHADO EN ECUADOR**”. Constituye el punto de partida del renovado grupo de trabajo. Treinta y seis (36) causas fueron identificadas y agrupadas en cinco categorías: talento humano, financiamiento, política, legislación e información.

Inicialmente deberán resolverse algunas causas de raíz para estar en la capacidad de reanudar los trabajos exploratorios. Para ello se ha propuesto actividades de solución en el Anexo 2. También se ha incluido objetivos, calendario, indicadores y responsables, que permitirán medir y evaluar los avances del proceso, constituyéndose así como un **Plan táctico**.

Desde que inicio la geotermia en Ecuador se han propuesto planes y proyectos, con actividades técnicas en su mayoría, descuidando otras como las estratégicas y de apoyo (mapa de procesos). Las últimas, no han pasado de sugerencias y recomendaciones que encabezan los informes técnicos. Sería ideal que este tipo de actividades, como las sugeridas por Beate y Aguilera 2010 (Tabla 7), se las gestione antes de iniciar con las actividades técnicas para que el proceso se desarrolle en armonía hasta el final.

**Tabla 7 Actividades de solución sugeridas en 2010.**

<b>Beate</b>	<b>Aguilera</b>
Generar información geotérmica base de calidad a nivel país	Objetivo estratégico 1: Expedir un Marco Regulatorio y Definir la Institucionalidad <ul style="list-style-type: none"> <li>• Promulgar un Marco Regulatorio provisional</li> <li>• Reformar la Ley de Régimen de Sector Eléctrico</li> <li>• Instituir una Autoridad Geotérmica Nacional</li> <li>• Establecer una Empresa Geotérmica Pública o Mixta</li> <li>• Elaborar y Promulgar una Ley Geotérmica Ad-Hoc.</li> </ul>
Complementar la base de datos existente	
La investigación básica debe hacerse conjuntamente con el servicio geológico y con las universidades y escuelas politécnicas que tengan carreras en ingeniería geológica	
Conformar una unidad ejecutora que esté a cargo del control de las actividades	
Contratar grupo local o del exterior con experiencia	Objetivo estratégico 2: Financiar las inversiones de Riesgo <ul style="list-style-type: none"> <li>• Formar consorcios o empresas de economía mixta</li> <li>• Establecer un Plan de Financiamiento e Inversiones de la Empresa Pública o Mixta</li> <li>• Decidir contratación de crédito o líneas de crédito</li> </ul>
Elaborar una Ley Geotérmica	
Se necesitan estudios geotérmicos a detalle para evaluar su potencial	
Se necesita de capital de riesgo	
Requiere del compromiso firme por parte del gobierno central en la implementación de soluciones energéticas	Objetivo estratégico 3: Descubrir el primer Campo Geotérmico del Ecuador <ul style="list-style-type: none"> <li>• Seleccionar y contratar una Firma Consultora Internacional</li> <li>• Revisar y reinterpretar datos</li> <li>• Elegir un área prioritaria</li> <li>• Desarrollar un programa de perforaciones profundas para descubrir el recurso.</li> </ul>
Capacitar a personal local	

### 9.5. Plan táctico

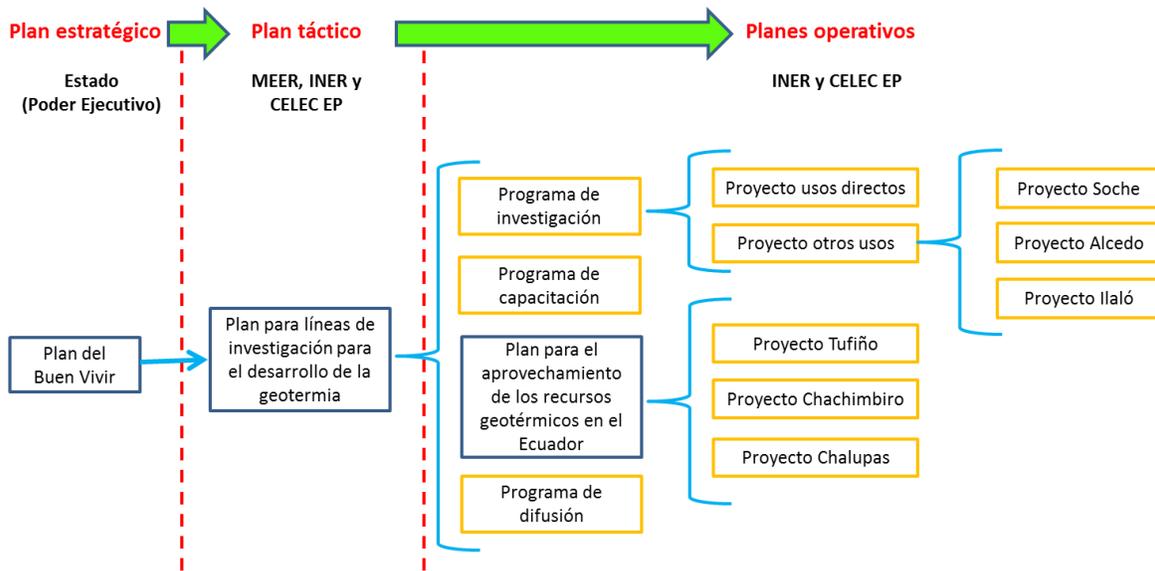
Propuesto en el ANEXO 2, tiene como objetivo hacer funcional el proceso de aprovechamiento del recurso geotérmico en Ecuador. En su mayoría, las actividades planteadas son de gestión. Su realización permitirá disponer de los recursos (humanos, tecnológicos, económicos, entre otros) necesarios para desarrollar cualquier programa y/o proyecto de exploración y explotación del recurso, orientados al cumplimiento de las metas planteadas en el plan estratégico del Buen Vivir (Figura 5).

Este plan representa la tentativa de integrar el proceso, alinearlo a la estrategia nacional, y orientar las actividades del nivel operacional. Los planes operativos, como el del MEER (2010), sirven para concretar el plan estratégico. Este plan táctico responde las preguntas:

¿Por qué se quiere hacer?

Porque al implementar, mantener y mejorar un modelo de gestión se podrán dirigir, controlar y ejecutar de manera lógica y coordinada todas las actividades involucradas en proceso de aprovechamiento del recurso geotérmico.

Figura 5 Planes: Estratégico, táctico y operativo



¿Qué se quiere hacer?

Se quiere hacer funcional el proceso, es decir, estar en la capacidad y tener la competencia para realizar cualquier trabajo que permita aprovechar el recurso.

¿Cómo se va hacer?

Realizando las actividades propuestas en el ANEXO 1, las cuales se elaboraron para solucionar de raíz las causas que han afectado hasta impedir el aprovechamiento del recurso (identificadas en el diagrama de Causa-efecto).

¿Cuándo se va hacer?

El cumplimiento de las actividades se ha propuesto en un calendario a corto, medio y largo plazo; 3, 5 y 10 años respectivamente.

¿Quién lo va hacer?

Inicialmente el personal de INER, CELEC EP y MEER. Conforme se avance con la gestión se requerirá la participación de otros institutos públicos.

Las actividades que se han venido cumpliendo entre 2008 y 2014 pueden observarse en el ANEXO 2 (supuestos y medios de verificación).

## **10. Propuesta para realizar el estudio de prospección geotérmica en el territorio nacional**

En la actualidad se utilizan diversos métodos para la ubicación y caracterización de un campo geotérmico. Debido a la gran extensión de las áreas que inicialmente pueden ser sometidas a estudio, y considerando los altos costos involucrados en la prospección, se hace necesario planificar la exploración en etapas, en las que se definen progresivamente las zonas de mayor interés. En cada una de estas etapas se van eliminando gradualmente las áreas menos interesantes y se van concentrando los esfuerzos en aquellas más promisorias.

El INER propone la realización de estudios de prospección geotérmica a nivel nacional, con el objetivo de realizar actividades de reconocimiento de prospectos geotérmicos en Ecuador, a través de estudios geológicos y geoquímicos en las zonas de interés geotérmico en territorio nacional, que permita determinar el potencial geotérmico y priorizar las zonas de mayor interés en generación eléctrica y usos directos para contribuir a la diversificación de la matriz energética y productiva del país.

### **10.1. Características del estudio**

Las diferentes etapas involucradas en un estudio de prospección geotérmica son generalmente las siguientes:

- Estudio de reconocimiento. Se lleva a cabo en una región cuya extensión puede variar entre 10.000 y 100.000 km<sup>2</sup>. El objetivo es evaluar las posibilidades geotérmicas a nivel regional, seleccionar áreas de mayor interés y planificar las siguientes etapas de exploración.
- Estudio de pre-factibilidad. Abarca un área entre 500 y 2.000 km<sup>2</sup>. El objetivo de esta etapa es lograr una evaluación preliminar del recurso y, eventualmente, ubicar los sitios para la perforación de pozos exploratorios profundos.
- Estudio de factibilidad. La escala geográfica de un estudio de factibilidad es del orden de 10 a 100 km<sup>2</sup>. El objetivo del estudio es la delimitación del campo geotérmico, la estimación de las reservas explotables, el estudio de los fluidos geotérmicos y sus posibles usos.

### **10.2. Diagnóstico**

Como resultado complementario de las investigaciones que se realizan en el proyecto “Plan para líneas de investigación para el desarrollo de la geotermia” se han identificado zonas de interés geotérmico a nivel nacional, en las cuales existen registros de información básica, que no permiten obtener un modelo geotérmico preliminar con sustento en un trabajo de campo a detalle (geología, geoquímica y geofísica).

El estudio “Plan para el aprovechamiento de los Recursos Geotérmicos en el Ecuador” contratado por el MEER en 2010, lista veinte y un (21) localidades de Ecuador factibles para la realización de **estudios de reconocimiento** y exploración geotérmica. Sólo cinco de estos lugares han sido estudiados (Tufiño-Chiles-Cerro Negro, Chachimbiro, Chacana, Chalpatán y Chalupas), debido a su potencial para generar electricidad. Los siguientes prospectos se encuentran sin ser desarrollados y con limitada información disponible: Chimborazo, Baños de Cuenca, Guapán, Alcedo, Guagua Pichincha, Pululahua, Cayambe, Cuicocha, Tungurahua, Ilaló, Salinas de Bolívar, San Vicente, Portovelo, Iguán, Mojanda, y Soche (Fig. 1).

Un estudio de la caracterización geoquímica e isotópica de los fluidos volcánicos y geotérmicos del arco volcánico ecuatoriano se llevó a cabo en el año 2010 (*Geochemical and isotopic characterization of volcanic and geothermal fluids discharged from the Ecuadorian volcanic arc. Inguaggiato et al., 2010.*). Se identificaron los sitios de interés y se sugirió iniciar una actividad de monitoreo geoquímico sistemático y la investigación geológica complementaria para la exploración de energía geotérmica.

### **10.3. Ubicación geográfica e impacto territorial**

Las zonas de interés geotérmico están presentes en todo el territorio ecuatoriano, incluida la provincia de Galápagos. Las zonas de estudio están definidas de acuerdo a los siguientes parámetros:

- Prospectos con estudios de prefactibilidad inicial (Tufiño, Chachimbiro, Chacana y Chalpatán).
- Prospectos de alta temperatura en etapa de reconocimiento (Baños de Cuenca, Chimborazo, Guapán, Chalupas y Alcedo).
- Prospectos en reconocimiento con fluidos a temperaturas más aptas para usos directos (Ilaló, Salinas de Bolívar, San Vicente y Portovelo)
- Áreas que no tienen datos geotérmicos suficientes (Cuicocha, Cayambe, Pululahua, Guagua Pichincha, Tungurahua, Imbabura, Mojanda, Iguán, Soche y Reventador).

### **10.4. Objetivos del estudio**

#### **10.4.1. Objetivo General**

Realizar un estudio de reconocimiento de prospectos geotérmicos en Ecuador, a través de estudios geológicos y geoquímicos en las zonas de interés geotérmico en territorio nacional, que permita determinar el potencial geotérmico y priorizar las zonas de mayor interés en generación eléctrica y usos directos para contribuir a la diversificación de la matriz energética y productiva del país.

#### **10.4.2. Objetivos específicos**

- Consolidar, analizar y valorar la información existente de fuentes termales, así como estudios, artículos científicos e informes antiguos, para definir las condiciones iniciales de trabajo.
- Efectuar el control de calidad, depuración y discriminación de datos de interés y elaborar una línea base usando técnicas geológicas y geoquímicas para identificar las zonas de mayor interés y planificar campañas de campo.
- Realizar estudios de campo (geología regional y geoquímica de aguas y gases) en los sitios seleccionados.
  
- Desarrollar modelos geotérmicos preliminares, mediante la interpretación integrada de datos geológicos y geoquímicos.
- Estimar el potencial geotérmico de las zonas analizadas.
- Clasificar y priorizar los prospectos geotérmicos y elaborar un programa de estudios de prefactibilidad de los proyectos más importantes.

#### **10.5. Alcance**

El estudio comprende una nueva priorización de los proyectos geotérmicos, mediante la conformación de un equipo multidisciplinario interinstitucional que permita realizar los estudios iniciales de reconocimiento orientados a obtener un modelo geotérmico preliminar (geología regional, geoquímica de aguas y gases) de las áreas de interés conocidas.

#### **10.6. Fases**

Actualmente, existen numerosos métodos y tecnologías disponibles para alcanzar los objetivos de cada una de las etapas involucradas en un estudio de prospección geotérmica. A medida que se desarrolla el estudio, los métodos utilizados se tornan más sofisticados, precisos, detallados y costosos. Dentro de ellos se cuentan:

- Estudio preliminar. Consiste en recopilar y evaluar la información existente sobre la región prospectada. Se buscan y analizan estudios anteriores de geología regional, mapas geológicos y topográficos, fotografías aéreas e imágenes de satélite, datos geofísicos, meteorológicos, hidrológicos así como información sobre manifestaciones termales. Por sus costos relativamente bajos, corresponde al punto de partida de cualquier proyecto de prospección del recurso geotérmico.
- Estudios geológicos e hidrogeológicos. Se identifican áreas promisorias a ser investigadas con mayor detalle (ubicación y extensión) y recomendar los métodos de exploración más apropiados para cada una de esas áreas. Se hacen estudios aerofotogeológicos en donde se interpretan imágenes aéreas y satelitales, posibilitando el conocimiento en forma rápida de la geología superficial, los sistemas de fallas y las relaciones vulcanotectónicas. Estos estudios también aportan

información básica para la modelación del sistema geotermal y evaluar el potencial del recurso.

- Estudios geoquímicos. Consisten en el muestreo y análisis de la composición química e isotópica de las manifestaciones termales en el área en estudio, proporcionando información acerca de la composición y distribución de los fluidos en profundidad, su temperatura, presión y estado físico (vapor o agua), rocas subsuperficiales asociadas, origen y tiempo de residencia del fluido, dirección de circulación, permeabilidad y flujo natural de calor. Los estudios geoquímicos son un medio útil para estimar la homogeneidad del abastecimiento de agua, para inferir las características químicas de los fluidos profundos, y para determinar la fuente de recarga del agua. También se obtiene información valiosa acerca del tipo de problemas que pudiesen surgir durante la fase de re-inyección y de la utilización de la planta (cambios en la composición del fluido, corrosión e incrustación en los ductos y en los equipos de la planta, impacto ambiental) y la forma como evitarlos o aminorarlos.

El proceso empleado en los estudios geoquímicos involucra tres actividades principales:

- Toma de muestras de agua, gases y condensados y medición de temperatura, pH, conductividad y caudal, entre las más importantes,
- Análisis de laboratorio
- Procesamiento e interpretación de los datos.

Los costos de los métodos geoquímicos son relativamente bajos en comparación con otros métodos exploratorios más sofisticados como los métodos geofísicos, razón por la cual las técnicas geoquímicas son utilizadas en la mayor medida posible, antes de avanzar con otros métodos más costosos.

### **10.7. Metodología de trabajo**

El INER, en cooperación con CELEC EP, liderará la ejecución del proyecto geotérmico nacional, para esto conformará un grupo multidisciplinario de técnicos en las áreas de geología, geoquímica, energías renovables, ingeniería eléctrica y afines. Además se integrarán institutos públicos de investigación para brindar apoyo en los requerimientos de análisis de laboratorio; esta cooperación permitirá que los otros institutos amplíen algunas metodologías utilizadas en los trabajos analíticos y que serán de beneficio del país.

El equipo multidisciplinario interinstitucional estará integrado por las siguientes instituciones:

Instituciones participantes:

- INER
- CELEC

Instituciones de Apoyo:

- INAMHI
- INIGEMM
- MAE

### **10.8. Actividades a realizarse**

Este estudio se llevará a cabo de acuerdo a la secuencia de tareas detalladas a continuación, cabe mencionar que las actividades descritas pueden variar en función de los resultados obtenidos en cada fase de investigación:

- Se iniciará con la recopilación de estudios geotérmicos y de disciplinas afines (vulcanología, hidrología, entre otros) a nivel nacional.
- Análisis y discriminación de la información recopilada de estudios geotérmicos y de disciplinas afines; elaboración de estado del arte.
- Digitalización de la base de datos de los recursos geotérmicos analizados.
- Correlación y depuración de datos a partir de la línea base de estudios realizados.
- Elaboración de mapa de fuentes termales en función de los datos que cumplen con los requisitos establecidos durante el control de calidad.
- Clasificación química de las manifestaciones de agua y gas.
- Aplicación de geotermómetros de agua y gas para estimar temperaturas en profundidad, información que será plasmada en un mapa.
- Determinación de las áreas de estudio, mediante la elaboración de un ranking de áreas con mayor incertidumbre en estudios geoquímicos y geológicos.
- Reconocimiento geológico preliminar de las áreas seleccionadas para realizar la exploración geotérmica.
- Elaboración de secciones geológicas regionales en zonas de interés, para estimar la distribución estructural y litoestratigráfica en profundidad.
- Muestreo de manifestaciones termales en superficie para el análisis físico - químico e isotópico de aguas y gases.
- Integración de resultados geológicos y geoquímicos (Elaboración de modelos).
- Ponderación por tipo de recurso para la clasificación de prospectos por geoquímica (alta, media y baja entalpía).
- Elaboración de mapa de recursos geotérmicos.
- Priorización de los recursos geotérmicos.

### **10.9. Supervisión técnica**

Los trabajos de investigación serán llevados a cabo por el equipo técnico de la línea de Geotermia del INER y de otros institutos públicos de investigación. El INER desarrollará

en su totalidad los estudios descritos anteriormente, sin embargo en áreas de conocimiento limitado de la geotermia se recibirá el apoyo y transferencia de información de especialistas internacionales con amplia trayectoria en este campo; la colaboración va a ser un acompañamiento de tipo técnico.

### 10.10. Presupuesto referencial

El presupuesto referencial (Tabla 8) para la ejecución de los estudios es de USD 1'840.000 (Un millón ochocientos cuarenta mil dólares americanos) a ser ejecutados de acuerdo al cronograma valorado.

**Tabla 8 Presupuesto referencial para ejecución de estudios geotérmicos**

	Componentes /Productos	Grupo de gasto	Crédito		
			Fiscales	Autogestión	TOTAL
1	Consolidación, análisis y evaluación de información geotérmica existente a nivel país (geología, geoquímica).	71 73 84	682.510		682.510
2	Control de calidad, depuración, discriminación de datos, entrega de base de datos final.				
3	Clasificación de las manifestaciones de aguas y gases para la toma de muestras en campo				
4	Aplicación de geotermómetros de aguas y gases. Elaboración del mapa de temperaturas posibles	73	2.500		2.500
5	Determinación de áreas prospectivas y plan de muestreo de nuevas manifestaciones y	73	1.108.990		1.108.990

	remuestreo de manifestaciones existentes				
6	Reconocimiento geológico preliminar de las áreas de interés	73		31.000	31.000
7	Integración de geología y geoquímica para clasificación y priorización de prospectos				
					1'840.000

**10.11. Plazo, cronograma valorado y forma de pago (Tabla 9)**

El presente estudio será llevado a cabo durante 24 meses:

**Tabla 9 Cronograma valorado**

	<b>Productos</b>	<b>Plazo</b>	<b>Monto</b>
1	Listado de artículos científicos, publicaciones, tesis, monografías, informes	2.5 meses	787.787,59
2	Estado del arte	3 meses	
3	Base de datos con la tipología de aguas y gases (línea base)	2 meses	
4	Mapa de fuentes termales (línea base), incluye clasificación de aguas y gases	2 meses	
5	Mapa elaborado en función de geotermómetros de agua y gas (línea base)	2 meses	
6	Artículo con los resultados de la investigación en línea base (correlación, depuración tipología, geotermometría y mapas) para publicación en una revista científica	3 meses	1.052.212,41

7	Modelos geotérmicos preliminares de las zonas estudiadas	12 meses	
8	Mapa con la clasificación actualizada de recursos de alta y baja entalpías	8 meses	
9	Artículo del estado actual de la geotermia en Ecuador	2 meses	
<b>Total</b>			<b>1'840.000</b>

## 10.12. Cronograma valorado

Actividades	Estudio de prefactibilidad básica de los recursos geotérmicos existentes en el territorio nacional													AÑO 2015	AÑO 2016	TOTAL US\$
	Año 2015															
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre				
1. Consolidación, análisis y evaluación de información geotérmica existente a nivel país (geología, geoquímica).	-	311.032,31	19.082,31	11.082,31	12.382,31	11.082,31	11.082,31	11.082,31	11.082,31	11.082,31	11.082,31	11.082,31	431.155,41	251.355,41	682.510,82	
2. Control de calidad, depuración, discriminación de datos, entrega de base de datos final.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
3. Clasificación de las manifestaciones de aguas y gases para la toma de muestras en campo	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
4. Aplicación de geotermómetros de aguas y gases. Elaboración del mapa de temperaturas posibles	-	-	8.619,18	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8.619,18	-	8.619,18	
5. Determinación de áreas prospectivas y plan de muestreo de nuevas manifestaciones y remuestreo de manifestaciones existentes	-	-	272,00	35.272,00	2.016,00	985,00	363,00	273,00	1.075,00	273,00	363,00	307.121,00	348.013,00	754.857,00	1.102.870,00	
6. Reconocimiento geológico preliminar de las áreas de interés	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	31.000,00	31.000,00	
7. Integración de geología y geoquímica para clasificación y priorización de prospectos	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	15.000,00	15.000,00	
<b>TOTAL PROYECTO</b>															<b>1.840.000,00</b>	

## 10.13. Características del proveedor

### 10.13.1. Perfil del proveedor

Durante el estudio de reconocimiento se evaluará las posibilidades geotérmicas a nivel regional, seleccionando áreas de mayor interés para planificar las siguientes etapas de exploración, para ello, INER requiere técnicos nacionales y extranjeros competentes que cumplan los requisitos de las Tablas 10 y 11.

Tabla 10 Requisitos para el personal ecuatoriano

Área de	Instrucción	Requisitos
---------	-------------	------------

estudio		
Geología	Tercer nivel	<ul style="list-style-type: none"> <li>Mínimo un año de experiencia en proyectos geotérmicos.</li> <li>Más de dos artículos científicos publicados.</li> </ul>
Geoquímica	Tercer nivel	<ul style="list-style-type: none"> <li>Mínimo un año de experiencia en proyectos geotérmicos.</li> <li>Más de dos artículos científicos publicados.</li> </ul>
Hidrogeología	Tercer nivel	<ul style="list-style-type: none"> <li>Mínimo un año de experiencia.</li> </ul>
Otras	Bachiller	<ul style="list-style-type: none"> <li>Mínimo dos años de experiencia en trabajos de asistencia técnica.</li> </ul>

**Tabla 11 Requisitos para el personal extranjero**

Área de estudio	Instrucción	Requisitos
Geología	Cuarto nivel	<ul style="list-style-type: none"> <li>Mínimo cinco años de experiencia en proyectos geotérmicos.</li> <li>Más de dos artículos científicos publicados.</li> </ul>
Geoquímica	Cuarto nivel	<ul style="list-style-type: none"> <li>Mínimo cinco años de experiencia en proyectos geotérmicos.</li> <li>Más de dos artículos científicos publicados.</li> </ul>
Hidrogeología	Cuarto nivel	<ul style="list-style-type: none"> <li>Mínimo cinco años de experiencia en proyectos geotérmicos.</li> <li>Más de dos artículos científicos publicados.</li> </ul>

#### 10.14. Personal Básico Requerido

Para cumplir a cabalidad las actividades exploratorias de investigación se requiere contar al menos con los técnicos nacionales de la Tabla 12.

**Tabla 12 Personal requerido por áreas.**

Área de estudio	Nº de técnicos	Cargo
Geología	2	Analista técnico SP5
Geoquímica	2	Analista técnico SP5
Hidrogeólogo	1	Analista técnico SP7
Otras	1	Analista técnico SP6

Durante el acompañamiento técnico se dispondrá al menos de un experto extranjero por área de estudio.

#### 10.15. Métodos de transferencia de conocimiento y/o tecnología

Considerando que los estudios en Geotermia son recientes en el Ecuador, este estudio pretende diseñar mapas de información geológica y geoquímica que sirvan como insumo de futuras investigaciones en el área mencionada. De esta manera para garantizar una correcta transferencia de conocimientos y tecnología es primordial diseñar y gestionar un efectivo

programa de difusión que cuente con los respectivos sistemas metodológicos diseñados y determinados en cada fase del proyecto.

Las herramientas de difusión consisten en una serie de informes y artículos de carácter científico que darán a conocer los avances en cada una de las etapas del estudio. El acceso a esta información será para todos los institutos públicos que necesiten de la misma y para el público en general interesado en la Geotermia.