



UNIVERSIDAD DE CHILE  
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS  
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA

**ESTIMACIÓN DEL POTENCIAL GEOTÉRMICO DE BAJA TEMPERATURA,  
MEDIANTE EL USO DE BOMBAS DE CALOR GEOTÉRMICAS, EN LA CUENCA  
DEL MAULE, ENTRE LOS 35,2° Y 35,6°S**

**MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE GEÓLOGO  
VICENTE SANTIAGO GAINZA ACEVEDO**

PROFESOR GUÍA:  
VALENTINA FLORES AQUEVEQUE

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:  
SOFÍA REBOLLEDO LEMUS  
JUAN ROJAS ERAZO

Esta memoria ha sido parcialmente financiada por el Ministerio de Energía, CEGA y Departamento de Geología.

SANTIAGO DE CHILE  
Septiembre 2014

## Resumen

En este trabajo se desarrollan los fundamentos de la energía geotérmica de baja entalpía (EGBE), y su uso en la climatización de espacios, especialmente en el ámbito domiciliario. Se introduce el concepto de bomba de calor geotérmica, con todos los aspectos conceptuales que esto conlleva. Se analizara la demanda energética para una casa dentro de la región del Maule, con el fin de generar un sistema de apoyo en la toma de decisiones, aplicado a la evaluación de proyectos relacionados con este tipo de energía. Esta región es una de las dos zonas estudiadas por el proyecto “Determinación de parámetros termales en el subsuelo de las cuencas de Santiago y Talca: implicancias para el uso directo de la energía geotérmica”

Se estudiara la cobertura sedimentaria presente en la cuenca del Maule con el objetivo de describir la sedimentología y las propiedades hidráulicas de los acuíferos que estén contenidos en ella, esto con el fin de analizar en profundidad el intercambio calórico con el subsuelo. A esto se le suman las variables hidrogeológicas, como el flujo subterráneo y abatimiento, ya que estas pueden generar quiebres hidráulicos y térmicos, que pueden afectar a una futura implementación y/o operación.

Se generaran dos metodologías de estimación, para dos tipos de bombas de calor, ambas asociadas a pozos verticales, pero con distinta fuente calórica. Las bombas BHP (Borehole Heat Pump), que obtiene el calor de los sedimentos y la bomba GWHP (Ground Water Heat Pump) que obtiene el calor del agua subterránea.

La generación de este sistema de apoyo requiere una perspectiva multidisciplinaria, ya que necesita la incorporación de todas las variables hidrogeológicas involucradas, además de una correcta estimación en términos de demanda energética y patrones de consumo.

Los resultados muestran que ambas tecnologías son aplicables dentro de la zona, pero existe una gran diferencia de costos de implementación. A través de esta diferencia es posible determinar que las bombas GWHP son más favorables cuando se trata de calefacción domiciliaria.

Dedicada a mis padres que me dieron la vida.

Con su inmenso esfuerzo dejaron en mis manos la posibilidad de forjar mi propio camino. Me dieron la fuerza para continuar en momentos difíciles; el apoyo incondicional en cada uno de mis proyectos.

Por todo lo que me han entregado, estaré siempre profundamente agradecido, los amo Rodolfo y Patricia.

## Agradecimientos

En primera instancia quisiera agradecer al Centro de Excelencia en Geotermia de los Andes (CEGA), que a través del proyecto CONICYT/FONDAP/15090013 hicieron posible la realización de esta memoria. Al Ministerio de Energía y al Departamento de Geología de la Universidad de Chile por su parcial financiamiento.

A mi profesora Guía Valentina que fue un apoyo fundamental durante este trabajo. A Sofía y Juan por aceptar participar en este proceso como miembros de la comisión. A Mauricio quien fue un gran compañero de trabajo, mi mentor en la aplicación de la baja entalpía y un gran amigo.

A mi familia, que siempre ha estado conmigo en las buenas y en las malas. A mi novia Carolina que es mi compañera en la vida, y a su familia que me han recibido como un miembro más.

A Blanca que más que secretaria de departamento se convirtió en una amiga. Al grupo de baja entalpía que siempre estuvo dispuesto a ayudar. A mis amigos que han sido una pieza fundamental en mi vida.

Por último, a todos los que de una u otra forma aportaron para que este finalmente aquí.

## Tabla de contenido

<b>I. Introducción</b> .....	<b>1</b>
<b>1.1 Formulación general del proyecto</b> .....	<b>1</b>
<b>1.2 Objetivos</b> .....	<b>2</b>
<b>1.2.1 Objetivo general</b> .....	<b>2</b>
<b>1.2.2 Objetivos específicos</b> .....	<b>3</b>
<b>1.3 Área de estudio</b> .....	<b>3</b>
<b>1.3.1 Introducción</b> .....	<b>3</b>
<b>1.3.2 Ubicación y accesos</b> .....	<b>3</b>
<b>1.3.3 Marco Geotectónico</b> .....	<b>4</b>
<b>II. Marco Geológico</b> .....	<b>7</b>
<b>2.1 Basamento Metamórfico</b> .....	<b>9</b>
<b>2.2 Rocas estratificadas</b> .....	<b>10</b>
<b>2.2.1 Triásico Superior marino sedimentario y volcánico</b> .....	<b>10</b>
<b>2.2.2 Jurásico inferior marino</b> .....	<b>10</b>
<b>2.2.3 Formación Altos de Hualmapu (Morel, 1981)</b> .....	<b>11</b>
<b>2.2.4 Formación Río Damas (Klohn, 1960)</b> .....	<b>12</b>
<b>2.2.5 Formaciones La Lajuela y Estratos de El Laurel (Bravo, 2001)</b> .....	<b>12</b>
<b>2.2.6 Formación Veta Negra</b> .....	<b>13</b>
<b>2.2.7 Formación Colimapu (Klohn, 1960)</b> .....	<b>14</b>
<b>2.2.8 Formación Plan de las Yeuques (González y Vergara 1962)</b> .....	<b>15</b>
<b>2.2.9 Formación Lo Valle (Thomas, 1958)</b> .....	<b>15</b>
<b>2.2.10 Formación Abanico (Aguirre, 1960; González y Vergara, 1962)</b> .....	<b>16</b>
<b>2.2.11 Formación Corona del Fraile (González y Vergara, 1962)</b> .....	<b>16</b>
<b>2.2.12 Formación Cola de Zorro (González y Vergara, 1962)</b> .....	<b>16</b>
<b>2.3 Depósitos cuaternarios</b> .....	<b>17</b>
<b>2.3.1 Vulcanitas del grupo Descabezado Grande</b> .....	<b>17</b>
<b>2.3.2 Lavas y flujos piroclásticos de planicies y valles</b> .....	<b>17</b>
<b>2.3.3 Vulcanitas recientes</b> .....	<b>17</b>
<b>2.3.4 Sedimentos cuaternarios continentales</b> .....	<b>18</b>
<b>2.3.5 Depósitos fluviales de cauces antiguos del río Maule</b> .....	<b>18</b>
<b>2.3.6 Depósitos Cineríticos</b> .....	<b>18</b>
<b>2.3.7 Abanico Aluvial Auqil-Astillero</b> .....	<b>19</b>
<b>2.3.8 Depósitos de abanico fluvial de los ríos Claro – Lontué y Maule</b> .....	<b>19</b>
<b>2.3.9 Depósitos fluviales</b> .....	<b>19</b>

2.3.10	Depósitos fluviales de valles interserranos .....	20
2.3.11	Depósitos de escombros de falda.....	20
2.3.12	Depósitos fluviales en cauces actuales .....	20
<b>III.</b>	<b>Marco Teórico y Metodología .....</b>	<b>22</b>
3.1	Energía geotérmica de muy baja temperatura.....	22
3.1.1	Beneficios .....	22
3.2	Bombas de calor geotérmicas .....	25
3.2.1	Funcionamiento de la bomba de calor geotérmica. ....	25
3.3	Metodología .....	27
3.3.1	Generación base de datos .....	27
3.3.3	Temperatura del subsuelo .....	28
3.3.4	Metodología para bombas de calor tipo Borehole Heat Pump (BHP) ..	29
3.3.5	Metodología para bombas de calor tipo Ground Water Heat Pump (GWHP) .....	30
<b>IV.</b>	<b>Estimación de potencial.....</b>	<b>33</b>
4.1	Determinación de la profundidad del agua subterránea. ....	33
4.2	Estimación de potencia para bomba BHP .....	35
4.2.1	Determinación de la demanda .....	35
4.2.2	Determinación de la tasa de extracción de calor (sHE) .....	36
4.2.3	Calculo de profundidades a perforar .....	38
4.3	Estimación de potencial para bomba GWHP .....	44
4.3.1	Determinación de la demanda .....	44
4.3.2	Profundidad del nivel estático.....	44
4.3.3	Profundidad de abatimiento .....	44
4.3.4	Profundidad de seguridad .....	46
4.3.5	Cálculo de profundidades a perforar .....	47
4.4	Estimación de costos. ....	48
<b>V.</b>	<b>Discusiones.....</b>	<b>52</b>
<b>VI.</b>	<b>Conclusiones .....</b>	<b>53</b>
<b>VII.</b>	<b>Bibliografía.....</b>	<b>56</b>
<b>VIII.</b>	<b>Anexos.....</b>	<b>59</b>
8.1	Datos estratigráficos.....	59
8.2	Calculo de sHE .....	105
8.3	Niveles estáticos .....	116

## Índice de figuras

Figura 1. Rutas de acceso. Imagen tomada y modificada de Dirección de Vialidad, Ministerio de obras públicas. ....	4
Figura 2. Unidades morfoestructurales regionales a lo largo de Chile entre Santiago y Talca. (Fock 2005) .....	6
Figura 3. . Mapa geológico de la zona de estudio. Modificado de Morales (2014).....	8
Figura 4. Demanda energética para sistemas de calefacción. Imagen obtenida de Seisdedos (2012). Fuente GEMIS-VDEW.....	23
Figura 5. Costos de operación para sistemas de calefacción. Imagen obtenida de Seisdedos (2012). Fuente Ochsner, K. 2010 .....	24
Figura 6. Distintos sistemas de bombas geotérmicas. El ciclo cerrado se representa en la parte superior y el ciclo abierto en la parte inferior. ....	25
Figura 7. Bomba de calor geotérmica en ciclo de calefacción. Imagen obtenida y modificada de Lund, 2004. ....	26
Figura 8. Clasificación de sedimentos. En las esquinas del triángulo es posible encontrar los tres tamaños de grano utilizados, en una fracción de 100%. ....	28
Figura 9. Mapa de temperaturas del subsuelo .....	29
Figura 10. Mapa del nivel freático. ....	34
Figura 11. Gasto energético en calefacción para los distintos tipos de casas, con reglamentación térmica. tabla obtenida de Romero (2011).....	35
Figura 12. sHE para cada tipo de roca/sedimento en 2400 horas operativas. Obtenida y modificada de Gemelli (2011).....	36
Figura 13. Pozos con detalle estratigráfico. ....	37
Figura 14. Profundidad a perforar bomba BHP .....	39
Figura 15. Mapa de niveles piezométricos. Las flechas rojas representan la dirección de flujo de las aguas subterráneas.....	41
Figura 16. Profundidad a perforar bomba BHP, considerando efecto de flujo subterráneo. ....	43
Figura 17. Mapa de abatimiento.....	46
Figura 18. Profundidad a perforar bomba GWHP. ....	47
Figura 19. Mapa de costos en pesos chilenos para la bomba BHP sin considerar el flujo subterráneo. ....	49
Figura 20. Mapa de costos bomba BHP con flujo subterráneo. ....	50
Figura 21. Mapa de costos bomba GWHP.....	51

# I. Introducción

## 1.1 Formulación general del proyecto

La energía geotérmica de baja entalpía (EGBE) corresponde al calor acumulado en el subsuelo, a profundidades relativamente bajas, donde la temperatura no supera los 30° C, y que puede ser utilizada como fuente de energía alternativa en varios ámbitos, especialmente para satisfacer la demanda de climatización doméstica (Seisdedos, 2012).

Chile es un país dependiente de los combustibles fósiles, por lo que está sujeto a la inestabilidad de precios que se produce principalmente por la alta demanda a nivel mundial, crisis económicas o guerras en los países proveedores; esto sugiere una diversificación de la matriz energética y el desarrollo de herramientas que permitan aumentar la eficiencia en su uso. Por otra parte, se ha generado consenso a nivel mundial, que la emisión de CO<sub>2</sub> a la atmósfera, afecta negativamente al clima de nuestro planeta, por lo que políticas de reducción de la emisión y el aumento en el uso de energías renovables no convencionales (ERNC) se hacen cada vez más necesarias. Acuerdos internacionales, como el de Río de Janeiro en 1992 y Kioto 1997, abogan por la disminución de la emisión de CO<sub>2</sub> y otros gases que producen el efecto invernadero.

El calor relacionado con la energía geotérmica de baja entalpía (EGBE), es producto principalmente de la absorción de energía solar, aunque es posible que una fracción menor corresponda a la energía geotérmica genuina proveniente de las profundidades de la tierra. Esto la convierte en un recurso renovable que puede ser explotado económicamente, y que produce el menor impacto ambiental, en comparación con las otras energías no convencionales.

Para realizar la explotación de la EGBE, se utilizan bombas de calor geotérmicas GHP (Geothermal Heat Pumps), que representan un 69,7% de la capacidad instalada, dentro de las aplicaciones de uso directo de la EGBE, utilizando cerca de un 49% de la energía total generada. La capacidad instalada es de 35236 [MWt] y el uso anual de energía es de 214782 [TJ/año] (Lund, 2010). Un tipo particular de bomba son las llamadas Ground source heat pumps (GSHP) las cuales son muy útiles ya que permiten



calentar como enfriar espacios en casi cualquier localidad del mundo. Estas instalaciones consisten en uno o más pozos verticales, en los cuales se implementan intercambiadores de calor del tipo BHE (Borehole heat exchanger), los que a través de un circuito cerrado, intercambian calor con el subsuelo. Este intercambio de calor permite obtener una fuente de calefacción, en los meses fríos, y una fuente refrigerante en los meses calurosos. En la presencia de agua es posible implementar intercambiadores del tipo GWHE (Ground water heat exchanger), los que obtienen el calor del agua subterránea, la que posteriormente es reinyectada o desaguada.

Para estudiar el potencial geotérmico es posible apoyarse en un sistema de información geográfico o GIS. En este software es posible almacenar datos en capas o layers, las que representan una medida georeferenciada de una variable. Un Sistema Geoespacial de Apoyo de Decisión o GDSS (Gemelli, Mancini, Longhi, 2011) es un GIS que forma parte en un proceso estructurado de toma de decisión, apoyado en un modelo lógico matemático, diseñado para resolver problemas territoriales y enfocado a simular la toma de decisiones a partir de un set de variables.

Esta memoria pretende diseñar un GDSS para estudiar el potencial del uso de bombas geotérmicas en la región del Maule. Para esto se utilizara el software ArcGis 9.3 con el fin de generar mapas referenciados que muestren los costos asociados a la implementación de este tipo de bombas y su factibilidad según las condiciones geológicas presentes.

## **1.2 Objetivos**

### **1.2.1 Objetivo general**

Generar un Sistema Geoespacial de Apoyo de Decisión (GDSS) que muestre la profundidad óptima, en la cual, bombas de calor del tipo BHP y GWHP, logran cubrir el gasto energético destinado a calefacción, para una casa estándar, en la Región del Maule.

## **1.2.2 Objetivos específicos**

- Determinar que fracción del gasto energético de una casa de tamaño estándar, es destinado a calefacción, dentro de la Región del Maule.
- Caracterizar el relleno sedimentario y su distribución espacial, de la cuenca del Maule, con el fin de diferenciar los distintos tipos de sedimentos presentes.
- Determinar la extracción específica de calor, para los distintos tipos de sedimentos.
- Determinar profundidad y temperatura del agua subterránea de la región, y las variaciones que puedan tener estos parámetros, durante un periodo determinado de tiempo, con el fin de caracterizar los acuíferos presentes.
- Obtener las variables que determinan el flujo subterráneo y el abatimiento de los acuíferos producto de una extracción de agua.

## **1.3 Área de estudio**

### **1.3.1 Introducción**

En este capítulo se presenta la información referente a la ubicación, vías de acceso, topografía, y clima de la región del Maule. Además se describe la geología regional, teniendo especial énfasis en la descripción de las unidades sedimentarias que rellenan la cuenca, ya que en estas se sienta la base para el desarrollo de la metodología de estimación.

### **1.3.2 Ubicación y accesos**

El área de estudio corresponde a la zona del valle longitudinal, que se encuentra entre la Cordillera Principal y la Cordillera de la Costa de la Región del Maule, entre los 35,2° y 35,6° latitud sur. El principal acceso corresponde a la Ruta 5, de la cual se desprenden una serie de rutas secundarias que permiten el acceso a las distintas zonas visitadas (Figura 1).

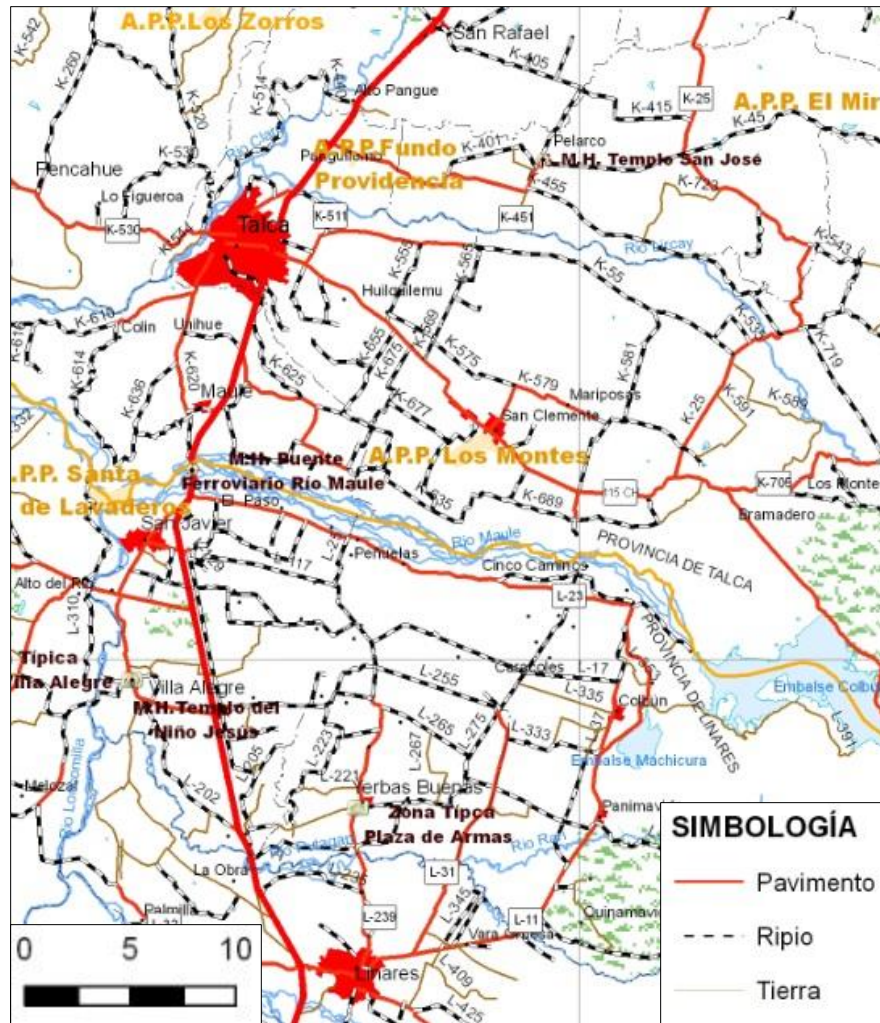


Figura 1. Rutas de acceso. Imagen tomada y modificada de Dirección de Vialidad, Ministerio de obras públicas.

### 1.3.3 Marco Geotectónico

Evidencias de procesos de subducción a lo largo del margen occidental de Sudamérica tienen lugar al menos desde el Triásico (Cembrano et al., 2007; Mpodozis y Ramos, 1989). El margen occidental de Sudamérica se caracteriza por ser un margen convergente, en donde la placa oceánica de Nazca se subduce bajo la placa continental Sudamericana; escenario que se ha mantenido así al menos desde el Jurásico Inferior (Jordan et al., 2001; Fock, 2005; Charrier et al., 2007).

La subducción, que ha sido un proceso continuo en los Andes y cuyo impacto en la evolución geológica del margen andino ha sido variable en el tiempo, ha generado

significativos cambios longitudinales, donde se observan distintos segmentos con rasgos morfoestructurales particulares (Cembrano et al, 2007).

En Chile, en la región comprendida entre los 34°55' y 35°40' latitud sur, las morfoestructuras presentes corresponden a la Cordillera de la Costa, Depresión Central y Cordillera Principal (Alfaro, 2011) (ver figura 2).

La Cordillera de la Costa, a esta latitud, presenta alturas máximas de 700 metros sobre el nivel del mar al oeste de Molina. El sector occidental lo conforman rocas del basamento metamórfico paleozoico y franjas de granitoides jurásicos, mientras que en el sector oriental afloran rocas estratificadas volcánicas y sedimentarias, con edades triásicas a cretácicas, muchas de ellas intruidas por granitoides cretácicos.

La Depresión Central está constituida por depósitos volcano-sedimentarios, cineríticos y fluviales asociados principalmente a los ríos Teno-Mataquito, Lontué, Claro y Maule. Estos depósitos se encuentran sobre un basamento de unidades cretácicas dispuestas de forma paralela al margen continental.

La Cordillera Principal presenta alturas máximas de 4000-4500 metros sobre el nivel del mar en la zona de Curicó. En su margen occidental, está conformada por rocas cenozoicas, en cambio al este está constituida por rocas mesozoicas fuertemente deformadas.

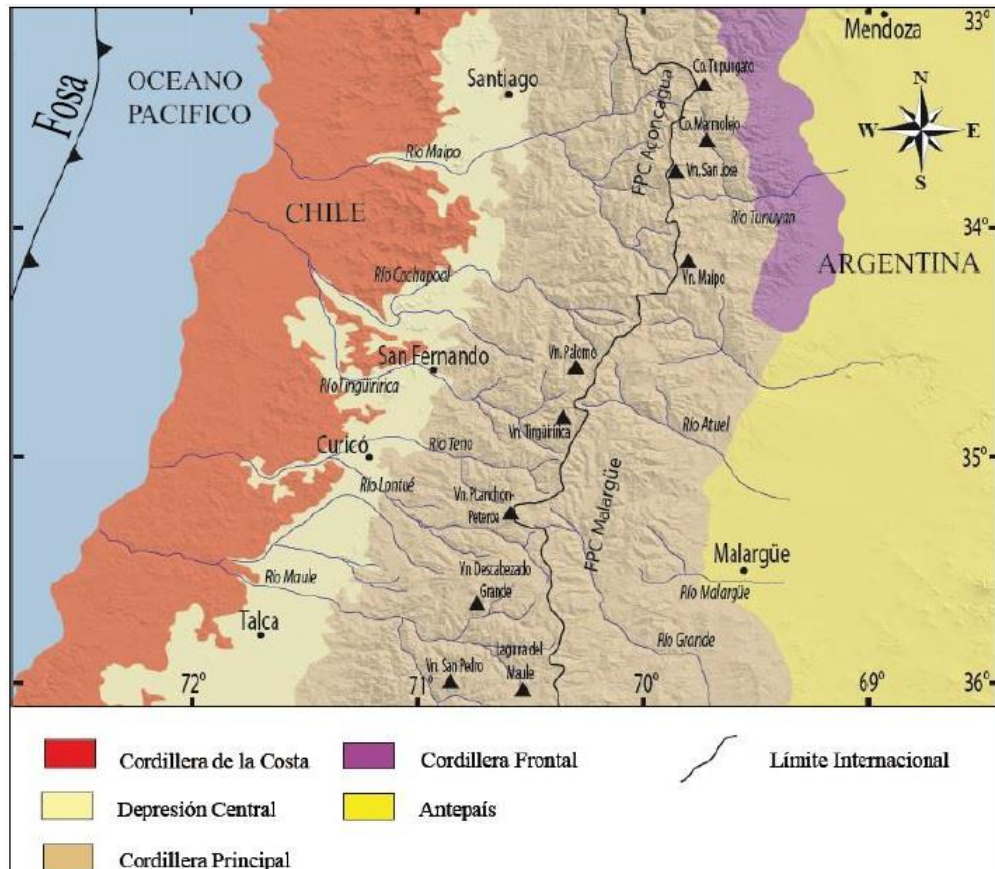


Figura 2. Unidades morfoestructurales regionales a lo largo de Chile entre Santiago y Talca. (Fock 2005)

## Depresión Central

Este rasgo morfoestructural, es particularmente importante de analizar para efectos de este estudio, por (1) existe un creciente desarrollo urbano y expansión demográfica de las localidades ubicadas en el vale central, (2) éstas localidades se sitúan sobre depósitos con características favorables para la implementación de la EGBE.

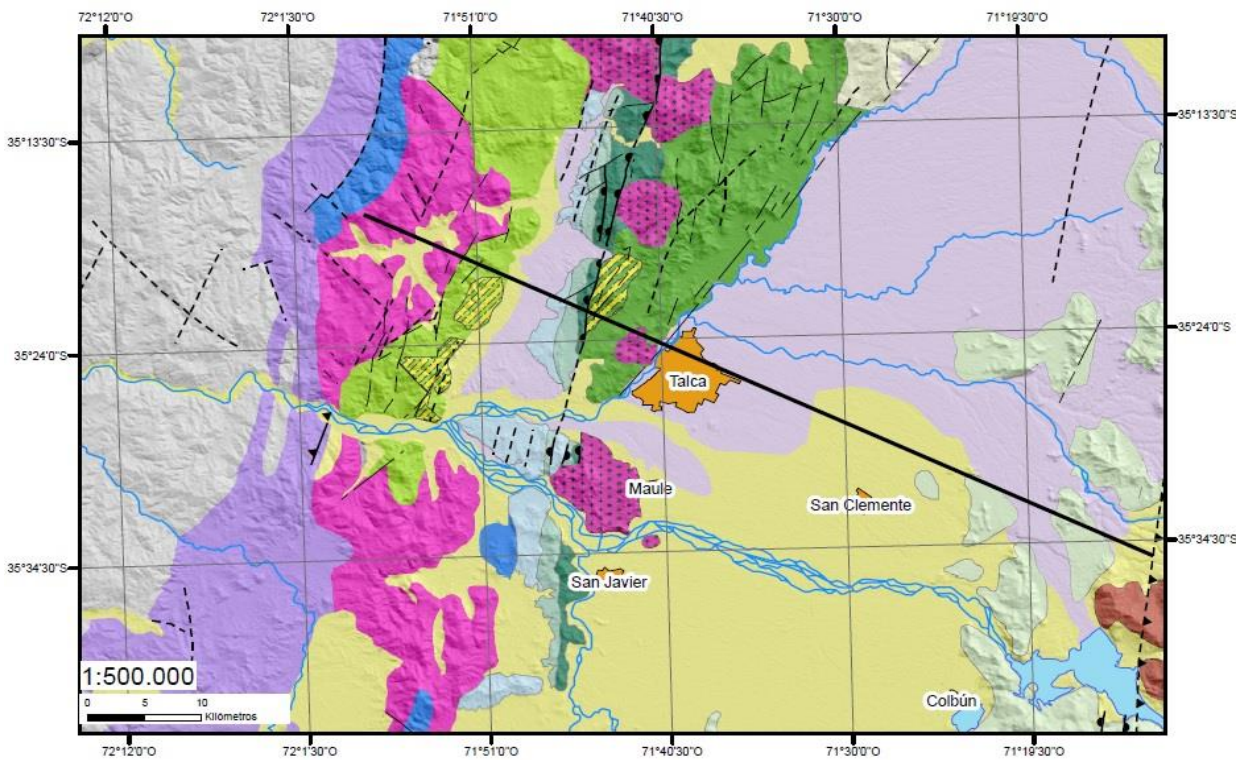
El segmento sur de la Depresión Central se desarrolla desde el norte de Santiago hasta el sur de Aisén. Limita al occidente con la Cordillera de la Costa, borde en el cual se observan escarpes de falla erosionados. En el borde oriental limita con la Cordillera Principal, donde también se observan escarpes de falla erosionados, todo esto entre los 33° y 36°S (Lavenu, 2005). El gran escarpe del borde oriental podría estar acentuado por procesos superficiales, como la erosión lateral de la red de drenaje (Farías, 2007).

La Depresión Central se caracteriza por presentar potentes depósitos que la rellenan, constituidos esencialmente por depósitos laháricos y por sedimentos aluviales, pleistocenos y recientes (Marangunic et al., 1979).

## II. Marco Geológico

A escala regional es posible distinguir una serie de franjas paralelas al margen de subducción, en las cuales se encuentran desde rocas metamórficas y plutones paleozoicos, en la zona de la Cordillera de la Costa, hasta unidades volcano-sedimentarias meso-cenozoicas e intrusiones mio-pliocenas, en la Cordillera Principal. En la depresión intermedia se encuentran unidades volcano-sedimentarias con edades desde el Oligoceno (Cembrano y Lara, 2009). En la Figura 3 se muestra un mapa geológico de la región (Morales 2014).





### Legenda

—+— Perfil 1

— Rios y Esteros

■ Zonas Urbanas

■ Alteración Hidrotermal

### Estructuras

—+— Anticlinal

--- Falla inferida

▲▲▲ Falla inversa

---▲▲▲ Falla inversa inferida

--- Lineamiento

▲▲▲ Falla normal

—+— Sinclinal

### Rocas Estratificadas

■ OMa: Formación Abanico

■ Kcul: Formación El Culenar

■ Klit: Estratos de Litu

■ Kcc: Ignimbritas de Cerro Caupolicán

■ Klau: Estratos de El Laurel

■ Jmah: Formación Altos de Hualmapu

■ Tr: Triásico-Jurásico

### Rocas Metamórficas

■ Bm: Basamento Metamórfico

### Rocas Intrusivas

■ Mg: Granodioritas

■ Kiag: Intrusivo Granodiorítico

■ Jig: Intrusivo Diorítico

■ Bg: Basamento Granítico

### Depósitos no Consolidados

■ Pl3: Depósitos piroclásticos

■ Qpv: Lavas y flujos piroclásticos de planicies y valles

■ Q: Depósitos Fluviales y aluviales

Figura 3 . Mapa geológico de la zona de estudio. Modificado de Morales (2014)

## 2.1 Basamento Metamórfico

Aflora al oeste de la zona de estudio, definida en un principio por González-Bonorino (1970), quien estudia la faja metamórfica que aflora al norte del paralelo 36°30' y la divide en tres series de metamorfismo progresivo:

Serie Curepto: Corresponde a una zona de metamorfismo dinámico con un gradiente creciente hacia el oeste, y en condiciones de alta presión. La asociación mineralógica presente indica una facie de esquistos verdes. De este a oeste es posible subdividirla, en zona de pizarras, filitas y esquistos.

Serie de Nirivilo: Corresponde a una zona de metamorfismo térmico, asociado a la intrusión del granito paleozoico.

Serie de Pichilemu: Corresponde a una zona de metamorfismo dinámico-térmico, con un gradiente creciente hacia el este, y en condiciones de presión baja a intermedia. Las distintas asociaciones mineralógicas presentes, hacen que sea posible subdividirla en cinco sub-zonas, las que comprenden desde facies de esquistos verdes al oeste, a granulitas y anfibolitas al este.

Posteriormente, Aguirre et al. (1972) dividen el basamento en dos series, la oriental y la occidental. Corresponden a dos franjas metamórficas cuyas asociaciones minerales señalan condiciones de baja a intermedia presión para la serie oriental, y condiciones de presión intermedia a alta para la serie occidental.

Hervé (1974) establece que la Serie Oriental, en las provincias de Concepción y Ñuble, estaría representada por filitas, meta-grauvacas, hornfels, gneiss e intrusivos granitoides, en cambio la Serie occidental estaría representada por esquistos micáceos y cloríticos.



## **2.2 Rocas estratificadas**

### **2.2.1 Triásico Superior marino sedimentario y volcánico.**

Este grupo está compuesto por las formaciones El Cisne, Crucero de los Sauces y Estero de la Higuera. Afloran al noroeste de la zona de estudio.

Formación El Cisne (Corvalán et al, 1975. en Escobar et al., 1977)

Está conformada por lutitas fósiles, subgrauvacas de grano medio a fino y ortoconglomerados cuarcíferos. Se encuentra sobre el granito paleozoico a través de un contacto transgresivo y es suprayacida por la Formación Laguna de Tilicura. Fauna fosilífera, encontrado en los niveles medios, permiten asignarle la edad Triásico Superior.

Formación Crucero de los Sauces y Formación Estero de la Higuera (Corvalán, 1976. en Escobar et al., 1977)

La Formación Crucero de los Sauces está conformada por ignimbritas y tobas brechosas, las cuales fueron depositadas sobre el granito paleozoico. La Formación Estero de la Higuera está compuesta por niveles de areniscas cuarcíferas de grano medio y conglomerádicas. A través de fauna fósil *Monotis* y *Halobia* se asigna una edad Triásico superior.

### **2.2.2 Jurásico inferior marino**

En la Cordillera de la Costa, entre los paralelos 34°15' y 35°10', Escobar et al. (1977) distingue un grupo de afloramientos del Jurásico Inferior, en continuidad estratigráfica sobre las rocas del triásico. Corvalán y Dávila (1976) (en Escobar et al., 1977), indican que el contacto entre este grupo jurásico y las rocas triásicas sería pseudoconcordante, al menos al norte del río Mataquito.

### Formación Laguna de Tilicura

Corvalán y Dávila (1976) (en Escobar et al., 1977) definen esta formación como lutitas fisibles, arcosas y ortoconglomerados cuarcíferos. A través de fauna fósil se le asignó una edad hettangiana – sinemuriana.

### Formación Rincón de Núñez

Observada en la ribera norte del río Mataquito, Corvalán (1976) (en Escobar et al., 1977) define esta formación como 130 m de lutitas fisibles, con fauna *Psiloceras* y *Schotheimia* y areniscas arcósicas a subgrauvacas con intercalaciones de lutitas.

### Estratos El Guindo

En la ribera sur del río Mataquito, se observa esta formación con longitud similar a la Formación Rincón de Núñez, suprayaciendo rocas del Triásico Superior. Está constituida por lutitas, areniscas de grano medio a grueso y capas de conglomerados. A través de fauna fósil se le asigna una edad Hettangiano – Sinemuriano.

## **2.2.3 Formación Altos de Hualmapu (Morel, 1981)**

Está constituida por secuencias volcánicas continentales y marinas. Corresponden a lavas y aglomerados basálticos a andesíticos, tobas riolíticas con intercalaciones de areniscas, calizas marinas y conglomerados continentales.

Definida por Morel (1981) como una secuencia volcánica – clástica compuesta esencialmente por andesitas y brecha volcánicas de color gris verdoso. Se encuentra aparentemente concordante con las areniscas de la Formación Rincón de Núñez. En su base se encuentran brechas volcánicas con clastos volcánicos, sedimentarios y fósiles marinos retrabajados que indicarían una discordancia por erosión sobre las areniscas de la Formación Rincón de Núñez al oeste.

Bravo (2001) define al sur del río Mataquito el techo de esta formación como un contacto discordante que es suprayacido por andesitas porfídicas y tufitas pardo rojizas de la unidad Estratos del Laurel. En el lado norte de la formación se define en el techo

un contacto aparentemente concordante con areniscas conglomerádicas, areniscas calcáreas y caliza de la Formación La Lajuela.

Morel (1981) le asigna una edad Jurásico Medio – Superior, con amonites del Toarciano encontrados en la Formación Rincón de Núñez.

#### **2.2.4 Formación Río Damas (Klohn, 1960)**

Esta formación corresponde a un grupo de rocas sedimentarias clásticas continentales finas y gruesas, con intercalaciones de volcanitas. A través de relaciones estratigráficas verticales con la Formación Nacientes de Teno, la cual subyace la Formación Río Damas, Klohn (1960) le asigna una edad Kimmeridgiano. Además, sus niveles superiores se encontrarían depositados bajo estratos marinos titonianos – necomianos.

#### **2.2.5 Formaciones La Lajuela y Estratos de El Laurel (Bravo, 2001)**

Estas formaciones, reconocidas en la Cordillera de la Costa, tendrían correlación directa con los depósitos marinos y continentales de la Formación Lo Prado.

##### Formación La Lajueja

Definida por Bravo (2001), como una secuencia de 4100 m y que correspondería a la parte superior de los Estratos de La Lajuela definida por Vergara (1969). La componen rocas andesíticas de color gris violáceo, tobas de cristales y brechas andesíticas monomícticas, con frecuentes intercalaciones sedimentarias, en las que se reconocen areniscas calcáreas, calizas, margas, lutitas calcáreas y lutitas fisibles fosilíferas.

En su base dominan las rocas sedimentarias marinas, principalmente limolitas y areniscas calcáreas fosilíferas de edad valanginiana, las que se encuentran sobre andesitas porfídicas gris oscuro, ocoíticas de la Formación Alto de Hualmapu,

presentando un contacto concordante. Su techo sería concordante con la Formación Estratos de El Laurel.

#### Formación Estratos de El Laurel

Reconocida por Bravo (2001) entre los ríos Mataquito y Maule, corresponde a lavas y brechas de composición predominantemente andesítica, de color gris rojizo a gris morado.

Su base, que presenta tobas cristalinas gris violáceo, se encuentra concordante sobre brechas de la Formación La Lajuela. Su techo presenta un contacto concordante con la Formación Ignimbritas del Cerro Caupolicán.

Relaciones de contacto permiten a Bravo (2001) determinar que esta formación sería correlacionable con la parte superior de la Formación Lo Prado constituida por rocas volcánicas, volcanoclásticas andesíticas y dacíticas.

### **2.2.6 Formación Veta Negra**

Esta formación presenta principalmente rocas volcánicas continentales. Se encuentran concordantes sobre la formación Lo Prado (Nasi y Thiele, 1982), y subyace de manera concordante a la Formación Las Chilcas. Se le asigna una edad Cretácico Inferior a Cretácico Superior Tardío (Charrier et al., 2007).

Bravo (2001) correlaciona distintas formaciones cretácicas con la Formación Veta Negra. Estas formaciones son: Ignimbritas del Cerro Caupolicán, El Culenar y Estratos de Litu.

#### Formación Ignimbritas del Cerro Caupolicán

Corresponden a tobas soldadas y bancos de rocas sedimentarias epiclásticas bien estratificadas. La componen areniscas volcánicas continentales y tobas de ceniza y cristalinas, de color rojo y pardo rojizo.

Se dispone aparentemente concordante sobre tobas de ceniza y lapilli de los Estratos de El Laurel. Su techo se encuentra aparentemente concordante bajo andesitas porfídicas y afaníticas gris verdosas y moradas de los Estratos de Litu.

#### Formación Estratos de Litu

Está definida como una secuencia estratificada de brechas volcánicas y tobas de ceniza, con intercalaciones de lavas porfídicas y escasas areniscas. La secuencia presenta un color gris morado a gris rosado claro.

Su base se encuentra en un contacto concordante con tobas soldadas o areniscas tobaceas de la Formación Ignimbritas del Cerro Caupolicán. Su techo se encuentra en contacto concordante con andesitas porfídicas y brechas volcánicas de los Estratos de El Culenar.

#### Formación El Culenar

Está compuesta por brechas volcánicas de color gris claro a gris verdoso, con andesitas porfídicas y afaníticas de color gris verdoso. Alcanza una potencia cercana a los 2200 m en la ribera sur del río Mataquito.

Se encuentra concordante sobre tobas de lapilli bandeadas de los Estratos de Litu, y en su techo subyace rocas de la Formación Lo Valle, a través de un contacto concordante.

Dadas las correlaciones existentes con las formaciones Lo Prado y Veta Negra, es posible asignarle una edad Barremiano – Albiano.

### **2.2.7 Formación Colimapu (Klohn, 1960)**

Está constituida por sedimentos clásticos continentales, y es posible separarla en dos miembros, el Miembro Inferior, compuesto por lutitas y areniscas tobíferas rojas, y el Miembro Superior constituido por areniscas finas a gruesas, areniscas oolíticas y sedimentos de grano grueso con lentes de calizas lagunares grises claras e intercalaciones de tobas grises moradas (González y Vergara, 1962).

Su base se observa concordante sobre la Formación Baños del Flaco, y en su techo descansa la Formación Coya – Machalí y su equivalente la Formación Plan de los Yeuques. (Escobar et al, 1977). Esta última se encontraría concordante sobre brechas y tobas de queratífidos de la Formación Colimapu. A través del hallazgo de fauna fósil, en particular carófitas, se le asigna edad albiana.

### **2.2.8 Formación Plan de las Yeuques (González y Vergara 1962)**

Está constituida por rocas volcánicas continentales, efusivas y piroclásticas de carácter ácido, con intercalaciones de sedimentos continentales . Su base es concordante sobre la Formación Colimapu, y en su techo se encuentra concordante la Formación Abanico. Al Sur de los 36° 15´ se observa discordante bajo la Formación Cola de Zorro.

González y Vergara (1962) asignan a esta formación una edad Neocomiano superior, mediante la correlación con la Formación Colimapu que se superpone de manera concordante calizas neocomianas, cuyos niveles superiores serían del Hauteriviano (Tavera, 1951; en González y Vergara, 1962).

### **2.2.9 Formación Lo Valle (Thomas, 1958)**

Corresponde a una serie de ignimbritas y lavas dacíticas de color rosado, con intercalaciones de areniscas, lutitas, conglomerados, tufitas, andesitas porfídicas y basaltos.

Su base se encuentra en discordancia angular sobre la Formación Las Chilcas (Thomas, 1958). Sin embargo Bravo (2001) establece que para esta zona se encontraría concordante sobre brechas de la Formación El Culenar. Su techo correspondería a la superficie de erosión actual.

Su edad sería equivalente a la Formación Las Chilcas y correspondería al Cenomaniano – Turoniano, sin embargo no serían correlacionables de acuerdo a su secuencia estratigráfica.

### **2.2.10 Formación Abanico (Aguirre, 1960; González y Vergara, 1962)**

Corresponde a un conjunto de volcanitas, tobas, brechas, tufitas y lavas porfídicas, con intercalaciones de sedimentitas clásticas continentales como areniscas, grauvacas y limolitas.

Su base descansa concordante sobre la Formación Plan de los Yeuques, y en algunos sectores este contacto concordante se observa sobre la Formación Cura Maullín. En su techo se observa una discordancia angular con la Formación Corona del Fraile en la región del río Teno y más al sur de la misma forma se observa bajo la Formación Cola de Zorro.

De acuerdo a su posición estratigráfica y su posición respecto a las formaciones necomianas, Colimapu y Plan de los Yeuques, se le asigna un límite inferior post – Necomiano.

### **2.2.11 Formación Corona del Fraile (González y Vergara, 1962)**

Está compuesta por brechas, conglomerados y areniscas medias, con niveles de tobas y brechas con matriz tufítica así como tobas de lapilli. Poseen un característico color gris verdoso claro.

En su base se observa una discordancia angular y de erosión sobre la Formación Abanico. Su techo sería la actual superficie de erosión. Se le asigna una edad post – Abanico y sería posible correlacionarla con la Formación Farellones descrita por Klohn (1960) y Aguirre (1960).

### **2.2.12 Formación Cola de Zorro (González y Vergara, 1962)**

Compuesta por rocas volcánicas andesíticas basálticas, principalmente se observan coladas de andesitas basálticas, basaltos con piroxenos y rocas piroclásticas de similar composición.

Se le asigna un límite inferior Post – Eocénico al estar superpuesta a la discordancia sobre la Formación Malla – Malla de edad Eocena. González y Vergara (1962) consideran esta formación con una edad Plioceno-Pleistoceno.

### **2.3 Depósitos cuaternarios**

Comprenden depósitos asociados a centros volcánicos, rellenos de valles fluviales, glaciares y zonas costeras.

#### **2.3.1 Vulcanitas del grupo Descabezado Grande**

Definida por González y Vergara (1962) corresponden a basaltos de color gris oscuro a negros, generalmente afaníticos y vesiculares. Se observan intercalaciones de brechas del material recién descrito. Se extiende desde el volcán Descabezado Grande hacia el río Claro.

#### **2.3.2 Lavas y flujos piroclásticos de planicies y valles**

Corresponden a lavas y piroclastos que rellenan antiguos valles glaciares y fluviales, generando terrazas de hasta 300 m de altura sobre estos valles y que a veces tienen una gran extensión (González y Vergara, 1962).

#### **2.3.3 Vulcanitas recientes**

Aquí se incluyen coladas de lava cordadas, conos volcánicos actuales, escoria, piroclastos de carácter basáltico, andesítico y riolítico, originados por la actividad volcánica reciente. Afloran principalmente en la zona de la Cordillera Principal.



### **2.3.4 Sedimentos cuaternarios continentales**

Corresponden a sedimentos cuaternarios aluviales y diluviales, de origen volcánico, glaciar, fluvial y lacustre, es su mayoría no consolidado (Marangunic et al., 1979). Se desarrolla con mayor potencia en la Depresión Central, formando terrazas, aunque es posible encontrarlos en valles cordilleranos como depósitos fluvioglaciares y en la zona costera como depósitos eólicos semiconsolidados.

### **2.3.5 Depósitos fluviales de cauces antiguos del río Maule**

Corresponden a secuencias de ripios, gravas y gravas arenosas, con frecuentes bolones heterocomposicionales bastante alterados. Ocasionales intercalaciones lenticulares limo – arcillosas y bancos cineríticos. Existen importantes variaciones laterales en permeabilidad.

### **2.3.6 Depósitos Cineríticos**

Corresponden a una potente secuencia compuesta por bancos de cenizas y lapilli de composición acida. Están constituidos por esquirlas vítreas, cristales de Plagioclasa y fragmentos de pómez. Además incluye limos, arcillas y materiales gruesos acumulados en periodos aluviales. Existen significativas variaciones laterales, pero se caracteriza por ser un depósito bien cementado, compacto y de permeabilidad media a baja.

Hacia el borde oriental dominan las fracciones clásticas gruesas permitiendo un mayor espesor de los acuíferos, en cambio en la zona occidental este espesor se reduce ya que predominan las fracciones de sedimentos finos como limos arenas limosas y arcillas.

### **2.3.7 Abanico Aluvial Auqil-Astillero**

Corresponden a ripios y gravas arenosas, con bloques y bolones bastante alterados, y bancos de areniscas medias a gruesas con abundantes clastos de origen volcánico. Poseen una alta compacidad, gran cantidad de finos intersticiales, mala selección y baja permeabilidad.

### **2.3.8 Depósitos de abanico fluvial de los ríos Claro – Lontué y Maule**

Con características similares, están conformados por sedimentos clásticos gruesos, gravas arenosas, con intercalaciones finas. La mayoría de los clastos son redondeados a sub – redondeados debido al alto transporte. En la ribera de los cauces se observa una mayor fracción de materia grueso el cual en su mayoría es de origen volcánico.

Estos depósitos cuentan con una alta permeabilidad resultado de una sedimentación condicionada al equilibrio entre tamaño de materiales movilizados y la velocidad del agua, en un ambiente bien drenado (Alfaro, 2011).

### **2.3.9 Depósitos fluviales**

Estos depósitos están conformados por arenas y gravas de buena selección con poca matriz fina y clastos resistentes sub – redondeados. Se observan intercalaciones arcillosas de bajo espesor.

A medida que aumenta la profundidad, aumenta la fracción fina, produciendo una pérdida de permeabilidad y un aumento en la compactación.

### **2.3.10 Depósitos fluviales de valles interserranos**

Corresponden a bancos de arena y arenas limosas con abundantes lentes. Se observan intercalaciones cineríticas y/o maicillo. Poseen una permeabilidad media.

### **2.3.11 Depósitos de escombros de falda**

Corresponden a depósitos asociados a altas pendientes y donde predomina la fracción gruesa. Poseen una elevada permeabilidad, lo que favorece el escurrimiento pluvial. Su extensión es muy limitada.

### **2.3.12 Depósitos fluviales en cauces actuales**

Corresponden a ripios, gravas y arenas sueltas, de alta porosidad y buena permeabilidad. Poseen una escasa matriz intersticial, lo que los convierte en sedimentos con una buena capacidad de almacenar y conducir agua.

## **2.4 Rocas Intrusivas**

### **2.4.1 Basamento Granítico**

Compuesto principalmente por tonalitas y granodioritas de grano medio a grueso, las que evidencian haber estado sometidas a fuertes efectos cataclásticos. Se reconoce como una franja en el sector occidental de la zona de estudio, en la Cordillera de la Costa, en contacto con el basamento metamórfico. Este contacto sería norte – sur (Escobar et al., 1977).

Levi et al. (1963) (en Escobar et al., 1977) le asigna una edad máxima de 340 ±40 Ma. y una edad mínima de 291 ± 35 Ma. Es por esto que se le asigna una edad paleozoico superior.

### **2.4.2 Batolito Andino**

Corresponde a un conjunto de rocas plutónicas de edad cretácica a terciaria inferior. Su composición varía entre tonalitas y granodioritas, las que se distribuyen en franjas aproximadamente norte – sur, tanto en la Cordillera Principal, como en la parte occidental de la Cordillera de la Costa.

En la cordillera principal se reconocen granodioritas, dioritas, y tonalitas del mioceno, granodioritas, monzogranitos, monzodioritas, monzonitas y dioritas del mioceno inferior – medio, y rocas más jóvenes al noreste y comprendería granodioritas de hornblenda y biotita, en menor proporción monzogranitos, monzonitas cuarcíferas y monzodioritas.

En la Cordillera de la Costa, Bravo (2001) reconoce una franja Jurásica al este del batolito costero, compuesta por rocas holocristalinas de composición diorítica gradando localmente a granodiorítica y microtonalíticas. Además se observan un grupo de stocks de pórfido diorítico y pórfidos monzoníticos.

### III. Marco Teórico y Metodología

La energía geotérmica sienta su base en la extracción del calor acumulado en la corteza terrestre para el beneficio humano. Este calor es utilizado de múltiples formas, entre las que se destacan la generación de electricidad, su aplicación en múltiples procesos industriales y agrícolas, para calefacción y climatización. Basado en la temperatura de la fuente, es posible separar la energía geotérmica en cuatro categorías (Seisdedos, 2012):

- Alta temperatura: más de 150°C. Generación de electricidad directo del vapor.
- Media temperatura: entre 90°C y 150°C. Generación de electricidad mediante fluidos de intercambio
- Baja temperatura: entre 30°C y 90°C. Calefacción de edificios, usos industriales y agrícolas.
- Muy baja temperatura: menor a 30°C. Calefacción y climatización mediante bombas de calor.

Este trabajo se desarrolla en la cuarta categoría de muy baja temperatura, orientado a la calefacción domiciliaria por medio de bombas de calor geotérmicas

#### **3.1 Energía geotérmica de muy baja temperatura.**

Se basa en el estudio, ocurrencia y explotación del calor de baja temperatura, menor a 30°, que encontramos en el subsuelo generalmente a una profundidad menor a 200 m (Seisdedos, 2012). Esta energía proviene principalmente del sol y es almacenada tanto en el subsuelo como en los acuíferos presentes.

##### **3.1.1 Beneficios**

Dado que no genera CO<sub>2</sub> in situ, permite una importante disminución en la generación de gases que producen el efecto invernadero, ya que permite sustituir los combustibles fósiles y el gas metano, usados ampliamente en calefacción.

Tanto la demanda energética del sistema (Figura 4), como sus costos de operación (Figura 5), son más bajos que otras alternativas utilizadas en calefacción. Esto la convierte en una alternativa económicamente atractiva. Si bien la inversión inicial es elevada, los ahorros obtenidos en la fase de operación permiten el desarrollo de un proyecto altamente rentable.

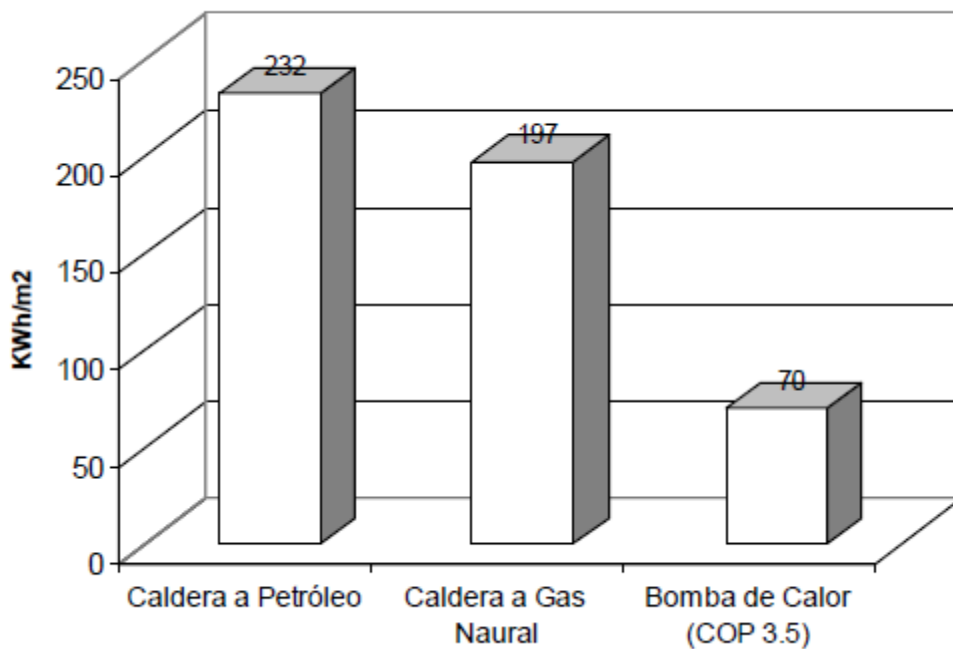


Figura 4. Demanda energética para sistemas de calefacción. Imagen obtenida de Seisdedos (2012). Fuente GEMIS-VDEW

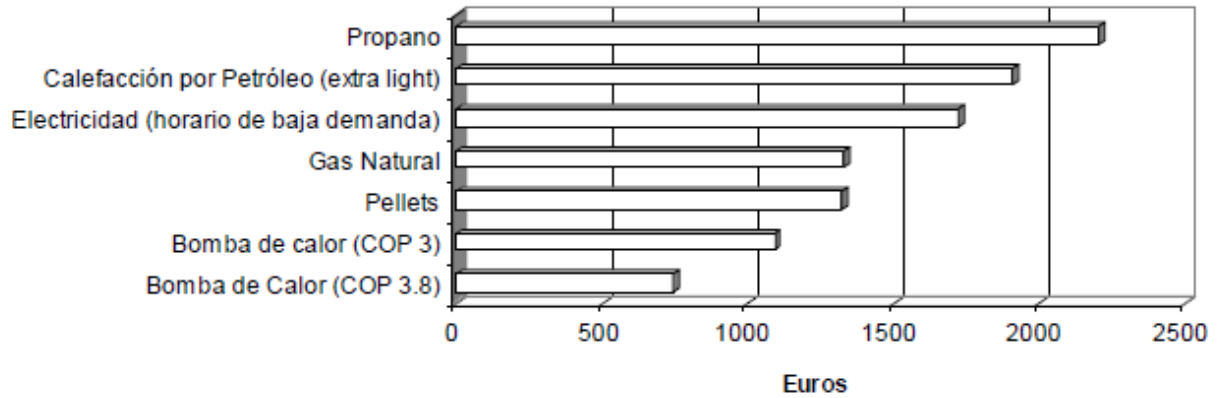


Figura 5. Costos de operación para sistemas de calefacción. Imagen obtenida de Seisdedos (2012). Fuente Ochsner, K. 2010

Este tipo de energía supone independencia energética, ya que no depende de combustibles fósiles, cuyo mercado esta propenso a crisis producto de las pocas reservas existente a nivel mundial.

La aplicación mediante bombas de calor sugiere un sistema de alto confort, ya que su operación es bastante silenciosa, no requiere limpiezas periódicas como chimeneas como es el caso de las calderas, y la posibilidad de operar de manera reversible, permite un aporte en la refrigeración en épocas de altas temperaturas. Su operación no involucra combustión, lo que reduce el peligro de accidentes (Seisdedos 2012).

### 3.1.2 Costos

La inversión inicial corresponde al mayor problema dentro de este tipo de tecnología, ya que considera la bomba de calor y los metros de perforación necesarios. Esta inversión es mayor que la necesaria en otros tipos de energías. Sin embargo, los bajos costos de operación hacen que siga siendo favorable.

Esta tecnología está limitada a las zonas geográficas donde las condiciones geológicas hacen factible su implementación.

### 3.2 Bombas de calor geotérmicas

Las bombas de calor geotérmicas representan una de las aplicaciones con más crecimiento a nivel mundial, en el área de las energías renovables (Lund et al., 2004). Una de sus más importantes características es que utiliza el calor del suelo, o del agua subterránea, que normalmente fluctúa entre 5 y 30 ° C, y que está disponible en casi cualquier lugar del mundo.

Estas bombas se dividen en dos, las que extraen el calor de los sedimentos a través de ciclos cerrados, y los que extraen el calor del agua con ciclos abiertos; ambos con posibilidad de ser implementados de forma horizontal o vertical (Figura 6).

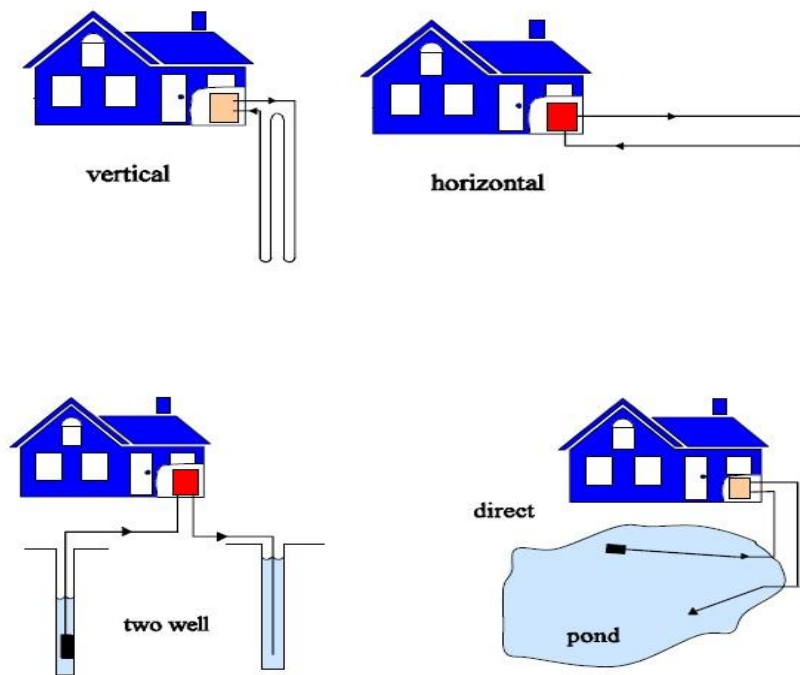


Figura 6. Distintos sistemas de bombas geotérmicas. El ciclo cerrado se representa en la parte superior y el ciclo abierto en la parte inferior.

Se efectuarán estimaciones para las dos configuraciones que involucran pozos verticales

#### 3.2.1 Funcionamiento de la bomba de calor geotérmica.

Una bomba de calor geotérmica consiste en la circulación de un líquido refrigerante a través de un ciclo de compresión y expansión. Este ciclo puede ser un



ciclo cerrado para intercambio de calor con el subsuelo, o un sistema abierto para el intercambio de calor con el agua subterránea. En la Figura 7 se representa el funcionamiento de una bomba de calor en su ciclo de calefacción.

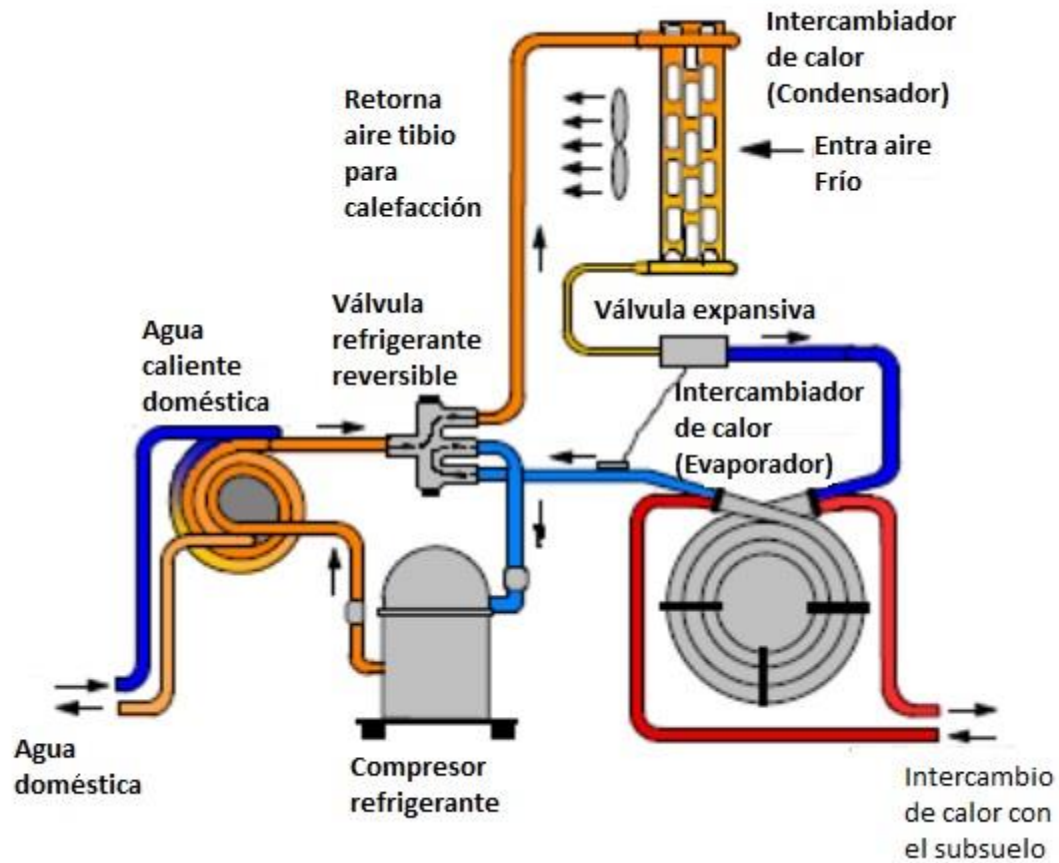


Figura 7. Bomba de calor geotérmica en ciclo de calefacción. Imagen obtenida y modificada de Lund, 2004.

El funcionamiento de esta bomba se basa en los siguientes procesos:

- Intercambio de calor desde la fuente hacia el fluido refrigerante del sistema.
- Compresión del fluido refrigerante para subir temperatura
- Liberación del calor transportado por el fluido; esto puede ser en un sistema de agua caliente o a través de un condensador liberando aire caliente

- Expansión del fluido para bajar su temperatura y volver a entrar al ciclo

Es posible generar un ciclo para refrigeración, que es similar al de calefacción pero al inverso.

### **3.3 Metodología**

A continuación se dan a conocer las dos metodologías generadas en esta memoria, así como los pasos previos que permiten organizar de mejor manera los datos. La metodología para la bomba BHP incorpora datos estratigráficos e hidrogeológicos, mientras que la metodología para la bomba GWHP solo incorpora información hidrogeológica.

#### **3.3.1 Generación base de datos**

Para la realización de este estudio se generó una base de datos con la información de la zona, la cual incluye datos de ubicación de pozos, estratigrafía de pozos, niveles estáticos, temperatura del agua subterránea, conductividad y transmisividad hidráulica. Esta base de datos incorpora información obtenida de la Dirección General de Aguas, de la Carta Hidrogeológica de Chile (Hoja Talca, Región VII), datos facilitados por la empresa Aguas Nuevo Sur y datos obtenidos en los terrenos realizados durante el desarrollo de esta memoria.

#### **3.3.2 Clasificación de los sedimentos**

Para realizar las estimaciones de profundidad a perforar, es fundamental conocer en detalle la estratigrafía de la cuenca en estudio, con el fin de asociar valores de tasa de extracción de calor (sHE) a las distintas capas presentes. Para este caso en particular se recopiló información estratigráfica de los planos de construcción de pozos de captación de aguas subterráneas, e información estratigráfica en informes de la Dirección General de Aguas.

La cuenca se caracteriza por poseer sedimentos de todos los tamaños, desde bolones y bloques hasta limos y arcillas. En la mayoría de los casos los depósitos corresponden a una combinación de los distintos tamaños, por lo que se clasificaron de acuerdo a las dos familias tamaños más frecuentes entre gravas, arenas y limo – arcillas. Esto generó 9 tipos de sedimentos (Figura 8).



Figura 8. Clasificación de sedimentos. En las esquinas del triángulo es posible encontrar los tres tamaños de grano utilizados, en una fracción de 100%.

### 3.3.3 Temperatura del subsuelo

Las bombas geotérmicas son implementadas en suelos con temperaturas entre 5°C y 30° C. Lund (2010). Por esto es fundamental generar un mapa de temperaturas del subsuelo. Para esto se hicieron 36 mediciones en pozos de captación de aguas subterráneas, y a través de una interpolación Spline se obtiene el mapa de la Figura 9.

Se logra apreciar que la temperatura mínima encontrada es de 15,1°C por lo que la zona presenta las condiciones adecuadas para la implementación de este tipo de tecnología.

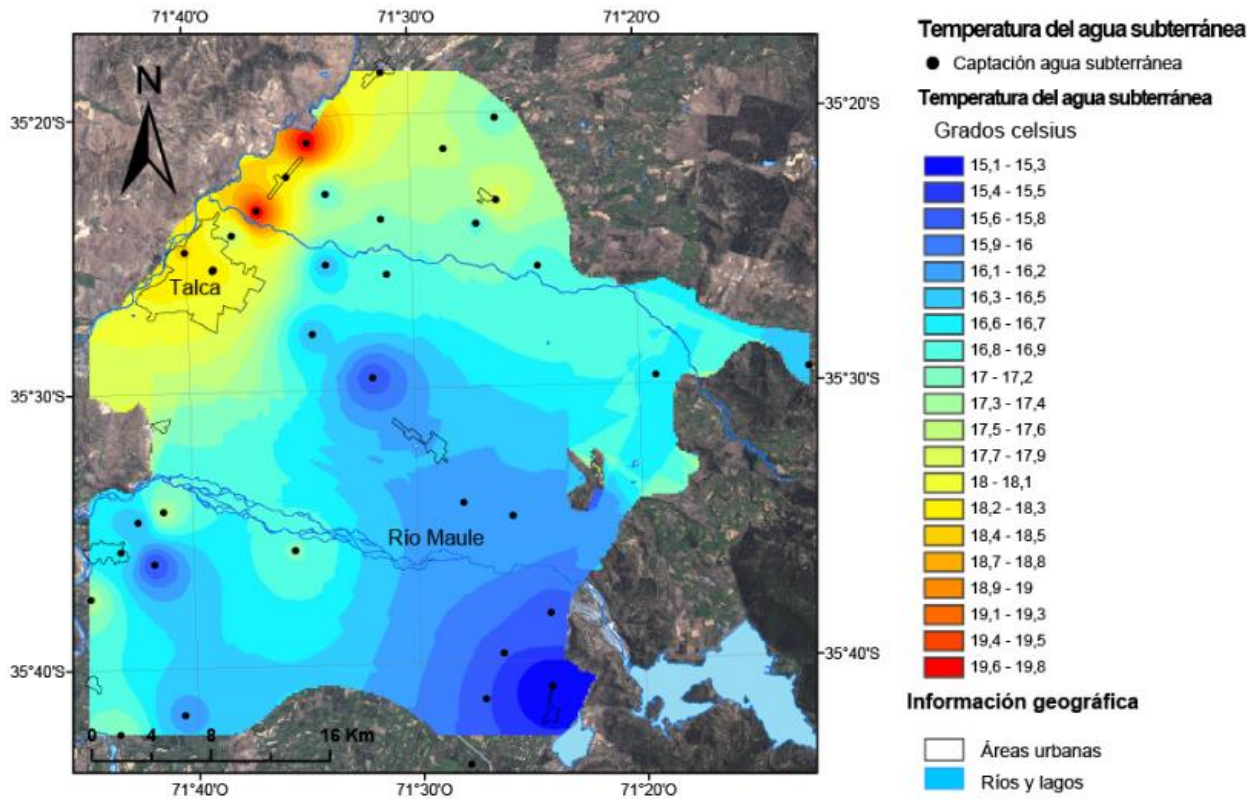


Figura 9. Mapa de temperaturas del subsuelo

En este mapa se observa que el sector sureste es el más frío con 15,1°C y el sector noroeste el más cálido con temperaturas que alcanzan los 19,8°C.

### 3.3.4 Metodología para bombas de calor tipo Borehole Heat Pump (BHP)

Esta tecnología se basa en la obtención del calor directamente de los sedimentos. La profundidad de perforación es el factor más importante al momento de evaluar la implementación de este tipo de bombas, debido a los costos asociados. Se trabajará usando la siguiente fórmula propuesta por Gemelli et al., 2011 para la estimación de potencial:

$$Z=H/sHE \quad (1)$$

Donde Z es la profundidad del pozo que se necesita perforar para satisfacer la demanda H y sHE es la potencia en [Watt/m] que se extrae por metro de sondaje. Utilizando un sistema georeferencial de apoyo de decisión se genera un mapa de profundidades que satisfacen una demanda fija.

Posteriormente se generará un mapa de costos por pozo, basado en la siguiente formula, propuesta por Gemelli et al. (2011):

$$C=c_p*H/sHE+C_i$$

$$C=c_p*Z+C_i \quad (2)$$

Donde  $C_p$  es el costo por metro de sondaje,  $Z$  es la profundidad calculada y  $C_i$  es el costo de las instalaciones, donde se considera el costo principal que corresponde a la bomba de calor.

### **3.3.5 Metodología para bombas de calor tipo Ground Water Heat Pump (GWHP)**

La profundidad de perforación, al igual que en el caso anterior, es el factor más importante a la hora de evaluar la instalación de este tipo de bombas. El nivel de agua subterránea, el abatimiento del pozo producto de la extracción, y la variación temporal del nivel freático, serán las variables involucradas en esta evaluación. Se trabajara según la siguiente fórmula propuesta por Seisdodos (2012):

$$Z_t = Z_p + Z_a + Z_s \quad (3)$$

Donde  $Z_t$  es la profundidad total,  $Z_p$  es la profundidad del nivel estático,  $Z_a$  es el abatimiento y  $Z_s$  una profundidad de seguridad, para las posibles variaciones del nivel estático.

Con las mediciones de terreno e información obtenida en la bibliografía, se realizará un mapa de niveles freáticos de la región. El abatimiento se calculara según el caudal necesario para satisfacer la demanda; y este se determinará según la demanda energética y la eficiencia del pozo.

Para este caso se tomaran valores estimados del coeficiente de operación o COP, que según Dragi (2012), corresponde a un valor adimensional que expresa la

eficiencia de la bomba y que corresponde a la razón entre la energía que entrega la bomba y la energía necesaria para hacerla funcionar.

$$\text{COP}=\text{H}/\text{E} \quad (4)$$

Como se conocerá la demanda H, deducida a partir del gasto energético en una casa estándar, se podrá despejar E. Por otra parte, la energía disipada por la bomba se puede expresar como:

$$\text{H}=\text{G}+\text{E} \quad (5)$$

Donde G es la energía obtenida desde el subsuelo, y se define como:

$$\text{G}=\text{Q}*\Delta\theta*\text{c}_{\text{agua}} \quad (6)$$

Donde Q es el flujo de agua que se extrae;  $\Delta\theta$  es la diferencia de temperatura entre el agua que entra y sale de la bomba. Este valor que generalmente fluctúa entre los 6 y 4 grados;  $\text{c}_{\text{agua}}$  corresponde al calor específico del agua.

Usando una versión práctica derivada de la ecuación de Logan, se puede asumir que:

$$\text{Q}=\text{(T}*S_w)/2 \quad (7)$$

Donde T la transmisividad y  $S_w$  es el abatimiento máximo del acuífero.

Además se sabe que:

$$\text{T}=\text{K} * \text{D} \quad (8)$$

Donde K es la conductividad hidráulica y D el espesor efectivo del acuífero. Si se asume que el espesor D es igual al abatimiento máximo  $S_w$ , entonces reemplazando la ecuación (8) en (7) se puede llegar a que:

$$Q = (K \cdot D \cdot S_w) / 2 \quad (9)$$

$$Q = (K \cdot D^2) / 2 \quad (10)$$

Y finalmente

$$D = (2Q/K)^{1/2} \quad (11)$$

De esta ecuación se puede obtener un mapa con el valor teórico de abatimiento para región del Maule, donde Q será conocido y K obtenido desde la literatura.

Por otro lado el  $COP_{max}$  corresponde a la mayor eficiencia teórica de una bomba de calor y se expresa como:

$$COP = \theta_1 / (\theta_1 - \theta_2) \quad (12)$$

Donde  $\theta_1$  corresponde a la temperatura que se quiere alcanzar (temperatura de confort) y  $\theta_2$  la temperatura de la fuente, en este caso, la del agua subterránea.

Se incorpora una profundidad de seguridad, por las posibles bajas del nivel freático, durante años de sequía.

Finalmente, el mapa de profundidad neta del pozo será obtenido sumando las profundidades de los procedimientos anteriores y los costos serán obtenidos de manera similar al de la metodología anterior, usando la ecuación 2.

## IV. Estimación de potencial

### **4.1 Determinación de la profundidad del agua subterránea.**

En ambas metodologías de estimación de potencial a realizar, la profundidad del agua subterránea juega un rol fundamental. Por esto se genera un mapa de niveles estáticos, mediante una interpolación del tipo spline lineal, en el software ArcGis 9.3. Para esto se utiliza la información del nivel estático en 126 pozos de la región; datos obtenidos en la bibliografía, y tomados in situ durante las campañas de terreno. Este mapa entrega el nivel de las aguas subterráneas para cada punto dentro de la zona de estudio (Figura 10)



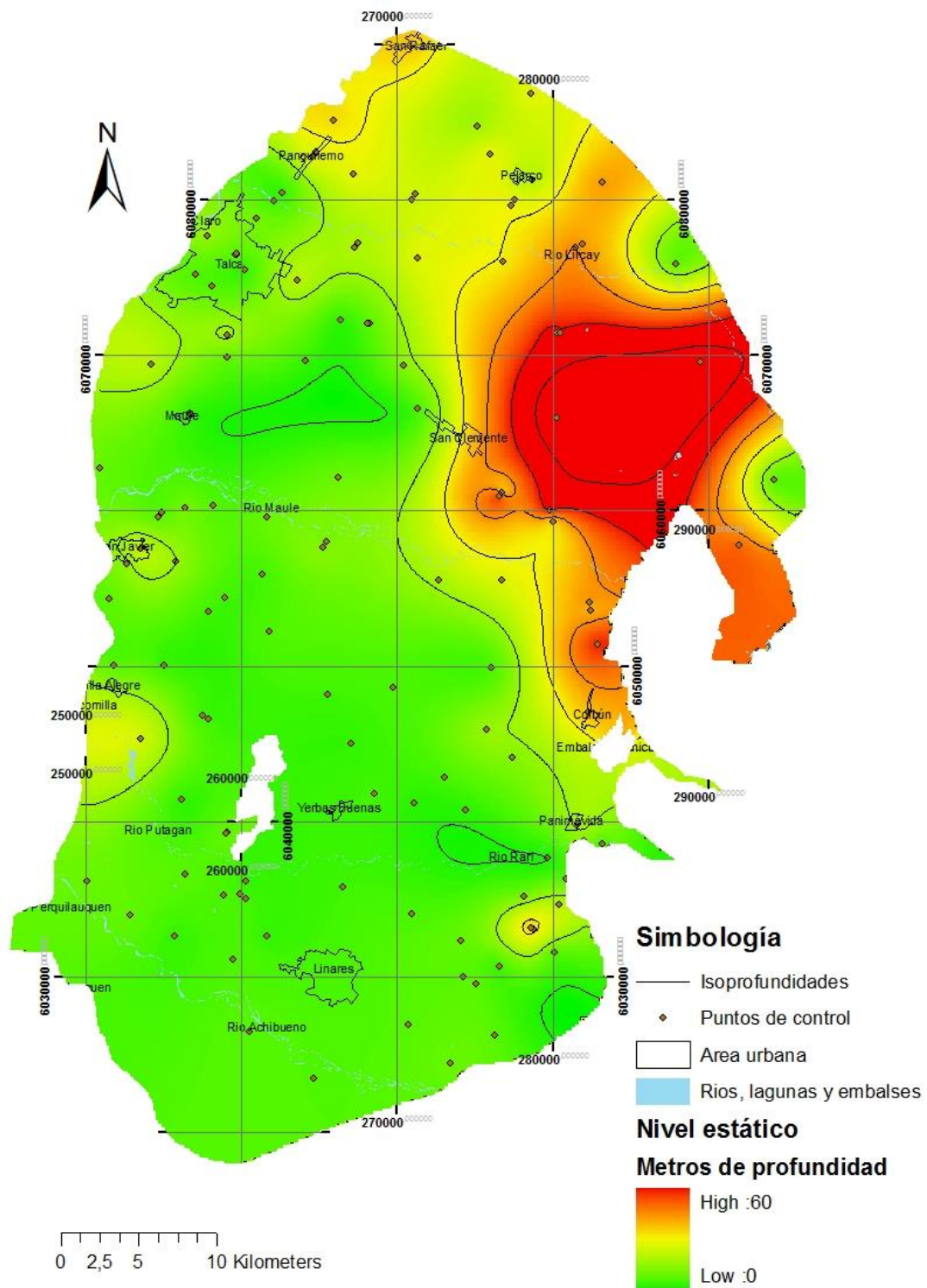


Figura 10. Mapa del nivel freático.

En este mapa se representa la profundidad a la que se encuentra el agua subterránea dentro de la zona de estudio. Se observan grandes diferencias entre el sector noreste y el resto del mapa, ya que en la zona noreste (color rojo) se encuentran

los niveles más profundos, llegando a 60 [m]. Las zonas con los niveles más someros, llegan a ser surgentes. Esta información se integra en los procedimientos posteriores.

## 4.2 Estimación de potencia para bomba BHP

La estimación de potencial se realiza por medio de la interpolación de datos puntuales (pozos), para los cuales se determina la profundidad necesaria que hay que perforar para satisfacer la demanda en calefacción. Esta profundidad depende de la secuencia estratigráfica presente en el sondaje, como de la presencia de agua subterránea.

### 4.2.1 Determinación de la demanda

En este punto el objetivo es determinar el gasto anual de energía en calefacción, para una casa en la Región del Maule. Para esto se consideran los resultados obtenidos por Romero (2011), en particular para la Región Metropolitana de Santiago (Figura 11), que posee un clima y temperaturas medias similares que la región del Maule, y por lo tanto son comparables.

Santiago (GD: 1000)

	Tipología 1	Tipología 2	Tipología 3	Tipología 4	Tipología 4	Tipología 4
	C. aislada 1P	C. pareada 1P	C. pareada 2P	Dpto. último piso	Dpto. piso interm.	Dpto. primer piso
$G_{v1}$ [W/m <sup>3</sup> K]	1,75	1,31	1,33	1,30	1,11	1,41
$n$ [1/h]	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
$G_{v2}$ [W/m <sup>3</sup> K]	2,10	1,66	1,68	1,65	1,46	1,76
$G_{ac}$ [kWh/año]	6.378	7.157	9.039	5.957	5.285	6.347

Figura 11. Gasto energético en calefacción para los distintos tipos de casas, con reglamentación térmica. tabla obtenida de Romero (2011).

Al considerar una casa aislada, de un piso y con reglamentación térmica, se determina una demanda de 6378 [kWh/año] en calefacción, la cual considera 100 días de invierno, es decir, 2400 horas.

En este trabajo se considerará una demanda de 6000 [kWh/año], valor que debiese cubrir cerca de un 90% del consumo energético dedicado a calefacción, en la zona de estudio.

#### 4.2.2 Determinación de la tasa de extracción de calor (sHE)

Este valor representa la eficiencia termal de las rocas, y en aplicaciones de ingeniería se expresa en [Watt/m]. Para el desarrollo de la estimación de potencial realizada en este trabajo se utilizan los valores típicos para cada tipo de roca/sedimento, los que quedan resumidos en la Figura 12.

Tipo de sedimento	sHE (W/m)
Gravas, arenas, secas.	20
Gravas arenas, saturadas.	60
Gravas, arenas, saturadas con alto flujo subterráneo.	90
Limo y arcilla	35

Figura 12. sHE para cada tipo de roca/sedimento en 2400 horas operativas. Obtenida y modificada de Gemelli (2011).

La recopilación de información permite tener 38 pozos con detalle estratigráfico, los cuales se encuentran ubicados en el mapa de la Figura 13. Estos pozos representan la base de la estimación, ya que estos permiten obtener los valores de profundidad de perforación que se utilizaran en la interpolación necesaria para la generación de los distintos mapas.

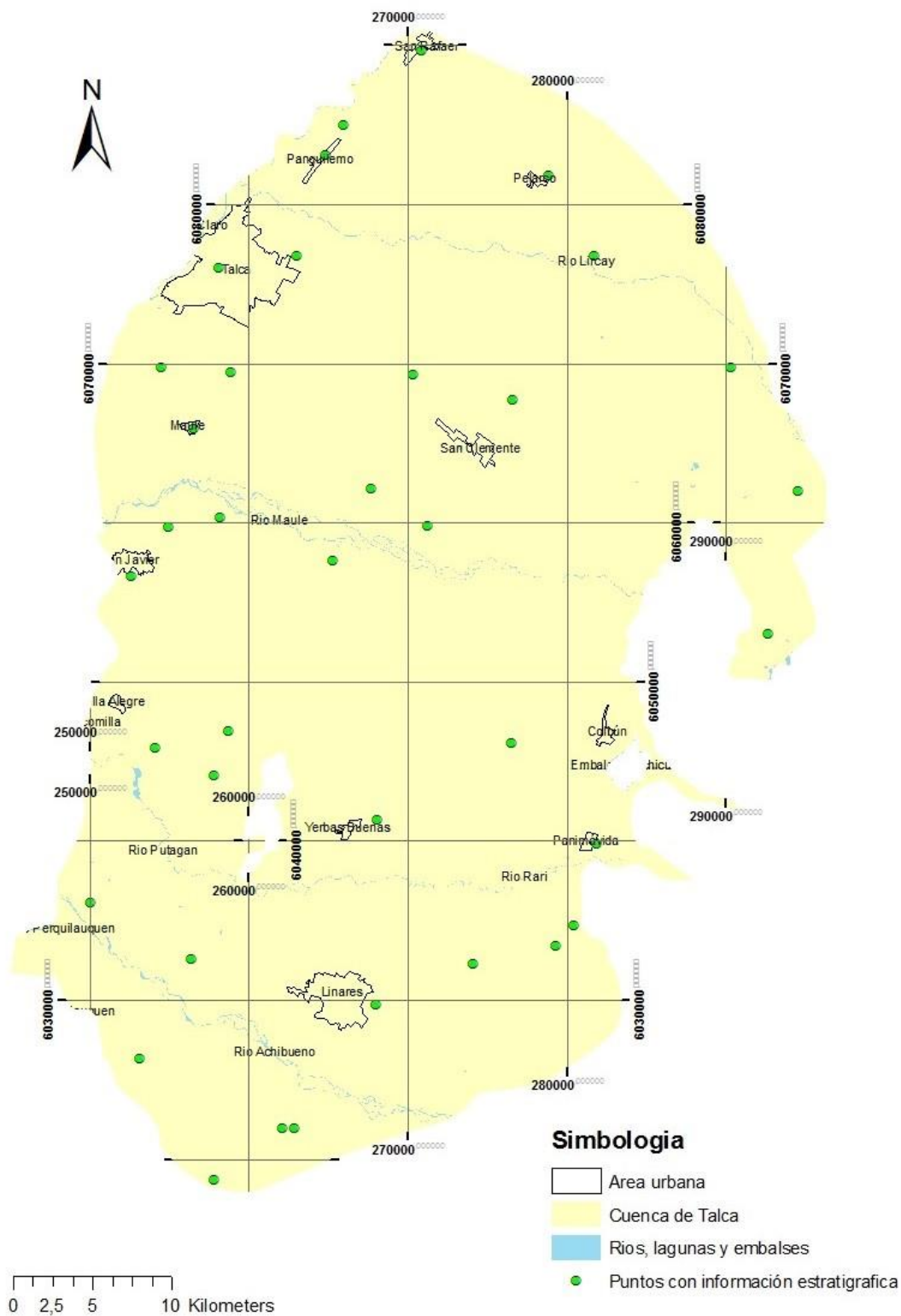


Figura 13. Pozos con detalle estratigráfico.

En cada pozo seleccionado se calcula una sHE promedio, que se obtiene mediante la siguiente formula (Gemelli 2011):

$$sHE_{agg} = \frac{1}{Th_{agg}} \sum_{k=1}^n ([sHE_k] \times [Th_k])$$

Donde  $sHE_{agg}$  representa la sHE promedio,  $sHE_k$  corresponde al sHE de la capa  $k$  y  $Th_k$  el espesor de la capa  $k$ .  $Th_{agg}$  representa la profundidad total del pozo.

La presencia de agua subterránea será un elemento fundamental a la hora de realizar este cálculo, por lo que es necesario incorporar la profundidad del nivel estático, diferenciando entre sedimentos secos y sedimentos saturados.

#### **4.2.3 Calculo de profundidades a perforar**

Una vez obtenido el valor promedio de sHE para cada pozo, se realiza un cálculo de la profundidad mediante la fórmula [1] planteada en la metodología. De manera posterior y mediante una interpolación tipo Kriging ordinario, en el método esférico, se obtiene un mapa de profundidades a perforar para satisfacer la demanda fija de 6000 [kWh/año] para la región (Figura 14).

$$Z=H/sHE$$

$$H=6000 \text{ [kWh/año]}$$

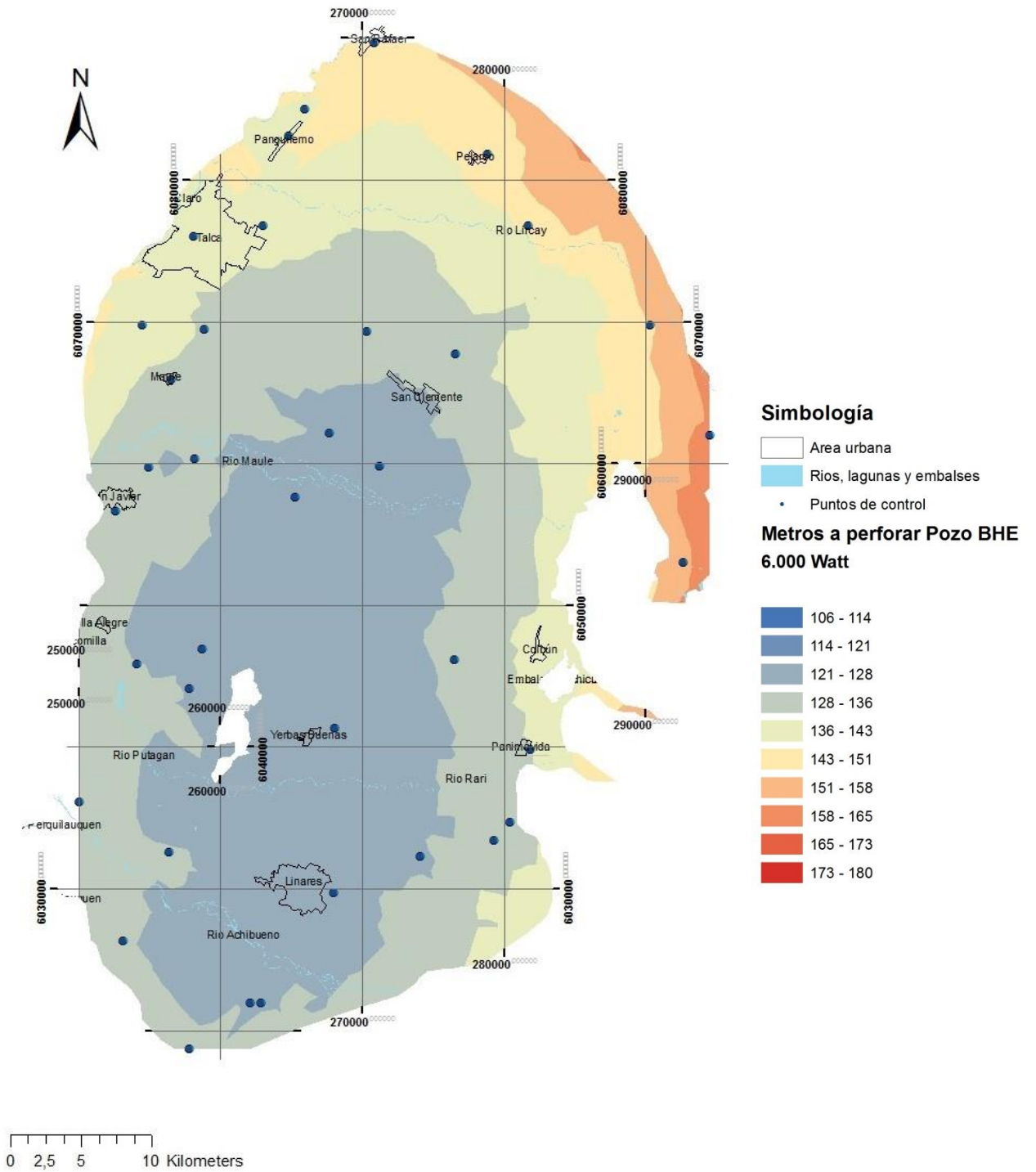


Figura 14. Profundidad a perforar bomba BHP

En este mapa se representa la profundidad necesaria a perforar, para satisfacer una demanda de 6000 [kWh/año] utilizando una bomba BHP. El sector más favorable es el centro de la cuenca con profundidades que parten en los 106 metros. Hacia los bordes de la cuenca se ven sectores menos favorables llegando a profundidades de 180 metros en la zona noreste. Esta primera estimación se construye sobre la base de datos estratigráficos y no incluye el efecto que produce el flujo subterráneo. Por esto este mapa debe ser tomado como el escenario inicial.

#### **4.2.4 Calculo de profundidades a perforar considerando flujo subterráneo**

La presencia de un alto flujo en las aguas subterráneas puede aumentar considerablemente el SHE de una grava o una arena (Figura 12), por lo que es fundamental incorporar esta variable a la estimación.

A través de los datos de niveles estáticos se genera un mapa de niveles piezométricos (Figura 15), el cual permite establecer que existe una dirección de flujo predominante de este a oeste, el cual viene controlado por el gradiente hidráulico que provocan las diferencias de cotas de las aguas subterráneas.



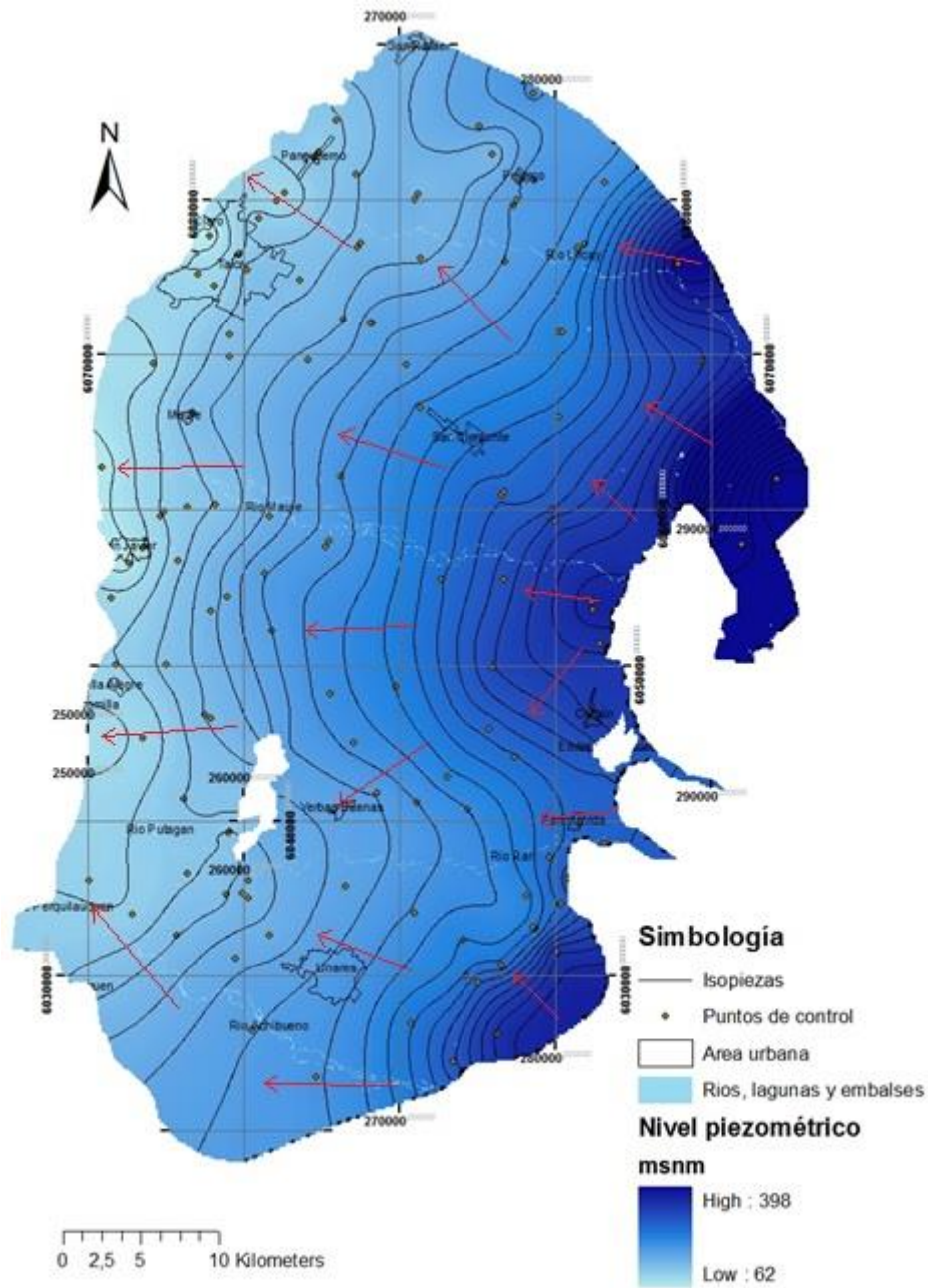


Figura 15. Mapa de niveles piezométricos. Las flechas rojas representan la dirección de flujo de las aguas subterráneas.

Este mapa representa la posición de las masas de agua respecto al nivel del mar. El sector este se caracteriza por tener los niveles más altos llegando a los 396 metros, y el sector oeste posee los niveles más bajos con 62 metros. Esta diferencia es



la que genera que las masas de agua se desplacen desde los sectores más altos a los sectores más bajos, generando un flujo subterráneo predominante hacia el oeste.

Utilizando datos de conductividades hidráulicas se determinan los sectores con un alto flujo subterráneo. Aplicando la ley de Darcy,

$$Q = k * A * i \quad [13]$$

donde el flujo es directamente proporcional a la conductividad hidráulica y al gradiente hidráulico, y que los valores de las conductividades difieren por hasta 5 órdenes de magnitud; se determina que la conductividad hidráulica es la variable que controla la velocidad del flujo, más que la permeabilidad u otra cosa.

Posterior a esto se le asigna un nuevo valor de sHE a las capas de gravas y arenas saturadas, en los pozos de alto flujo. Con esto y utilizando la fórmula propuesta por Gemelli (2011) se obtiene un nuevo sHE promedio y una nueva profundidad de perforación. Con estos nuevos valores se realiza una nueva interpolación de tipo Kriging ordinario, en el método esférico, obteniendo un nuevo mapa de profundidades (figura 16).

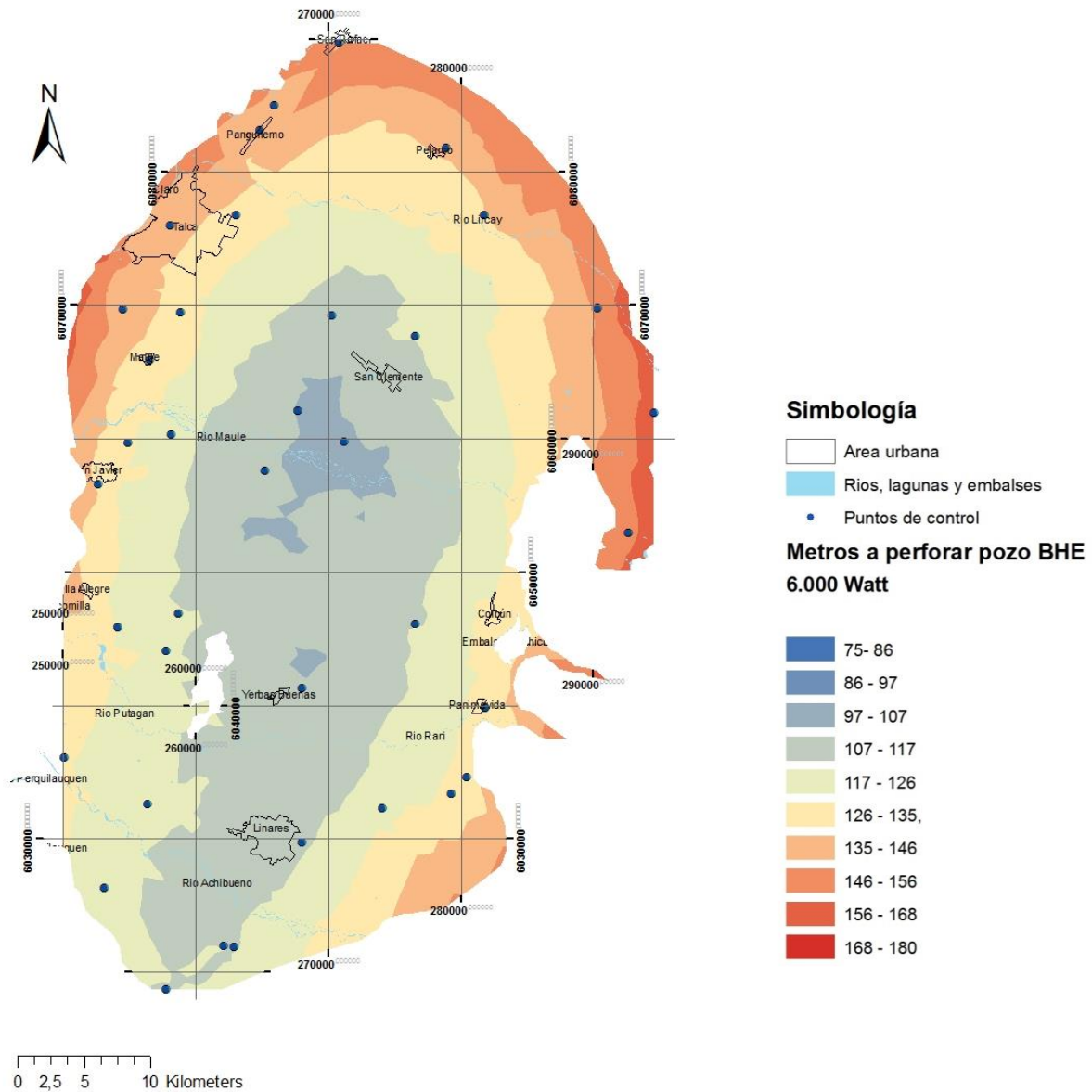


Figura 16. Profundidad a perforar bomba BHP, considerando efecto de flujo subterráneo.

Al igual que en la Figura 14, en este mapa se puede observar un sector central más favorable con profundidades de perforación que parten en los 75 metros. Hacia los bordes de la cuenca se hace menos favorable, manteniendo el sector noreste como el menos favorable con profundidades de 180 metros.

### 4.3 Estimación de potencial para bomba GWHP

Este tipo de estimación se construye a través de la interpolación de datos puntuales (pozos), en los cuales se determina la profundidad necesaria a perforar para satisfacer una demanda determinada. Se incorporan datos de profundidad del agua subterránea, abatimiento para un determinado caudal de extracción y profundidades de seguridad que ha de variar según la zona de estudio

#### 4.3.1 Determinación de la demanda

Al igual que el caso de la bomba de calor tipo BHP, la demanda energética con la cual se realiza la estimación de potencial es de 6000 [kWh/año].

#### 4.3.2 Profundidad del nivel estático

Se utiliza el mapa de nivel freático presentado en la Figura 9, en el cual se aprecia un sector más profundo al noreste llegando a 60 metros y un nivel más somero en el resto de la cuenca, con niveles bajos que incluyen sectores surgentes.

#### 4.3.3 Profundidad de abatimiento

Para calcular el abatimiento es necesario conocer el caudal de extracción necesario para satisfacer la demanda. Para esto se considera un COP de 5. Este valor corresponde a un valor estándar y, va a variar según la eficiencia de la bomba a utilizar. Utilizando la ecuación (4) y la demanda instantánea  $H = 2,5$ [kW].

$$\text{COP} = H/E \quad [14]$$

$$5 = 2,5 / E \quad [15]$$

$$E = 0,5 \text{ [kW]}. \quad [16]$$

Así,

$$H = G + E$$

$$G = 2 \text{ [kW]}. \quad [17]$$

$$G=Q*\Delta\theta*c_{\text{agua}} \quad [18]$$

Asumiendo que la diferencia de temperaturas entre el agua que entra y sale de la bomba es de 5°, efecto que se genera al extraer un flujo energético desde el agua, haciendo descender su temperatura; considerando una demanda instantánea de 2[kW] y la capacidad calórica específica del agua  $c_{\text{agua}} = 4180 \text{ [Jl}^{-1}\text{K}^{-1}\text{]}$ , se obtiene:

$$Q = 2000 \text{ J s}^{-1} / 5 \text{ K} * 4180 \text{ Jl}^{-1}\text{K}^{-1} = 0,09 \text{ ls}^{-1}. \quad [19]$$

Utilizando los datos de K, obtenidos de la bibliografía se calcula el abatimiento para cada pozo utilizando la fórmula (9)

$$D= (2Q/K)^{1/2} \quad [20]$$

Utilizando estos valores se genera un mapa de abatimiento por medio de una interpolación de tipo spline lineal, en el software ArcGis 9.3 (Figura 17).

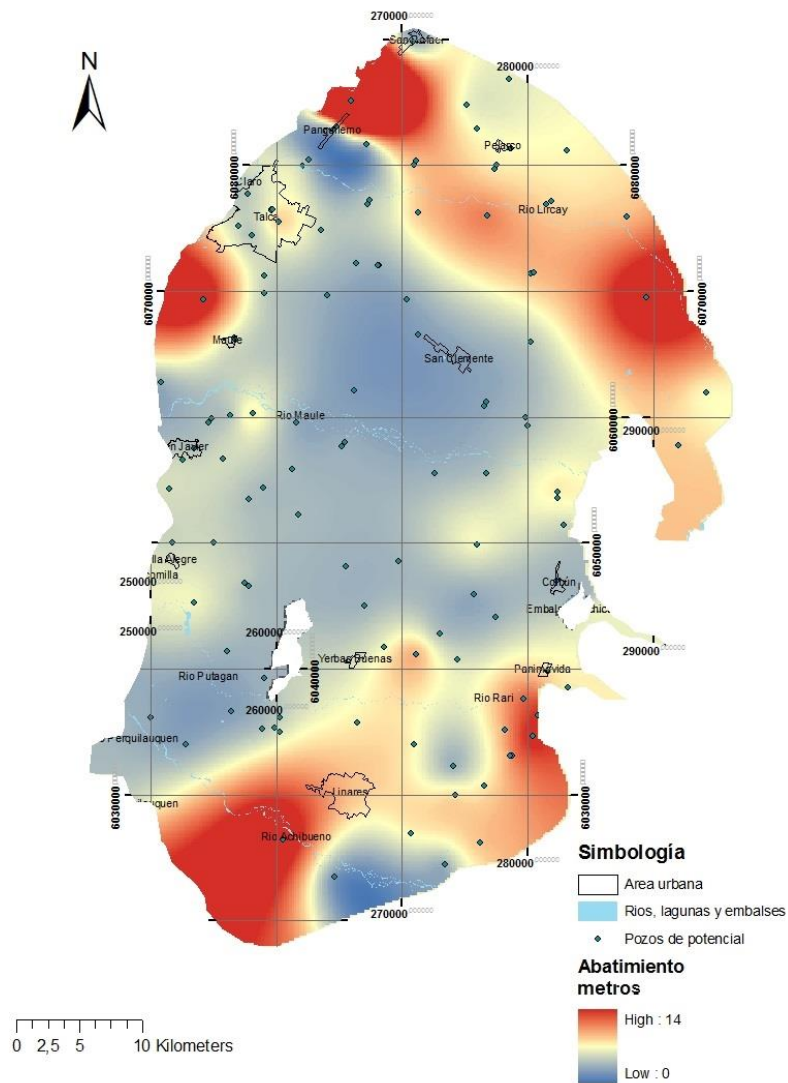


Figura 17. Mapa de abatimiento.

#### 4.3.4 Profundidad de seguridad

Este valor está asociado a posibles descensos en el nivel freático producto de sequías. Debido a la falta de datos en el tiempo, no fue posible estimar los descensos durante años secos en la zona estudiada.

Seisdedos (2012), asigna un valor de 20 m en la cuenca de Santiago, para efectos de esta estimación se considera dicho valor, el cual será considerado como máximo, dado la mayor pluviosidad presente en esta región.

### 4.3.5 Cálculo de profundidades a perforar

Para el cálculo final se considera la profundidad del nivel freático, el abatimiento y 20 m de seguridad. Luego de obtenida la profundidad para cada pozo se genera un mapa a través de una interpolación tipo Kriging ordinario, en el modelo esférico. (Figura 18).

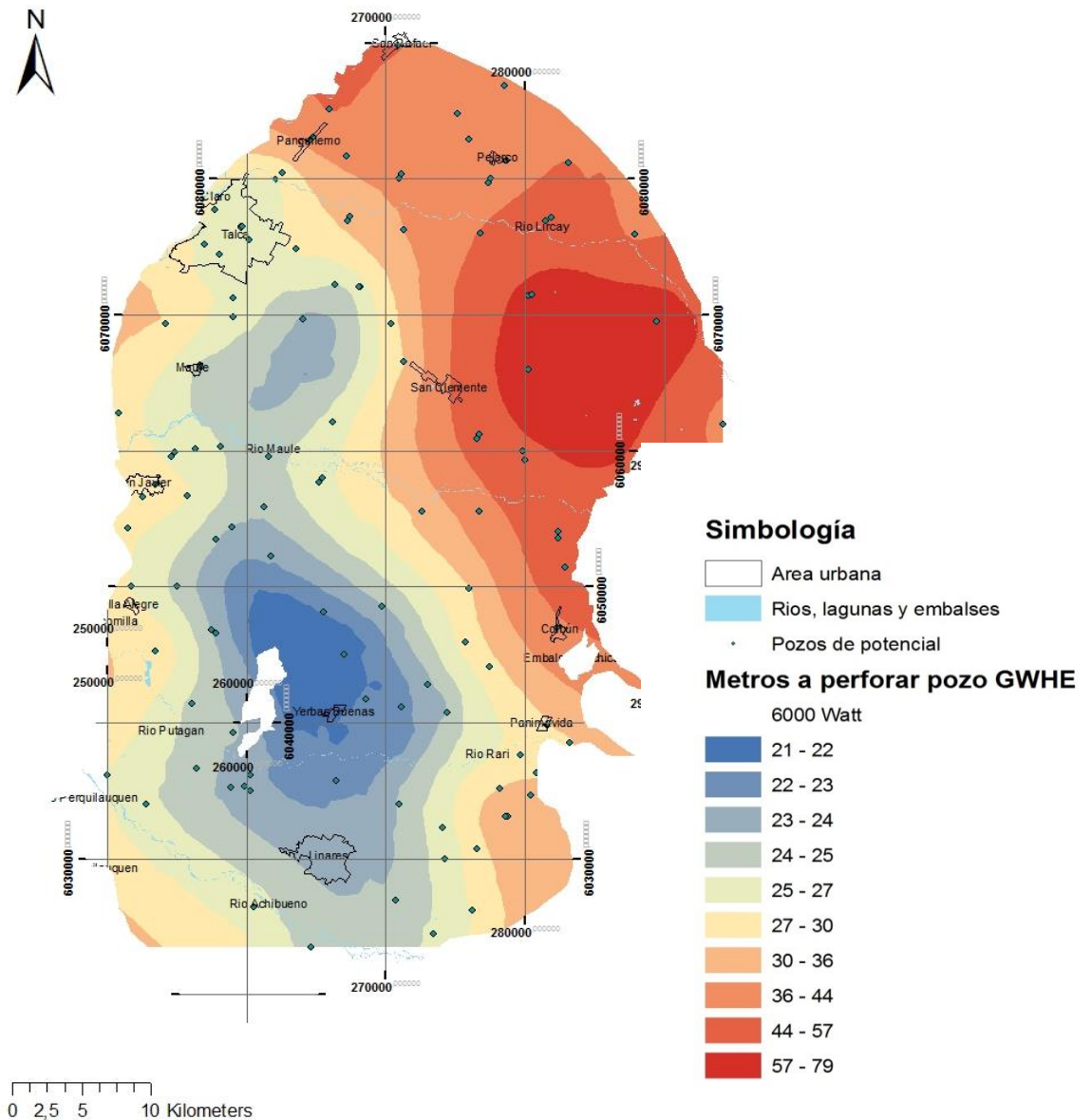


Figura 18. Profundidad a perforar bomba GWHP.

En este mapa es posible observar un sector favorable al centro de la cuenca con una profundidad de perforación de 21 metros, y sectores menos favorables hacia los límites de la cuenca, teniendo como sector noreste como el menos favorable con profundidades que llegan a los 79 metros.

#### **4.4 Estimación de costos.**

Para estimar los costos de implementación se trabaja con la formula (2),

$$C=c_p * Z+C_i \quad [21]$$

Donde  $C_p$  es el costo por metro de sondaje,  $Z$  es la profundidad y  $C_i$  es el costo de las instalaciones. Las instalaciones consideran la bomba de calor y todos los accesorios necesarios para instalar por completo el sistema.

Mediante cotizaciones se determinó que el valor de las instalaciones es cercano a los 2 millones de pesos. Por otra parte el precio del metro de perforación es cercano a los 70 mil pesos. Para efectos de cálculo de costos, serán considerados estos valores.

##### **4.4.1 Costos Bomba BHP sin considerar flujo subterráneo**

Utilizando el mapa de profundidades sin considerar el flujo subterráneo, se realiza un mapa de costos para la zona (Figura 19). Este mapa representa el escenario inicial, el cual puede ser consultado si no se poseen datos de flujo subterráneo.

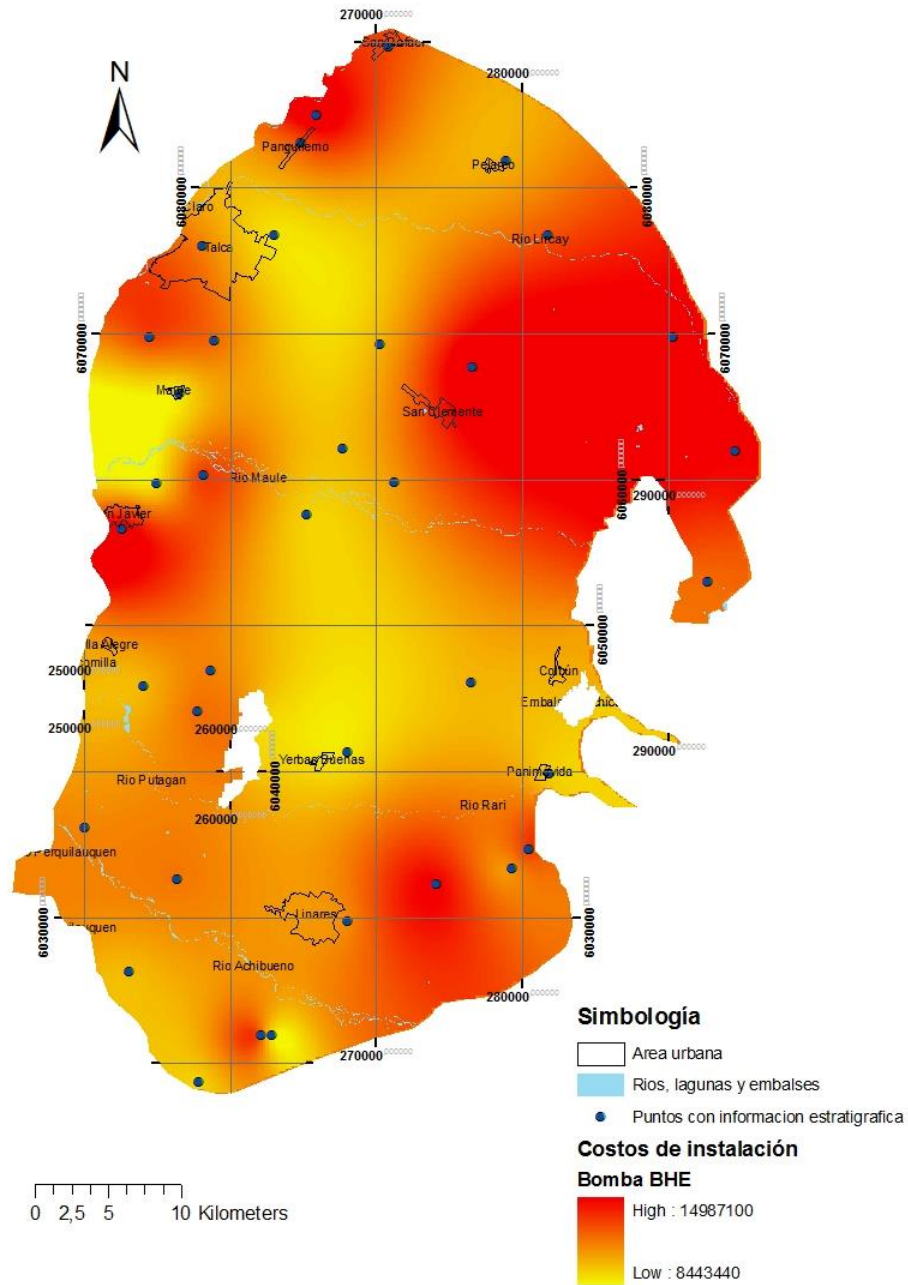


Figura 19. Mapa de costos en pesos chilenos para la bomba BHP sin considerar el flujo subterráneo.

En este mapa se observa que los menores costos están en la zona central de la cuenca, aumentando hacia los bordes. Existen diferencias superiores a los 5 millones de pesos entre la zona más favorable y la menos favorable.



#### 4.4.2 Costos Bomba BHP considerando flujo subterráneo

Utilizando el mapa de profundidades que considera el efecto causado por el flujo subterráneo, se realiza un mapa de costos para la zona (Figura 20)

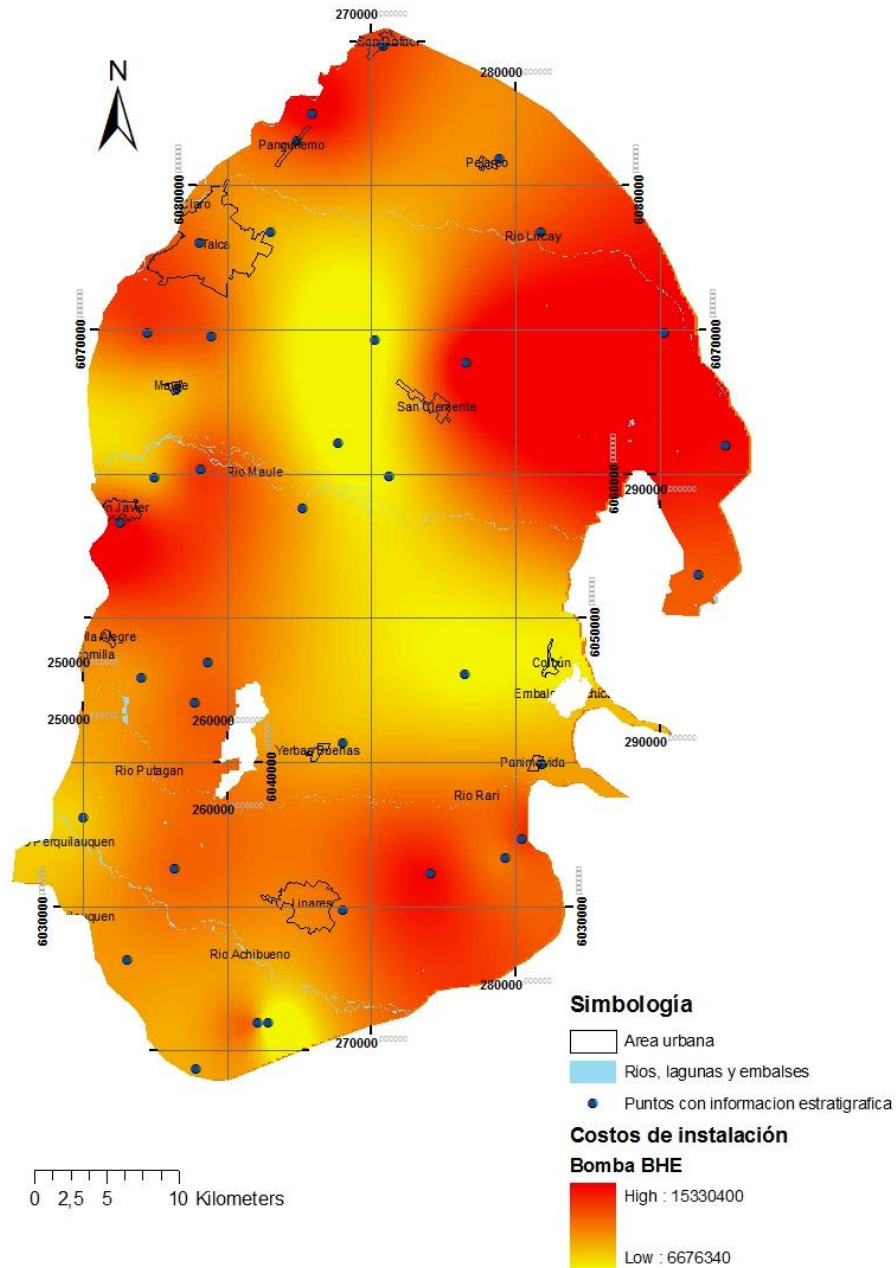


Figura 20. Mapa de costos bomba BHP con flujo subterráneo.

Este mapa representa los costos en pesos chilenos para la bomba BHP considerando el flujo subterráneo, obteniéndose un sector central aún más favorable

que el encontrado en la figura 18. Con una inversión que parte en los \$6,6 Millones. Los sectores con mayor costo alcanzan los \$15 M.

#### 4.4.3 Costos Bomba GWHP

Utilizando el mapa de profundidades para este tipo de bombas, se realiza un mapa de costos en pesos chilenos para la zona (Figura 21).

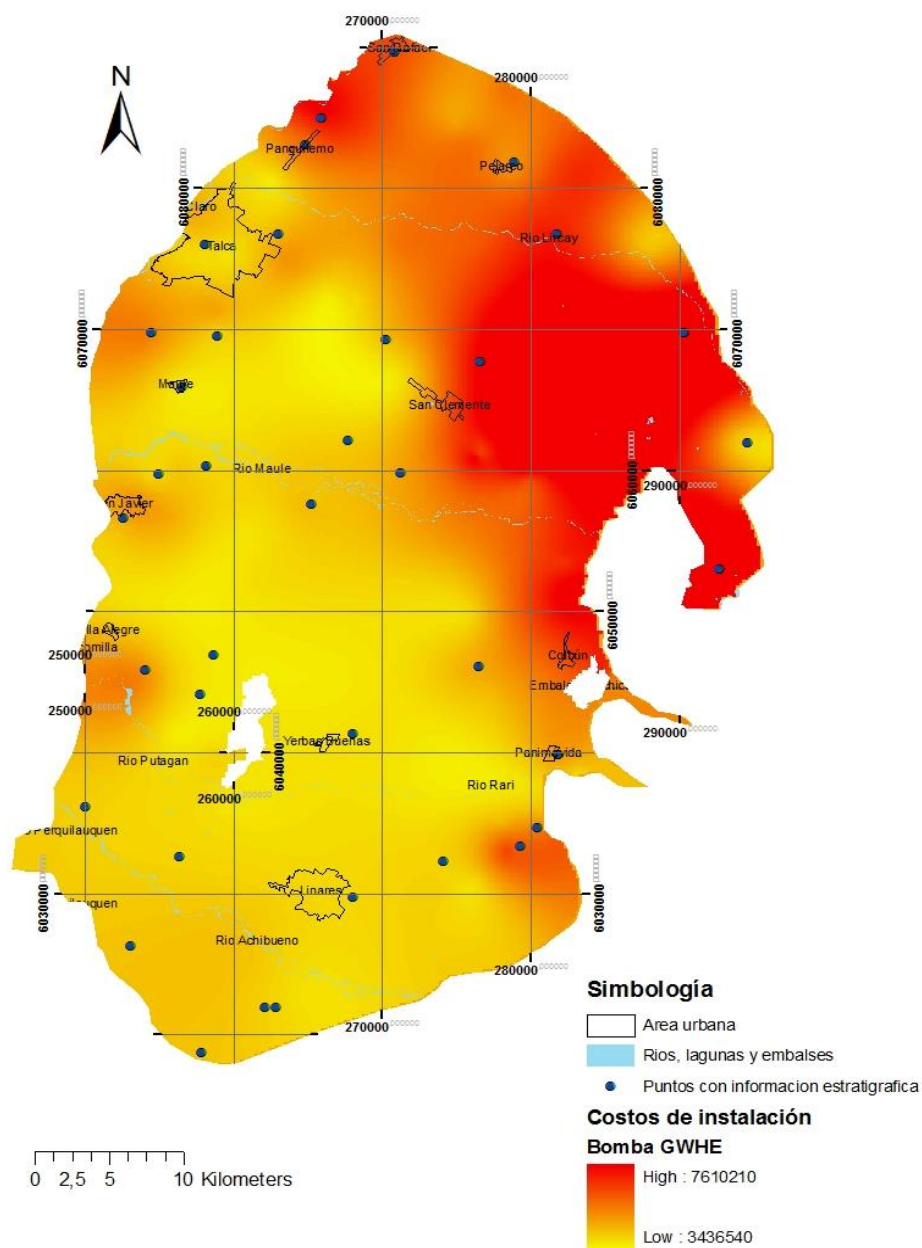


Figura 21. Mapa de costos bomba GWHP.

Este mapa representa los costos para la bomba GWHP. Se puede observar que el sector con mayor inversión es el noreste llegando a \$7,6 M, hacia el centro y sur se observan valores de costos mucho menores, partiendo en \$3,4 M.

## V. Discusiones

La estimación de potencial para bombas del tipo BHP, entrega dos mapas de resultados con diferencias sustanciales dada la incorporación del efecto producido por el alto flujo subterráneo en las tasas de extracción de calor, para las arenas y gravas. El primer mapa, que corresponde a la estimación de potencial basada exclusivamente en la sedimentología, se presenta como un escenario base, y claramente menos favorable que el segundo mapa, el cual incluye el efecto del flujo subterráneo. Este segundo mapa posee una zona central aún más favorable que el primer mapa, pero mantiene las zonas de los bordes con similares características. Esto se explica por la alta fracción de sedimentos gruesos saturados presentes en la zona central.

La estimación de potencial para bombas BHP se basa en el tipo de sedimento que se debe perforar. En este trabajo se genera una base de datos mediante la recopilación de información de múltiples fuentes, en la cual la descripción de los sedimentos posee distintos criterios ya que fueron realizadas por distintas personas. Por esto fue necesario realizar una homogenización de la información lo que puede generar inconsistencias en la continuidad lateral de las capas estudiadas.

Dado que los mapas fueron generados a través de la interpolación de información puntual (pozos), estos no consideran variaciones locales en la estratigrafía. La presencia de lentes o pequeños depósitos cineríticos podrían producir cambios significativos en los resultados finales.

Dentro de la estimación de potencial para bombas del tipo GWHP, se considera una profundidad de seguridad de 20 m, obtenida de la literatura y no necesariamente representan la historia del acuífero de la región. Es necesario generar una base de datos con registros en el tiempo que permita conocer el comportamiento del acuífero en temporadas de sequía que incluyen un descenso en los niveles freáticos. Los 20 metros

considerados producen un aumento significativo en los costos, cercano a 1,5 millones de pesos.

El abatimiento calculado para la región va desde valores cercanos a cero, hasta los 14 m, sin embargo el grueso de los datos poseen un abatimiento cercano a un metro. Las zonas que poseen un abatimiento mayor coinciden con la acumulación de depósitos cineríticos y sedimentos finos, a los que se les asocian los valores más bajos de conductividades hidráulicas. En general la presencia de sedimentos finos o ceniza volcánica producen un efecto adverso para este tipo de tecnología

Las estimaciones realizadas consideran la calefacción de pequeños espacios, donde la demanda es relativamente pequeña si se compara con obras de mayor tamaño como edificios o grupos de ellos, donde la demanda es mucho mayor. En esos casos es necesario realizar nuevas evaluaciones a los sistemas de calefacción.

El área de estudio corresponde principalmente a zonas rurales y de baja concentración demográfica por lo que sería óptimo realizar este tipo de estimaciones basadas en la demanda de invernaderos o procesos industriales.

En términos prácticos y pensando su implementación, la ciudad de Linares parece ser la más favorable, optando por la bomba GWHP; en segunda instancia quedaría la ciudad de Talca tomando la misma opción de bomba.

## **VI. Conclusiones**

Desde un punto de vista técnico:

La implementación de sistemas intercambiadores de calor y bombas de calor geotérmicas, es totalmente factible en la región del Maule.

Los mapas de potencial presentados en este trabajo ofrecen una herramienta significativa para la planificación y desarrollo comercial de la energía geotérmica de baja entalpía asociada al uso de bombas geotérmicas.

La incorporación del efecto que produce el alto flujo de agua subterránea, sobre el SHE de las gravas y arenas saturadas, genera cambios significativos en la estimación de potencial para bombas BHP.

Las profundidades estimadas para la bomba de tipo GWHP resultan ser menores a las profundidades asociadas a las bombas del tipo BHP y esto se ve reflejado en los mapas de costos generados.

En la zona estudiada, y producto de lo somero en que se encuentra el nivel freático, es posible señalar que la alternativa de un sistema abierto, utilizando como fuente el agua subterránea y un sistema de bomba GWHP es claramente más conveniente que un sistema de sondajes y sistema cerrado.

La evaluación de este tipo de sistemas requiere un manejo de fundamentos hidrogeológicos que permiten comprender de mejor manera este tipo de datos. Además es fundamental conocer los patrones de consumo y máximas demandas.

La incorporación de nuevos datos que permitan hacer una mejor interpretación del sistema hidrogeológico, permitirá generar estimaciones más precisas.

Al considerar demandas mayores es muy posible que la alternativa de bombas BHP sea más conveniente, ya que un aumento considerable del caudal necesario para implementar la bomba GWHP, puede producir abatimientos mucho mayores.

Desde un punto de vista regulatorio:

La geotermia de baja entalpia, dedicada a la climatización de ambientes, es una tecnología probada a nivel mundial y rentable por sí misma; factible de ser utilizada casi en todo el territorio nacional.

Actualmente no existen políticas públicas que apoyen el desarrollo de este tipo de tecnologías. Es por esto que la autoridad debiese generar un sistema de apoyo específico, dedicado a esta área.

Respecto a la explotación de los acuíferos, la DGA debiese ofrecer permisos de explotación de aguas no consuntivos, ya que el agua utilizada es reinyectada.

Para facilitar este tipo de evaluaciones es indispensable generar a nivel nacional mapas de propiedades hidráulicas de los acuíferos presentes en cada región.

## VII. Bibliografía

Alfaro A. Peligro sísmico en el segmento norte de la región del Maule, Chile. 2011.

Cembrano J., Lavenu A., Yáñez G., Riquelme R., García M., González G., Hérail G. 2007. Neotectonics. En: Moreno, T. The Geology of Chile. pp. 231-261.

Cembrano J. y Lara L. 2009. The link between volcanism and tectonics in the southern volcanic zone of the Chilean Andes: A review. Tectonophysics, v.471, pp. 96-113.

Charrier R., Pinto L., Rodríguez M.P., 2007, Tectonostratigraphic evolution of the Andean Orogen in Chile. Geological Society Special Publication: The Geology of Chile: Londres, p. 21-114.

Dragi Lj. Antonijevic, Dimitrije J. Manic, Mirko S. Komatina, Nedžad R. Rudonja, 2012. Groundwater heat pump selection for high temperature heating retrofit.

Escobar, F., Guzmán, R., Vieira, G. 1977. Avance Geológico de las hojas Rancagua-Curicó, Talca-Linares, Chanco, Concepción-Chillán. Santiago: USGS, CCHEN, IIG. 56p.

Gemelli A, Mancini A, Longhi S, 2011 .GIS-based energy-economic model of low temperature geothermal resources: A case study in the Italian Marche region. Dipartimento di Ingegneria Informatica, Gestionale e dell'Automazione, Università Politecnica delle Marche, Via Brecce Bianche, 60131 Ancona, Italy.

Farías, M. 2007. Tectónica y erosión en la evolución del relieve de los Andes de Chile Central durante el Neógeno. Tesis (Doctor en Ciencias, Mención Geología) Departamento de Geología, Universidad de Chile. 191p.

Fock, A. 2005. Cronología y tectónica de la exhumación en el Neógeno de los Andes de Chile Central entre los 33° y los 34°S. Memoria de Título, Departamento de Geología, Universidad de Chile, Santiago. 179p.

Jordan, T.E., Burns, W.M., Veiga, R., Pangaro, F., Copeland, P., Kelley, S. y Mpodozis, C., 2001, Extension and basin formation in the southern Andes caused by increased convergence rate: A mid-Cenozoic trigger for the Andes. *Tectonics*, v. 20, p. 308-324.

Lavenu, A. 2005. Fallas Cuaternarias de Chile. Servicio Nacional de Geología y Minería, Boletín N° 62. 71p.

Lund J, Sanner B, Rybach L, Curtis G, Hellstrom G. 2004. Heat pumps e a world overview. *GHC Bulletin*; September 2004.

Lund J, Freeston D, Boyd T. 2010. Direct Utilization of Geothermal Energy 2010 Worldwide Review.

Marangunic, C., Moreno, H., Varela, J. 1979. Observaciones sobre los Depósitos de Relleno de la Depresión Longitudinal de Chile entre los ríos Tinguiririca y Maule. Congreso Geológico Chileno, No. 2, Actas, v.2, pp. 129-139. Arica.

Ministerio de obras públicas, Levantamiento de información hidrogeológica para modelación cuenca del río Maule, 2010.



Mpodozis, C. y Ramos, V.A., 1989, The Andes of Chile and Argentina. In Geology of the Andes and its relation to Hydrocarbon and Mineral Resources, in Ericksen, G.E., Cañas, M.T., and Reinemud, J.A., eds., Circumpacific Council for Energy and Mineral Resources, Volume 11, p.59-90.

González, O. y Vergara, M. 1962. Reconocimiento Geológico de la Cordillera de los Andes entre los paralelos 35° y 38° latitud sur. Universidad de Chile, Instituto de Geología. Publicación N° 24. 121 pp.

Seisdedos M, 2012. Climatización de edificios por medio del intercambio de calor con el subsuelo y agua subterránea. Aspectos a considerar en el contexto local. Memoria para optar al Título de Geólogo, Departamento de geología, Universidad de Chile.

Tapia, F. 2010. Análisis estructural del sector occidental de la faja plegada y corrida de Malargüe en el curso superior del río Colorado de Lontué (35°18' y 35°23'S), Región del Maule, Chile. Memoria de Título, Departamento de Geología, Universidad de Chile. 101p.

Determinación de parámetros termales en el subsuelo de las cuencas de Santiago y Talca: implicancias para el uso directo de la energía geotérmica

## VIII. Anexos

### 8.1 Datos estratigráficos

Norte	Este	Profundidad inicial (m)	Profundidad final (m)	Espesor (m)	Horizonte	Clasificación sedimentológica	Unidad	Unidad GMS	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	Densidad ponderada
6090045	271002	0	32	32	Depósitos cineríticos	Ceniza	Ceniza	12	1,3	41,6
		32	39	7	Ripio	Grava (media)	Grava	1	2,08	14,56
		39	41	2	Arena	Arena	Arena	6	1,92	3,84
				41						Densidad promedio
Norte	Este	Profundidad inicial (m)	Profundidad final (m)	Espesor (m)	Horizonte	Clasificación sedimentológica	Unidad	Unidad GMS	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	Densidad ponderada
6085382	266082	0	15	15	Depósitos cineríticos	Ceniza	Ceniza	12	1,3	19,5
		15	20	5	Bolones, ripio y limo	Grava (media a gruesa) en matriz de limo	Grava en matriz de limo	3	1,99	9,95
		20	37	17	Depósitos cineríticos con poca bolones y ripio	Ceniza con fragmentos de grava (media a gruesa)	Ceniza con fragmentos de grava	12	1,3	22,1
		37	45	8	Depósitos cineríticos con poco ripio	Ceniza con fragmentos de grava		12	1,3	10,4

6085382	266082	45	65	20	Depósitos cineríticos con ripio	Ceniza con fragmentos de grava		12	1,4	28
				65					Densidad promedio	1,38
<b>Norte</b>	<b>Este</b>	<b>Profundidad inicial (m)</b>	<b>Profundidad final (m)</b>	<b>Espesor (m)</b>	<b>Horizonte</b>	<b>Clasificación sedimentológica</b>	<b>Unidad</b>	<b>Unidad GMS</b>	<b>Densidad (g/cm3)</b>	<b>Densidad ponderada</b>
6077138	281907	0	18	18	Depósitos cineríticos	Ceniza	Ceniza	12	1,3	23,4
		18	20	2	Arena	Arena	Arena	6	1,92	3,84
		20	50	30	Arena, grava y limo	Arena y limo con fragmentos de grava	Arena y limo con fragmentos de grava	5	1,96	58,8
				50					Densidad promedio	1,72
<b>Norte</b>	<b>Este</b>	<b>Profundidad inicial (m)</b>	<b>Profundidad final (m)</b>	<b>Espesor (m)</b>	<b>Horizonte</b>	<b>Clasificación sedimentológica</b>	<b>Unidad</b>	<b>Unidad GMS</b>	<b>Densidad (g/cm3)</b>	<b>Densidad ponderada</b>
6077138	281907	0	10	10	Limo y arena	Limo con fragmentos de arena	Limo con fragmentos de arena	9	1,77	17,7
		10	55	45	Depósitos cineríticos	Ceniza	Ceniza	12	1,3	58,5
		55	70	15	Arena y ripio	Arena con fragmentos de ripio	Arena con fragmentos de grava	5	1,96	29,4
				70					Densidad promedio	1,51

									o	
Norte	Este	Profundidad inicial (m)	Profundidad final (m)	Espesor (m)	Horizonte	Clasificación sedimentológica	Unidad	Unidad GMS	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	Densidad ponderada
6069848	259044	0	5	5	Limo y arena	Limo con fragmentos de arena	Limo con fragmentos de arena	9	1,77	8,85
		5	27	22	Depósitos cineríticos	Ceniza	Ceniza	12	1,3	28,6
		27	40	13	Arena y grava	Arena con fragmentos de grava	Arena con fragmentos de grava	5	1,96	25,48
				40						Densidad promedio
Norte	Este	Profundidad inicial (m)	Profundidad final (m)	Espesor (m)	Horizonte	Clasificación sedimentológica	Unidad	Unidad GMS	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	Densidad ponderada
6069635	270445	0	5	5	Limo	Limo	Limo	10	1,72	8,6
		5	18	13	Limo y bolones	Limo con fragmentos de grava (gruesa)	Limo con fragmentos de grava (gruesa)	8	1,88	24,44
		18	35	17	Arena, limo, ripio	Arena y limo con fragmentos de grava (media)	Arena y limo con fragmentos de grava (media)	5	1,96	33,32
		35	45	10	Arena, ripio	Arena con fragmentos de grava (media)	Arena con fragmentos de grava (media)	5	1,96	19,6

6069635	270445			45					Densidad promedio	1,91
<b>Norte</b>	<b>Este</b>	<b>Profundidad inicial (m)</b>	<b>Profundidad final (m)</b>	<b>Espesor (m)</b>	<b>Horizonte</b>	<b>Clasificación sedimentológica</b>	<b>Unidad</b>	<b>Unidad GMS</b>	<b>Densidad (g/cm3)</b>	<b>Densidad ponderada</b>
6066302	256652	0	13	13	Arena y limo	Arena en matriz de limo	Arena en matriz de limo	7	1,84	23,92
		13	16	3	Limo y arena	Limo con fragmentos de arena	Limo con fragmentos de arena	9	1,99	5,97
		16	24	8	Arena, bolones y ripio	Arena y limo con fragmentos de grava (media a gruesa)	Arena y limo con fragmentos de grava	5	1,96	15,68
		24	28	4	Arena , ripio, limo	Arena y limo con fragmentos de grava (media)		5	1,96	7,84
		28	35	7	Arena y limo	Arena en matriz de limo	Arena en matriz de limo	7	1,84	12,88
					35					Densidad promedio
<b>Norte</b>	<b>Este</b>	<b>Profundidad inicial (m)</b>	<b>Profundidad final (m)</b>	<b>Espesor (m)</b>	<b>Horizonte</b>	<b>Clasificación sedimentológica</b>	<b>Unidad</b>	<b>Unidad GMS</b>	<b>Densidad (g/cm3)</b>	<b>Densidad ponderada</b>
6062476	267844	0	16	16	Arena, ripio, bolones y limo	Arena y limo con fragmentos de grava (media)	Arena y limo con fragmentos de grava	5	1,96	31,36

6062476	267844	16	25	9	Ripio y limo	Grava (media) en matriz de limo	Grava en matriz de limo	3	1,99	17,91
				25					Densidad promedio	1,97
<b>Norte</b>	<b>Este</b>	<b>Profundidad inicial (m)</b>	<b>Profundidad final (m)</b>	<b>Espesor (m)</b>	<b>Horizonte</b>	<b>Clasificación sedimentológica</b>	<b>Unidad</b>	<b>Unidad GMS</b>	<b>Densidad (g/cm3)</b>	<b>Densidad ponderada</b>
6061301	276528	0	16	16	Arena, ripio y limo	Arena y limo con fragmentos de grava (media)	Arena con fragmentos de grava	5	1,96	31,36
		16	23	7	Arena y ripio	Arena con fragmentos de grava (media)		5	1,96	13,72
		23	27	4	Arena	Arena	Arena	6	1,92	7,68
		27	35	8	Arena, limo y ripio	Arena y limo con fragmentos de grava (media)	Arena y limo con fragmentos de grava	5	1,96	15,68
				35						Densidad promedio
<b>Norte</b>	<b>Este</b>	<b>Profundidad inicial (m)</b>	<b>Profundidad final (m)</b>	<b>Espesor (m)</b>	<b>Horizonte</b>	<b>Clasificación sedimentológica</b>	<b>Unidad</b>	<b>Unidad GMS</b>	<b>Densidad (g/cm3)</b>	<b>Densidad ponderada</b>
6053340	292825	0	10,5	10,5	Arena, ripio, limo	Arena y limo con fragmentos de grava (media)	Arena y limo con fragmentos de grava (fina a gruesa)	5	1,96	20,58

6053340	292825	10,5	19,6	9,1	Arena y ripio	Arena con fragmentos de grava (media)		5	1,96	17,836
		19,6	30	10,4	Arena, ripio, limo	Arena y limo con fragmentos de grava (media)		5	1,96	20,384
		30	47	17	Arena y ripio	Arena con fragmentos de grava (media)		5	1,96	33,32
		47	53,6	6,6	Arena y gravilla	Arena con fragmentos de grava (fina)		5	1,96	12,936
		53,6	85	31,4	Arena, bolones, ripio y gravilla	Arena y limo con fragmentos de grava (fina a gruesa)		5	1,96	61,544
		85	99	14	Arena, ripio, limo	Arena y limo con fragmentos de grava (media)		5	1,96	27,44
		99	121	22	Arena y limo	Arena en matriz de limo	Arena en matriz de limo	7	1,84	40,48
		121	178	57	Limo, arcilla	Limo y arcilla	Limo y arcilla	10	1,72	98,04
		178	195	17	Limo y arena	Limo con fragmentos de arena	Limo con fragmentos de arena	9	1,77	30,09
		195	237	42	Roca	Basamento	Basamento	13		
		237						Densidad promedio	1,86	
<b>Norte</b>	<b>Este</b>	<b>Profundidad inicial (m)</b>	<b>Profundidad final (m)</b>	<b>Espesor (m)</b>	<b>Horizonte</b>	<b>Clasificación sedimentológica</b>	<b>Unidad</b>	<b>Unidad GMS</b>	<b>Densidad (g/cm3)</b>	<b>Densidad ponderada</b>

6060088	255090	0	6	6	Limo, bolones, ripio	Limo con fragmentos de grava (media a gruesa)	Limo con fragmentos de grava	8	1,88	11,28
		6	12	6	Bolones, ripio, limo	Grava (media a gruesa) en matriz de limo	Grava en matriz de arena y/o limo	3	1,99	11,94
		12	17	5	Bolones, ripio, arena, limo	Grava (media a gruesa) en matriz de arena y limo		2	2,04	10,2
		17	32	15	Bolones, ripio, limo	Grava (media a gruesa) en matriz de limo		3	1,99	29,85
		32	35	3	Arena, ripio, bolones	Arena con fragmentos de grava (media a gruesa)	Arena con fragmentos de grava	5	1,96	5,88
				35						Densidad promedio
<b>Norte</b>	<b>Este</b>	<b>Profundidad inicial (m)</b>	<b>Profundidad final (m)</b>	<b>Espesor (m)</b>	<b>Horizonte</b>	<b>Clasificación sedimentológica</b>	<b>Unidad</b>	<b>Unidad GMS</b>	<b>Densidad (g/cm3)</b>	<b>Densidad ponderada</b>
6057983	265401	0	45	45	Ripio, arena, limo, bolones	Grava (media a gruesa) en matriz de arena y limo	Grava en matriz de arena y limo	2	2,04	91,8
				45						Densidad promedio
<b>Norte</b>	<b>Este</b>	<b>Profundidad (m)</b>		<b>Horizonte</b>	<b>Clasificación sedimentológica</b>	<b>Unidades</b>	<b>Clasificación GMS</b>	<b>Densidad (g/cm3)</b>	<b>Densidad ponderada</b>	<b>cota</b>
6018687	257779	0-4	4	Ripio,	Grava en una	Grava en una matriz	3	1,99	7,96	121



				grava, arcilla, arena	matriz de arcilla y arena	de arcilla				
6018687	257779	4-9	5	Ripio grueso y medio, grava, arena gruesa y media, arcilla	Grava en una matriz de arena y arcilla	Grava en una matriz de arena	2	2,04	10,2	117
		9-13	4	Ripio, bolones aislados, grava, arena gruesa y media, arcilla, limo	Grava en una matriz de arena y arcilla		2	2,04	8,16	112
		13-20	7	Ripio, grava, arena gruesa y media, arcilla, limo	Grava en una matriz de arena y arcilla		2	2,04	14,28	108
		20-23	3	Ripio, grava, arena gruesa y media, arcilla	Grava en una matriz de arena y arcilla		2	2,04	6,12	101
		23-38	15	Ripio	Grava en una		2	2,04	30,6	98

				grueso y medio, grava, arena gruesa y media, arcilla, limo	matriz de arena y arcilla					
6018687	257779	38-40	2	Grava, arcilla	Grava en una matriz de arcilla	Grava en una matriz de arcilla	3	1,99	3,98	83
		40-42	2	arena media y gruesa negra, arcilla, limo	Arena en una matriz de arcilla	Arena en una matriz de arcilla	7	1,84	3,68	81
		42-43	1	arena negra	Arena	Arena	6	1,92	1,92	79
		43-51	8	arcilla café limosa	Arcilla	Arcilla	10	1,72	13,76	78
		51-54	3	Arena cementada	Arena	Arena	6	1,92	5,76	70
									Densidad promedio	1,970740741
<b>Norte</b>	<b>Este</b>	<b>Profundidad (m)</b>		<b>Horizonte</b>	<b>Clasificación sedimentológica</b>	<b>Unidades</b>	<b>Clasificación GMS</b>	<b>Densidad (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Densidad ponderada</b>	<b>cota</b>
6039831	281831	0-8	8	Terreno compacto	Arcilla con fragmentos de	Arcillas con fragmentos de grava	8	1,88	15,04	195

				o de arcilla, ripio, grava gruesa y fina, arena gruesa y fina	grava y arena					
6039831	281831	8-13	5	Grava fina y gruesa, arena gruesa y fina, arcilla poco limo	Grava en una matriz de arena y arcilla	Grava en una matriz de arena	2	2,04	10,2	187
		13-18	5	Grava gruesa a fina, ceniza volcanica, arena gruesa y fina	Grava en una matriz de arena		2	2,04	10,2	182
		18-26	8	Grava fina, arena gruesa y fina, arcilla, limo café	Grava en una matriz de arena y arcilla		2	2,04	16,32	177
		26-32	6	Grava	Grava en una		2	2,04	12,24	169

				gruesa a fina, arena gruesa a fina, arcilla, limo café	matriz de arena y arcilla					
6039831	281831	32-38	6	Grava gruesa a fina, arena gruesa a fina, limo, arcilla café	Grava en una matriz de arena y arcilla		2	2,04	12,24	163
		38-40	2	Grava fina y gruesa, arena gruesa y fina, sedimento volcánico arcilloso color gris, terreno semi compacto	Grava en una matriz de arena y arcilla		2	2,04	4,08	157
									Densidad	2,008

								promedio		
Norte	Este	Profundidad (m)		Horizonte	Clasificación sedimentológica	Unidades	Clasificación GMS	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	Densidad ponderada	cota
6021916	262102	0-5	5	Ripio, bolones, grava, arena gruesa, media y fina, arcilla	Grava en matriz de arena y arcilla	Grava en matriz de arena	2	2,04	10,2	146
		5-7	2	Ripio, grava, arena media, fina y gruesa, arcilla	Grava en matriz de arena y arcilla	Grava en matriz de arena	2	2,04	4,08	141
		7-13	6	Arena fina, media y gruesa, grava, gravilla, mucha arcilla	Arcilla con arena y fragmentos de grava	Arcilla con fragmentos de arena	9	1,77	10,62	139
		13-15	2	Arena media, gruesa y fina, gravilla,	Arena con fragmentos de grava en matriz de arcilla	Arena con fragmentos de grava	5	1,96	3,92	133

				arcilla						
6021916	262102	15-24	9	Arena media gruesa y fina, grava, gravilla, bolones aislados, arcilla	Arena con fragmentos de grava en matriz de arcilla	Arena con fragmentos de grava	5	1,96	17,64	131
		24-31	7	Arena media, gruesa y fina, gravilla, grava, ripio, bolones aislados, aumenta la arcilla	Arcilla con arena y fragmentos de grava	Arcilla con fragmentos de arena	9	1,77	12,39	122
		31-53	22	Arena media, fina y gruesa, gravilla, grava, ripio, material oxidado, aumenta la arcilla	Arcilla con arena y fragmentos de grava	Arcilla con fragmentos de arena	9	1,77	38,94	115
		53-56	3	Arena media,	Arcilla con arena y fragmentos de	Arcilla con fragmentos de arena	9	1,77	5,31	93

				fina y gruesa, gravilla, grava, ripio, material oxidado, mucha arcilla	grava					
6021916	262102	56-60	4	Arena media, fina y gruesa, gravilla, grava, mucha arcilla	Arcilla con arena y fragmentos de grava	Arcilla con fragmentos de arena	9	1,77	7,08	90
								Densidad promedio	1,83633	
<b>Norte</b>	<b>Este</b>	<b>Profundidad (m)</b>		<b>Horizonte</b>	<b>Clasificación sedimentológica</b>	<b>Unidades</b>	<b>Clasificación GMS</b>	<b>Densidad (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Densidad ponderada</b>	<b>cota</b>
6033363	279259	0-12	12	Arcilla, arena	Arcilla con fragmentos de arena	Arcilla con fragmentos de arena	9	1,77	21,24	
		12-14	2	Grava, arena, arcilla	Gravas en matriz de arena	Gravas en matriz de arena	2	2,04	4,08	
		14-22	8	Arena, arcilla	Arena en matriz de arcilla	Arena en matriz de arcilla	7	1,84	14,72	
		22-28	6	Arena,	Arena con	Arena con	5	1,96	11,76	

				grava, arcilla	fragmentos de grava	fragmentos de grava				
6033363	279259	28-33	5	Grava, arena, arcilla	Gravas en matriz de arena	Gravas en matriz de arena	2	2,04	10,2	
		33-41	8	Arena, grava, arcilla	Arena con fragmentos de grava	Arena con fragmentos de grava	5	1,96	15,68	
		41-46	5	Grava, arena, arcilla	Gravas en matriz de arena	Gravas en matriz de arena	2	2,04	10,2	
		46-47	1	Arena, arcilla	Arena en matriz de arcilla	Arena en matriz de arcilla	7	1,84	1,84	
									Densid ad promed io	1,908936 17
<b>Norte</b>	<b>Este</b>	<b>Profundi dad (m)</b>		<b>Horizont e</b>	<b>Clasificación sedimentológica</b>	<b>Unidades</b>	<b>Clasificación GMS</b>	<b>Densid ad (g/cm3 )</b>	<b>Densida d pondera da</b>	<b>cota</b>
6046124	276500	0-2,5	2,5	Arcilla Limosa	Arcilla y/o Limo	Arcilla y/o Limo	10	1,72	4,3	
		2,5-7	4,5	Arena, grava, ripió, arcilla	Arena con fragmentos de grava	Arena con fragmentos de grava	5	1,96	8,82	
		7-9	2	Arena, ripió, grava, bolones, arcilla	Arena con fragmentos de grava		5	1,96	3,92	
		9-16	7	Arena, ripió,	Arena con fragmentos de		5	1,96	13,72	



				bolones, grava, poca arcilla	grava					
6046124	276500	16-36	20	Arena, ripio, grava, arcilla	Arena con fragmentos de grava		5	1,96	39,2	
		36-38	2	Arcilla, arena, ripio, grava	Arcilla con fragmentos de arena	Arcilla con fragmentos de arena	9	1,77	3,54	
		38-40	2	Arena, ripio, grava	Arena con fragmentos de grava	Arena con fragmentos de grava	5	1,96	3,92	
									Densid ad promed io	1,9355
<b>Norte</b>	<b>Este</b>	<b>Profundi dad (m)</b>	<b>Horizont e</b>	<b>Clasificación sedimentológica</b>	<b>Unidades</b>	<b>Clasificación GMS</b>	<b>Densid ad (g/cm3 )</b>	<b>Densida d pondera da</b>	<b>cota</b>	
6081839	278834	0-4	4	Arcilla	Arcilla	Arcilla	10	1,72	6,88	
		4-19	15	Conglom erado arcilloso	Gravas en matriz de arcilla	Gravas en matriz de arcilla	3	1,99	29,85	
		19-34	15	Conglom erado arcilloso con bolones	Gravas en matriz de arcilla		3	1,99	29,85	
		34-48	14	Ripio, grava,	Gravas en matriz de arena	Gravas en matriz de arena	2	2,04	28,56	

				arena, bolones						
6081839	278834	48-51	3	Arcilla, ripio	Arcilla con fragmentos de grava	Arcilla con fragmentos de grava	8	1,88	5,64	
								Densid ad promed io	1,9761	
<b>Norte</b>	<b>Este</b>	<b>Profundi dad (m)</b>		<b>Horizont e</b>	<b>Clasificación sedimentológica</b>	<b>Unidades</b>	<b>Clasificación GMS</b>	<b>Densid ad (g/cm3 )</b>	<b>Densida d pondera da</b>	<b>cota</b>
6041307	268027	0-5	5	Arcilla, ripio	Arcilla con fragmentos de grava	Arcilla con fragmentos de grava	8	1,88	9,4	
		5-15	10	Ripio, arcilla, poco limo, arena	Gravas en matriz de arcilla	Gravas en matriz de arcilla	3	1,99	19,9	
		15-30	15	Ripio, arena, grava	Gravas en matriz de arena	Gravas en matriz de arena	2	2,04	30,6	
									Densid ad promed io	1,99667
<b>Norte</b>	<b>Este</b>	<b>Profundi dad (m)</b>		<b>Horizont e</b>	<b>Clasificación sedimentológica</b>	<b>Unidades</b>	<b>Clasificación GMS</b>	<b>Densid ad (g/cm3 )</b>	<b>Densida d pondera da</b>	<b>cota</b>
6045835	254062	0-13	13	Arena, grava,	Arena con fragmentos de	Arena con fragmentos de grava	5	1,96	25,48	

				bolones, arcilla	grava					
6045835	254062	13-26	13	Arena, poca arcilla	Arena en matriz de arcila	Arena en matriz de arcilla	7	1,84	23,92	
		26-30	4	Arena, ripio, grava	Arena con fragmentos de grava	Arena con fragmentos de grava	5	1,96	7,84	
		30-45	15	Arena, poca grava poca arcilla	Arena con fragmentos de grava		5	1,96	29,4	
		45-48	3	Arena, ripio, grava, poca arcilla	Arena con fragmentos de grava		5	1,96	5,88	
		48-59,5	11,5	Arena, arcilla	Arena en matriz de arcila	Arena en matriz de arcilla	7	1,84	21,16	
									Densid ad promed io	1,911
<b>Norte</b>	<b>Este</b>	<b>Profundi dad (m)</b>		<b>Horizont e</b>	<b>Clasificación sedimentológica</b>	<b>Unidades</b>	<b>Clasificación GMS</b>	<b>Densid ad (g/cm3 )</b>	<b>Densida d pondera da</b>	<b>cota</b>
6046877	258656	0-10	10	Ripio, grava, arcilla, Bolones	Gravas en matriz de arcilla	Gravas en matriz de arcilla	3	1,99	19,9	
		10-17	7	Ripio, grava,	Gravas en matriz de arena	Gravas en matriz de arena	2	2,04	14,28	

				arena, arcilla						
6046877	258656	17-22	5	Arcilla, ripio	Arcilla con fragmentos de grava	Arcilla con fragmentos de grava	8	1,88	9,4	
		22-25	3	Grava, arena	Gravas en matriz de arena	Gravas en matriz de arena	2	2,04	6,12	
		25-40	15	Arcilla, ripio, arena	Arcilla con fragmentos de grava	Arcilla con fragmentos de grava	8	1,88	28,2	
		40-45	5	Arcilla, ripio	Arcilla con fragmentos de grava		8	1,88	9,4	
									Densid ad promed io	1,94
<b>Norte</b>	<b>Este</b>	<b>Profundi dad (m)</b>		<b>Horizont e</b>	<b>Clasificación sedimentológica</b>	<b>Unidades</b>	<b>Clasificación GMS</b>	<b>Densid ad (g/cm3 )</b>	<b>Densida d pondera da</b>	<b>cota</b>
6029720	267975	0-32	32	Ripio, arcilla, bolones	Gravas en matriz de arcilla	Gravas en matriz de arcilla	3	1,99	63,68	
		32-66	34	Ripio, arena, arcilla, bolones	Gravas en matriz de arena	Gravas en matriz de arena	2	2,04	69,36	
		66-72	6	Arcilla	Arcilla	Arcilla	10	1,72	10,32	
		72-97	25	Arcilla, ripio, bolones	Arcilla con fragmentos de grava	Arcilla con fragmentos de grava	8	1,88	47	
		97-102	5	Arcilla, arena	Arcilla con fragmentos de	Arcilla con fragmentos de arena	9	1,77	8,85	

					arena					
6029720	267975	102-108	6	Arena, gravilla, ripio, arcilla	Arena con fragmentos de grava	Arena con fragmentos de grava	8	1,88	11,28	
		108-131	23	Arcilla	Arcilla	Arcilla	10	1,72	39,56	
		131-158	27	Arcilla, arena	Arcilla con fragmentos de arena	Arcilla con fragmentos de arena	9	1,77	47,79	
		158-175	17	Gravilla, arena	Gravas en matriz de arena	Gravas en matriz de arena	2	2,04	34,68	
									Densidad promedio	1,90011
<b>Norte</b>	<b>Este</b>	<b>Profundidad (m)</b>		<b>Horizonte</b>	<b>Clasificación sedimentológica</b>	<b>Unidades</b>	<b>Clasificación GMS</b>	<b>Densidad (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Densidad ponderada</b>	<b>cota</b>
6076787	263016	0-6	6	Arcilla, arena	Arcilla con fragmentos de arena	Arcilla con fragmentos de arena	9	1,77	10,62	
		6-22	16	Arena, grava, ripio	Arena con fragmentos de grava	Arena con fragmentos de grava	5	1,96	31,36	
		22-35	13	Grava, arena, ripio	Gravas en matriz de arena	Gravas en matriz de arena	2	2,04	26,52	
		35-52	17	Arena, ripio, grava	Arena con fragmentos de grava	Arena con fragmentos de grava	5	1,96	33,32	
		52-60	8	Ripio, arena, grava	Gravas en matriz de arena	Gravas en matriz de arena	2	2,04	16,32	

								Densidad promedio	1,969	
<b>Norte</b>	<b>Este</b>	<b>Profundidad (m)</b>		<b>Horizonte</b>	<b>Clasificación sedimentológica</b>	<b>Unidades</b>	<b>Clasificación GMS</b>	<b>Densidad (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Densidad ponderada</b>	<b>cota</b>
6032572	256352	0-6	6	Arcilla, arena, grava	Arcilla con fragmentos de arena	Arcilla con fragmentos de arena	9	1,77	10,62	
		6-14	8	Grava, arena	Gravas en matriz de arena	Gravas en matriz de arena	2	2,04	16,32	
		14-18	4	Arcilla, arena, grava	Arcilla con fragmentos de arena	Arcilla con fragmentos de arena	9	1,77	7,08	
		18-25	7	Grava, arena, limo, arcilla	Gravas en matriz de arena	Gravas en matriz de arena	2	2,04	14,28	
		25-28	3	Arcilla	Arcilla	Arcilla	10	1,72	5,16	
		28-37	9	Limo, arcilla	Arcilla		10	1,72	15,48	
		37-40	3	Arcilla	Arcilla		10	1,72	5,16	
									Densidad promedio	1,8525
<b>Norte</b>	<b>Este</b>	<b>Profundidad (m)</b>		<b>Horizonte</b>	<b>Clasificación sedimentológica</b>	<b>Unidades</b>	<b>Clasificación GMS</b>	<b>Densidad (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Densidad ponderada</b>	<b>cota</b>
6067704	276553	0-12	12	Conglomerado de	Gravas en matriz de arena	Gravas en matriz de arena	2	2,04	24,48	

				arena y arcilla						
6067704	276553	12-30	18	Limo, arcilla, arena	Arcilla con fragmentos de arena	Arcilla con fragmentos de arena	9	1,77	31,86	
		30-34	4	Arenisca, arcilla	Arena en matriz de arcilla	Arena en matriz de arcilla	7	1,84	7,36	
		34-35	1	Arenisca	arena	arena	6	1,96	1,96	
		35-44	9	Limo, arcilla, arena	Arcilla con fragmentos de arena	Arcilla con fragmentos de arena	9	1,77	15,93	
		44-50	6	Arenisca, arcilla	Arena en matriz de arcilla	Arena en matriz de arcilla	7	1,84	11,04	
									Densidad promedio	1,853
<b>Norte</b>	<b>Este</b>	<b>Profundidad (m)</b>		<b>Horizonte</b>	<b>Clasificación sedimentológica</b>	<b>Unidades</b>	<b>Clasificación GMS</b>	<b>Densidad (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Densidad ponderada</b>	<b>cota</b>
6069777	290292	0-10	10	Arcilla	Arcilla	Arcilla	10	1,72	17,2	
		10-12	2	Grava, arena	Gravas en matriz de arena	Gravas en matriz de arena	2	2,04	4,08	
		12-36	24	Ripio, bolones, grava, arena	Gravas en matriz de arena		2	2,04	48,96	
		36-60	24	Bolones, ripio, arena	Gravas en matriz de arena		2	2,04	48,96	
		60-80	20	Grava, arena, arcilla	Gravas en matriz de arena		2	2,04	40,8	

								Densidad promedio	2	
Norte	Este	Profundidad (m)		Horizonte	Clasificación sedimentológica	Unidades	Clasificación GMS	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	Densidad ponderada	cota
6026285	253083	0-17	17	Limo, arcilla, poca arena	Arcilla con fragmentos de arena	Arcilla con fragmentos de arena	9	1,77	30,09	
		17-23	6	Arena, limo, arcilla	Arenas en matriz de arcilla	Arenas en matriz de arcilla	7	1,84	11,04	
		23-41	18	Grava, arena, ripio, limo	Gravas en matriz de arena	Gravas en matriz de arena	2	2,04	36,72	
		41-43	2	Grava, bolones, ripio, arena, limo	Gravas en matriz de arena		2	2,04	4,08	
		43-46	3	Ripio, grava, arena, limo	Gravas en matriz de arena		2	2,04	6,12	
									Densidad promedio	1,91413
Norte	Este	Profundidad (m)		Horizonte	Clasificación sedimentológica	Unidades	Clasificación GMS	Densidad	Densidad	cota



								(g/cm <sup>3</sup> )	ponderada	
6059788	271203	0-2	2	Ripio, bolones	Gravas	Gravas	1	2,08	4,16	
		2-6	4	Bolones, ripio, grava	Gravas		1	2,08	8,32	
		6-37	31	Grava, arena, bolones	Gravas en matriz de arena	Gravas en matriz de arena	2	2,04	63,24	
		37-40	3	Grava, arcilla, limo	Gravas en matriz de arcilla	Gravas en matriz de arcilla	3	1,99	5,97	
									Densidad promedio	2,04225
<b>Norte</b>	<b>Este</b>	<b>Profundidad (m)</b>		<b>Horizonte</b>	<b>Clasificación sedimentológica</b>	<b>Unidades</b>	<b>Clasificación GMS</b>	<b>Densidad (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Densidad ponderada</b>	<b>cota</b>
6061971	294543	0-4	4	Arcilla, arena, gravilla	Arcilla con fragmentos de arena	Arcilla con fragmentos de arena	9	1,77	7,08	
		4-8	4	Arcilla, arena, gravilla, maicillo	Arcilla con fragmentos de arena		9	1,77	7,08	
		8-18	10	Arcilla, arena, gravilla, grava	Arcilla con fragmentos de arena		9	1,77	17,7	
		18-31	13	Arcilla, arena,	Arcilla con fragmentos de		9	1,77	23,01	

				gravilla	arena					
6061971	294543	31-32	1	Arena, ripio, grava, gravilla, arcilla	Arenas con fragmentos de grava	Arenas con fragmentos de grava	5	1,96	1,96	
		32-33	1	Arena, ripio, bolones, arcilla	Arenas con fragmentos de grava		5	1,96	1,96	
		33-37	4	Arcilla, arena, grava, gravilla	Arcilla con fragmentos de arena	Arcilla con fragmentos de arena	9	1,77	7,08	
		37-43	6	Arcilla, arena, gravilla	Arcilla con fragmentos de arena		9	1,77	10,62	
		43-51	8	Roca descompuesta	Basamento	Basamento	13			
		51-53	2	Roca	Basamento		13			
									Densidad promedio	1,778837
<b>Norte</b>	<b>Este</b>	<b>Profundidad (m)</b>	<b>Horizonte</b>	<b>Clasificación sedimentológica</b>	<b>Unidades</b>	<b>Clasificación GMS</b>	<b>Densidad (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Densidad ponderada</b>	<b>cota</b>	
6021899	262843	0-5	5	Ripio, bolones, grava, arena, arcilla	Gravas en matriz de arena	Gravas en matriz de arena	2	2,04	10,2	

6021899	262843	5-7	2	Ripio, grava, arena, arcilla	Gravas en matriz de arena		2	2,04	4,08	
		7-13	6	Arcilla, arena, grava, gravilla	Arenas con fragmentos de grava	Arenas con fragmentos de grava	5	1,96	11,76	
		13-15	2	Arena, gravilla, arcilla	Arenas con fragmentos de grava		5	1,96	3,92	
		15-24	9	Arena, grava, gravilla, arcilla, bolones	Arenas con fragmentos de grava		5	1,96	17,64	
		24-31	7	Arena, gravilla, grava, arcilla, ripio, bolones	Arenas con fragmentos de grava		5	1,96	13,72	
		31-53	22	Arena, arcilla, gravilla, grava, ripio	Arenas en matriz de arcilla	Arenas en matriz de arcilla	7	1,84	40,48	
		53-56	3	Arcilla, arena, gravilla, grava, ripio	Arcilla con fragmentos de arena	Arcilla con fragmentos de arena	9	1,77	5,31	
		56-60	4	Arcilla, arena,	Arcilla con fragmentos de		9	1,77	7,08	

				gravilla, grava	arena					
6021899	262843							Densidad promedio	1,90317	
<b>Norte</b>	<b>Este</b>	<b>Profundidad (m)</b>		<b>Horizonte</b>	<b>Clasificación sedimentológica</b>	<b>Unidades</b>	<b>Clasificación GMS</b>	<b>Densidad (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Densidad ponderada</b>	<b>cota</b>
6044089	257753	0-5	5	Bolones, ripio, grava, arena fina	Gravas en matriz de arena	Gravas en matriz de arena	2	2,04	10,2	
		5-8	3	Bolones, ripio, arena, grava, arcilla	Gravas en matriz de arena		2	2,04	6,12	
		8-20	12	Arcilla, arena gruesa, grava, arena fina	Arcillas con fragmentos de arena	Arcillas con fragmentos de arena	9	1,77	21,24	
		20-26	6	Grava, ripio, arcilla, arena fina	Gravas en matriz de arena	Gravas en matriz de arena	2	2,04	12,24	
		26-29	3	Arcilla, grava,	Arcillas con fragmentos de	Arcillas con fragmentos de grava	9	1,77	5,31	

				ripio, arena	grava					
6044089	257753	29-34	5	Grava, ripio, arcilla, arena	Gravas en matriz de arena	Gravas en matriz de arena	2	2,04	10,2	
		34-40	6	Arcilla, arena, grava, arena fina	Arcillas con fragmentos de arena	Arcillas con fragmentos de arena	9	1,77	10,62	
									Densid ad promed io	1,89825
<b>Norte</b>	<b>Este</b>	<b>Profundi dad (m)</b>		<b>Horizont e</b>	<b>Clasificación sedimentológica</b>	<b>Unidades</b>	<b>Clasificación GMS</b>	<b>Densid ad (g/cm3 )</b>	<b>Densida d pondera da</b>	<b>cota</b>
6036116	250025	0-15	15	Ripio, bolones, grava, gravilla, arena media, fina y gruesa, arcilla 20%	Grava en una matriz de arena y arcilla	Grava en matriz de arena	2	2,04	30,6	90
		15-18	3	Ripio, grava, arena media, fin a, arcilla	Arcilla con fragmentos de grava y arena	Arcilla con fragmentos de grava	8	1,88	5,64	75

				55%						
6036116	250025	18-21	3	arena media, fina, grava, arcilla 60%	Arcilla con fragmentos de arena y grava	Arcilla con fragmentos de arena	9	1,77	5,31	72
		21-28	7	Arena fina, poca grava, arcilla 45%	Arcilla con fragmentos de arena y grava	Arcilla con fragmentos de arena	9	1,77	12,39	69
		28-32	4	Ripio fino, grava, gravilla, arena media y fina, arcilla 25%	Grava en matriz de arena y arcilla	Grava en matriz de arena	2	2,04	8,16	62
		32-37	5	Arena fina, media, poco ripio, gravilla, arcilla 35%	Arena en una matriz de arcilla con fragmentos de grava	Arena en una matriz de arcilla	7	1,84	9,2	58
		37-42	5	Ripio, grava, arena fina,	Arena en una matriz de arcilla con fragmentos de grava	Arena en una matriz de arcilla	7	1,84	9,2	53

				arena media, poca grava, arcilla 35%						
6036116	250025	42-50	8	arena fina, arcilla 60%	Arcilla con arena	Arcilla con fragmentos de arena	9	1,77	14,16	48
								Densidad promedio	1,8932	
<b>Norte</b>	<b>Este</b>	<b>Profundidad (m)</b>		<b>Horizonte</b>	<b>Clasificación sedimentológica</b>	<b>Unidades</b>	<b>Clasificación GMS</b>	<b>Densidad (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Densidad ponderada</b>	<b>cota</b>
6083119	264782	0-5	5	Arena media y fina, limo compacto, 50% arcilla	Arena en matriz de arcilla	Arena en matriz de arcilla	7	1,84	9,2	126
		5-8	3	Arena fina y media, grava, 40% arcilla	Arena en matriz de arcilla y fragmentos de grava		7	1,84	5,52	105
		8-10	2	Arena fina y media, grava,	Arena con fragmentos de grava en matriz de arcilla	Arena con fragmentos de grava	5	1,96	3,92	102

				gravilla, 20% arcilla						
6083119	264782	10-12	2	Arena media y fina, grava, 60% arcilla	Arcilla con fragmentos de arena y grava	Arcilla con fragmentos de arena	9	1,77	3,54	100
		12-14	2	Arena fina y media, grava, gravilla, ripio, 50% arcilla	Arcilla con fragmentos de arena y grava		9	1,77	3,54	98
		14-15	1	Arena gruesa y media, grava, gravilla, 50% arcilla	Arcilla con fragmentos de arena y grava		9	1,77	1,77	96
		15-18	3	Arena gruesa y media, grava, gravilla, 80% arcilla	Arcilla con fragmentos de arena y grava		9	1,77	5,31	95
		18-19	1	Arena fina, media y	Arcilla con fragmentos de arena y grava		9	1,77	1,77	92



				gruesa, grava, gravilla, 50% arcilla						
6083119	264782	19-21	2	Arena media y fina, grava, gravilla, 20% arcilla	Arena con fragmentos de grava en matriz de arcilla	Arena con fragmentos de grava	5	1,96	3,92	91
		21-23	2	Arena gruesa y media, grava, gravilla, 40% arcilla	Arena en matriz de arcilla y fragmentos de grava	Arena en matriz de arcilla	7	1,84	3,68	89
		23-25	2	Arena fina y media, gravilla, 70% arcilla	Arcilla con fragmentos de arena y grava	Arcilla con fragmentos de arena	9	1,77	3,54	87
		25-27	2	Arena fina, media y gruesa, gravilla, 30% arcilla	Arena en matriz de arcilla y fragmentos de grava	Arena en matriz de arcilla	7	1,84	3,68	85
		27-30	3	Arena fina y	Arcilla con fragmentos de	Arcilla con fragmentos de arena	9	1,77	5,31	83

				media, grava, 50% arcilla	arena y grava					
6083119	264782	30-35	5	Arena fina y media, gravilla, 60% arcilla	Arcilla con fragmentos de arena y grava		9	1,77	8,85	80
		35-39	4	Arena gruesa y media, gravilla, 50% arcilla	Arcilla con fragmentos de arena y grava		9	1,77	7,08	75
		39-42	3	Arena gruesa, media y fina, gravilla, 40% arcilla	Arena en matriz de arcilla y fragmentos de grava	Arena en matriz de arcilla	7	1,84	5,52	71
		42-52	10	Arena gruesa y media, gravilla, 40% arcilla	Arena en matriz de arcilla y fragmentos de grava		7	1,84	18,4	68
		52-55	3	Arena gruesa y media, 60% arcilla	Arcilla con fragmentos de arena y grava	Arcilla con fragmentos de arena	9	1,77	5,31	58

								Densidad promedio	1,81564	
Norte	Este	Profundidad (m)		Horizonte	Clasificación sedimentológica	Unidades	Clasificación GMS	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	Densidad ponderada	cota
6034636	280398	0-9	9	Arcilla café, limo, ripio medio y fino, limo	Arcilla con fragmentos de grava	Arcilla con fragmentos de grava	8	1,88	16,92	197
		9-17	8	Arcilla café, limo, ripio grueso y medio	Arcilla con fragmentos de grava		8	1,88	15,04	188
		17-20	3	Ripio grueso y medio, arcilla, limo	Grava en matriz de arcilla	Grava en matriz de arcilla	3	1,99	5,97	180
		20-23	3	Arcilla café, grava gruesa y media, limo	Arcilla con fragmentos de grava	Arcilla con fragmentos de grava	8	1,88	5,64	177
		23-35	12	Arcilla café, grava	Arcilla con fragmentos de grava		8	1,88	22,56	174

				gruesa y media, gravilla, limo						
6034636	280398	35-37	2	Arcilla café con lentes de arcilla gris	Arcilla	Arcilla	10	1,72	3,44	162
		37-39	2	arcilla gris, ripio grueso y medio	Arcilla con fragmentos de grava	Arcilla con fragmentos de grava	8	1,88	3,76	160
		39-45	6	Bloques medianos, poca arcilla gris, ripio grueso, medio y fino	Grava en matriz de arcilla	Grava en matriz de arcilla	3	1,99	11,94	158
		45-60	15	Roca negra, dureza en aumento	Basamento	Basamento	13			152
									Densidad promedio	1,89489
<b>Norte</b>	<b>Este</b>	<b>Profundidad inicial (m)</b>	<b>Profundidad final (m)</b>	<b>Espesor (m)</b>	<b>Horizonte</b>	<b>Clasificación sedimentológica</b>	<b>Unidad</b>	<b>Unidad GMS</b>	<b>Densidad (g/cm3)</b>	<b>Densidad ponderada</b>

6075981	258057	0	15	15	Gravas de cantos subredondeados a subangulares, de tamaño máximo 3", presencia de bolones de hasta 10" aproximadamente sin recuperación de matriz. Se observa una arena limosa en el retorno de agua	Grava (media a gruesa) en matriz de arena y limo	Grava en matriz de arena y limo	2	2,04	30,6
		15	32	17	Toba fracturada con pómez color amarillo, clastos polimícticos con distinto grado de alteración. Con estratos de roca volcánica sedimentaria de clastos polimícticos con distintos grados de alteración	Ceniza	Ceniza con intercalación de arcilla	12	1,4	23,8
		32	33	1	Arcilla color café claro, consistencia media y plasticidad baja	Arcilla		10	1,72	1,72
		33	36	3	Toba fracturada con pómez color amarillo, clastos polimícticos con	Ceniza		12	1,4	4,2

					distinto grado de alteración					
6075981	258057	36	39	3	Gravas de cantos subredondeados a subangulares, de tamaño máximo 3" y sin recuperación de matriz. Se observa una arena en el retorno de agua	Grava (media) en matriz de arena	Grava en matriz de arena	2	2,07	6,21
		39	45	6	Roca volcánica sedimentaria fracturada de dureza muy baja, con pómez color amarillo, clastos polimícticos con distinto grado de alteración y cemento color amarillo claro. Se observan zonas con alto nivel de meteorización	Ceniza	Ceniza con intercalación de arcilla	12	1,5	9
		45	48	3	Arcilla color café claro, consistencia alta y plasticidad alta	Arcilla	Arcilla	10	1,72	5,16
		48	60	12	Gravas de cantos subredondeados a subangulares, de tamaño máximo 5"	Grava (gruesa) en matriz de arena	Grava en matriz de arena	2	2,04	24,48

					aproximadamente y sin recuperación de matriz. Se observa una arena en el retorno de agua					
6075981	258057			60					Densidad promedio	1,75
<b>Norte</b>	<b>Este</b>	<b>Profundidad (m)</b>		<b>Horizonte</b>	<b>Clasificación sedimentológica</b>	<b>Unidades</b>	<b>Clasificación GMS</b>	<b>Densidad (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Densidad ponderada</b>	<b>cota</b>
6060313	258157	0-1	1	Ripio, bolones, grava, gravilla, arena y limo	Grava en matriz de arena y arcilla	Grava en matriz de arena	2	2,04	2,04	103
		1-4	3	Ripio, bolones, grava, gravilla, arena media y fina, 40% arcilla	Arcilla con fragmentos de grava y arena	Arcilla con fragmentos de grava	8	1,88	5,64	102
		4-9	5	Ripio, bolones, grava, gravilla, arena media y fina, 30%	Grava en matriz de arcilla y arena	Grava en matriz de arcilla	3	1,99	9,95	99

				arcilla						
6060313	258157	9-13	4	Grava, gravilla, arena gruesa, media y fina, 50% arcilla	Arcilla con fragmentos de grava y arena	Arcilla con fragmentos de grava	8	1,88	7,52	94
		13-18	5	Grava, gravilla, arena media y fina, 60% arcilla	Arcilla con fragmentos de grava y arena		8	1,88	9,4	90
		18-24	6	Grava, gravilla, arena gruesa y media, 40% arcilla	Arcilla con fragmentos de grava y arena		8	1,88	11,28	85
		24-25	1	Grava, gravilla, arena gruesa y media, 20% arcilla	Grava en matriz de arena y arcilla	Grava en matriz de arena	2	2,04	2,04	79
		25-27	2	Grava, gravilla, arena media y fina, 40% arcilla	Arcilla con fragmentos de grava y arena	Arcilla con fragmentos de grava	8	1,88	3,76	78



6060313	258157	27-32	5	Grava, arena gruesa media y fina, 30% arcilla	Grava en matriz de arcilla y arena	Grava en matriz de arcilla	3	1,99	9,95	76
		32-36	4	Grava, gravilla, arena fina, 40% arcilla	Arcilla con fragmentos de grava y arena	Arcilla con fragmentos de grava	8	1,88	7,52	71
		36-43	7	Grava, gravilla, arena gruesa y media, 40% arcilla	Arcilla con fragmentos de grava y arena		8	1,88	13,16	67
		43-46	3	Grava, gravilla, arena gruesa y media, 50% arcilla	Arcilla con fragmentos de grava y arena		8	1,88	5,64	60
		46-47	1	Grava, arena gruesa y media, 70% arcilla	Arcilla con fragmentos de grava y arena		8	1,88	1,88	57
		47-50	3	Arena fina, 90% arcilla	Arcilla con fragmentos de arena	Arcilla con fragmentos de arena	9	1,77	5,31	56

								Densidad promedio	1,9018	
Norte	Este	Profundidad (m)		Horizonte	Clasificación sedimentológica	Unidades	Clasificación GMS	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	Densidad ponderada	cota
6056584	252584	0-4	4	Ripio, arena fina	Grava en matriz de arena	Grava en matriz de arena	2	2,04	8,16	75
		4-8	4	Arena fina y media, gravilla	Arena con fragmentos de grava	Arena con fragmentos de grava	5	1,96	7,84	71
		8-16	8	Arena fina, gravilla, terreno compacto, 50% arcilla	Arcilla con fragmentos de arena y grava	Arcilla con fragmentos de arena	9	1,77	14,16	67
		16-25	9	Arena media y fina, limo, 50% arcilla	Arcilla con fragmentos de arena		9	1,77	15,93	59
		25-27	2	Arena media, ripio, gravilla, limo, 45%	Arcilla con fragmentos de arena y grava		9	1,77	3,54	50

				arcilla						
6056584	252584	27-30	3	Arena fina, gravilla, limo, 40% arcilla	Arcilla con fragmentos de arena y grava		9	1,77	5,31	48
		30-33	3	Ripio, bolones, arena gruesa, 40% arcilla	Arcilla con fragmentos de grava y arena	Arcilla con fragmentos de grava	8	1,88	5,64	45
		33-43	10	Arena gruesa y fina, ripio, gravilla, 40% arcilla	Arcilla con fragmentos de arena y grava	Arcilla con fragmentos de arena	9	1,77	17,7	42
		43-45	2	Arena fina y media, ripio, gravilla 35% arcilla	Arcilla con fragmentos de arena y grava		9	1,77	3,54	32
		45-51	6	Arena media, fina y gruesa, gravilla, grava, ripio,	Arcilla con fragmentos de arena y grava		9	1,77	10,62	30

				limo, 50% arcilla						
6056584	252584	51-54	3	Arena media, fina y gruesa, gravilla, grava, ripio, limo, 60% arcilla	Arcilla con fragmentos de arena y grava		9	1,77	5,31	24
		54-57	3	Arena fina, media y gruesa, gravilla, grava, limo, 55% arcilla	Arcilla con fragmentos de arena y grava		9	1,77	5,31	21
		57-58	1	Arena fina, media y gruesa, gravilla, grava, limo, 40% arcilla	Arcilla con fragmentos de arena y grava		9	1,77	1,77	18
		58-64	6	Arena fina, media y	Arcilla con fragmentos de arena y grava		9	1,77	10,62	17

				gruesa, gravilla, grava, limo, 55% arcilla						
6056584	252584	64-67	3	Arena fina y media, gravilla, 65% arcilla	Arcilla con fragmentos de arena y grava		9	1,77	5,31	11
		67-69	2	Arena fina, media y gruesa, gravilla, grava, ripio, limo, 45% arcilla	Arcilla con fragmentos de arena y grava		9	1,77	3,54	8
		69-70	1	Arena fina, media y gruesa, gravilla, limo, 55% arcilla	Arcilla con fragmentos de arena y grava		9	1,77	1,77	6
		70-73	3	Arena media y gruesa, gravilla,	Arcilla con fragmentos de arena y grava		9	1,77	5,31	5

				ripio, 50% arcilla						
6056584	252584	73-77	4	Arena fina y media, gravilla, 50% arcilla	Arcilla con fragmentos de arena y grava		9	1,77	7,08	2
		77-85	8	Gravilla, arena mdia, 40% arcilla	Arcilla con fragmentos de grava y arena	Arcilla con fragmentos de grava	8	1,88	15,04	-2
		85-93	8	Arena fina y media, gravilla amarilla, 60% arcilla	Arcilla con fragmentos de arena y grava	Arcilla con fragmentos de arena	9	1,77	14,16	-10
		93-94	1	Arena media, gruesa y fina, gravilla fina, 70% arcilla	Arcilla con fragmentos de arena y grava		9	1,77	1,77	-18
									Densid ad promed io	1,80245
<b>Norte</b>	<b>Este</b>	<b>Profundi dad (m)</b>		<b>Horizont e</b>	<b>Clasificación sedimentológica</b>	<b>Unidades</b>	<b>Clasificación GMS</b>	<b>Densid ad</b>	<b>Densida d</b>	<b>cota</b>

								(g/cm <sup>3</sup> )	ponderada	
6032280	274085	0-12	12	Ripio, grava, bolones y arcilla 15%	Grava en matriz de arcilla	Grava en matriz de arcilla	3	1,99	23,88	166
		12-31	19	Ripio, grava, bolones y gravilla, arena gruesa, arcilla 50%	Arcilla con fragmentos de grava y arena	Arcilla con fragmentos de grava	8	1,88	35,72	154
		31-50	19	Arena gruesa, media y fina, poca grava, poca gravilla, arcilla 60%	Arcilla con fragmentos de arena y grava	Arcilla con fragmentos de arena	9	1,77	33,63	135
		50-76	26	Grava, gravilla, arena gruesa, media y fina, limo y arcilla 45%	Arcilla con fragmentos de grava y arena	Arcilla con fragmentos de grava	8	1,88	48,88	116
		76-98	22	Arena fina y	Arcilla con fragmentos de	Arcilla con fragmentos de arena	9	1,77	38,94	90

				media, grava, limo, poca gravilla, arcilla 55%	arena y grava						
6032280	274085	98-130	32	Arena gruesa, media y fina, ripio, poca grava, poca gravilla, arcilla 60%	Arcilla con fragmentos de arena y grava		9	1,77	56,64	68	
								Densid ad promed io	1,828385		

## 8.2 Calculo de sHE

Nombre	UTM_N	UTM_E	GMS	NE	Potencia	Potencia Acumulada	sHEs	sHEh	sHE	sHE*Potencia	sHE promedio
Cerrillos - Recreo	6018687	257779	3	3,3	3,3	3,3	20	60	20	66	
	6018687	257779	3	3,3	0,7	4	20	60	60	42	
	6018687	257779	2	3,3	5	9	20	60	60	300	
	6018687	257779	2	3,3	4	13	20	60	60	240	



Cerrillos - Recreo	6018687	257779	2	3,3	7	20	20	60	60	420	
	6018687	257779	2	3,3	3	23	20	60	60	180	
	6018687	257779	2	3,3	15	38	20	60	60	900	
	6018687	257779	3	3,3	2	40	20	60	60	120	
	6018687	257779	7	3,3	2	42	20	60	60	120	
	6018687	257779	6	3,3	1	43	20	60	60	60	
	6018687	257779	10	3,3	8	51	35	35	35	280	
	6018687	257779	6	3,3	3	54	20	60	60	180	53,8518519
La Chiripa - Colbun	6039831	281831	8	10,8	8	8	35	35	35	280	
	6039831	281831	2	10,8	2,8	10,8	20	60	20	56	
	6039831	281831	2	10,8	2,2	13	20	60	60	132	
	6039831	281831	2	10,8	5	18	20	60	60	300	
	6039831	281831	2	10,8	8	26	20	60	60	480	
	6039831	281831	2	10,8	6	32	20	60	60	360	
	6039831	281831	2	10,8	6	38	20	60	60	360	
	6039831	281831	2	10,8	2	40	20	60	60	120	52,2
Miraflores - Longavi	6021916	262102	2	3,3	3,3	3,3	20	60	20	66	
	6021916	262102	2	3,3	1,7	5	20	90	90	153	
	6021916	262102	2	3,3	2	7	20	90	90	180	
	6021916	262102	9	3,3	6	13	35	35	35	210	
	6021916	262102	5	3,3	2	15	20	90	90	180	
	6021916	262102	5	3,3	9	24	20	90	90	810	
	6021916	262102	9	3,3	7	31	35	35	35	245	
	6021916	262102	9	3,3	22	53	35	35	35	770	
	6021916	262102	9	3,3	3	56	35	35	35	105	
	6021916	262102	9	3,3	4	60	35	35	35	140	47,65
Palmilla Bajo	6036116	250025	2	5	5	5	20	60	20	100	
	6036116	250025	2	5	10	15	20	90	90	900	
	6036116	250025	8	5	3	18	35	35	35	105	
	6036116	250025	9	5	3	21	35	35	35	105	

Palmilla Bajo	6036116	250025	9	5	7	28	35	35	35	245	
	6036116	250025	2	5	4	32	20	90	90	360	
	6036116	250025	7	5	5	37	20	90	90	450	
	6036116	250025	7	5	5	42	20	90	90	450	
	6036116	250025	9	5	8	50	35	35	35	280	59,9
Panguilemo unido	6083119	264782	7	17,5	5	5	20	60	20	100	
	6083119	264782	7	17,5	3	8	20	60	20	60	
	6083119	264782	5	17,5	2	10	20	60	20	40	
	6083119	264782	9	17,5	2	12	35	35	35	70	
	6083119	264782	9	17,5	2	14	35	35	35	70	
	6083119	264782	9	17,5	1	15	35	35	35	35	
	6083119	264782	9	17,5	2,5	17,5	35	35	35	87,5	
	6083119	264782	9	17,5	0,5	18	35	35	35	17,5	
	6083119	264782	9	17,5	1	19	35	35	35	35	
	6083119	264782	5	17,5	2	21	20	60	60	120	
	6083119	264782	7	17,5	2	23	20	60	60	120	
	6083119	264782	9	17,5	2	25	35	35	35	70	
	6083119	264782	7	17,5	2	27	20	60	60	120	
	6083119	264782	9	17,5	3	30	35	35	35	105	
	6083119	264782	9	17,5	5	35	35	35	35	175	
	6083119	264782	9	17,5	4	39	35	35	35	140	
	6083119	264782	7	17,5	3	42	20	60	60	180	
	6083119	264782	7	17,5	10	52	20	60	60	600	
	6083119	264782	9	17,5	3	55	35	35	35	105	40,9090909
Quinamavida - Colbun	6034636	280398	8	12,8	9	9	35	35	35	315	
	6034636	280398	8	12,8	3,8	12,8	35	35	35	133	
	6034636	280398	8	12,8	4,2	17	35	35	35	147	
	6034636	280398	3	12,8	3	20	20	60	60	180	
	6034636	280398	8	12,8	3	23	35	35	35	105	
	6034636	280398	8	12,8	12	35	35	35	35	420	

Quinamavida - Colbun	6034636	280398	10	12,8	2	37	35	35	35	70	
	6034636	280398	8	12,8	2	39	35	35	35	70	
	6034636	280398	3	12,8	6	45	20	60	60	360	
	6034636	280398	13	12,8	15	60	35	35	35	525	40
San Pablo - Orilla del Maule	6060313	258157	2	3,5	1	1	20	60	20	20	
	6060313	258157	8	3,5	2,5	3,5	35	35	35	87,5	
	6060313	258157	8	3,5	0,5	4	35	35	35	17,5	
	6060313	258157	3	3,5	5	9	20	60	60	300	
	6060313	258157	8	3,5	4	13	35	35	35	140	
	6060313	258157	8	3,5	5	18	35	35	35	175	
	6060313	258157	8	3,5	6	24	35	35	35	210	
	6060313	258157	2	3,5	1	25	20	60	60	60	
	6060313	258157	8	3,5	2	27	35	35	35	70	
	6060313	258157	3	3,5	5	32	20	60	60	300	
	6060313	258157	8	3,5	4	36	35	35	35	140	
	6060313	258157	8	3,5	7	43	35	35	35	245	
	6060313	258157	8	3,5	3	46	35	35	35	105	
	6060313	258157	8	3,5	1	47	35	35	35	35	
6060313	258157	9	3,5	3	50	35	35	35	105	40,2	
Vaqueria - San Javier	6056584	252584	2	9	4	4	20	60	20	80	
	6056584	252584	5	9	4	8	20	60	20	80	
	6056584	252584	9	9	1	9	35	35	35	35	
	6056584	252584	9	9	7	16	35	35	35	245	
	6056584	252584	9	9	9	25	35	35	35	315	
	6056584	252584	9	9	2	27	35	35	35	70	
	6056584	252584	9	9	3	30	35	35	35	105	
	6056584	252584	8	9	3	33	35	35	35	105	
	6056584	252584	9	9	10	43	35	35	35	350	
	6056584	252584	9	9	2	45	35	35	35	70	
6056584	252584	9	9	6	51	35	35	35	210		

Vaqueria - San Javier	6056584	252584	9	9	3	54	35	35	35	105	
	6056584	252584	9	9	3	57	35	35	35	105	
	6056584	252584	9	9	1	58	35	35	35	35	
	6056584	252584	9	9	6	64	35	35	35	210	
	6056584	252584	9	9	3	67	35	35	35	105	
	6056584	252584	9	9	2	69	35	35	35	70	
	6056584	252584	9	9	1	70	35	35	35	35	
	6056584	252584	9	9	3	73	35	35	35	105	
	6056584	252584	9	9	4	77	35	35	35	140	
	6056584	252584	8	9	8	85	35	35	35	280	
	6056584	252584	9	9	8	93	35	35	35	280	
6056584	252584	9	9	1	94	35	35	35	35	33,7234043	
Vara Gruesa	6032280	274085	3	4,7	4,7	4,7	20	60	20	94	
	6032280	274085	3	4,7	7,3	12	20	60	60	438	
	6032280	274085	8	4,7	19	31	35	35	35	665	
	6032280	274085	9	4,7	19	50	35	35	35	665	
	6032280	274085	8	4,7	26	76	35	35	35	910	
	6032280	274085	9	4,7	22	98	35	35	35	770	
	6032280	274085	9	4,7	32	130	35	35	35	1120	35,8615385
Red sísmológica - Est. Talca	6075981	258057	2	4	4	4	20	60	20	80	
	6075981	258057	2	4	11	15	20	60	60	660	
	6075981	258057	12	4	17	32	35	35	35	595	
	6075981	258057	10	4	1	33	35	35	35	35	
	6075981	258057	12	4	3	36	35	35	35	105	
	6075981	258057	2	4	3	39	20	60	60	180	
	6075981	258057	12	4	6	45	35	35	35	210	
	6075981	258057	10	4	3	48	35	35	35	105	
6075981	258057	2	4	12	60	20	60	60	720	44,8333333	
BA-05	6089673	270820	12	23,7	23,7	23,7	35	35	35	829,5	
	6089673	270820	12	23,7	8,3	32	35	35	35	290,5	

BA-05	6089673	270820	1	23,7	7	39	20	60	60	420	
	6089673	270820	6	23,7	2	41	20	60	60	120	40,4878049
BA-06	6085010	265900	12	21,8	15	15	35	35	35	525	
	6085010	265900	3	21,8	5	20	20	60	20	100	
	6085010	265900	12	21,8	1,8	21,8	35	35	35	63	
	6085010	265900	12	21,8	15,2	37	35	35	35	532	
	6085010	265900	12	21,8	8	45	35	35	35	280	
	6085010	265900	12	21,8	20	65	35	35	35	700	33,8461538
BA-17	6076766	281725	12	29,6	18	18	35	35	35	630	
	6076766	281725	6	29,6	2	20	20	60	20	40	
	6076766	281725	5	29,6	9,6	29,6	20	60	20	192	
	6076766	281725	5	29,6	20,4	50	20	60	60	1224	41,72
BA-67	6069722	254483	9	12,5	10	10	35	35	35	350	
	6069722	254483	12	12,5	2,5	12,5	35	35	35	87,5	
	6069722	254483	12	12,5	42,5	55	35	35	35	1487,5	
	6069722	254483	5	12,5	15	70	20	60	60	900	40,3571429
BA-68	6069476	258862	9	4	5	5	35	35	35	175	
	6069476	258862	12	4	22	27	35	35	35	770	
	6069476	258862	5	4	13	40	20	60	60	780	43,125
BA_70	6069263	270263	10	6,9	5	5	35	35	35	175	
	6069263	270263	8	6,9	1,9	6,9	35	35	35	66,5	
	6069263	270263	8	6,9	11,1	18	35	35	35	388,5	
	6069263	270263	5	6,9	17	35	20	90	90	1530	
	6069263	270263	5	6,9	10	45	20	90	90	900	68
BA-73	6065930	256470	7	1,4	1,4	1,4	20	60	20	28	
	6065930	256470	7	1,4	11,6	13	20	60	60	696	
	6065930	256470	9	1,4	3	16	35	35	35	105	
	6065930	256470	5	1,4	8	24	20	60	60	480	
	6065930	256470	5	1,4	4	28	20	60	60	240	
	6065930	256470	7	1,4	7	35	20	60	60	420	56,2571429

BA-82	6062104	267662	5	5,6	5,6	5,6	20	60	20	112	
	6062104	267662	5	5,6	10,4	16	20	90	90	936	
	6062104	267662	3	5,6	9	25	20	90	90	810	74,32
BA-87	6052968	292643	5	34,7	10,5	10,5	20	60	20	210	
	6052968	292643	5	34,7	9,1	19,6	20	60	20	182	
	6052968	292643	5	34,7	10,4	30	20	60	20	208	
	6052968	292643	5	34,7	4,7	34,7	20	60	20	94	
	6052968	292643	5	34,7	12,3	47	20	60	60	738	
	6052968	292643	5	34,7	6,6	53,6	20	60	60	396	
	6052968	292643	5	34,7	31,4	85	20	60	60	1884	
	6052968	292643	5	34,7	14	99	20	60	60	840	
	6052968	292643	7	34,7	22	121	20	60	60	1320	
	6052968	292643	10	34,7	57	178	35	35	35	1995	
	6052968	292643	9	34,7	17	195	35	35	35	595	
6052968	292643	13	34,7	42	237	35	35	35	1470	43,3948718	
BA-88	6059716	254908	8	4,2	4,2	4,2	35	35	35	147	
	6059716	254908	8	4,2	1,8	6	35	35	35	63	
	6059716	254908	3	4,2	6	12	20	60	60	360	
	6059716	254908	2	4,2	5	17	20	60	60	300	
	6059716	254908	3	4,2	15	32	20	60	60	900	
	6059716	254908	5	4,2	3	35	20	60	60	180	55,7142857
BA-91	6057611	265219	2	8	8	8	20	60	20	160	
	6057611	265219	2	8	37	45	20	60	60	2220	52,8888889
№ 3	6033363	279259	9	19,7	12	12	35	35	35	420	
	6033363	279259	2	19,7	2	14	20	60	20	40	
	6033363	279259	7	19,7	5,7	19,7	20	60	20	114	
	6033363	279259	7	19,7	2,3	22	20	60	60	138	
	6033363	279259	5	19,7	6	28	20	60	60	360	
	6033363	279259	2	19,7	5	33	20	60	60	300	
	6033363	279259	5	19,7	8	41	20	60	60	480	

№ 3	6033363	279259	2	19,7	5	46	20	60	60	300	
	6033363	279259	7	19,7	1	47	20	60	60	60	47,0638298
№ 8	6046124	276500	10	9,7	2,5	2,5	35	35	35	87,5	
	6046124	276500	5	9,7	4,5	7	20	60	20	90	
	6046124	276500	5	9,7	2	9	20	60	20	40	
	6046124	276500	5	9,7	0,7	9,7	20	60	20	14	
	6046124	276500	5	9,7	6,3	16	20	90	90	567	
	6046124	276500	5	9,7	20	36	20	90	90	1800	
	6046124	276500	9	9,7	2	38	35	35	35	70	
	6046124	276500	5	9,7	2	40	20	90	90	180	71,2125
№ 14	6081839	278834	10	13,2	4	4	35	35	35	140	
	6081839	278834	3	13,2	9,2	13,2	20	60	20	184	
	6081839	278834	3	13,2	5,8	19	20	60	60	348	
	6081839	278834	3	13,2	15	34	20	60	60	900	
	6081839	278834	2	13,2	14	48	20	60	60	840	
	6081839	278834	8	13,2	3	51	35	35	35	105	49,3529412
№ 31	6041307	268027	8	1,9	1,9	1,9	35	35	35	66,5	
	6041307	268027	8	1,9	3,1	5	35	35	35	108,5	
	6041307	268027	3	1,9	10	15	20	60	60	600	
	6041307	268027	2	1,9	15	30	20	60	60	900	55,8333333
№ 33	6045835	254062	5	14,2	13	13	20	60	20	260	
	6045835	254062	7	14,2	1,2	14,2	20	60	20	24	
	6045835	254062	7	14,2	11,8	26	20	60	60	708	
	6045835	254062	5	14,2	4	30	20	60	60	240	
	6045835	254062	5	14,2	15	45	20	60	60	900	
	6045835	254062	5	14,2	3	48	20	60	60	180	
	6045835	254062	7	14,2	11,5	59,5	20	60	60	690	50,4537815
№ 35	6046877	258656	3	1,3	1,3	1,3	20	60	20	26	
	6046877	258656	3	1,3	8,7	10	20	60	60	522	
	6046877	258656	2	1,3	7	17	20	60	60	420	

№ 35	6046877	258656	8	1,3	5	22	35	35	35	175	
	6046877	258656	2	1,3	3	25	20	60	60	180	
	6046877	258656	8	1,3	15	40	35	35	35	525	
	6046877	258656	8	1,3	5	45	35	35	35	175	44,9555556
№ 44	6029720	267975	3	2,8	2,8	2,8	20	60	20	56	
	6029720	267975	3	2,8	29,2	32	20	60	60	1752	
	6029720	267975	2	2,8	34	66	20	60	60	2040	
	6029720	267975	10	2,8	6	72	35	35	35	210	
	6029720	267975	8	2,8	25	97	35	35	35	875	
	6029720	267975	9	2,8	5	102	35	35	35	175	
	6029720	267975	8	2,8	6	108	35	35	35	210	
	6029720	267975	10	2,8	23	131	35	35	35	805	
	6029720	267975	9	2,8	27	158	35	35	35	945	
	6029720	267975	2	2,8	17	175	20	60	60	1020	46,2171429
№ 50	6076787	263016	9	9,5	6	6	35	35	35	210	
	6076787	263016	5	9,5	3,5	9,5	20	60	20	70	
	6076787	263016	5	9,5	12,5	22	20	60	60	750	
	6076787	263016	2	9,5	13	35	20	60	60	780	
	6076787	263016	5	9,5	17	52	20	60	60	1020	
	6076787	263016	2	9,5	8	60	20	60	60	480	55,1666667
№ 84	6032572	256352	9	1,5	1,5	1,5	35	35	35	52,5	
	6032572	256352	9	1,5	4,5	6	35	35	35	157,5	
	6032572	256352	2	1,5	8	14	20	60	60	480	
	6032572	256352	9	1,5	4	18	35	35	35	140	
	6032572	256352	2	1,5	7	25	20	60	60	420	
	6032572	256352	10	1,5	3	28	35	35	35	105	
	6032572	256352	10	1,5	9	37	35	35	35	315	
	6032572	256352	10	1,5	3	40	35	35	35	105	44,375
№ 114	6067704	276553	2	34,6	12	12	20	60	20	240	
	6067704	276553	9	34,6	18	30	35	35	35	630	



Nº 114	6067704	276553	7	34,6	4	34	20	60	20	80	
	6067704	276553	6	34,6	0,6	34,6	20	60	20	12	
	6067704	276553	6	34,6	0,4	35	20	60	60	24	
	6067704	276553	9	34,6	9	44	35	35	35	315	
	6067704	276553	7	34,6	6	50	20	60	60	360	33,22
Nº 117	6069777	290292	10	53,1	10	10	35	35	35	350	
	6069777	290292	2	53,1	2	12	20	60	20	40	
	6069777	290292	2	53,1	24	36	20	60	20	480	
	6069777	290292	2	53,1	17,1	53,1	20	60	20	342	
	6069777	290292	2	53,1	6,9	60	20	60	60	414	
	6069777	290292	2	53,1	20	80	20	60	60	1200	35,325
Nº 138	6026285	253083	9	2,4	2,4	2,4	35	35	35	84	
	6026285	253083	9	2,4	14,6	17	35	35	35	511	
	6026285	253083	7	2,4	6	23	20	60	60	360	
	6026285	253083	2	2,4	18	41	20	60	60	1080	
	6026285	253083	2	2,4	2	43	20	60	60	120	
	6026285	253083	2	2,4	3	46	20	60	60	180	50,7608696
Nº 147	6059788	271203	1	12,3	2	2	20	60	20	40	
	6059788	271203	1	12,3	4	6	20	60	20	80	
	6059788	271203	2	12,3	6,3	12,3	20	60	20	126	
	6059788	271203	2	12,3	24,7	37	20	90	90	2223	
	6059788	271203	3	12,3	3	40	20	90	90	270	68,475
Nº 149	6061971	294543	9	3,9	3,9	3,9	35	35	35	136,5	
	6061971	294543	9	3,9	0,1	4	35	35	35	3,5	
	6061971	294543	9	3,9	4	8	35	35	35	140	
	6061971	294543	9	3,9	10	18	35	35	35	350	
	6061971	294543	9	3,9	13	31	35	35	35	455	
	6061971	294543	5	3,9	1	32	20	60	60	60	
	6061971	294543	5	3,9	1	33	20	60	60	60	
	6061971	294543	9	3,9	4	37	35	35	35	140	

№ 149	6061971	294543	9	3,9	6	43	35	35	35	210	
	6061971	294543	13	3,9	8	51	35	35	35	280	
	6061971	294543	13	3,9	2	53	35	35	35	70	36,1627907
№ 159	6021899	262843	2	3,3	3,3	3,3	20	60	20	66	
	6021899	262843	2	3,3	1,7	5	20	90	90	153	
	6021899	262843	2	3,3	2	7	20	90	90	180	
	6021899	262843	5	3,3	6	13	20	90	90	540	
	6021899	262843	5	3,3	2	15	20	90	90	180	
	6021899	262843	5	3,3	9	24	20	90	90	810	
	6021899	262843	5	3,3	7	31	20	90	90	630	
	6021899	262843	7	3,3	22	53	20	90	90	1980	
	6021899	262843	9	3,3	3	56	35	35	35	105	
	6021899	262843	9	3,3	4	60	35	35	35	140	79,73333333
№ 186	6044089	257753	2	3	3	3	20	60	20	60	
	6044089	257753	2	3	2	5	20	60	60	120	
	6044089	257753	2	3	3	8	20	60	60	180	
	6044089	257753	9	3	12	20	35	35	35	420	
	6044089	257753	2	3	6	26	20	60	60	360	
	6044089	257753	9	3	3	29	35	35	35	105	
	6044089	257753	2	3	5	34	20	60	60	300	
	6044089	257753	9	3	6	40	35	35	35	210	43,875

### 8.3 Niveles estáticos

Nombre	UTM_Norte	UTM_Este	NE	CotaDEM	NP
Aguas Nuevo Sur-Estación Villa Alegre_San José	6046592	257844	2,00	113	111
Aguas Nuevo Sur_Pelarco	6081333	278689	13,00	159	146
Aguas Nuevo Sur_Pulluquén	6056727	255773	10,00	106	96
Aguas Nuevo Sur_San Jerónimo	6057522	253499	14,00	90	76
Aguas Nuevo Sur_San Rafael	6089847	270901	24,00	140	116
Aguas Nuevo Sur_Villa Alegre	6045277	253484	16,00	99	83
APR Alto Pangue	6085128	265932	22,00	121	99
APR Bajo Lircay	6069546	289465	55,00	284	229
APR Bobadilla	6060185	256364	6,00	102	96
APR Bobadilla Bajo	6059558	254652	4,00	92	88
APR El Alamo	6060022	279840	40,00	250	210
APR El Manzano - El Suspiro	6076942	281483	30,00	188	158
APR Escorpión Ltda.-Aurora	6069359	270402	8,00	153	145
APR Huaiquilemu	6072261	266365	1,00	121	120
APR La Batalla	6079682	277355	19,00	160	141
APR Lancha de Queri	6053577	282407	27,00	283	256
APR Lomas de las Tortillas	6054300	251494	4,00	86	82
APR Pangue Abajo	6084795	275126	10,50	143	133
APR Pangue Ariba	6086841	278573	18,00	170	152
APR Panguilemo	6082830	264560	18,00	118	100
APR Ramadilla de Lircay	6076933	267256	12,00	127	115
APR Ramquimili-Purisima	6076268	271330	17,00	136	119
APR San Diego-La Granja	6060916	276552	35,00	233	198
APR Santa Corina	6080461	262598	1,00	84	83
APR Sta Rita	6080001	270952	15,00	134	119
APR Villa Illinois	6081658	267200	18,00	127	109

Hermanos Espinoza	6057664	265241	8,00	154	146
Karl Schulze	6077707	257765	9,00	74	65
Pozo 10 Hospital Talca	6076517	259647	2,00	92	90
Pozo 11 Hospital de Talca	6076459	259625	4,00	97	93
Pozo 9 Hospital Talca	6076538	259696	6,00	91	85
Universidad de Talca	6078815	260921	6,00	99	93
BA-8	6082944	275959	18	132	114
BA13	6079923	262073	1,8	84	82
BA14	6080386	271167	15,5	128	113
BA-17	6077138	281907	28,5	188	160
BA-52	6075541	260175	1,3	103	102
BA-55	6075193	257035	3,15	85	82
BA-57	6074487	258073	3,3	89	86
BA-61	6072059	268204	3,4	137	134
BA-62	6071440	280292	42	211	169
BA-68	6069848	259044	4,8	111	106
BA-73	6066302	256652	1,2	108	107
BA-103	6049871	276015	2,8	222	219
BA-112	6048583	269710	2,6	173	170
BA-113	6046999	282310	24,7	256	231
BA-117	6045024	267035	1,1	155	154
BA-124	6037644	279651	0	188	188
BA-125	6036294	280828	3,6	207	203
BA-126	6035127	278190	6,2	173	167
BA-127	6033064	278785	20,7	201	180
BA-131	6035021	260290	2,1	115	113
BA-132	6032597	261634	1,4	125	124
Palmilla bajo	6036116	250025	5,1	94	89
APR Vaquería	6056584	252584	8,91	77	68
APR Panguilemo Unido	6083119	264782	17,46	111	94

APR Quinamavida	6034636	280398	12,84	205	192
Pablo Orilla de Maule	6060313	258157	3,3	104	101
APR La Chiripa	6039831	281604	10,75	205	194
APR Vara Gruesa	6032280	274085	4,62	175	170
Comité APR. Queseria	6081181	283171	28,05	181	153
Comité APR. Sta Margarita Los Goreros	6080005	277539	18,02	157	139
Comité APR. La Isla	6075895	287919	5,23	280	275
Cooperar Ltda.	6066005	280260	57,12	241	184
Comité APR. Peuma Negro Las Delicias	6071464	280492	40,81	205	164
Comité APR. San Francisco Los Largos	6076021	276770	20,52	161	140
Comité APR. Bramadero	6057792	292010	33,65	400	366
Comité APR. Los Montes	6061957	294229	4,76	398	393
Cooperativa Queri Ltda.	6059317	280039	24,91	249	224
Cooperativa Agua del Valle Ltda.	6061197	276742	26,42	220	194
Miguel Arancibia Reyes	6066544	271299	2,5	164	162
Cooperativa APR Duao Tres Esquinas	6062144	266240	5,29	155	150
Comité APR Palmira	6069675	264091	1,38	125	124
Cooperativa APR Mercedes Ltda.	6072052	268117	4,28	141	137
Comité APR Ramadilla de Lircay	6077238	267450	11,42	124	113
Tres Montes Luchetti Agroindustrial S.A.	6074869	263564	12,94	120	107
Cooperativa APR Chacarillas Caivan	6071280	259033	10,48	115	105
Cooperativa de Servicio Sanitario Maule	6066167	256747	1,39	107	106
Comité APR Numpay	6069392	254173	13,05	92	79
Comité Sta. Rosa de Lavadero	6062746	250868	5,04	70	65
Cooperativa de Servicio AP Bobadilla Norte	6059870	254850	3,54	95	91
Comité San Pablo Orilla del Maule	6059549	261597	4,82	127	122
Comité APR Puente Pando Marinico	6057983	265479	6,69	150	143
Com. AP Alcantarillado Patagua San	6052233	261758	3,03	143	140

Manuel					
Comité APR Esperanza	6048125	265562	1,8	157	155
Cooperativa APR Flor Maria Ltda.	6055545	272654	11,24	200	189
Comité APR Sta. Ana de Queri	6055536	276704	9,54	232	222
Cooperativa Queraus Ltda.	6054101	282397	29,23	284	255
Comité APR Basaez	6051415	282854	38,79	282	243
Comité APR La Foresta	6045890	275750	9,53	203	193
Agrisouth Chile Ltda.	6044142	277433	8,57	197	188
Agrisouth Chile Ltda.	6044141	277433	6,98	197	190
Comité APR San Juan El Sauce y San Jose	6040729	274390	0,77	161	160
Cooperativa AP Alcantarillado Las Encinas	6029512	275104	4,1	202	198
Municipalidad de Linares	6029954	274259	3,61	184	180
Hugo Parada Loyola	6030683	276553	2,1	187	185
Comité APR Los Colihues Los Rabones	6031563	280079	4,42	240	236
Comité APR Los Batros	6034004	270944	2,56	154	151
Comité APR Lumas de Putagan	6033106	278617	22,67	199	176
Cooperativa AP Rari	6038550	283190	2,68	202	199
Comité APR Puente Alto	6035771	266478	1,86	136	134
Oscar Bonilla Menchaca	6041745	268563	1,96	143	141
Cooperativa AP Abraquil Puipuyen	6041192	271112	0,69	151	150
Agrícola Puipuyen S.A.	6042815	273040	2,3	169	167
Cooperativa RAU Ltda.	6055536	276704	24,91	232	207
Comité APR El Sauce Pangal	6054398	258944	2,05	125	123
Villa El Sauce	6053513	257837	1,97	119	117
Comité Sta. Cecilia Gabriela Mistral	6055890	261292	2,13	141	139
Inia Raihuen	6046824	257488	1,85	112	110
Comité APR El Trapiche Loncomilla	6050033	251766	3,6	93	89
Comité APR Huaraculen	6050049	255031	1,54	105	103

Comité APR Cunaco Viznaga	6041375	256109	0,99	101	100
Comité APR Putagan	6039306	259081	4,48	100	96
Comité APR Putagan	6039242	259027	4,91	107	102
Comité APR Las Hornillas	6035239	258872	2,77	111	108
Comité APR Las Hornillas	6035319	259883	2,28	121	119
Comité APR Las Toscas	6036618	256383	3,82	102	98
Comité APR Guadantun	6036115	260262	1,41	114	113
Sta. Rosa de Maitenes	6031105	259437	2,81	129	126
Comité APR Palmilla Norte	6032598	255652	1,39	111	110
Cooperativa AP Palmilla Ltda.	6033967	252822	4,52	97	92
Comité APR San Gabriel La Aguada	6026447	260522	3,48	143	140
Comité APR San Luis San Raul Las Motas	6023450	264636	3,11	152	149
Comité APR San Victor Lara	6026234	276239	3,71	244	240
Comité APR Llancaño	6024438	273436	5,14	213	208
Comité APR San Antonio	6026915	270720	3,43	182	179