



**PROGRAMA REGIONAL DE ENTRENAMIENTO GEOTÉRMICO (PREG)**  
Diplomado de especialización en geotermia-2014

Universidad de El Salvador  
Facultad de Ingeniería y Arquitectura  
Unidad de Postgrados

**LaGeo**



---

**“Guía de uso, análisis e interpretación de resultados en estudios de sensibilidad química de Fluidos en reservorios geotérmicos, aplicando el programa de especiación química WATCH.”**

---

*Asesorado por: Lic. Francisco Montalvo*

*Por : Erick Funes – Ingeniero Químico  
Jonathan Argueta- Ingeniero Químico*

*Presentado: Viernes 31 de  
Octubre del 2014*

---

## Contenido

RESUMEN.....	5
INTRODUCCIÓN.....	5
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	6
JUSTIFICACIÓN.....	7
OBJETIVOS .....	7
Objetivo General.....	7
Objetivos Específicos .....	7
1.0 GUÍA METODOLÓGICA DE ESTUDIOS Y MONITOREO QUÍMICO EN LAS DIFERENTES ETAPAS DE PROYECTOS GEOTÉRMICOS.....	8
1.1 ETAPA DE RECONOCIMIENTO.....	8
1.1.1 Resultados. ....	8
1.2 ETAPA DE PREFACTIBILIDAD.....	9
1.2.1 Resultados. ....	9
1.3 ETAPA DE FACTIBILIDAD.....	10
1.3.1 Estudios geoquímicos en campos de vapor. ....	10
1.3.2 Estudios Geoquímicos en campos de agua caliente.....	11
1.3.3 Personal e instalaciones. ....	11
1.4 DESARROLLO.....	12
1.4.1 Estudios geoquímicos .....	12
1.5 OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO.....	12
1.5.1 Mediciones químicas. ....	12
1.5.2 Análisis químicos.....	13
2.0 FUNDAMENTOS DE ANÁLISIS Y ESTUDIOS GEOQUÍMICOS. ....	14
2.1 Generalidades.....	14
2.1.1 Guía para muestreos de aguas. ....	15
2.1.2 Guía para muestreo de vapor. ....	17
2.1.3 Análisis Químicos e Isotópicos. ....	18
2.1.4 Hidrología isotópica. ....	20
2.2 CLASIFICACIÓN HIDROGEOQUÍMICA DE AGUAS.....	21
2.2.1 Cloruro sódicas (pH neutros).....	21
2.2.2 Sulfato Ácidas .....	21

2.2.3 Sulfato ácidas-cloruradas.....	21
2.2.4 Aguas Sodio- Bicarbonato.....	22
2.2.5 Diagramas Triangulares.....	25
2.3 GEOTERMÓMETROS.....	26
2.3.1 Generalidades.....	26
2.3.2 Geotermómetros de agua o solutos.....	27
2.3.3 Geotermómetros de gases.....	29
2.3.4 Geotermómetros isotópicos.....	29
2.4 MODELOS DE MEZCLA.....	30
2.4.1 Generalidades en Modelado de mezclas.....	30
2.4.2 Modelo de mezcla de Entalpía – Cloruro.....	33
2.4.3 Modelos de mezcla de manantiales calientes de Sílice – Entalpía.....	34
2.4.4 Modelos de mezcla de Sílice – Carbonato.....	34
2.5 EVALUACIÓN DE COMPOSICIÓN DEL FLUIDO EN RESERVORIO.....	35
3.0 EQUILIBRIO QUÍMICO.....	41
3.1 GENERALIDADES DE EQUILIBRIO QUÍMICO.....	41
3.2 SATURACIÓN MINERAL.....	42
3.2.1 Efectos de ebullición y enfriamiento.....	45
3.2.2 Principales errores en cálculo de índice de saturación.....	45
4.0 PROGRAMA WATCH DE ESPECIACIÓN QUÍMICA.....	47
4.1 INTRODUCCIÓN AL PROGRAMA DE ESPECIACIÓN QUÍMICA WATCH.....	47
4.1.1 Datos de entrada.....	47
4.1.2 Resultados de salida.....	48
4.2 GUÍA DEL USUARIO.....	50
4.2.1 Archivo de entrada.....	50
4.2.2 Ejecución del programa.....	51
5.0 PRESENTACIÓN DE RESULTADOS.....	55
5.1 ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD DE PARÁMETROS DE FLUIDOS GEOTÉRMICOS DE JAPÓN.....	56
5.2 ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD DE PARÁMETROS DE FLUIDOS GEOTÉRMICOS DE EL SALVADOR.....	56
5.2.1 Pozo A (Adiabatic Boiling).....	57

5.2.2 Pozo B (Adiabatic Boiling) .....	64
5.2.3 Fuente Termal F (Boiling Spring Model).....	69
5.3 EFECTO DE LA VARIACIÓN DE MINERALES MINORITARIOS.....	72
5.4 INFLUENCIA DEL PH Y LA PRESIÓN EN MINERALES .....	74
CONCLUSIONES .....	77
RECOMENDACIONES.....	77
AGRADECIMIENTOS.....	78
BIBLIOGRAFÍA.....	79
Anexo 1: Guía de trabajo del programa WATCH .....	81
Anexo 2: Ejemplo de hoja de resultados obtenida con el programa WATCH.....	100
Anexo 3: Tablas de resultados.....	104

## RESUMEN

En el presente documento se describen los resultados obtenidos a partir de simulaciones realizadas utilizando el programa de especiación química WATCH, la información de partida pertenece a diez fluidos diferentes correspondientes a 8 pozos de plantas geotérmicas y una fuente termal, para los cuales se hicieron variaciones en ciertos parámetros de entrada específicos, con la finalidad de determinar cambios en el comportamiento mineral y químico de los sistemas. Como parte inicial del documento se presenta una recopilación de material bibliográfico referente a los principios teóricos implícitos en los principales estudios geoquímicos que se realizan en proyectos geotérmicos, partiendo con un resumen de las metodologías de OLADE, en las cuales se indican los estudios y resultados esperados en cada una de las etapas de los proyectos geotérmicos, de manera subsecuente se detallan los fundamentos de estudios geoquímicos e información para poder interpretar sus resultados. Finalmente se concluye con el análisis e interpretación de los resultados obtenidos y la presentación de una guía para el manejo del programa WATCH.

## INTRODUCCIÓN

Los estudios geoquímicos poseen dentro de sus finalidades, la caracterización de especies químicas mediante la determinación de: abundancia, distribución, migración y por ende de la genética evolutiva de los fluidos geotérmicos a causa de procesos y condiciones a las que fueron expuestas bajo la superficie terrestre, mediante la aplicación práctica de principios geoquímicos teóricos que permiten la interpretación de los resultados, solución de problemas e inferencia de procesos que ocurren bajo la superficie terrestre. En el área específica de estudio de reservorios geotérmicos, la geoquímica se convierte en una herramienta de gran valor a la hora de definir posibles procesos fisicoquímicos que se dan durante el ascenso de los fluidos, prevenir problemas potenciales de incrustación en pozos de producción y de reinyección, y evaluar los cambios en las condiciones del reservorio con el paso del tiempo.

El punto de partida de todos los cálculos e inferencias, radica en la dependencia de las diferentes especies químicas a la cinética inherente de su propia naturaleza de reacción y las condiciones termodinámicas que le confiere el sistema geotérmico. Los cálculos de temperaturas mediante el uso de geotermómetros y la determinación de la concentración de minerales obtenidos a partir de resultados de muestreo, exigen cálculos especializados y generalmente largos, que se facilitan mediante el uso de un software propio para estos estudios.

El programa WATCH se utiliza para realizar cálculos con respecto a especiación química de aguas naturales, siendo su principal área de aplicación los fluidos geotérmicos, aunque también puede usarse de manera útil en aguas no termal.

El programa lee los análisis químicos del agua, gases y las muestras de condensado de vapor y mediante ellos realiza el cálculo de: la especiación química en el pozo o

acuífero a una temperatura de referencia, además del pH, presiones parciales que son computadas, potenciales redox y productos de actividad para reacciones de disolución mineral. (ISOR, 2014)

Entre las características destacables del programa en cuanto a empleo para especiación química se puede mencionar: su facilidad de uso y su rapidez para obtención de resultados, lo que permite hacer de manera rápida buenas aproximaciones sobre las condiciones del objeto de estudio.

Utilizando el programa WATCH como herramienta de análisis, en el presente documento se presenta un manual que incluye un resumen de las metodologías de la Organización Latinoamericana de Energía (OLADE), los fundamentos para interpretación y realización de análisis geoquímicos, los principios en que se basa el programa WATCH, la interpretación de los resultados obtenidos mediante el uso del programa y un manual de usuario del mismo.

## PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Realizar una recopilación de información bibliográfica sobre: metodologías químicas en la elaboración de un proyecto geotérmico, principios básicos de los que parten los estudios geoquímicos y fundamentos para la interpretación de resultados de los mismos. Toda esta información, como base para la metodología de la aplicación a realizar, de la cual, parte de dicha información es la utilizada por el programa WATCH como fundamento para la realización de sus cálculos. Se busca con ello, elaborar un manual de interpretación y uso del programa de especiación química WATCH, para condensar en un solo documento toda la información necesaria que permita: facilitar el manejo de dicho programa, identificar los principios físicos y químicos de los cuales parte el programa para la realización de sus cálculos y una mejor interpretación de resultados a partir del establecimiento de relaciones existentes entre las variables del sistema y el efecto que generan en los índices de saturación de los principales minerales a considerar en sistemas geotérmicos.

---

### Nota de edición:

Para la elaboración del presente documento se ha consultado una extensa cantidad de bases bibliográficas, presentando un resumen y/o traducción de las partes consideradas más importantes, a forma de citar la referencia correspondiente se ha colocado un súper índice al lado del texto para indicar el número de referencia bibliográfica a la que pertenece, y que corresponde al número correlativo de dicho documento en las referencias bibliográficas, un superíndice entre corchetes indica que todo el sub capítulo está relacionado a una misma referencia, y en casos de extracción de un único párrafo se hace cita en texto para indicar pertenencia a otro documento.

En partes del documento se hace referencia a los anexos, los cuales dependiendo de la versión de impresión en físico pueden no estar presente en el documento, por lo que se sugiere consultar la versión digital en el CD anexo al documento impreso para poder acceder a los anexos y a las hojas de cálculo con los resultados en los que se presentan los output del programa WATCH, cuadro resumen de resultados y gráficas correspondiente a las variaciones en el índice de saturación de minerales, fracción de vapor, temperatura de geotermómetros y cambio en la concentración de especies químicas con respecto a los cambios de temperatura en el fluido.

## JUSTIFICACIÓN

Debido a las ventajas en el uso del programa WATCH y la necesidad que exige la interpretación geoquímica en estudios de fluidos en reservorio geotérmicos, es necesaria la elaboración de un documento que consolide la información bibliográfica referente a los estudios geoquímicos en cada una de las etapas de desarrollo de proyectos geotérmicos, y al mismo tiempo facilite el uso de herramientas para análisis de fluidos mediante la elaboración de un manual que sirva de guía y permita el establecimiento de pautas para una mejor interpretación de resultados.

## OBJETIVOS

### Objetivo General

- ❖ Elaboración de una guía de uso, análisis e interpretación de resultados con estudios de sensibilidad química de fluidos en reservorios geotérmicos aplicando el programa de especiación química WATCH.

### Objetivos Específicos

- ❖ Establecer los pasos a seguir para el desarrollo de análisis de especiación fisicoquímica de aguas naturales, con énfasis en reservorios geotérmicos con la opción de ebullición adiabática.
- ❖ Evaluar el grado de asociación, dependencia y variación de parámetros químicos y termodinámicos en fluidos de un reservorio geotérmico.
- ❖ Elaborar propuestas para la inferencia sobre condiciones, cambios y posibles procesos que afecten a fluidos en reservorios geotérmicos y al fluido en su ascenso del reservorio hasta la superficie.
- ❖ Identificar condiciones que limiten el uso y confiabilidad de resultados del programa WATCH.

# 1.0 GUÍA METODOLÓGICA DE ESTUDIOS Y MONITOREO QUÍMICO EN LAS DIFERENTES ETAPAS DE PROYECTOS GEOTÉRMICOS.

## 1.1 ETAPA DE RECONOCIMIENTO

En la etapa de reconocimiento regional el objetivo fundamental es la integración de áreas termales de tal manera que se incluya la información suficiente para permitir la jerarquización de dichas áreas subsecuentes a la etapa de pre factibilidad. Para estos fines los estudios geoquímicos juegan un papel fundamental puesto que proveen una estimación de las temperaturas en el subsuelo en una zona determinada así como la información cualitativa sobre la extensión del sistema hidrotermal.

En esta etapa los requerimientos mínimos en cuanto personal están referidos a la participación de un técnico especializado con entrenamiento en métodos de colección de muestras y la observación/descripción de manifestaciones termales, un geoquímico que planifique la campaña de muestreo, que coordine los trabajos de laboratorio y lleve a cabo la interpretación de resultados. En cuanto a equipo de campo dependerá de las metas trazadas pero de manera indispensable se deberá contar con un termómetro, potenciómetro o papel pH, botellas para muestras líquidas sin dilución, con dilución y acidificadas, pipetas, recipientes con ácido nítrico o clorhídrico, botellas para muestreos de gases, embudo y tubos plásticos para alta temperatura <sup>[1]</sup>.

### 1.1.1 Resultados.

En la fase de reconocimiento, la investigación geoquímica proveerá una estimación de la temperatura de reservorio para cada área termal explorada en la región bajo estudio. Para las principales áreas geotérmicas identificadas, podría también proveer una estimación cualitativa del tamaño del sistema hidrotermal y un esquema general de su estructura y del patrón general de flujo. Esta información, complementada con la provista por otras disciplinas geocientíficas aplicadas en el estudio de reconocimiento, servirá para llevar a cabo la jerarquización preliminar de las áreas termales de acuerdo a su probable potencial, para su ulterior exploración de detalle.

El estudio geoquímico deberá generar un mapa en escala regional que muestre la ubicación de las áreas termales exploradas. Para cada una de estas, se deberá preparar un mapa de menor escala que muestre la topografía y la localización de las fuentes visitadas y muestreadas. Para cada fuente se deberá generar un mapa esquemático que señale su forma y ubicación de tal manera que resulte posible su localización en visitas o muestreos subsecuentes <sup>[1]</sup>.



## 1.2 ETAPA DE PREFACTIBILIDAD

En la etapa de pre factibilidad el objetivo de los estudios geoquímicos es aportar para la formulación del modelo conceptual preliminar del sistema hidrotermal, información sobre la temperatura y salinidad del fluido en el posible reservorio, sobre su dirección general de flujo y sobre la ubicación de las zonas de recarga termal y no termal, de ascenso de vapor, de ebullición y de descarga natural.

El estudio deberá incluir una interpretación exhaustiva de la información disponible, con el fin de identificar todos los tipos de fluidos naturales de la zona, y determinar su relación genética con el sistema hidrotermal y sus procesos de mezcla en el subsuelo. En esta etapa son aplicables las mismas técnicas de muestreo implementado y mencionadas anteriormente en la etapa de reconocimiento.

Es necesario identificar y tomar un número representativo de muestras de todos los tipos de fluidos termales que afloran de manera natural en el área bajo estudio y determinar de manera clara su distribución geográfica. Con este propósito deberá complementarse la información generada durante la etapa de reconocimiento y completarse el levantamiento del censo de fuentes y cuerpos de agua naturales de la zona. Con el fin de evitar duplicación de esfuerzo, esta actividad se deberá planear y ejecutar en coordinación con el estudio hidrogeológico <sup>[1]</sup>.

### 1.2.1 Resultados.

El estudio geoquímico debe dar como resultado un modelo conceptual preliminar que escriba la estimación de las características principales del líquido del reservorio (salinidad, temperatura y composición isotópica), las heterogeneidades detectables en el reservorio (en cuanto a esas características), el inventario de los diversos tipos de manifestaciones termales en superficie (mostrando su localización geográfica e ilustrando sus patrones de distribución) y una interpretación global de los procesos que, partiendo del líquido del reservorio, dan lugar a la formación de todos los tipos de manifestaciones termales.

El contenido de isotópico del fluido del reservorio permitirá identificar, al menos tentativamente, las zonas de recarga superficial del reservorio. La distribución de fumarolas y fuentes de líquido afectadas por vapor geotérmico, será indicativa de la zona de ascenso de vapor, que deberá aproximarse a la localización de la fuente de calor determinada por el estudio geovulcanológico. La ubicación de las zonas de recarga, de ascenso de vapor y de descarga de líquido con alta salinidad, definirá la dirección general de flujo del líquido geotérmico <sup>[1]</sup>.

### 1.3 ETAPA DE FACTIBILIDAD

Al inicio y durante la etapa de factibilidad la información geoquímica contribuirá a definir la ubicación de pozos a perforar. Los aspectos geoquímicos sobre los que se basará la localización de estos serán:

- La delimitación del posible reservorio mediante métodos geoquímicos.
- La ubicación del área donde se estiman las máximas temperaturas en el subsuelo, según los geotermómetros químicos.
- La identificación temprana de posibles problemas de incrustación y corrosión asociados con la extracción de los fluidos geotérmicos.

Si bien no será posible obtener muestras no contaminadas de fluidos subterráneos durante la construcción del pozo, es conveniente llevar el análisis de los fluidos de perforación para detectar la presencia de marcadores de los fluidos geotérmicos, sin embargo en la experiencia actual esto no se lleva. Esto puede ser de utilidad por que provee información sobre la interpretación de los distintos niveles del sistema geotérmico durante el avance de la perforación. Las operaciones de muestreo y análisis deben ser planeadas cuidadosamente, y la interpretación de los resultados debe hacerse de manera conjunta con otros indicadores de las condiciones del subsuelo.

En los reservorios de vapor dominantes dichos análisis pueden ser más útiles que el estudio de recortes de la barrena, y en los campos de agua caliente normalmente complementan la información obtenida con base en la interpretación de la mineralogía de alteración hidrotermal detectada en los recortes <sup>[2]</sup>.

#### 1.3.1 Estudios geoquímicos en campos de vapor.

La perforación con aire en lugar de lodo normalmente se utiliza en el desarrollo de campos donde predomina el vapor, para evitar la obturación de las fracturas que aportan el vapor al pozo. En estos campos es muy importante registrar la cantidad y la composición química del vapor en el aire de retorno. Su presencia se puede detectar por medio de los componentes químicos del vapor geotérmico (bióxido de carbono, ácido sulfhídrico), así como por la temperatura del aire en la línea de descarga (la tubería que lleva el aire de retorno del pozo al silenciador). Durante los cambios de barrena, es conveniente recolectar el vapor (y los gases) de la línea de descarga para su análisis.

Los análisis de gases en el vapor pueden indicar si el pozo ha alcanzado la capa de gas, la capa de condensados en la parte superior del reservorio o el reservorio mismo. La condensación de vapor cerca de la parte superior del reservorio forma un “casquete de gas” a partir del vapor que migra hacia arriba, y una capa de condensados formado por la condensación del vapor, que en forma de líquido en gran parte migra hacia abajo.

La capa de condensados tiene un bajo contenido de gas en relación al casquete de gas y al reservorio principal, Box y otros (1988) realizaron un estudio detallado de estas capas en los Gysers, California, USA, donde se tomaron muestras de cada una de las entradas de vapor y estas fueron analizadas para detectar gases y la composición isotópica del vapor. Las capas arriba descritas se caracterizan con base en la relación gas/vapor, la temperatura de equilibrio calculada para el gas y la composición isotópica del vapor <sup>[2]</sup>.

### **1.3.2 Estudios Geoquímicos en campos de agua caliente.**

Con el mismo propósito señalado anteriormente, cuando existe un apreciable contraste de composición química entre el lodo de perforación y los fluidos subterráneos, es conveniente analizar el lodo en la línea de descarga con el fin de detectar posibles marcadores del fluido geotérmico (ión cloruro, boro, etc.). Para evitar posibles confusiones durante la interpretación de esta información, es conveniente llevar un récord de las alteraciones químicas en el lodo debidas a cambios en su formulación.

Si se conoce la composición del fluido geotérmico (ya sea del estudio de otros pozos o del modelo geoquímico) y existe un apreciable contraste químico con el fluido de perforación, entonces es posible calcular la fracción de mezcla. En este caso, el dato del aumento de la temperatura del lodo se puede utilizar para calcular la temperatura del líquido del reservorio.

Si el pozo fluye por si solo o es inducido, y se le permite fluir por un tiempo suficiente para su limpieza, se podrán obtener muestras del agua y vapor geotérmicos que deberán ser enviadas a un laboratorio para su análisis completo. El muestreo y el análisis químico completo de los fluidos encontrados en los diferentes niveles permeables perforados, permitirá completar y detallar las observaciones obtenidas a través de las investigaciones geoquímicas e hidrogeológicas de superficie, y por lo tanto, llegar a un modelo tridimensional más completo de la circulación de fluidos. En particular se podrán diferenciar los posibles intervalos productores que puedan existir. Además, se obtendrá información esencial sobre las características químicas y físicas de los fluidos del yacimiento <sup>[2]</sup>.

### **1.3.3 Personal e instalaciones.**

Gran parte de los equipos y personal empleados para el estudio geoquímico de pre factibilidad, normalmente se pueden utilizar para apoyar las perforaciones en la etapa de factibilidad. El personal de campo familiarizado con los procedimientos de recolección de muestras químicas debe estar disponible en el sitio de las perforaciones cuando se requiera tomar muestras.

De acuerdo con las restricciones de tiempo y la complejidad de los análisis, las muestras podrían ser analizadas en un laboratorio cercano al campo (recomendado) o en el sitio de perforaciones. Los equipos portátiles deben ser más sencillos y más resistentes <sup>[2]</sup>.

## 1.4 DESARROLLO

### 1.4.1 Estudios geoquímicos

La geoquímica de superficie tendrá que continuar con el control periódico de pozos de agua, arroyos, ríos y manantiales (termales y fríos) seleccionados durante la etapa de factibilidad, ya sea para determinar la evolución del sistema geotérmico o para llevar el control ambiental. Esto se efectuará mediante mediciones de la temperatura y los caudales, y el muestreo y análisis de las aguas, en distintos períodos del año. Se dará especial atención a las manifestaciones termales más importantes, tratando de detectar cambios en su temperatura y composición que pudiesen ser indicativos de su comunicación con el reservorio y de cambios en el mismo como consecuencia de su explotación <sup>[3]</sup>.

## 1.5 OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

### 1.5.1 Mediciones químicas.

Desde la etapa inicial de explotación de un pozo geotérmico es importante proceder al muestreo y análisis de los fluidos para llevar a cabo la caracterización de sus condiciones químicas en el reservorio. Estas condiciones iniciales constituirán el punto de referencia con respecto al cual se documentarán e interpretarán las variaciones que se registren como consecuencia de la extracción masiva de fluido.

El muestreo y el análisis de los fluidos deben hacerse con los debidos procedimientos y precauciones según se define para la etapa de factibilidad. En cada ocasión, deberá recabarse la información sobre el valor de la entalpía específica de la descarga total, así como la presión de muestreo de cada fase, con el fin de estar en posibilidad de calcular la composición de la descarga total del pozo, o sea condiciones del reservorio.

Un muestreo completo deberá incluir lo necesario para calcular las condiciones químicas del fluido en el reservorio, incluyendo los calores de potencial de hidrógeno (pH), concentración de boro, sílice y especies iónicas principales (cloruros, sulfatos, bicarbonatos, carbonatos, sodio, potasio, calcio, magnesio, etc.), la concentración de las principales especies volátiles (bióxido de carbono, ácido sulfhídrico, metano, hidrógeno, amoníaco, nitrógeno y helio). Es importante determinar también la composición isotópica (oxígeno-18 y deuterio) del fluido. Además para la aplicación de programas de especiación química, son necesarias o útiles conocer las concentraciones de elementos como el aluminio, hierro, flúor y especies disueltas como amoníaco y ácido sulfhídrico como indicadores de fuga.

Un muestreo y análisis completo, debe hacerse como máximo una o dos veces anuales, a menos que se esté en el proceso de caracterización inicial del reservorio, o se desee hacer un estudio de detalle. Con mayor frecuencia, preferentemente una vez al mes, deberán hacerse muestreos y análisis parciales, con el fin de complementar historial de producción del pozo (caudal, entalpía, presión de cabezal) con el historial

de los parámetros químicos apropiados para detectar cambios en la zona de alimentación del pozo. Esto podría consistir, por ejemplo, en la determinación de las concentraciones de sílice e iones principales (sodio, potasio, calcio, cloruro, sulfato, bicarbonato/carbonato, pH) en la salmuera del vertedero, y la determinación de la fracción molar de gases incondensables en el vapor. En estos casos también se deberá recabar información suficiente para calcular la concentración de estas especies en la descarga total <sup>[4]</sup>.

### **1.5.2 Análisis químicos.**

Los procesos de corrosión, incrustación, biológicos, etc., son procesos dinámicos y por lo tanto, las medidas tomadas para su control deben ajustarse frecuentemente sobre la base de los análisis químicos de control.

Con los resultados de los análisis químicos y bacteriológicos del agua de circulación se determinan las condiciones del agua y se puede aplicar un tratamiento químico adecuado <sup>[4]</sup>.

## 2.0 FUNDAMENTOS DE ANÁLISIS Y ESTUDIOS GEOQUÍMICOS.

### 2.1 Generalidades

Los estudios de prospección geoquímica permiten determinar las propiedades de las manifestaciones geotérmicas, manantiales, fumarolas, pozas ácidas, así como caracterizar los productos de alteración hidrotermal o de deposición, estos estudios son los más comunes y que generalmente se llevan a cabo durante la etapa de exploración. A su vez mediante esta caracterización es posible hacer inferencias de las condiciones propias del reservorio y hacer estimaciones de las temperaturas propias del mismo mediante la implementación de geotermómetros.

De manera conjunta los resultados de los estudios geoquímicos permitirán diagnosticar cambios en el reservorio con el paso del tiempo, partiendo de que todo está interconectado en el reservorio y que las propiedades y características del mismo se encuentran relacionado a las condiciones termodinámicas del medio y la cinética característica de cada sustancia que lo compone, se podrá relacionar cambios en concentraciones de iones y gases con cambios en el reservorio, lo que permitirá la toma de decisiones con respecto al manejo del pozo.

Otro campo de acción de la geoquímica consiste en determinar en un área relativamente grande, la presencia de algún elemento traza o de algún gas o compuesto volátil, en el suelo. Para ello se diseña una malla y se colocan detectores o se hacen mediciones en cada nodo, estos estudios generalmente permiten determinar interconexiones entre áreas o pozos lo cual se vuelve muy útil a la hora de fijar áreas de pozos de reinyección o cuantificar impactos ambientales.

Generalmente los yacimientos geotérmicos no son sistemas cerrados, por lo que existen descargas superficiales en forma de manantiales, fumarolas, pozas ácidas o suelos vaporizantes, que suelen ser el objeto de estudio en etapas de exploración.

Los manantiales se suelen catalogar como: Templados, calientes e hirvientes.

*Manantiales templados:* son aquellos cuya temperatura no excede los 45°C. La concentración de sales es baja y el tipo de agua es bicarbonatada. Estos manantiales están asociados a sistemas termales de temperaturas bajas o moderadas y que no están relacionados con intrusiones magmáticas.

*Manantiales calientes:* presentan temperaturas superiores a 45°C e inferiores al punto de ebullición correspondiente al lugar. La salinidad y la composición química de estos manantiales, es muy variable y depende del tipo de sistema hidrotermal al que están asociados.

*Manantiales hirvientes:* en la mayoría de casos están asociados a sistemas hidrotermales magmáticos de alta temperatura. Son por regla general del tipo clorurado

sódico, con concentraciones altas de potasio, bajas concentraciones de calcio y muy bajas de magnesio. El pH es neutro o ligeramente alcalino. Estos manantiales son descargas líquidas de los reservorios y, por ello, se localizan en las partes bajas de los campos geotérmicos.

Los geysers son un caso particular de manantiales hirvientes. Se caracterizan por lanzar un chorro de agua y vapor a intervalos regulares. La explicación más aceptada de este fenómeno es que, debido a la configuración de las fracturas en el subsuelo, se forma una 'bolsa' de agua y vapor que, al llegar a cierta presión de rompimiento, se expelle a la superficie. Otra manera de explicarlo es por una variación periódica del flujo de gas en la mezcla de agua y vapor, que da lugar a la expulsión de 'baches' de mezcla de manera regular.

Las fumarolas son descargas de vapor saturado o ligeramente sobrecalentado. Se localizan en las partes altas de campos geotérmicos. Estas descargas tienen una presión algo mayor que la atmosférica, de tal forma que emiten un flujo de vapor apreciable, aunque en algunos casos sean pequeños.

Las fumarolas volcánicas, en comparación con las geotérmicas, presentan temperaturas más altas y presencia de SO<sub>2</sub>, HCl y HF. En ocasiones, las fumarolas descargan a través del suelo saturado de agua, dando lugar a la formación de pozas ácidas con lodo. Esto se debe a que parte del H<sub>2</sub>S se disuelve en el agua y mediante la acción catalizadora de bacterias se oxida a ácido sulfúrico, que es un ácido fuerte.

El trabajo del geoquímico consiste en tomar muestras de agua y vapor y del material de alteración. Al muestrear se debe medir la temperatura de la manifestación, la conductividad eléctrica y el pH. Las muestras se usarán para análisis químicos de elementos mayores y menores, así como de isótopos. A las muestras de material de alteración se les practican análisis químicos y mineralógicos. Los métodos de muestreo y análisis se pueden consultar en: Armannsson, H. and Pang, Z., *A compilation of laboratory Procedures for the Chemical Analysis of Geothermal Water Samples*; Isotope Hydrology Section, IAEA, Vienna, (2003), y otros como Nicholson, K. *Geothermal Fluids: Chemistry and exploration techniques*. Escocia: Springer Verlag, (1993).

La información química e isotópica obtenida, servirá para determinar el origen del fluido geotérmico, las temperaturas probables del reservorio, las características corrosivas o incrustantes, entre otras cosas <sup>[5]</sup>.

### 2.1.1 Guía para muestreos de aguas.

En la etapa de reconocimiento el muestreo en cada área termal normalmente será limitado. Se tomarán muestras de las manifestaciones termales de mayor temperatura, así como muestras representativas de las aguas no termales.

Dependiendo de la cantidad de información previa disponible, podría ser necesaria la exploración preliminar de la zona para llevar a cabo una adecuada selección de los puntos de muestreo. Con el fin de evitar la duplicación de actividades, este reconocimiento se deberá planear y ejecutar en coordinación con el estudio hidrogeológico.

En cada manifestación termal visitada se tomará nota de su temperatura, pH, flujo estimado, depósitos de sólidos y apariencia general. Su localización se marcará en un mapa y se elaborará un dibujo esquemático que describa su forma y otras características, de tal manera que resulte posible la localización de todos y cada uno de los puntos para posibles muestreos conformatorios o estudios subsecuentes. La temperatura deberá ser medida en el afloramiento más caliente y el flujo medido o al menos estimado semi-cuantitativamente.

Se tomará nota de los rasgos indicativos del tipo de manifestación de que se trate. Un manantial de aguas límpidas de alta temperatura y con depósitos de sílice, probablemente produzca agua de pH cercano al neutro y con altas concentraciones de ion cloruro y de sílice; las muestras colectadas en este tipo de manantiales son útiles para los cálculos geo termométricos. Por otro lado un manantial con aguas turbias y humeantes pero de bajo flujo, probablemente produzca aguas ácidas con alto contenido de ion sulfato; las muestras recolectadas en este tipo de manantiales no son útiles para cálculos geo termométricos.

Las aguas de manantiales límpidas y tibias frecuentemente presentan mezclas de un componente termal de alta temperatura con aguas frías subterráneas; el muestreo de estas aguas es útil para la definición de los procesos de mezclas en el subsuelo. La ubicación de este tipo de aguas puede ayudar a determinar la salida lateral o marginal de fluidos geotérmicos, que en ocasiones dan lugar a depósitos de travertino y la presencia de aguas con bicarbonato de sodio.

En manantiales, las aguas que emanan están fuera de equilibrio químico, por lo cual su muestreo debe ser llevado a cabo con precaución para asegurar la calidad de la información derivable de su análisis químico. Las muestras pueden ser colectadas en botellas de plástico lavadas con ácido nítrico diluido. Antes de coleccionar la muestra la botella deberá ser enjuagada con el agua que se muestreará. Además de una muestra sin tratamiento, se debe coleccionar una muestra filtrada y acidificada para análisis de cationes, y una muestra diluida con agua destilada para análisis de sílice.

El objetivo de la acidificación es el de prevenir la posible precipitación de sales de calcio y magnesio y otros cationes. El agua filtrada debe pasarse a través de un filtro con poros de aproximadamente 0.5 micrones. La subsecuente acidificación deberá hacerse con ácido concentrado, nítrico o clorhídrico, hasta un pH de 1 a 2. Se debe evitar la acidificación sin previa filtración, debido a que esto podría llevar a la disolución de materia finamente dividida que se encuentra en suspensión y esto alteraría la



composición química del agua. Para filtración se puede emplear una bomba de vacío portátil una jeringa con un cartucho de filtración adecuado.

Frecuentemente el pH de la muestra sin tratamiento es inestable debido a que las aguas pueden contener bióxido de carbono. Tomando en cuenta esto, es necesario medir el pH en el momento del muestreo, empleando papel de medición adecuado o un potenciómetro portátil con corrector por temperatura.

Además de las muestras anteriores es deseable tomarse muestras para análisis de isótopos estables y tritio <sup>[1]</sup>.

### 2.1.2 Guía para muestreo de vapor.

En las áreas termales que se presenten manifestaciones en forma de fumarolas, se deberán tomar muestras de vapor para el análisis de gases. Esto es particularmente importante en los casos en que no afloran en el área manantiales con aguas de tipo clorurado-sódico, puesto que estas muestras darán la única estimación de la temperatura en el subsuelo.

El vapor se deberá condensar a través de un serpentín que no admita fugas de ninguna especie, colectándolo en botellas de 300 ml de capacidad, conteniendo 100 ml de hidróxido de sodio 4N. En forma previa a la expedición para el muestreo, estas botellas deberán prepararse en el laboratorio tratándose antes y después de añadir la solución de hidróxido de sodio y evacuando el aire en una línea de vacío.

El personal encargado del muestreo deberá estar familiarizado con las técnicas adecuadas para la obtención de las muestras. Asimismo, existen varias fuentes de información que describen las metodologías adecuadas para la determinación de especies químicas propias a los sistemas de estudio <sup>[1]</sup>.

<b>Tabla 1. Resumen de tipos de aguas naturales, origen e información obtenible.</b>		
<b>Tipo de fuente</b>	<b>Fuente de fluido</b>	<b>Tipo de información obtenible</b>
Manantiales y pozos fríos	Agua subterránea somera	Hidrogeología: Tipos de aguas subterráneas someras. Efecto del sistema hidrotermal sobre estratos suprayacentes.
Manantiales ebullentes con aguas cloruradas con alta sílice y pH neutro.	Agua de yacimiento hidrotermal enfriada en mayor o menor grado por procesos de ebullición, mezcla con aguas someras y transmisión de calor.	Hidrogeología: Temperatura y condiciones químicas del fluido geotérmico en el yacimiento. Tamaño, tipo y ubicación de zonas de ascenso y descarga lateral del fluido geotérmico.

		Potencial para incrustación/corrosión.
Manantiales calientes/tibios.	Mezcla de agua del yacimiento con aguas subterráneas someras.	Procesos de mezcla en el subsuelo. Temperatura y condiciones químicas del fluido geotérmico en el yacimiento.
Manantiales de mediana/baja salinidad, con aguas bicarbonatadas.	Mezcla de aguas subterráneas someras con vapor (y condensado de vapor) geotérmico.	Ubicación de zonas de ebullición.
Manantiales con aguas ácidas de alta concentración de sulfatos.	Aguas subterráneas someras calentadas por vapor geotérmico.	Ubicación de zonas de ascenso de vapor.
Fumarolas	Vapor separado del líquido del yacimiento.	Temperatura del fluido en el yacimiento. Contenido de componentes volátiles.
Pozos exploratorios	Acuífero interceptado.	Condiciones físicas y químicas del fluido geotérmico en el yacimiento. Potencial de corrosión/incrustación.

FUENTE: (GUÍAS DE OLADE, 1994)

### 2.1.3 Análisis Químicos e Isotópicos.

El responsable de los análisis deberá trabajar en coordinación con el geoquímico que tome las muestras y ambos deberán discutir sobre las especies químicas e isotópicas que se deberán analizar, la metodología de análisis y sobre los tipos de muestra que se deberán tomar, incluyendo aspectos tales como el volumen de muestra y el tratamiento que se le debe dar a esta en el campo. Parte del equipo de muestreo del geoquímico podrá ser seleccionado o proporcionado por el responsable de los análisis.

Antes de llevar a cabo los análisis, el responsable deberá ser informado por el geoquímico sobre la naturaleza de las muestras colectadas. Esta cooperación es conveniente puesto que se contribuirá a la obtención de resultados de análisis más exactos y mantendrá informado al geoquímico sobre las limitaciones de estos y sus repercusiones sobre la interpretación.

La información sobre las concentraciones de sílice y de los iones sodio, potasio, calcio y magnesio se utiliza para los cálculos geo termométricos. Esta información más la del pH y las concentraciones de los iones cloruro, sulfato y especies carbonatadas, permitirá determinar el tipo de agua y su origen. El boro y los iones de litio, fluoruro y amonio son trazadores del agua geotérmica <sup>[1]</sup>.

Las concentraciones de los iones de litio, amonio y fluoruro, además de tener utilidad como trazadores del agua geotérmica, permiten una mejor verificación de la calidad global del análisis mediante el método de balance de cargas.

<b>Tabla 2. Resumen de tipos de aguas naturales y requerimientos de observación y análisis.</b>		
<b>Tipo de Fuente</b>	<b>Análisis de laboratorio.</b>	<b>Otras observaciones y mediciones.</b>
Manantiales y pozos fríos	pH, Na <sup>+</sup> , K <sup>+</sup> , Mg <sup>2+</sup> , Cl <sup>-</sup> , HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , CO <sub>3</sub> <sup>3-</sup> , SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , SiO <sub>2</sub> , <sup>18</sup> O, <sup>2</sup> H	Ubicación, elevación, temperatura, flujo.
Manantiales ebullentes con aguas cloruradas con alta sílice y pH neutro.	Análisis completo: pH, Na <sup>+</sup> , Li <sup>+</sup> , K <sup>+</sup> , Mg <sup>2+</sup> , Ca <sup>2+</sup> , Cl <sup>-</sup> , HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , F <sup>-</sup> , SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , AlO <sub>2</sub> <sup>-</sup> , B, <sup>18</sup> O, <sup>2</sup> H, <sup>3</sup> H	Ubicación, elevación, temperatura, flujo, depósitos minerales asociados.
Manantiales calientes/tibios.	Completo en caso de alto flujo, parcial en los cuales se contempla: pH, Na <sup>+</sup> , K <sup>+</sup> , Cl <sup>-</sup> , SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , SiO <sub>2</sub> en caso de bajo flujo.	Ubicación, elevación, temperatura, flujo, variaciones de temperatura y flujo con las épocas del año.
Manantiales de mediana/baja salinidad, con aguas bicarbonatadas.	Parcial sin SiO <sub>2</sub>	Ubicación, elevación, temperatura, flujo, variaciones de temperatura y flujo con las épocas del año, depósitos minerales asociados.
Manantiales con aguas ácidas de alta concentración de sulfatos.	Parcial sin SiO <sub>2</sub>	Ubicación, elevación, temperatura, flujo.
Fumarolas	Cociente agua/gas incondensable en condensado de vapor, CO <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> S, H <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> , N <sub>2</sub> , NH <sub>3</sub> , Ar, He. En El vapor condensado <sup>18</sup> O, <sup>2</sup> H.	Ubicación, elevación, temperatura, flujo.
Pozos exploratorios	Análisis completos, información suficiente para el cálculo de la concentración en la descarga total del pozo de cada una de las especies químicas e isotópicas arriba citadas.	Ubicación, elevación, temperatura, presión de cabezal, gastos de vapor y líquido (o gasto total y entalpía específica), presión de separación de agua/vapor colectados.

FUENTE: (GUÍAS DE OLADE, 2014)

El análisis de la fase gaseosa deberá incluir la determinación de concentraciones relativas de bióxido de carbono, ácido sulfhídrico, hidrógeno, metano, nitrógeno, amoníaco, argón y helio. Las primeras seis se utilizan para cálculos geo termométricos, mientras que las últimas, más la del nitrógeno, permiten determinar el origen del fluido.

Los análisis isotópicos de oxígeno-18, deuterio y tritio en aguas naturales, se emplean en estudios hidrogeológicos que buscan determinar las zonas de recargas superficiales de los acuíferos y para obtener información sobre procesos de ebullición y de mezcla de agua de varios orígenes en el subsuelo. Aunque la interpretación de este tipo de evidencia en la fase de reconocimiento podría resultar limitada, puede ser de gran utilidad en fases subsecuentes que requieran una interpretación detallada de la hidrogeología de las zonas donde se localice una determinada área termal <sup>[1]</sup>.

#### 2.1.4 Hidrología isotópica.

El contenido de los isótopos estables pesados del oxígeno e hidrógeno, es decir la proporción de especies moleculares DHO y H<sub>2</sub><sup>18</sup>O, no es uniforme entre las aguas naturales. El ciclo meteorológico se inicia con la separación de vapor del agua del océano, sigue con la precipitación de este en forma de lluvia en los continentes, y termina con el escurrimiento y retorno de parte de esta agua al océano. Este ciclo genera aguas con una variedad de contenidos isotópicos.

Los contenidos de <sup>18</sup>O y deuterio pueden variar ampliamente entre las aguas lluvias de un sitio y otro, o inclusive en un mismo sitio en distintos eventos de precipitación; sin embargo, las concentraciones de estos dos isótopos en aguas de lluvia satisfacen una relación lineal entre sí, denominada la “línea meteórica”.

Una vez ocurrida la precipitación, la composición isotópica del agua puede variar solo como resultado de un número limitado de procesos naturales, y de una manera más o menos predecible. La rama de la hidrología basada en la interpretación de la composición isotópica de aguas naturales, con el fin de dilucidar su origen y los procesos físicos y químicos en que ha intervenido en la superficie o en el subsuelo, se denomina hidrología isotópica. Para una introducción general en el tema de la hidrología se puede consultar, por ejemplo a Gat y Gonfiantini (1981) y Sheppard (1986).

En exploración geotérmica la hidrología isotópica es particularmente útil, porque permite formular una hipótesis sobre el origen del agua del yacimiento y permite modelar los procesos de separación líquido-vapor en el subsuelo. El agua subterránea intercambia el isótopo <sup>18</sup>O con los minerales de la roca, pero su contenido de deuterio permanece casi inalterada. Este hecho permite identificar, al menos tentativamente, la zona de recarga en superficie de un yacimiento hidrotermal, basándose en el contenido de deuterio del agua geotérmica.

Los coeficientes de partición entre fases vapor-líquido de las especies isotópicas del agua son conocidos (Truesdell y otros 1977). Esto ha permitido desarrollar

metodologías para dilucidar la relación genética con el líquido del yacimiento de aguas termales emanantes en la superficie (Truesdell y otros 1997), y del vapor de fumarolas (Giggenbach y Stewart, 1982) <sup>[1]</sup>.

## 2.2 CLASIFICACIÓN HIDROGEOQUÍMICA DE AGUAS

### 2.2.1 Cloruro sódicas (pH neutros)

Aguas con contenido mayor de 1 g/L de sustancias mineralizantes, donde el ion cloruro, en una concentración superior a 20% meq/l suele estar acompañado de sodio en proporción semejante. La composición de este tipo de agua refleja un origen profundo y la presencia de mares pretéritos. La ocurrencia de fallas y grietas facilita su ascenso hacia la superficie.

Aunque hay predominancia de Cl, Na y K; también existe Ca, usualmente bajo pero variable, contiene apreciable SiO<sub>2</sub>, significativo pero variable SO<sub>4</sub> y HCO<sub>3</sub> y mucho menos cantidades de F, NH<sub>3</sub>, As, Li, Rb y gases disueltos como CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>S.

Las aguas a menudo ocurren en áreas con manantiales en ebullición y actividad de geysers y son comunes para muchas áreas geotérmicas en desarrollo tanto en rocas volcánicas y sedimentarias <sup>[6]</sup>.

### 2.2.2 Sulfato Ácidas

Aguas ácidas, con bajo contenido de ion cloruro, pueden ser formadas en áreas geotérmicas volcánicas donde el vapor por debajo de 400°C se condensa en las aguas superficiales. El sulfuro de hidrógeno del vapor es subsecuentemente oxidado a sulfato. Las aguas ácido sulfatadas son encontradas en áreas donde el vapor sube desde el agua subterránea de alta temperatura y en áreas volcánicas donde en etapas de enfriamiento volcánico solo dióxido de carbono y gases de sulfuro permanecen en el vapor que sube a través de la roca.

Los constituyentes presentes en las aguas son principalmente lixiviados de las rocas, generalmente tienen pH (0-3) y contienen vapor separado y gases no condensables como CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, NH<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S y N<sub>2</sub>. Debido a su naturaleza generalmente superficial, su significado geoquímico usualmente indica origen superficial <sup>[7]</sup>.

### 2.2.3 Sulfato ácidas-cloruradas

Aguas calientes en una gran variedad de ambientes pueden contener una gran cantidad de Cl y SO<sub>4</sub> y pueden ser ácidas con pH (2-5).

Estas aguas pueden formarse por muchos procesos, tales como:

- ❖ Mezcla de aguas cloruradas y sulfatadas a diferentes profundidades.
- ❖ Condensación cerca de la superficie de gases volcánicos en aguas meteóricas.
- ❖ Condensación de vapor magmático en las profundidades.

- ❖ Paso de fluidos clorurados a través de secuencias sulfato-soportes (ej. Evaporitas) o litologías que contengan sulfuro nativo.<sup>[6]</sup>

#### 2.2.4 Aguas Sodio- Bicarbonato.

Aguas ricas en bicarbonatos son originadas ya sea por la disolución de CO<sub>2</sub> o por la condensación de vapor geotérmico en aguas subterráneas libre de oxígeno relativamente profunda. Debido a la ausencia de oxígeno se evita la oxidación de H<sub>2</sub>S, la acidez de estas soluciones es debida a la disociación de H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>. A pesar de ser un ácido débil convierte los feldespaltos y arcillas, generando soluciones acuosas neutrales, las cuales son ricas típicamente en sodio y bicarbonato, particularmente a temperatura media-alta. Se debe tener presente que:

- ❖ La baja solubilidad de la calcita previene que las soluciones acuosas aumenten su contenido en calcio.
- ❖ Potasio y magnesio se fijan en arcillas y cloritas, respectivamente.
- ❖ Concentración de sulfato está limitada por la baja solubilidad de la anhidrita.

Las aguas sodio bicarbonato se encuentran generalmente en la “zona de condensación” de sistemas vapor dominantes y en las partes marginales de sistemas líquido-dominantes. Sin embargo, las aguas sodio bicarbonatadas están también presentes en yacimientos geotérmicos profundos en rocas metamórficas y/o sedimentarias <sup>[6]</sup>.

Tabla 3. Elementos químicos de interés para análisis geoquímico	
<b>Cloruro</b>	<p>Excepto las evaporitas y rocas de origen marino, por lo común las rocas presentan escasa proporción de cloruros. Pero dada la elevada solubilidad de sus sales, estos pasan rápidamente a la fase acuosa pudiendo alcanzar concentraciones muy altas. En zonas cercanas al litoral el agua lluvia puede ser una fuente importante del ion cloruro.</p> <p>El ion cloruro no forma sales de baja solubilidad, no se oxida ni se reduce en aguas naturales, tampoco es absorbido significativamente ni entra a formar parte de procesos bioquímicos, lo que le confiere características de buen trazador.</p> <p>Los cloruros aumentan en solución con la temperatura, contenidos altos indican origen geotérmico y de alta temperatura y/o mezcla de fluidos. Aguas de origen superficial y baja temperatura presentan concentraciones muy bajas en Cl.</p>
<b>Bicarbonato</b>	<p>El ion bicarbonato al igual que el carbonato proviene de la disociación de ácido carbónico formado por la reacción de anhídrido carbónico con agua. En aguas con pH mayor a 8.3 la especie predominante es el ion bicarbonato.</p> <p>El sistema carbonato bicarbonato está sujeto a procesos de disolución-precipitación, por lo que es conveniente analizar in-situ.</p> <p>Concentraciones mayores de bicarbonato son características de fluidos de origen superficial.</p>
<b>Sulfato</b>	<p>El ion sulfato proviene del lavado de materiales sedimentarios salinos, de la oxidación de sulfuros, de la descomposición de sustancias orgánicas, etc. La disolución de yeso representa la mayor</p>

	cantidad aportada de este ion a las aguas subterráneas. Su comportamiento está condicionado por su tendencia a formar iones complejos con Na y Ca y a incorporarse a procesos biológicos.
<b>Magnesio</b>	La solubilidad de la magnesita es mayor que la de la calcita por lo que en condiciones normales, puede producirse cierta sobresaturación de carbonato magnésico en el agua. La concentración de Mg en aguas geotérmicas es baja del orden de las décimas. En aguas superficiales de baja temperatura la composición de Mg es mucho mayor de la orden de las decenas.
<b>Sodio</b>	Proviene de la disolución de la mayoría de rocas y suelos, grandes concentraciones en combinación con el cloro suele indicar origen geotérmico.
<b>Potasio</b>	Proviene de la disolución de la mayoría de rocas y suelos, grandes concentraciones en combinación con el cloro suele indicar origen geotérmico, es esencial en nutrición de plantas.
<b>Calcio</b>	Proviene principalmente de la disolución de calizas, dolomitas y el yeso. Presenta gran problema de incrustación.
<b>Litio</b>	Se diluye en rocas durante intemperismo, las concentraciones suelen ser muy bajas, se encuentran en equilibrio con minerales indicando información de su temperatura, la razón de Na/Li identifica rocas metamórficas y la de Li/Mg de rocas carbonáticas.
<b>Boro</b>	Disolución de rocas en especial de origen ígneo. El agua de zonas térmicas y aquellas que se encuentran en áreas de actividad volcánica reciente, pueden contener altas concentraciones de boro. Es un elemento conservativo no afectado por reacciones agua-roca. Contenido relativamente alto en aguas termales.
<b>Sílice</b>	Generalmente proviene de disolución de la mayoría de rocas, produce problemas de incrustación en tuberías y calderas. Es un elemento fuertemente dependiente de reacciones sub superficiales con minerales de sílice y silicatos. En aguas de pH neutro y baja concentración de sílice el equilibrio de solubilidad lo gobierna la sílice amorfa mientras que altas concentraciones indican cuarzo.
<b>N<sub>2</sub></b>	Puede originarse de la atmósfera y disuelto en aguas meteóricas, pero también puede ser de origen magmático. Útil como indicador de dilución con agua superficial.
<b>SO<sub>2</sub>, HCl y HF</b>	Propios de sistemas volcánicos magmáticos.
<b>O<sub>2</sub></b>	Indican contacto con aire externo.
<b>CO<sub>2</sub></b>	Puede originarse de reacciones con rocas carbonatadas y minerales, rocas sedimentarias no carbonatadas, materia orgánica en sedimentos o puede ser parcialmente de origen magmático. Alto contenido en vapor separado de agua a alta temperatura.
<b>H<sub>2</sub>S</b>	Puede ser de origen magmático pero en muchos sistemas es producto de pirólisis a partir de las rocas. Alto contenido en vapor separado a alta temperatura.
<b>H<sub>2</sub></b>	Alto contenido en ambientes de alta temperatura.
<b>Ar y He</b>	Pueden formarse por lixiviación de la roca o por entrada de fluido magmático. La concentración de He en gases geotérmicos pueden exceder la del aire (5-2 ppm) por arriba de dos órdenes de magnitud).

FUENTE: MATERIAL DEL DIPLOMADO DE ESPECIALIZACIÓN EN GEOTERMIA, EL SALVADOR, 2014



**Tabla 4. Interpretación de relaciones de concentración química de especies de interés geotérmico.**

<b>Na/K</b>	Baja razón permite delimitar áreas de alta temperatura o zonas de directa migración, no responde tan rápidamente al enfriamiento con indicadores que utilizan sílice, alta razón puede indicar rutas indirectas que permiten reacciones agua roca o enfriamiento.
<b>CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>S, CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>/NH<sub>3</sub></b>	Disminuye en vapor separado a baja temperatura debido a reacciones con roca y agua. Baja razón y alto contenido de sulfhídrico en el primer caso sugiere un vapor originado debajo de la capa de oxidación y posiblemente en el acuífero de alta. Si la razón se incrementa en una dirección dada a través de un campo significa que el flujo inicia desde los valores menores, o sea en dirección contraria al incremento de temperatura. De manera general, altos valores indican viaje por largo trecho, indicando remoción de ácido sulfhídrico, hidrógeno y amonio.
<b>Cl/B, Cl/HCO<sub>3</sub>, Cl/SO<sub>4</sub></b>	Pueden proporcionar indicios de los límites de área explotada, patrones de circulación de fluidos, zona de carga y descarga y la distribución de la salinidad total del agua, altos valores indican zonas de alta temperatura.
<b>Na/Li</b>	Índice cualitativo de calidad geotermal. En sistemas de alta temperatura su valor ronda entre los 60-80 y en aguas normales puede llegar hasta valores de 1500 debido a procesos de mezcla y dilución de litio.
<b>Na/B Cl/B</b>	Tendencia constante o lineal indica misma fuente de origen, cuando el valor disminuye podría estar indicando procesos de dilución y en casos contrario de evaporación.
<b>Na/Ca</b>	Alta razón indica alta temperatura y movimiento más directo a la superficie, puede ser usado de manera similar a la relación de Na/K para delinear zonas de mayor ascenso de fluidos.
<b>Na /Mg</b>	Alta razón indica zonas de alta temperatura, valores bajos indican mezcla con agua fría.
<b>SiO<sub>2</sub>/K</b>	Incremento en su razón desde agua profunda a superficial, indica mezcla con agua fría con productos de alteración de potasio a baja temperatura, pequeños cambios denotan depositación limitada de la sílice durante el ascenso.
<b>Ca/HCO<sub>3</sub></b>	El calcio y el bicarbonato suelen tener relación inversa uno aumenta cuando el otro disminuye, alta razón indica zonas de alta temperatura.
<b>Ca/Mg</b>	Alta razón indica migración directa y poca dilución.
<b><sup>3</sup>He/<sup>4</sup>He</b>	Altos valores indican aguas superficiales y de manera contraria valores bajos procedencia magmática
<b><sup>40</sup>Ar/<sup>36</sup>Ar</b>	Altos valor indican procedencia magmática, en caso contrario atmosférico.
<b><sup>18</sup>O/<sup>16</sup>O</b>	Es el trazador más importante en estudio geotérmico y también usado en estudios hidrológicos de aguas calientes y frías. Puede ser utilizado en geotermómetros isotópicos y es una excelente herramienta para evaluar procesos de mezcla y separación de vapores.

FUENTE: MATERIAL DEL DIPLOMADO DE ESPECIALIZACIÓN EN GEOTERMIA, EL SALVADOR, 2014; (ISOTOPIC AND CHEMICAL TECHNIQUES IN GEOTHERMAL EXPLORATION; ARNÓRSSON, 2000)



### 2.2.5 Diagramas Triangulares

Giggenbach propuso la combinación de los geotermómetros de Na/K y K/Mg en un diagrama triangular, a partir del cual se pueden clasificar las aguas y extrapolar la probable temperatura del reservorio, de una manera más sencilla y directa. En este diagrama los dos sistemas están representados por dos conjuntos de líneas, uno para las razones de Na/K y otro para las razones de K/Mg, donde cada valor representa líneas isotermas. La intersección de las isotermas de Na/K y K/Mg, referidas a la misma temperatura, corresponden a la composición del agua en equilibrio con las fases minerales controlando ambos geotermómetros y delineando la llamada “curva de equilibrio total”.

Las muestras de pozos geotérmicos profundos generalmente se encuentran en la curva de equilibrio total, mientras las aguas de manantiales se encuentran por debajo de esta línea, con tendencia hacia el vértice de Mg<sup>1/2</sup>. La figura 2 presenta el diagrama triangular de Giggenbach [8].

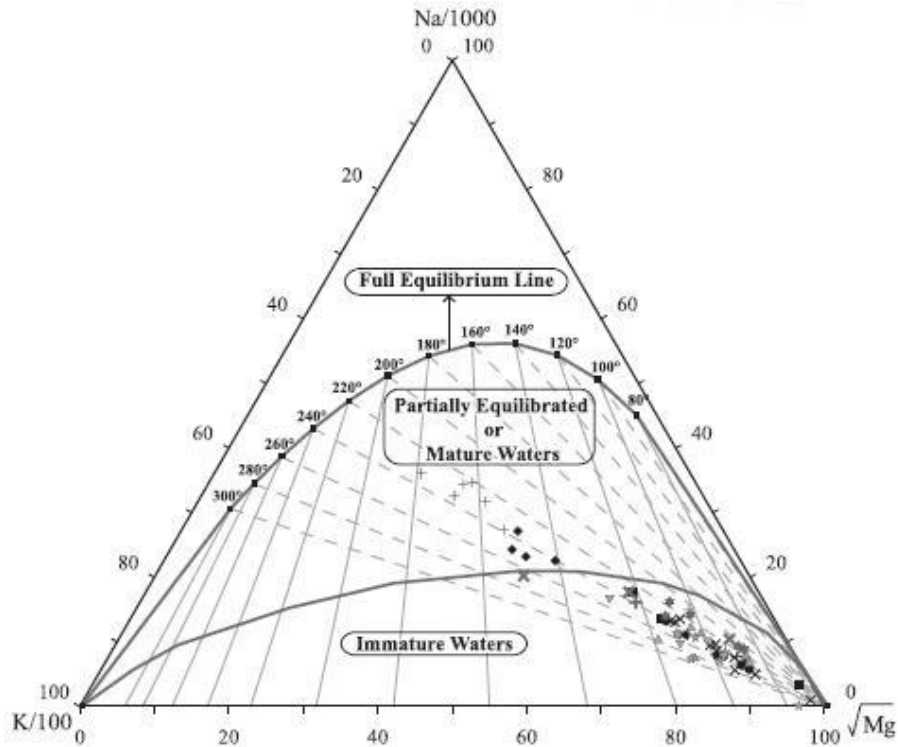


FIGURA 1. DIAGRAMA DE GIGGENBACH.

FUENTE: (ISOTOPIC AND CHEMICAL TECHNIQUES IN GEOTHERMAL EXPLORATION; ARNÓRSSON, 2000)

## 2.3 GEOTERMÓMETROS

### 2.3.1 Generalidades

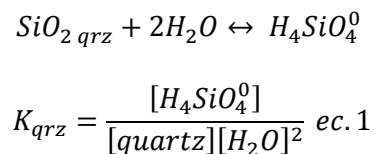
Los geotermómetros son herramientas de cálculo utilizadas para realizar estimaciones de las temperaturas del reservorio, a partir de la composición química de los manantiales termales donde estos descargan. Concretamente los geotermómetros son fórmulas en parte empíricas, en parte basadas en la teoría de equilibrio químico, para los cuales se asumen ciertas condiciones:

- ❖ Las reacciones dependientes de la temperatura se ajustan a la cantidad de los constituyentes disueltos en el agua
- ❖ Existe abundancia de los minerales y/o especies disueltas en el sistema
- ❖ Las aguas están en equilibrio con las rocas y los solutos que intervienen están en equilibrio químico entre sí
- ❖ Existe un flujo rápido hacia la superficie sin reequilibrio
- ❖ No existe mezcla o dilución del fluido en profundidad

Sin embargo, la veracidad de los resultados obtenidos mediante los geotermómetros depende en gran medida de la validez de las condiciones asumidas, las cuales no aplican en todas las situaciones. Algunas de las condiciones en las que es necesario reevaluar la validez de los geotermómetros es en el caso del enfriamiento conductivo (afecta el grado de saturación), enfriamiento adiabático (pérdidas de vapor o gases que causan cambios en la composición) y mezclas de aguas (causante de dilución o enriquecimiento de especies).

Existen dos métodos para la calibración de los geotermómetros, uno teórico y otro empírico o geoquímico. La calibración teórica se basa en experimentos de laboratorio para establecer valores de constantes de equilibrio para reacciones específicas de minerales – soluciones en los cuales se basa la ecuación geotermométrica, tal es el caso de los geotermómetros del cuarzo. La calibración empírica implica correlacionar concentraciones de componentes acuosas específicas en pozos de descarga con su temperatura de acuífero, tal es el caso de los geotermómetros de Na/K entre otros.

La ecuación de temperatura del geotermómetro se basa en una constante de equilibrio específica referida a una reacción específica mineral – solución, por ejemplo:



Dependiendo del tipo cinética de reacción y minerales considerados, así serán las diferencias que se aprecien entre los geotermómetros. Se proponen diferentes

calibraciones para el desarrollo de los geotermómetros, ello dependerá de la solubilidad de los minerales considerados y la temperatura de trabajo. La figura 2 presenta diferentes ecuaciones de solubilidad para el caso de los minerales de sílice, trabajando a diferentes temperaturas y diferentes cinéticas según el autor del geotermómetro <sup>[9]</sup>.

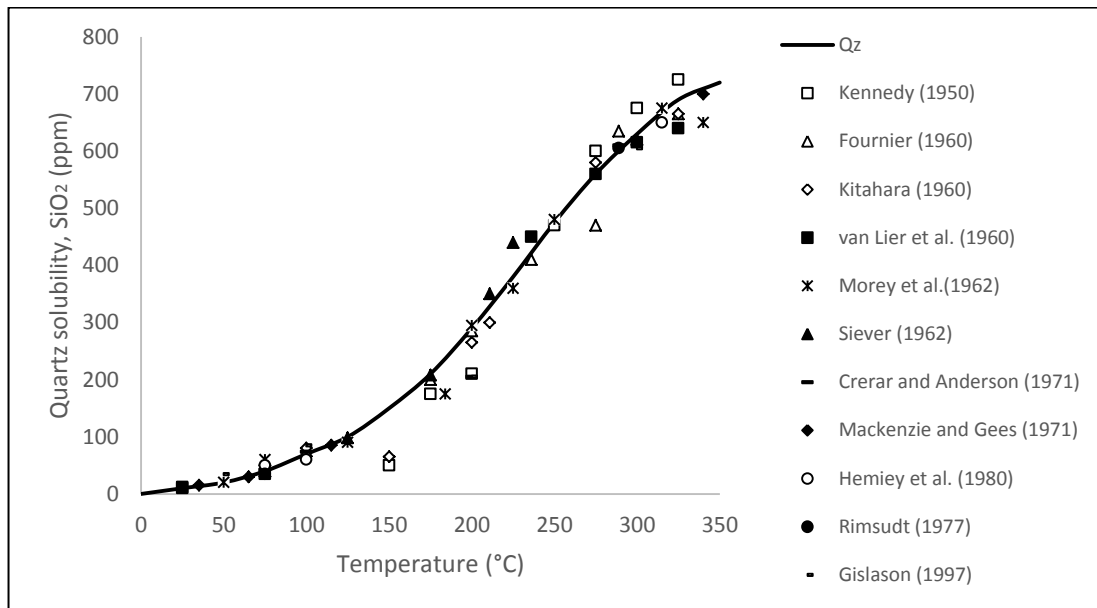


FIGURA 2. ECUACIONES DE SOLUBILIDAD A DIFERENTES TEMPERATURAS.  
FUENTE: (ISOTOPIC AND CHEMICAL TECHNIQUES IN GEOTHERMAL EXPLORATION;  
ARNÓRSSON, 2000)

En base a estas condiciones, se han propuesto más de dos docenas de geotermómetros, sin embargo, la experiencia de su uso a lo largo del tiempo ha limitado su utilización a los que generan los resultados más veraces. Los principales geotermómetros se clasifican de la siguiente forma:

### 2.3.2 Geotermómetros de agua o solutos

#### 2.3.2.1 Geotermómetros de sílice

La sílice presenta diferentes polímeros en la naturaleza (cuarzo, sílice amorfa, cristobalita, calcedonia, etc.), ante lo cual se han generado diferentes geotermómetros que se ajustan a la especie de sílice y su solubilidad. La solubilidad de la sílice es función de la salinidad, presión y temperatura, siendo esta última el factor más determinante. Por ello, la aplicación de muchos de estos geotermómetros está limitado por la temperatura del fluido, ya que la solubilidad de todos los minerales de sílice incrementa con el aumento de la temperatura, ello explica porque en los reservorios de temperatura elevada y constante, los líquidos alcanzan la saturación respecto al cuarzo

luego de grandes interacciones agua-roca; de igual forma ello es la razón por la que poca sílice polimeriza y precipita durante su ascenso relativamente rápido, aun cuando la saturación respecto al cuarzo ha sido considerablemente excedida.

Los principales geotermómetros de sílice se presentan en la tabla 6 a continuación con su respectiva ecuación.

Tabla 6. Ecuaciones principales de geotermómetros de sílice.		
Geotermómetro	Ecuación	Referencia
Cuarzo sin pérdida de vapor	$T = \frac{1309}{5.19 + \log SiO_2} - 273.15$	Fournier (1977)
Cuarzo con máxima pérdida de vapor 100°C	$T = \frac{1522}{5.75 + \log SiO_2} - 273.15$	Fournier (1977)
Calcedonia	$T = \frac{1032}{4.69 + \log SiO_2} - 273.15$	Fournier (1977)
Alfa cristobalita	$T = \frac{1000}{4.78 + \log SiO_2} - 273.15$	Fournier (1977)
Sílica amorfa	$T = \frac{731}{4.52 + \log SiO_2} - 273.15$	Fournier (1977)

FUENTE: (MANUAL DE GEOTERMIA, CIENCIAS DE LA TIERRA E INGENIERÍA DE RESERVORIOS; QUIJANO, 2007)

### 2.3.2.2 Geotermómetros catiónicos

Se basan en la concentración de los cationes principales Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup> y Mg<sup>2+</sup>, empleándose la razón de dos de estos cationes, por lo que son menos sensibles a efectos de dilución. La validez de cada geotermómetro dependerá de las concentraciones de los cationes, siendo más útiles algunos geotermómetros cuando un catión está presente en cantidades considerables. Algunos de los geotermómetros catiónicos más comunes son:

- ❖ Geotermómetro Na/K: se basa en el intercambio catiónico entre el aluminosilicato de sodio (albita) y el feldespato potásico (adularia). Preferentemente aplicable a temperaturas altas mayores a 150°C
- ❖ Geotermómetro Na-K-Ca: desarrollada y calibrada por Fournier y Truesdell (1973), es una relación empírica que reconoce la influencia del calcio presente en los minerales. Recomendable en el rango de temperatura entre 100°C y 300°C
- ❖ Geotermómetros Na-K-Ca-Mg: es un geotermómetro desarrollado por Fournier y Potter (1978) que aplica una corrección al geotermómetro Na-K-Ca, cuando la concentración de magnesio es alta
- ❖ Geotermómetro K-Mg: de rápido equilibrio y basado en la reacción entre clorita y feldespato<sup>[9]</sup>.

Los principales geotermómetros catiónicos se presentan en la tabla 7 a continuación con su respectiva ecuación.

Tabla 7. Ecuaciones principales de geotermómetros catiónicos.		
Geotermómetro	Ecuación	Referencia
Na - K	$T = \frac{855.6}{0.857 + \log \frac{Na}{K}} - 273.15$	Truesdell (1976)
Na - K	$T = \frac{1217}{1.483 + \log \frac{Na}{K}} - 273.15$	Fournier (1979)
Na - K	$T = \frac{933}{0.993 + \log \frac{Na}{K}} - 273.15$	Arnorsonn (1983)
Na - K	$T = \frac{1390}{1.75 + \log \frac{Na}{K}} - 273.15$	Giggenbach (1988)
Na - K - Ca	$T = \frac{1647}{\log \frac{Na}{K} + \beta \left[ \log \frac{\sqrt{Ca}}{Na} \right] + 2.47} - 273.15$	Fournier & Truesdell (1973)

FUENTE: (MANUAL DE GEOTERMIA, CIENCIAS DE LA TIERRA E INGENIERÍA DE RESERVORIOS. QUIJANO, 2007)

### 2.3.3 Geotermómetros de gases

El equilibrio químico de los gases depende no solo de la temperatura, sino también de su distribución entre las fases líquida y gaseosa, lo cual lo vuelve más complejo al intervenir más factores en la condición del equilibrio. Dos de las principales consideraciones del equilibrio alcanzado en la geotermometría de gases son:

- ❖ El flujo de gases desde la cámara magmática puede ser suficientemente vigoroso como para que en el reservorio no se alcance el equilibrio
- ❖ Es necesario conocer la saturación del vapor en el reservorio en casi todos los geotermómetros, caso contrario se recurre a ajustes empíricos

Las principales ventajas del uso de estos geotermómetros se encuentran en sistemas volcánicos, donde existen más fumarolas que manantiales y las fumarolas se encuentran generalmente sobre el reservorio (distancia corta hacia la superficie).

Contrariamente presentan la limitación que no son muy útiles en zonas no volcánicas y su química es más compleja que la del agua, así como también su muestreo es más difícil y costoso en términos económicos<sup>[8]</sup>.

### 2.3.4 Geotermómetros isotópicos

Debido a que el factor de fraccionamiento isotópico es función de la temperatura, si se sabe que dos sustancias o dos fases de una misma sustancia están en equilibrio isotópico, se puede determinar el fraccionamiento isotópico y con ello la temperatura de equilibrio. Existen muchos geotermómetros de este tipo, pero en la práctica solo pueden usarse unos cuantos, de entre los que destacan:

- ❖ Fraccionamiento de Deuterio o del Oxígeno 18 entre agua en estado de vapor y en estado líquido

- ❖ Fraccionamiento del Oxígeno 18 entre los sulfatos disueltos en agua y el agua misma
- ❖ Fraccionamiento del Deuterio entre el hidrógeno gas y el vapor de agua

El fraccionamiento agua-vapor, tanto en el caso del Deuterio como del Oxígeno 18, alcanza el equilibrio casi instantáneamente, por lo que refleja la temperatura de separación de las fases. El geotermómetro de Oxígeno 18 en sulfatos y agua es muy útil en la etapa de exploración, cuando existen manantiales clorurados sódicos de alta temperatura o hirvientes. En el caso de manantiales clorurados hirvientes con desprendimiento vigoroso de vapor y gases, se puede utilizar el geotermómetro del Deuterio en el vapor y en gas hidrógeno <sup>[8]</sup>.

## 2.4 MODELOS DE MEZCLA

### 2.4.1 Generalidades en Modelado de mezclas.

En su ascenso a la superficie el fluido hidrotermal tiende a enfriarse hasta una temperatura igual o menor que la temperatura de ebullición. Básicamente existen tres mecanismos que pueden permitir este enfriamiento: el enfriamiento adiabático (separación de vapor), la mezcla con aguas de menor temperatura y enfriamiento conductivo (pérdida de calor hacia la roca).

Normalmente los tres mecanismos intervienen en el enfriamiento en mayor o menor grado. Sin embargo, si los dos primeros intervienen de manera exclusiva o preponderante, es posible hacer un balance simultáneo de materia y entalpía que permita dilucidar los eventos ocurridos durante el ascenso del fluido. A este procedimiento interpretativo se le ha denominado modelado de mezclas.

El modelado de mezclas se basa en el carácter conservativo del contenido de calor del fluido, dado que se parte de la suposición de que la pérdida de calor a la roca es despreciable. Asimismo, se toma en consideración el carácter conservativo del contenido de especies químicas, como el ion cloruro, que permanecen en la fase líquida mostrando una escasa tendencia a intercambiarse por otros iones de los minerales de la roca.

Bajo ciertas circunstancias el contenido de sílice en el fluido se puede considerar como otro parámetro conservativo. Esto sucede si después de sufrir un enfriamiento adiabático, la fase líquida asciende a la superficie o se mezcla con agua fría con suficiente rapidez, de tal forma que la solución no permanezca por un tiempo prolongado con una sobresaturación de sílice que lleve a su precipitación. La inclusión de este parámetro en el proceso de modelado de mezclas es sumamente útil, debido a que la concentración de sílice en el líquido hidrotermal es predecible con base en la temperatura estimada del yacimiento. Varios autores han descrito métodos gráficos y analíticos para modelar los procesos de enfriamiento y de mezcla del líquido

hidrotermal con aguas de menor temperatura (Fournier y Potter, 1982; Fournier y otros 1979).

Normalmente el modelado de mezclas parte de un valor estimado de la temperatura en el yacimiento, y el resultado es un modelo que estima la salinidad (y composición isotópica) del líquido del yacimiento y se explica los procesos que dan lugar a la formación de las aguas de tipo clorurado sódica de la zona [8].

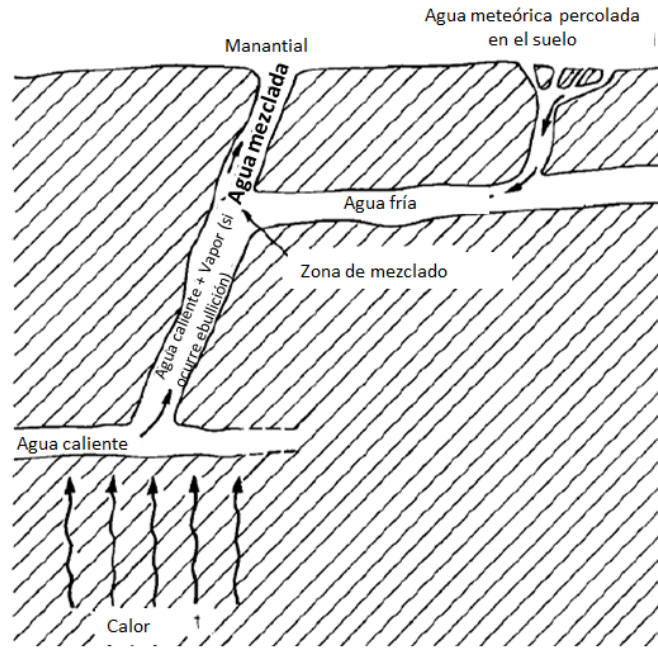


FIGURA 3. ESQUEMA DE UN MODELO DE MEZCLA;  
FUENTE: (ISOTOPIC AND CHEMICAL TECHNIQUES IN GEOTHERMAL EXPLORATION;  
ARNÓRSSON, 2000)

### Tabla 8. Ecuaciones para modelo de ebullición y mezcla de fuentes.

El grado de dilución desde altas concentraciones de cloruros a bajas concentraciones permite a través del balance de masa y energía calcular las temperaturas profundas. Fournier & Truesdell (1973) y Truesdell & Fournier (1975) han desarrollado un método para el cálculo de temperatura profunda y fracciones de agua termal para mezclas diluidas de fuentes superficiales que pueden ser afectadas por ebullición.

Las siguientes ecuaciones calculan la fracción másica y entalpía de componente profundo presente en una fuente superficial con características termales:

$$X = \frac{Cl^m H_{AV}^n (H_V^m - H_{SiO_2}^m) + Cl^n H_{AV}^m (H_{SiO_2}^m - H_A^{cf}) - Cl^{cf} H_{AV}^n H_{AV}^m}{Cl^n H_{AV}^m (H_V^n - H_A^{cf}) - Cl^{cf} H_{AV}^n H_{AV}^m}$$

$$H^{cp} = \left( \frac{H_{SiO_2}^m - H_A^{cf}}{X} \right) + H_A^{cf}$$

Donde

Cl: Contenido de cloruros

$H_A$ : Entalpía del agua a la temperatura de colección

$H_V$ : Entalpía de vapor

$H_{AV}$ : Entalpía latente de vaporización

$H_{SiO_2}$ : Entalpía de líquido correspondiente al geotermómetro de sílice (maximum steam loss).

Los subíndices m, n y cf denotan a las fuentes mezcladas, no mezcladas y frías respectivamente.

$H_{cp}$ : Entalpía específica

X: Fracción másica del componente profundo en el agua mezclada.

El modelo de mezcla de fuentes ebullicas asume conservación del cloruro y la entalpía así como reequilibrio con el cuarzo después de la mezcla.

Conociendo la concentración aproximada de cloruros y temperatura del agua profunda, puede ser estimado el mínimo flujo de calor natural y el potencial energético del área. Las fuentes probablemente descarguen a un río permitiendo que la cantidad total de cloro descargado en el área pueda ser determinado.

FUENTE: (CHEMICAL GEOTHERMOMETERS AND MIXING MODELS FOR GEOTHERMAL SYSTEMS; FOURNIER & TRUESDELL 1973)

Las aguas geotérmicas se encuentran sujetas a diferentes condiciones en el reservorio, el cual puede dar lugar a mezclas, enfriamientos, ebulliciones, y otros procesos que van cambiando en el tiempo, especialmente durante la explotación de un campo geotérmico. Uno de los procesos que particularmente provocan cambios considerables en la composición y temperatura del agua geotérmica, de entre otros parámetros, es la mezcla con aguas "frías" cerca de la superficie, lo cual supone que al llegar a algún manantial, se recibe un agua "tibia" y de composición intermedia entre ambas aguas. La figura 3 presenta un esquema de un modelo de mezcla de Fournier y Truesdell, 1974.

Los modelos de mezcla han sido desarrollados para realizar estimaciones de la componente del agua caliente en aguas mezcladas, emergiendo en manantiales o descargas de perforaciones superficiales.

Cuando se utilizan los modelos de mezcla para estimar temperaturas sub-superficiales, se asumen principalmente las siguientes condiciones:

- ❖ Siempre se asume conservación de masa y energía durante y después del mezclado



- ❖ Las reacciones químicas que ocurran después del mezclado son insignificantes y no modifican la composición del agua

Debido a que los procesos de mezcla generan cambios en la temperatura del fluido del reservorio, la comparación de las temperaturas calculadas a partir de estos puede ser un indicativo de los procesos que están ocurriendo en el reservorio, ya que los geotermómetros se basan en la composición de aguas geotérmicas. Los procesos de mezcla invalidan por tanto, el uso de geotermómetros de solutos, no solo debido a la dilución que se produce, sino también por la interacción agua – roca debido a las características relativamente reactivas de las aguas mezcladas.

El desarrollo de los modelos de mezcla considera diferentes especies del agua, principalmente elementos de carácter conservativo, de los cuales se conoce la tendencia en su comportamiento. Algunos de los modelos de mezcla desarrollados son:

- ❖ Modelo de mezcla de Entalpía – Cloruro
- ❖ Modelos de mezcla de manantiales calientes de Sílice – Entalpía
- ❖ Modelo de mezcla de Sílice – Carbonato
- ❖ Modelo de mezcla Sílice – Cloruros
- ❖ Modelo de mezcla Entalpía – Oxígeno 18

De los modelos antes mencionados, los tres primeros resultan de especial importancia en los estudios de reservorio, por lo que describen brevemente a continuación <sup>[8]</sup>.

#### **2.4.2 Modelo de mezcla de Entalpía – Cloruro**

Este modelo permite estimar temperaturas del componente de agua caliente en fluidos geotérmicos a partir de los datos de la composición del agua que ha sufrido mezcla o ebullición en grado variable. El modelo requiere del cálculo de entalpías para las muestras individuales, para ello es común utilizar geotermómetros de cuarzo y Na/K para estimar la temperatura sub-superficial de cada muestra, y mediante la ayuda de tablas de vapor, se calcula la entalpía del agua líquida.

El diagrama requiere de la construcción de una serie de líneas correspondientes a las concentraciones de cloro y su respectiva entalpía para el vapor saturado y el agua local fría, al final de lo cual se forma un triángulo. El diagrama permite determinar la entalpía del vapor del agua saturada y mediante ello conocer la temperatura. De igual forma el diagrama permite determinar si el agua es mezcla de agua caliente con fría, si el agua ha alcanzado ebullición previa al mezclado con el agua fría o si se trata de una variada combinación de procesos de ebullición y mezcla (Truesdell y Fournier 1975). La figura 4 presenta un modelo de mezcla de Entalpía – Cloruro <sup>[8]</sup>.

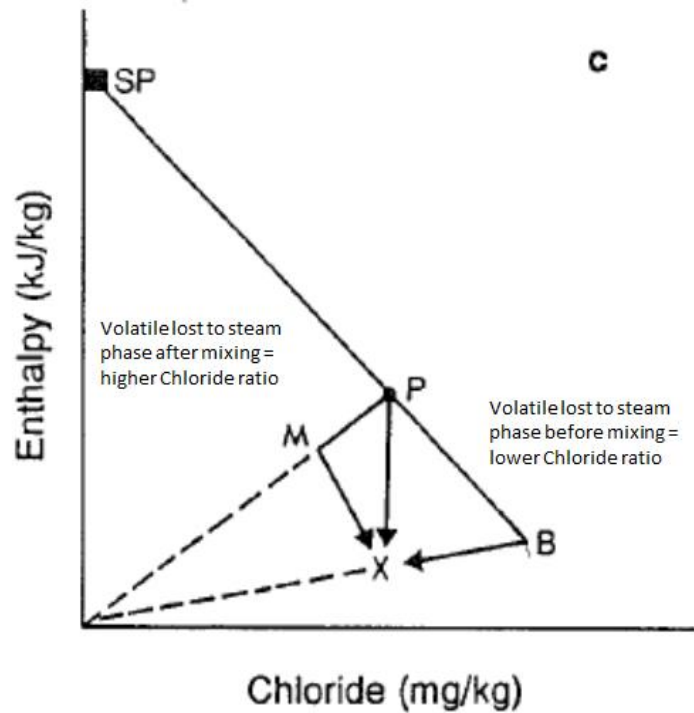


Figura 4. Modelo de mezcla Cloruro - Entalpía

#### 2.4.3 Modelos de mezcla de manantiales calientes de Sílice – Entalpía

Este modelo maneja separadamente aguas sin ebullición y mezclas de aguas con ebullición, pero no simultáneamente como en el caso de los modelos de mezcla de cloruro entalpía (Fournier 1977). Las condiciones asumidas en este modelo son:

- ❖ El cuarzo controla el contenido de Sílice del fluido
- ❖ Se asume un comportamiento conservativo para la Sílice luego del mezclado, de forma que las aguas mezcladas ni precipitan la Sílice, ni la disuelven de las rocas en cualquier grado
- ❖ No ocurre enfriamiento conductivo después de la mezcla.

#### 2.4.4 Modelos de mezcla de Sílice – Carbonato

Este modelo se basa en la relación entre la Sílice y los Carbonatos totales observados en muchos reservorios geotérmicos. Se basa por tanto en la condición de asumir que prácticamente toda la Sílice en reservorios de agua geotérmica ocurre como  $H_4SiO_4$  y prácticamente todo el carbonato como  $CO_2$ . Este modelo no solo sirve para estimar la temperatura del componente de agua caliente en aguas mezcladas, sino también para distinguir aguas que han ebullicido y no lo han hecho (Arnórsson 1985).

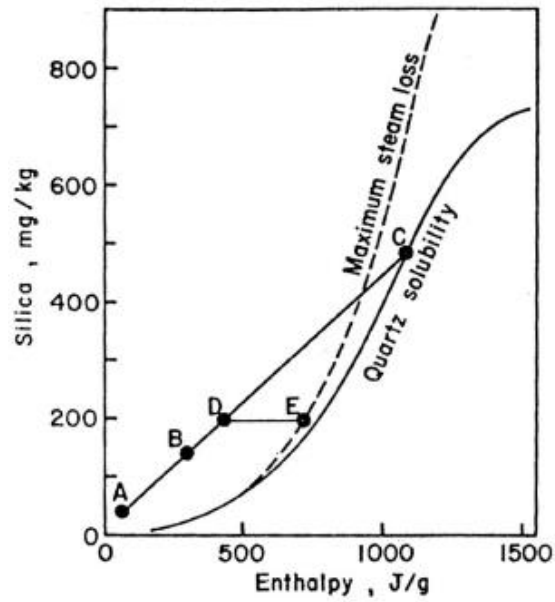


Figura 5. Modelo de mezcla Sílice - Entalpía

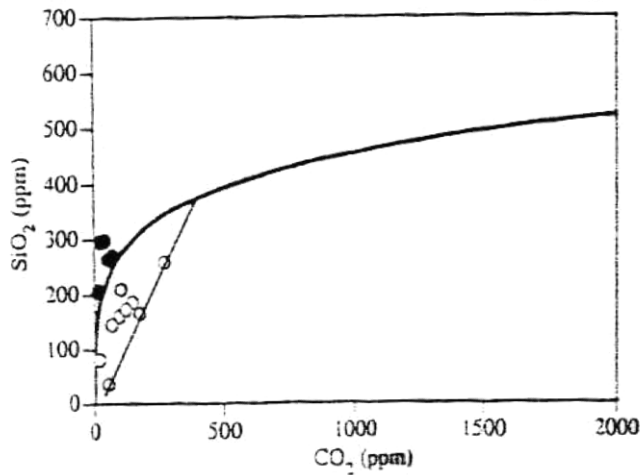


Figura 6. Modelo de mezcla Sílice – Carbonato.

### 2.5 EVALUACIÓN DE COMPOSICIÓN DEL FLUIDO EN RESERVORIO.

Para calcular la composición química total de fluidos en pozos del tipo líquido dominante es necesario recoger muestras de agua y vapor a la presión de separación, y calcular la razón agua/vapor en la descarga, y mediante estos valores conocidos se puede tener conocimiento de la entalpía total de descarga. Se debe tener presente que la composición total de la descarga del pozo puede o no corresponder a la composición del fluido inicial del yacimiento.

Para los pozos que solo descargan agua en estado líquido (caliente o fría) es obvio que el agua descargada es representativa del acuífero o depósito de agua. Sin embargo se debe considerar que enfriamiento del agua, podría provocar cambios en el estado de saturación del agua con respecto a los minerales, como resultado de precipitación o disolución de los mismos, así también como reacciones del material de la cubierta y el tubo.

Situación más compleja existe en los pozos de mezcla. La caída de presión creada alrededor de los pozos productores conduce a una considerable ebullición de agua, por ello los solutos ven aumentada su concentración en el agua en la misma proporción que el vapor se forma.

El caso más simple para la evaluación de la composición de la descarga total de los pozos de vapor húmedo se produce cuando el nivel de primera ebullición está dentro del pozo. Esto significa que solo existe agua líquida en el acuífero, incluso bajo condiciones de producción. En este caso, es razonable suponer que la masa y calor ascendente del fluido en el pozo se conservan. Por consiguiente, el contenido de calor de la descarga total y su composición son los mismos que a la entrada en el pozo. En términos termodinámicos el pozo se puede considerar un sistema aislado, y tenemos que:

$$H^m = H^v X + H^a(1 - X) \text{ (ec. 2)}$$

$$C_i^m = C_i^v X + C_i^l(1 - X) \text{ (ec. 3)}$$

En la ec. 2,  $H^m$  representa la entalpía total que está entrando al pozo, mientras que  $H^v$  y  $H^a$ , corresponden a las entalpías de vapor y líquido respectivamente, estos valores son particulares para la presión en la que fueron medidos los flujos. La ec. 3 es utilizada para el balance de masa de los diferentes componentes en el sistema de mezcla; Donde  $C_i^m$  es la concentración inicial del componente  $i$  en el fluido antes de la separación de fases,  $C_i^v$  es la concentración del componente  $i$  en la fase vapor y  $C_i^l$  representa la concentración del componente  $i$  en la fase líquida.

Después del proceso de ebullición la entalpía del agua del acuífero aumenta, y el sistema tiene la presencia de dos fases, el agua hervida y el vapor. La fracción de vapor de agua presente en cada punto dependerá solamente de la presión.

En los casos donde se da la primera ebullición, simplemente se puede calcular a partir de la medición de la temperatura en el pozo por debajo del nivel de la primera ebullición. Habiendo obtenido el valor y con la presión correspondiente a la presión de muestreo de una muestra en particular, se estará en condiciones de calcular las concentraciones de todos los componentes químicos en el agua del acuífero a partir de las muestras de vapor y agua a partir de la ec. 3. Habitualmente no se analizan los componentes que son sólidos en la fase vapor, ni la mayoría de componentes

gaseosos en las muestras de agua, en estos casos la ec. 3 se ve reducida haciendo cero la masa correspondiente <sup>[8]</sup>.

**Tabla 9. Ecuaciones que describen de manera aproximada la relación entre temperatura, presión y entalpía para vapor, agua saturada y calor latente de vaporización**

Las siguientes ecuaciones son válidas para un rango de temperaturas desde los 100°C hasta 370°C, “t” es la temperatura en grados Celsius y “T” en Kelvin, P la presión en bar absolutos, H es la entalpía para vapor de agua saturado y H<sub>av</sub> es el calor latente de vaporización en kJ/kg:

$$H = 35.9 + 3.6053t + 2.3838 \times 10^{-3}t^2 + 7.1004 \times e^{0.004t}$$

$$H_{av} = 2384.1 - 0.3960t - 9.1537 \times 10^{-3}t^2 - 1.9416 \times e^{0.004t}$$

$$P = \exp\left(18.2278 + \frac{318.200}{T^{0.5}} - \frac{9.0704 \times 10^7}{T^3}\right)$$

$$t = 99.69 + 0.12435P + 59.155 \log P - 19.979 \log P^2$$

$$H = 412.2 + 2.6730P + 285.034 \log P + 40.785 \log P^2$$

$$H_{av} = 2266.7 - 8.1861P + 3.5364 \times 10^{-2}P^2 - 1.3385 \times 10^{-4}P^3 - 172.61 \log P$$

FUENTE: (ISOTOPIC AND CHEMICAL TECHNIQUES IN GEOTHERMAL EXPLORATION; ARNÓRSSON, 2000)

En general, todos los componentes iónicos, así como la sílice y boro son analizados en la muestra de agua. Los gases condensables se determinan generalmente en la muestra de vapor. Los únicos componentes químicos determinados rutinariamente en muestras tanto de agua y de vapor son los carbonatos, deuterio, sulfuros, amoníaco y oxígeno-18; sin embargo no es algo general y en ocasiones solo se miden en una fase. Cuando estos se estiman en una sola fase, la concentración en la otra fase se puede calcular con el conocimiento del coeficiente de fraccionamiento, en el supuesto que se alcancen los equilibrios de estos isótopos entre las fases líquidas y vapor. Tal suposición es aparentemente aceptable, sin embargo, siempre es más prudente recoger muestras en ambas fases, al menos una vez en cada pozo con el fin de establecer que el equilibrio prevalece.

Los procesos de ebullición por caídas de presión producen un enfriamiento. El agua se enfría a medida se reduce y al mismo tiempo hace que el calor disponible se utilice en la evaporación. En algunos casos pueden darse enfriamientos hasta de 100°C. Estos enfriamientos y cambios de composición química asociados a este proceso, pueden convertir al agua que inicialmente estaba en equilibrio, a una condición de sobresaturación de algunos minerales e insaturada de otros. Como resultado de la sobresaturación, los respectivos minerales tienden a depositarse en la solución. La

cantidad de deposición depende del grado de sobresaturación producido, de la velocidad de reacción y la composición inicial del agua. Algunos minerales pueden no precipitar en absoluto a pesar de un alto grado de sobresaturación debido a su cinética lenta, tal es el caso del cuarzo. La calcita por otro lado, tiende a depositarse. Si al menos, uno de los componentes que forman el mineral se produce a baja concentración en el agua, la cantidad de mineral depositado será pequeño y limitado por la disponibilidad del componente menos abundante en el mineral. Las concentraciones del componente de baja abundancia pueden cambiar mucho entre el depósito y la superficie mientras que las concentraciones de los componentes más abundantes son menos afectadas. Esto siempre debe tenerse en cuenta al interpretar los datos sobre los elementos traza en los fluidos de los pozos de vapor húmedo.

En pozos con procesos de ebullición altos la extensión de la zona en que se producen depende de:

- ❖ Permeabilidad del acuífero.
- ❖ Tasa de flujo de masa.
- ❖ Período de tiempo que el pozo ha ido explotado.
- ❖ Niveles de recarga del acuífero.

En los procesos de ebullición la entalpía se conserva en la mayoría de los casos es decir la entalpía de descarga es la misma que la del agua saturada a temperatura del acuífero, en casos muy especiales se genera un exceso de entalpía, en los que la proporción de vapor en la descarga es más alta con respecto al fluido inicial del acuífero producido por la caída de presión.

En estos casos no son aplicables las ec. 2 y 3, y el método elegido para calcular las composiciones del fluido a partir de las muestras de agua y de vapor recogido en boca de pozo dependen del modelo seleccionado para explicar la causa de la entalpía de exceso. Se pueden considerar dos procesos que pueden conducir un aumento de vapor de agua en los cocientes de descarga del pozo. Uno de ellos es que el flujo de calor proveniente en la roca hacia el agua hirviendo fluye a través de la zona de despresurización del pozo. El otro proceso es la segregación de fases; en este el vapor fluye hacia el pozo pero el agua es parcial o totalmente retenida en el acuífero. En el primer proceso el exceso de entalpía en la descarga total será representativo de todo el fluido del acuífero. Si por otro lado, se ha producido segregación de fases, la descarga del pozo difiere en composición de fluido del depósito.

Existe un método simple por el cual se puede evaluar la importancia de los procesos cualitativamente si se tiene la variación de entalpía de descarga de datos químicos. Implica el trazado de las concentraciones del componente acuoso y del componente gaseoso contra entalpía de descarga en la descarga total, mediante el contraste se puede realizar interpretaciones sobre los posibles procesos existentes.

Si la segregación de fases se produce a una temperatura próxima a la temperatura de muestreo, no afectará a las concentraciones de solutos en la fase acuosa y gases en la fase vapor. En consecuencia la segregación de las fases hará disminuir las concentraciones del soluto en la fase acuosa y aumentar la concentración de gases en la descarga total. Si por el contrario las concentraciones de ambos componentes se mantienen constantes en la descarga total a pesar de los cambios en la entalpía de descarga, la causa del exceso de entalpía es el flujo de calor de la roca y no la segregación de las fases, y la composición química en descarga representará la composición del fluido del depósito. Cuando las concentraciones de componentes químicos en la descarga total de los pozos no se ven afectadas por los cambios de entalpía de descarga, la concentración de un soluto en la fase acuosa aumentará con el aumento de la entalpía de descarga, en particular cuando la descarga se aproxima a vapor seco. Por otro lado la concentración de un componente gaseoso en el vapor disminuirá [8].

**Tabla 10. Ejemplo de cálculo de la composición del fluido en el acuífero.**

A continuación se muestra un análisis de muestras de agua y vapor. La temperatura en el fondo del pozo es 181 °C. Los análisis realizados indican que el primer punto de ebullición está en el pozo. Por lo tanto es seguro asumir que solo existe agua líquida en el acuífero. Por lo tanto la entalpía de la descarga corresponde a la de agua líquida a 181°C y 767 kJ/kg. Las concentraciones de cada componente medidos en la muestra se detallan a continuación:

Muestra de agua (ppm)		Muestra de vapor (ppm )	
pH/20°C	8.82/20	CO <sub>2</sub>	51.6
SiO <sub>2</sub>	281	H <sub>2</sub> S	4.69
B	0.62	NH <sub>3</sub>	0.03
Na	153.3	H <sub>2</sub>	1.24
K	13.4	CH <sub>4</sub>	0.132
Ca	1.73	N <sub>2</sub>	4.15
Mg	0.002	O <sub>2</sub>	0
CO <sub>2</sub>	74.2	Ar	0.07
SO <sub>4</sub>	43.7		
H <sub>2</sub> S	19.2		
Cl	109.5		
F	1.82		

En este caso para los componentes que solo se encuentran en la fase líquida tenemos:

$$C_i^{res} = C_i^a(1 - X) \text{ ec. T10.1}$$

Para los componentes que se encuentran en la fase vapor:

$$C_i^{res} = C_i^a X \text{ ec. T10.2}$$

En tanto para los componentes que en las mediciones se encontraban en ambas fases (CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>S) se tiene que:

$$C_i^{res} = C_i^a(1 - X) + C_i^v X \text{ ec. T10.3}$$

Ya conocidas las ecuaciones a utilizar y teniendo de antemano los valores correspondientes a cada fase de los diferentes componentes, la única variable a determinar es la calidad del vapor de salida para esto:

$$X = \frac{H^{res} - H^a}{H_{av}} \text{ ec. T10.4}$$

Donde H<sub>av</sub>, es el calor latente de vaporización, H<sup>a</sup> es la entalpía de líquido saturado las cuales fueron obtenidas a partir de las ecuaciones de la tabla 8. H<sup>a</sup>=669 kJ/kg y H<sub>av</sub>=2089 kJ/kg, utilizando estos valores en la ecuación anterior se obtiene que:

$$X = 0.0469 \sim 0.047$$

Insertando el valor de calidad en las ecuaciones T91, T92 y T93; se obtienen las concentraciones de los diferentes componentes en el reservorio.

<b>SiO<sub>2</sub></b>	267.2	<b>Mg</b>	0.00	<b>F</b>	1.73	<b>CH<sub>4</sub></b>	0.103
<b>B</b>	0.59	<b>CO<sub>2</sub></b>	181.	<b>Cl</b>	104.1	<b>N<sub>2</sub></b>	5.69
<b>Na</b>	145.8	<b>SO<sub>4</sub></b>	41.6	<b>NH<sub>3</sub></b>	0.001	<b>O<sub>2</sub></b>	0
<b>K</b>	12.7	<b>H<sub>2</sub>S</b>	26.1	<b>H<sub>2</sub></b>	0.12	<b>Ar</b>	0.123
<b>Ca</b>	1.65						

FUENTE: (ISOTOPIC AND CHEMICAL TECHNIQUES IN GEOTHERMAL EXPLORATION; ARNÓRSSON, 2000)



## 3.0 EQUILIBRIO QUÍMICO

### 3.1 GENERALIDADES DE EQUILIBRIO QUÍMICO.

El estado de equilibrio es aquel en el cual las propiedades macroscópicas del sistema tales como la temperatura, densidad y composición química están bien definidas y no cambian con el tiempo. El estado de equilibrio puede referirse a alguna de las propiedades del sistema, existiendo así, el equilibrio mecánico, equilibrio térmico y equilibrio químico. Si se satisfacen las tres formas de equilibrio anteriores se dice que el sistema está en equilibrio termodinámico. Por ejemplo, en una roca, el estado de equilibrio (mineralógico) está gobernado, entre otros, por la composición química, la presión y la temperatura de los sistemas geológicos, que se reflejarán luego en la textura, la composición mineralógica y la naturaleza del material rocoso (Rodríguez & Gonzáles Partida, 1989)

En esta sección se hace énfasis en los procesos físicos que tienen alguna influencia en la composición de los fluidos de reservorios geotérmicos, en los cuales según los comportamientos de solubilidad se pueden dividir las especies químicas que lo componen en dos grupos:

Especies solubles: Cl, B, Br, As y Cs son los elementos de esta categoría, los cuales fácilmente se encuentran en solución generando apreciables alteraciones en las rocas. Todas ellas permanecen en solución y pueden ser consideradas como especies conservativas, lo cual es solo cierto para el Cl ya que las otras especies participan en reacciones cerca de la superficie.

Especies comunes en formación de rocas: SiO<sub>2</sub>, Na, K, Ca y Mg son algunas de las especies significativas en este grupo, para las cuales la solubilidad está controlada por la temperatura y únicamente pasan a solución luego de que se ha producido alguna alteración en el mineral en que se encuentran presentes.

El equilibrio entre el mineral y fluido juega un papel importante en la química de los fluidos de descarga, este depende principalmente de la temperatura, presión, salinidad y el tipo de rocas existentes en el sistema geotérmico. Existen dos tipos de reacciones mineral-fluido que deben ser consideradas: la disolución-precipitación y el intercambio iónico.

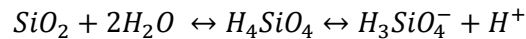
Las reacciones de solubilización son las que determinan que tanto habrá de una especie particular en la solución luego de que ocurra la precipitación. La temperatura es la variable dominante de control en la solubilidad de minerales existentes en sistemas geotérmicos, aunque el pH, presión y la composición salina pueden también generar un efecto. De manera esquemática existen tres comportamientos de solubilidad de los minerales:

1. La solubilidad mineral incrementa con un aumento de temperatura (ejemplo: cloruros de metales alcalinos).

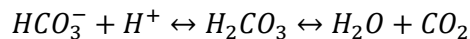
2. La solubilidad mineral disminuye cuando incrementa la temperatura; esto es conocido como solubilidad retrograda (ejemplo: Gypsita, anhidrita y calcita).
3. La solubilidad aumenta cuando incrementa la temperatura pero solo hasta un valor máximo y luego disminuye más adelante con aumentos de temperatura.

La sílice y la calcita son de particular importancia en sistemas geotérmicos ya que ellas gobiernan a la presencia de  $\text{SiO}_2$  y  $\text{Ca}$  en solución y son las dos especies que más causan incrustación en pozos.

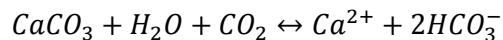
Sílice: La solubilidad de cualquier mineral de silicio (cuarzo, calcedonia etc.) se puede escribir:



El ácido silicio es un ácido débil, y produce iones hidrógeno. Si el pH de la solución aumenta, la solubilidad del silicio aumenta a medida el ion hidrógeno se consume en la próxima reacción:



Calcita: En los reservorios geotérmicos los fluidos están comúnmente cercanos a la saturación de calcita (Arnorsson, 1989). La calcita se encuentra presente, sin embargo, se produce a temperaturas cercanas a  $300^\circ\text{C}$ . La solubilidad de la calcita puede ser expresada por la siguiente reacción:



La solubilidad de la calcita aumenta cuando incrementa la presión parcial de dióxido de carbono. Al disminuir la presión parcial de  $\text{CO}_2$  a causa de ebullición, disminuye el pH de la solución lo que conduce a la supersaturación y precipitación de la calcita. <sup>[9]</sup>.

### 3.2 SATURACIÓN MINERAL

En la geotermometría es una práctica común suponer que una solución específica presenta equilibrio mineral para obtener una mejor comprensión de las diversas características físicas de los sistemas geotérmicos. No está de más insistir que el supuesto de equilibrio químico específico puede no ser del todo válido. Además, el agua de descarga es inevitablemente una mezcla de agua que se origina en diferentes sitios en el acuífero por lo que los diferentes componentes en la descarga pueden haber tenido significativamente diferentes temperaturas.

Para un fluido específico se podría hacer un cálculo fuera de equilibrio a cualquier temperatura simplemente como resultado de un modelo de proceso de mezcla. Sin embargo, el equilibrio local puede haber existido en varias partes del yacimiento geotérmico.

En sistemas químicos de una composición dada y en equilibrio general no hay más que dos variables independientes, estos son presión y temperatura. Si no existe equilibrio, las variables independientes siguen siendo la presión y temperatura además del número de componentes que no están en equilibrio. En el caso de los sistemas geotérmicos de ebullición, las variables independientes son la presión y el número de componentes no equilibradas. Aquí, la temperatura depende de la presión, en este caso se selecciona un valor de presión para poder asignar la temperatura. Alternativamente también se podría seleccionar un valor para la temperatura que a su vez permitirá especificar la presión.

Cuando se estudia equilibrio entre aguas geotérmicas y minerales específicos, o entre los componentes en la fase líquida, se debe especificar la temperatura a la que el sistema puede estar en equilibrio. Si el fluido se mezcla y sus componentes no tienen la misma temperatura el sistema puede o no lograr el equilibrio. Debe quedar claro que no hay manera de demostrar el equilibrio a menos que se pueda identificar la composición y la temperatura de los componentes individuales en la mezcla, lo cual no es posible, por eso siempre es importante ser consciente de estas limitaciones que intervienen en la evaluación de los equilibrios en la solución.

Anteriormente se mencionó que las propiedades termodinámicas de minerales y especies acuosas son función de la presión y la temperatura. De manera general el efecto de la temperatura es mucho mayor que el efecto de la presión sobre todo si se tiene en cuenta el rango de valores de los mismos que se manejan en los sistemas de aguas subterráneas.

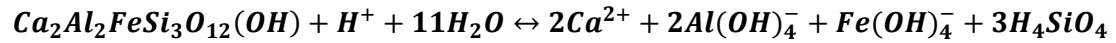
Existen básicamente dos etapas implicadas en los cálculos de saturación mineral en fluidos de pozos con acuíferos que presentan dos fases. El primer paso implica la composición química del fluido del depósito a partir de los datos de la composición del agua líquida y el vapor en la cabeza del pozo. La segunda implica el cálculo de la especiación acuosa de la composición del fluido en el acuífero a una temperatura seleccionada. Para las descargas monofásicas, tales como pozos de agua caliente o aguas termales solamente se realiza el paso de especiación acuosa.

Para los cálculos de especiación acuosa se hace necesario el uso de programas especializados. Tales programas permiten el cálculo de las diferentes especies activas en el acuífero, para ello se obtienen los cocientes de reacción individuales para cada mineral. La comparación posterior de los cocientes de reacción con las constantes de equilibrio permite denotar el estado del sistema acuoso bajo las siguientes premisas:

- Si el cociente de reacción ( $Q$ ) es igual a la constante de equilibrio ( $K$ ) la especie se encuentra en equilibrio bajo las condiciones del reservorio.
- Para especies que se encuentran en forma sobre saturada, el cociente de reacción ( $Q$ ) es mayor a la constante de equilibrio ( $K$ ).
- En soluciones insaturadas el valor del cociente de reacción ( $Q$ ) es menor al valor de la constante de equilibrio ( $K$ )<sup>[8]</sup>.

**Tabla 11: Ejemplo de cálculo de cociente de reacción.**

Para explicar la forma de cálculo del cociente de reacción entre una solución acuosa y epidota, un mineral bastante complejo y común en sistemas geotérmicos. La reacción entre los minerales y la especie acuosa se detalla a continuación:



Las reacciones anteriores representan la disolución que está ocurriendo, y en ellas el cociente de reacción viene dado por:

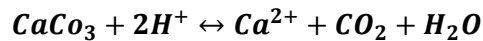
$$Q_{ep} = \frac{[Ca^{2+}]^2 [Al(OH)_4^-]^2 [Fe(OH)_4^-] [H_4SiO_4]^3}{[Ca_2Al_2FeSi_3O_{12}(OH)] [H^+] [H_2O]^{11}} \text{ ec. T12. 1}$$

Donde  $Q_{ep}$  es el cociente de reacción de la epidota.

Las sustancias puras presentes en las ecuaciones de reacción, en el cálculo del cociente se les asigna un valor de 1, de misma manera suponiendo que la reacción se encuentra muy diluida, se obtiene una muy buena aproximación que permite asignar al valor de la actividad del agua un valor de 1 reduciendo la ecuación a:

$$Q_{ep} = \frac{[Ca^{2+}]^2 [Al(OH)_4^-]^2 [Fe(OH)_4^-] [H_4SiO_4]^3}{[H^+]} \text{ ec. T12. 2}$$

Para explicar la forma de cálculo del cociente de reacción entre una solución acuosa y calcita, un mineral de composición simple. La reacción entre los minerales y la especie acuosa se detalla a continuación:



Las reacciones anteriores representan la disolución que está ocurriendo, y en ellas el cociente de reacción viene dado por:

$$Q_{cal} = \frac{[Ca^{2+}] [CO_2] [H_2O]}{[CaCO_3] [H^+]^2} \text{ ec. T11. 3}$$

Donde  $Q_{cal}$  es el cociente de reacción de la calcita

Las sustancias puras presentes en las ecuaciones de reacción, en el cálculo del cociente se les asigna un valor de 1, de misma manera suponiendo que la reacción se encuentra muy diluida, se obtiene una muy buena aproximación que permite asignar al valor de la actividad del agua un valor de 1 reduciendo la ecuación a:

$$Q_{cal} = \frac{[Ca^{2+}]}{[H^+]^2} \text{ ec. T12. 4}$$

FUENTE: (ISOTOPIC AND CHEMICAL TECHNIQUES IN GEOTHERMAL EXPLORATION; ARNÓRSSON, 2000)

La evaluación cuantitativa de la química del fluido en pozos se debe realizar de manera rutinaria, sus objetivos principales son:

- Monitoreo de la temperatura del acuífero.
- La evaluación de los equilibrios minerales de las soluciones, e identificar las especies próximas al equilibrio.
- Cálculo de la proporción de vapor de agua en el acuífero.
- Relacionar las concentraciones de las especies conservativas del acuífero con las condiciones físicas que se deducen del estudio a los componentes activos del mismo.

### 3.2.1 Efectos de ebullición y enfriamiento.

En sistemas en que el agua geotérmica se eleva por encima de 100°C, cuando la presión se ve altamente reducida da lugar a procesos de ebullición, los cuales generan principalmente dos cambios en la composición del fluido:

- Proceso de desgasificación del agua.
- Aumento de concentración de sólidos disueltos.

En cuanto a gases, el CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>S son los principales gases de estudio en fluidos geotérmicos, los cuales generalmente son invariables, salvo con temperaturas mayores a 200°C donde se pueden formar ácidos muy débiles cuando se disuelven en el agua, lo cual genera un aumento del pH.

Muchos minerales tales como calcitas y silicatos poseen una conducta en cuanto a solubilidad dependiente al pH, por lo tanto de manera conjunta con la concentración de sólidos en procesos de ebullición y el enfriamiento son los principales causantes de los cambios en el estado de saturación del agua. En el caso de enfriamiento, aunque no hay ebullición, también conduce a cambios de pH debido a las constantes de disociación de los ácidos buffer, bajo esta premisa se puede ver que el pH es otro componente dependiente a la temperatura del sistema. Cuando el estado final de un mineral es sobre saturación, independientemente el proceso se de ebullición o enfriamiento, el mineral en específico tiende a precipitar, sin embargo este hecho no ofrece mayor información para conclusiones sobre la tasa de depositación <sup>[8]</sup>.

### 3.2.2 Principales errores en cálculo de índice de saturación.

El valor del cociente de reacción para un mineral en específico generalmente suele diferir con respecto al valor de la constante de equilibrio, en estos casos una interrogante oportuna es ¿Cuánta debe ser la diferencia para considerarse significativa?, dar respuesta a esta interrogante presenta ciertas problemáticas, entre ellas el hecho que la precisión con la que se puede determinar la constante de equilibrio difiere mucho entre cada uno de los minerales. Los programas utilizados para el cálculo del cociente de reacción y las constantes de equilibrio no suelen proporcionar información sobre los errores involucrados en el cálculo de estos. Por lo cual es tarea del usuario la interpretación de los resultados obtenidos.

Existen muchas fuentes de error involucradas en el cálculo de Q y K, las cuales se pueden clasificar en los siguientes grupos:

- Error en la base de datos termodinámico de los programas de especiación, con respecto a las constantes de solubilidad y equilibrio de disociación.
- Error en la temperatura de referencia seleccionada.
- Error en el cálculo de la composición del fluido en el acuífero a partir de datos sobre muestras de agua y vapor recolectadas. Esto es complejo en casos en que ebullición provoca un exceso de entalpía.
- Mezcla de aguas de descarga. En estos casos la selección de una temperatura de referencia particular no es válida, y más bien se considera como una aproximación en el mejor de los casos.
- Error en el intervalo de confianza de cada programa para la interpretación de resultados, en caso del programa WATCH diferencias de +/- 0.25 en el cálculo del Índice de saturación pueden ser aceptados para la realización de conclusiones. Sin embargo en la experiencia resulta que muchas veces un valor de 0.25 indicaría saturación aunque como se mencionó dicho valor está en equilibrio.

Otro error común se encuentra dado por la imprecisión analítica de los registros de Q, el cual varía mediante pequeñas modificaciones de la concentración de los componentes individuales. En general el parámetro más preocupante es el pH así como los cambios en concentraciones de gases en el vapor. Para ello es oportuna la realización de estudios de sensibilidad para registrar variaciones de Q con respecto a valores analíticos <sup>[8]</sup>.

## 4.0 PROGRAMA WATCH DE ESPECIACIÓN QUÍMICA.

### 4.1 INTRODUCCIÓN AL PROGRAMA DE ESPECIACIÓN QUÍMICA WATCH.

El programa de computadora WATCH es una herramienta útil para la interpretación de la composición química de fluidos geotérmicos, aunque también es útil para estudios en aguas no termales. El programa lee análisis químicos de agua, gas y muestras de condensado de vapor recogido en superficie y calcula la composición química de los fluidos de fondo de pozo o acuíferos. Esto incluye el pH, la especiación acuosa, las presiones parciales de los gases, los potenciales redox y productos de actividad para reacciones de disolución mineral. Este programa fue diseñado inicialmente en 1977 por la Autoridad de Energía Nacional de Islandia y con el paso del tiempo, ha sido constantemente modificado y mejorado para el desarrollo de una mejor interpretación.

El programa trabaja con dos tipos de información, por un lado los datos de entrada que el usuario introduce al programa, y por el otro lado los datos de salida producto de los cálculos que el programa realiza.

Actualmente el programa se encuentra en su versión 2.4, la cual fue actualizada en abril de 2010<sup>[9]</sup>.

#### 4.1.1 Datos de entrada

La entrada al programa es desde un archivo que contiene un análisis de componentes de cada fase de los fluidos geotérmicos en superficie, incluyendo el pH del agua y la temperatura de referencia a la cual se midió la composición. Otro dato de entrada que se proporciona incluye una especificación de la temperatura de referencia, es decir, la temperatura a la que la especiación acuosa se calculará.

Las concentraciones de las especies consideradas en el programa se expresan en términos de las concentraciones de los componentes de las ecuaciones de balance de masa, y los equilibrios químicos entre las especies se expresan como ecuaciones de acción de masas. Los dos conjuntos de ecuaciones se resuelven simultáneamente por un procedimiento iterativo. Este procedimiento se lleva a cabo un par de veces durante cada ejecución del programa.

Se obtiene una estimación inicial de la fuerza iónica del agua usando sólo las concentraciones de los principales cationes. Este valor de la fuerza iónica se utiliza para calcular coeficientes de actividad, a la temperatura de la medición del pH, usando la ecuación extendida de Debye-Hückel. Las ecuaciones de equilibrios químicos y balance de masa se resuelven simultáneamente a esta temperatura para producir una distribución de las especies. Desde la nueva distribución de las especies, una fuerza iónica adecuada se calcula. Esta fuerza iónica se utiliza para

volver a calcular los coeficientes de actividad y concentraciones de las especies, siempre a la temperatura de la medición del pH.

Las concentraciones de los aniones de los ácidos débiles y sus complejos ahora se suman, ponderado por el número de protones que cada uno puede aceptar, para dar una suma, SUMWA. Esta cantidad, que es una medida de la alcalinidad, en cierto sentido, se supone que es constante para una muestra dada, independiente de la temperatura. Esta propiedad se utiliza para calcular el pH a la temperatura de referencia. Antes de hacerlo, sin embargo, la fase de vapor, si es que se recogió, se añade para producir una concentración de componente para la descarga total. El cálculo de pH, el cálculo de los coeficientes de actividad, la iteración balance de masa, y el cálculo de la fuerza iónica son todos, a su vez, llevados a cabo un número de veces. Las presiones de gas de equilibrio se calculan entonces a partir de las concentraciones de las especies de equilibrio final.

Cuando el programa es usado para calcular como están distribuidos los componentes químicos en el agua y vapor cuando ocurre la ebullición dentro la roca matriz, es posible seleccionar que cantidad de desgasificación debe de ser estimada. El coeficiente de corrección para la desgasificación que es introducido es válido en el rango de 0.01 a 1.00. Este coeficiente determina si se trata de una cuestión de desgasificación máxima (=1) de acuerdo al coeficiente de distribución de los componentes químicos en cuestión, o si se trata de una cuestión de desgasificación parcial únicamente (<1).

La temperatura de referencia mencionada anteriormente se puede elegir en algunas maneras. Puede ser elegida como la temperatura medida del pozo o del manantial, o el valor geotermométrico de química de sodio-potasio, como calcedonia, cuarzo. Las temperaturas geotermométricas se calculan a partir de las actividades de las especies químicas respectivas. Esto significa que los cálculos de pH y de especiación se deben repetir cada vez que la temperatura de geotermómetro se actualiza. Esto se itera hasta que la temperatura es auto-consistente dentro de 0.01 grados. Finalmente, la temperatura de referencia también puede ser elegida arbitrariamente<sup>[9]</sup>.

#### 4.1.2 Resultados de salida

La salida del programa enumera las concentraciones de los componentes y especies a la temperatura de referencia, así como los coeficientes de actividad. Equilibrio iónico, temperaturas geotermométricas, presiones parciales de los gases y potenciales redox también se obtienen como respuesta de salida. Finalmente, los productos de la actividad iónica y productos de solubilidad de los minerales seleccionados se calculan y se imprimen. De éstos, los índices de saturación correspondientes se pueden obtener trivialmente.



El programa WATCH también puede utilizarse para calcular las concentraciones de especies resultantes, coeficientes de actividad, productos de actividad y productos de solubilidad cuando el fluido equilibrado se permite enfriar por conducción o por ebullición adiabática de la temperatura de referencia a alguna temperatura más baja. Esto es particularmente útil en el estudio de incrustaciones.

Cabe señalar que ya que los coeficientes de actividad son obtenidos por la ecuación extendida de Debye-Hückel, las actividades calculadas se vuelven cada vez menos precisas a concentraciones más altas. Los resultados de los cálculos de las soluciones con fuerza iónica superior a 0.5, más o menos, deben ser tratados con precaución.

Al calcular la composición del acuífero, en particular, la distribución y las presiones parciales de los gases, el programa utiliza uno de tres modelos. El primero de estos es aplicable a pozos de vapor húmedo con "exceso" de entalpía, es decir, el caso en el que coexisten agua líquida y vapor en el depósito. El segundo modelo es apropiado para pozos de agua caliente, los fluidos de aguas termales que no han ebullición antes de la toma de muestras, y los pozos de vapor húmedo en una sola fase (líquido) acuíferos. El tercer modelo describe aguas termales en ebullición, donde el vapor y el gas se han perdido antes de la toma de muestras por la ebullición del fluido de la temperatura de referencia a una temperatura final asumida. En este caso, la composición original se reconstruye mediante el cálculo y la adición previa del vapor y el gas perdido.

El orden en que los datos son presentados a la salida luego del uso del programa WATCH es el siguiente:

En la primera página se imprimen los datos de entrada. Luego de ello la fuerza y balance de los iones es calculada. Luego sigue el cálculo de la composición del agua subterránea (y de la fase gas si está presente) así como de la presión de vapor. Si el agua ha ebullición antes del muestreo, el valor del coeficiente de corrección en relación a la razón de desgasificación se imprimen después. Si el agua no ha ebullición antes del muestreo, el agua subterránea es idéntica al agua muestreada.

En la segunda página se presentan primero los coeficientes de actividad y luego la fuerza de los enlaces químicos en el agua profunda. Seguidamente las razones calculadas de la fuerza iónica y balance en el agua profunda, y finalmente la temperatura química calculada (en °C) así como la proporción de  $1000/T$ , donde T es la temperatura de referencia en K. Al final de esta página el nivel de oxidación y la capacidad de los minerales de disolver en el agua subterránea se pueden determinar. Existen dos valores para cada mineral. La primera da la capacidad de disolución a la temperatura de referencia, el otro es calculado en la base de los coeficientes de actividad de los químicos involucrados en la formación de cada tipo de mineral. Si estos valores son iguales o casi iguales (dependerá del tipo de mineral que será considerado como una diferencia importante) el agua está en balance con el mineral

en cuestión. Si algunos químicos están ausentes es imposible calcular el estado de balance en relación al mineral en particular en la base del análisis químico, 99,99 será impreso.

Si la ebullición ha sido calculada, un poco más de una página extra de la impresión se seguirá por cada “fracción de ebullición”. Al inicio de la primera página la temperatura a la cual la temperatura ebulle se imprime. Luego siguen los logaritmos de los coeficientes de distribución de CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>S así como el coeficiente de corrección de la razón de desgasificación, seguido de la información del agua, el vapor y la presión de vapor luego que el agua ha ebullo. Luego se presentan los coeficientes de actividad y la fuerza de los enlaces químicos. Al final de la página la primera página de resultados, la fuerza iónica y el balance son calculados. En la segunda página de resultados se encuentra información de los niveles de oxidación y la capacidad de disolver de los minerales.

Finalmente hay una página concerniente a cada nivel de temperatura de enfriamiento. En la parte superior se presenta la temperatura a la cual el nivel de enfriamiento es calculado. Luego se presentan nuevamente los coeficientes de actividad, fuerza en enlaces químicos, fuerza iónica, balance iónico, nivel de oxidación y finalmente, la capacidad de disolver de cada mineral para las temperaturas de enfriamiento <sup>[9]</sup>.

Tabla 12. Minerales en base de datos del programa de especiación química WATCH			
Adularia	$KAlSi_3O_8$	Moscovita	$KAl_2(SiAl)O_{10}(OH,F)_2$
Anhidrita	$CaSO_4$	Pyrita	$FeS_2$
Mg-Clorita	$Mg_5Al(Si_3Al)O_{10}(OH)_8$	Wollastonita	$CaSiO_3$
Laumonita	$Ca(AlSi_2O_6)_2 \cdot 4H_2O$	Marcasita	$FeS_2$
Ca- Montmorillonita	$Ca_3(Mg,Al)_6(Si_4O_{10})_3(OH)_2H_2O$	Sílice Amorfa	$SiO_2$
Na- Montmorillonita	$Na_3(Mg,Al)_6(Si_4O_{10})_3(OH)_2 \cdot 3H_2O$	Analcima	$Na(AlSiO_6) \cdot H_2O$
Pirrotina	$FeS$	Calcedonia	$SiO_2$
Wairakita	$Ca(Si_4Al_2)O_{12} \cdot 2H_2O$	Goethita	$FeO(OH)$
Epidota	$Ca_2(Al,Fe)_3(SiO_4)_3(OH)$	Magnetita	$Fe_3O_4$
Crisotilo	$Mg_3Si_2O_5(OH)_4$	Mg- Montmorillonita	$Mg_3(Mg,Al)_6(Si_4O_{10})_3(OH)_2H_2O$
Albita	$NaAlSi_3O_8$	Prenita	$Ca_2Al_2Si_3O_{10}(OH)_2$
Calcita	$CaCO_3$	Cuarzo	$SiO_2$
Fluorita	$CaF_2$	Zoisita	$Ca_2Al_3(SiO_4)_3OH$
Microclina	$KAlSi_3O_8$	Talco	$Mg_3Si_4O_{10}(OH)_2$
K- Montmorillonita	$K_3(Mg,Al)_6(Si_4O_{10})_3(OH)_2 \cdot 3H_2O$		

FUENTE: LISTA DE MINERALES EN FUNCIÓN DE RESULTADOS DEL PROGRAMA WATCH; FORMULA QUÍMICA DE MINERALES EXTRAÍDA DE MANUAL DE IDENTIFICACIÓN DE ROCAS Y MINERALES (PELLANT, 1993)

## 4.2 GUÍA DEL USUARIO

### 4.2.1 Archivo de entrada.

Para ejecutar el programa WATCH, primero hay que crear el archivo de entrada. Hay dos maneras de hacer esto. Una es ejecutar el programa WAIN, el cual solicita al usuario los valores de concentración de los componentes individuales y demás datos, y escribe dichos datos de entrada en un archivo con el formato apropiado. La otra forma es editar un archivo ya existente utilizándolo como plantilla. El archivo de entrada sólo

necesita contener la composición de los componentes de una muestra, sin embargo una secuencia de muchas muestras puede ser incluida en un archivo o todas las que se deseen.

La primera línea de entrada es un encabezado fijo introduciendo el archivo como un archivo de entrada de WATCH. El resto del mismo se compone de tres conjuntos de registros cada uno. El primer registro de cada conjunto está en blanco, para facilitar la lectura. La segunda línea del conjunto identifica el componente cuyo valor entra en el tercer registro, directamente debajo de la identificación. El valor se puede introducir en cualquier parte del espacio bajo la identificación, en la tercera línea del conjunto, hasta e incluyendo los corchetes angulares que lo encierran. Esta tercera línea del conjunto se hará referencia como la línea de datos.

La primera línea de datos tiene espacio para un número de muestra (u otra identificación de tipo similar) y para la ubicación de la muestra. La temperatura, presión, entalpía y descarga medidas van en la siguiente línea de datos. En el caso de la entalpía es preferible dejar que el programa la calcule en base a las condiciones de temperatura y presión, caso contrario se pudieran dar inconsistencias entre las temperaturas y la entalpía introducidas. La descarga únicamente es para la impresión de los datos y nunca se utiliza en el cálculo. El valor de la temperatura se utiliza únicamente si así se desea durante la ejecución del programa. Los valores de presión y entalpía se utilizan únicamente en el caso de una muestra de dos fases de un pozo de vapor de alta temperatura. Incluso en ese caso el valor de entalpía se puede omitir, en cuyo caso WATCH asume que la entalpía del fluido es la del agua saturada a la temperatura de referencia. La presión está en bar-gauge. Las cinco líneas de datos siguientes listan las concentraciones de los componentes en la fase acuosa, y las siguientes dos líneas de datos, las concentraciones de la fase gas. La fase de condensado y todos los datos de vapor están en las dos líneas de datos finales. Específicamente, la penúltima línea de datos proporciona las concentraciones de CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>S en el vapor total. Estos valores se obtienen por lo general mediante la colección en solución alcalina en un frasco de evacuado. Si no es cero, se sustituyen las concentraciones de CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>S en fase gaseosa. Si el archivo contiene los datos de otra muestra, el título y el primer conjunto de registros para esta muestra siguen inmediatamente.

Para ejecutar el programa, los datos del archivo no tienen por qué estar completos. En particular, las líneas de datos para el gas, vapor y fase de condensado pueden dejarse en blanco. En este caso, la muestra será tratada como una muestra de agua en una sola fase. El programa, además, se podrá ejecutar si este análisis de aguas está incompleto. Si muchos de los componentes, o los principales no están, los resultados no serán muy significativos, lo cual queda a juicio del usuario <sup>[10]</sup>.

#### 4.2.2 Ejecución del programa.

Si un archivo de entrada ya está disponible, el programa se puede ejecutar. Después de abrir el programa, lo primero que se solicita al usuario es el nombre del archivo de

entrada. El valor por defecto es WATCH.IN, y el programa buscará un archivo con este nombre si el usuario responde a la solicitud con <RETURN> o <ENTER>. De lo contrario, el nombre de archivo proporcionado será utilizado.

Las dos siguientes indicaciones pueden ser contestadas con retornos de carro si así se desea. Los ítems solicitados son: primero, el nombre de usuario, o la fecha, u otra etiqueta similar para la impresión; y en segundo lugar, el encabezado de impresión. Estos, por supuesto, no son esenciales para el funcionamiento del programa. El cuarto indicador es el nombre del archivo de salida. Por defecto se proporciona WATCH.OUT. Se debe de tomar en cuenta que un archivo existente con el mismo nombre se sobrescribirá, y por tanto debe ser copiado con un nombre diferente si se va a guardar.

Después de estas sugerencias, los datos de la primera muestra son mostrados en la pantalla, y se solicita al usuario realizar una acción. Hay tres opciones. Escribir q o Q, seguido de un retorno de carro, lo cual pondrá fin a la ejecución del programa. Escribir n o N, seguido de un retorno de carro, lo cual hará que el programa omita el cálculo de la muestra desplegada y pase a la siguiente muestra, si es que existe, y salir de lo contrario. La opción por defecto es para llevar a cabo el cálculo.

Cuando se hace esta elección por defecto, lo cual se presume la mayor parte del tiempo, el programa pregunta cómo se ha de escoger la temperatura de referencia. Esta es la temperatura a la que el cálculo de la especiación es llevado a cabo en el programa. Hay cinco maneras de elegir esta temperatura, y las opciones se distinguen por los números 0, 1, 2, 3, y 4. La opción por defecto, es decir, 0 o <RETURN> es el uso de una temperatura medida. Si se elige esta opción, el programa solicita el valor de la temperatura medida. La respuesta por defecto a esta solicitud, <RETURN>, hace que el programa lea la temperatura medida desde el archivo de datos de entrada; de lo contrario, el valor suministrado es usado. Para seleccionar una temperatura de referencia arbitraria, se escribe 1 en respuesta a la solicitud del tipo de temperatura. A continuación, el programa solicita el valor de la temperatura. La única diferencia entre estas dos opciones de referencia de temperatura tipo 0 y 1, es en la impresión; el valor fijo de la temperatura se trata de manera idéntica en el cálculo de los dos casos. Las tres posibilidades restantes, 2, 3 y 4, representan temperaturas de geotermómetro de calcedonia, cuarzo, y de sodio-potasio respectivamente. Puesto que la temperatura de geotermómetro se calcula por el programa, el usuario no necesita suministrar un valor de temperatura con estas opciones.

Si, en el caso de una muestra de dos fases, el valor de la temperatura de referencia es inferior a la temperatura de separación (colección) elegida, el gas, vapor y fases de condensado son ignorados, y el cálculo se realiza en la fase de agua únicamente. Así, si una muestra en dos fases de un fluido a alta temperatura está disponible, y la composición de todo el fluido en algunas temperatura más baja se desea, se debería llevar a cabo un equilibrio a una temperatura mayor que la temperatura de muestreo, y luego usar la opción de ebullición o de enfriamiento (véase abajo) para encontrar la composición a la temperatura inferior.

Después que la temperatura de referencia ha sido elegida, el programa pedirá la temperatura a la cual se asume que el agua ha ebullición y ha perdido vapor antes del muestreo, tal como puede ser el caso de manantiales en ebullición. Si se da tal temperatura de separación, el programa calcula la composición de la fase vapor que habría estado en equilibrio con la muestra de agua a la temperatura de separación. Este vapor se añade luego a la fase acuosa. Esta solicitud sólo aparece si la muestra en el archivo de entrada es de una sola fase. (Si la muestra está en dos fases, como es el caso común de pozos de alta temperatura, la composición del vapor separado es, por supuesto, ya conocida y no necesita ser calculada.) Si la muestra de una sola fase se considera que no ha sufrido pérdida de vapor, la solicitud es contestada con un simple retorno de carro. Si se da una temperatura de ebullición, se solicita al usuario un coeficiente de desgasificación. Este coeficiente es una medida de desgasificación incompleta y sólo puede suponerse. Esta opción es, sin embargo, útil cuando se estudia el efecto de desgasificación incompleta en la distribución de las especies acuosas. El valor por defecto de la unidad corresponde al equilibrio de desgasificación, pero el programa acepta valores en el rango de 0.01 a 1. Otros valores se ponen a 1 por el programa.

Las solicitudes restantes del programa involucran ebullición y enfriamiento del fluido equilibrado a la temperatura de referencia a alguna temperatura diferente. La primera de estas solicitudes es para la temperatura a la cual se asume que la ebullición adiabática genera el fluido equilibrado. Este mensaje es respondido con el número de etapas de ebullición y los valores de la temperatura, separados por comas. Así, si uno desea la composición de vapor y agua resultante de la ebullición adiabática a 220°C, 150°C y 100°C, de un fluido equilibrado a 235°C, la solicitud se responde con 3, 220, 150, 100. Se debe tener en cuenta que para cada paso la composición inicial del fluido es el líquido equilibrado original a la temperatura de referencia, no el líquido en el paso anterior. Si el cálculo de la ebullición adiabática no se desea, la solicitud se responde con un retorno de carro.

Si se desea un cálculo de ebullición, el programa pide un coeficiente de desgasificación. En general, el valor por defecto escogido es la unidad, correspondiente al equilibrio de desgasificación. El rango permitido para este coeficiente, que es una medida de la desgasificación incompleta, es de 0.01 a 1. Los valores fuera de este rango se establecen en 1 por el programa.

La solicitud final es para el número de pasos de enfriamiento y las temperaturas a las cuales el fluido equilibrado a la temperatura de referencia, se permite que se enfríe de forma conductora. Así, si uno quiere encontrar la composición de un fluido que acaba de ser equilibrado a 235°C, después de enfriar a 200°C y 150°C, se ingresa como 2, 200, 150 en respuesta a la solicitud de enfriamiento. Este cálculo de enfriamiento pretende simular enfriamiento sin ebullición, como por ejemplo cuando ocurre en un intercambiador de calor, o un canal, o una fractura en el suelo. Si el fluido equilibrado a la temperatura de referencia está en dos etapas, se supone que se inactivó a una sola

fase en el proceso de enfriamiento. Como resultado, la composición resultante de componentes de este cálculo es siempre idéntico a la composición total de descarga. Si este cálculo no se desea, la respuesta a la solicitud es un retorno de carro.

Ahora, el programa lleva a cabo los cálculos requeridos. Los resultados se escriben en el archivo de salida WATCH.OUT. Se debe tomar en cuenta que este archivo se sobrescribe cada vez que se ejecuta el programa, por lo que hay que copiarlo con un nombre diferente si se va a guardar.

Si se seleccionan una o más etapas de ebullición, la composición de componentes de la fase líquida en la última etapa de ebullición, se escribe en el archivo de BOIL.OUT. Este archivo se sobrescribe la próxima vez que el programa se ejecuta con un cálculo etapa de ebullición. El archivo BOIL.OUT permite hacer cálculos en una fase líquida separada en una etapa de ebullición, sin tener que volver a introducir la composición líquida a mano. Por lo tanto se podría, por ejemplo, comenzar con una muestra de fluido geotérmico de boca de pozo, calcular la composición de equilibrio a alguna temperatura de fondo de pozo, por ejemplo 235°C, después calcular la composición del fluido luego de un flasheo a 150°C, como en un separador, y tener la composición del líquido escrito en BOIL.OUT. Este archivo se podría copiar a WATCH.IN y usarse como archivo de entrada para una segunda corrida del programa, en la cual la composición del líquido separado se estudiaría en otras condiciones, tales como un segundo flasheo, o en un intercambiador de calor.

Si se seleccionan una o más etapas de enfriamiento, la composición de componentes resultante se escribe en el archivo COOL.OUT. La temperatura escrita en el archivo es el de la última etapa de enfriamiento. Esto es particularmente útil si se quiere un archivo que contiene la composición de la descarga total de un fluido de un pozo en dos fases. Así, mediante la edición de tal archivo y usándolo como entrada para un nuevo cálculo, se podría por ejemplo, explorar las consecuencias de cambios en el flujo del pozo <sup>[10]</sup>.

---

Capítulo 4: Traducción al español de *Programas "Watch1" y "Watch3". Herramienta para la interpretación de análisis químicos de aguas geotérmicas*. Orkustofnun (Autoridad de Energía Nacional de Islandia), División Geotérmica, Reykjavik. The Iceland water chemistry group – Isor Iceland Geosurvey (2010). "Watch". Islandia.

## 5.0 PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

Para el análisis de la sensibilidad que los principales parámetros de estudio ejercen en los minerales asociados a los campos geotérmicos, se simularon diferentes escenarios en los cuales se provocó el cambio de variables específicas, manteniendo el resto constante, y evaluando así el efecto que dicha variable genera respecto a su estado original.

El desarrollo de dicha actividad se llevó a cabo mediante la manipulación de resultados de análisis químicos en 10 fluidos, los cuales están asociados a diferentes características químicas y diverso origen, desde el punto de vista geográfico, lo cual ha sido considerado como un factor influyente debido al efecto que ello puede tener en la mineralogía de la región asociada a los fluidos de estudio.

De esta forma se generaron aproximadamente 500 simulaciones, de las cuales se presentan los resultados de aproximadamente 250 consideradas como las más significativas, en las cuales los parámetros de interés se manipularon evaluando aumentos o disminuciones respecto a su valor original, para posteriormente identificar el efecto de dicho cambio en la mineralogía del sistema.

Los fluidos considerados para la manipulación se dividen en 2 según su origen. Por un lado se trabajaron en una etapa inicial, con los resultados de análisis químicos en fluidos de 6 pozos de Japón, lo cual permitió mejorar el manejo del programa WATCH al tomar práctica en el desarrollo de simulaciones de manera eficiente y adquirir experiencia en la interpretación de los resultados que el programa ofrece. Los resultados de estos pozos se presentan en la sección el Anexo 3 del presente documento.

La segunda etapa de desarrollo de las simulaciones se centró en 3 fluidos geotérmicos provenientes de El Salvador, 2 de ellos de pozos geotérmicos y el otro proveniente de una fuente termal. Los fluidos de El Salvador con la excepción del fluido de la fuente termal, se trabajaron al igual que los pozos de Japón bajo un modelo de Adiabatic Boiling, el fluido correspondiente a la fuente termal se trabajó bajo el modelo de Boiling Spring Model. Adicionalmente se realizó un análisis complementario para uno de los pozos de El Salvador, considerando una serie de variaciones en su contenido de sílice y su valor de presión y pH.

Es importante resaltar que la interpretación de resultados presentada, es únicamente un resumen que se deriva del análisis de cada uno de los cambios efectuados a los pozos, en los resultados presentados se incluyen aquellos minerales que son de especial interés para los sistemas geotérmicos locales y analizados bajo la óptica de los variables representativas que realmente son de interés para dicho mineral.



Sin embargo, de manera extendida si se realizó un análisis profundo para cada uno de los fluidos, minerales y parámetros, lo cual se presenta detalladamente en el Anexo 3. Partiendo de este análisis se logró determinar cuáles eran los principales parámetros influyentes en los minerales de interés y a partir de ello, se desarrolla la interpretación de resultados a presentar.

## 5.1 ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD DE PARÁMETROS DE FLUIDOS GEOTÉRMICOS DE JAPÓN

Como se mencionó previamente, el análisis de los 7 fluidos provenientes de pozos productores de Japón, se realizó únicamente en la etapa inicial de las simulaciones, buscando reproducir los resultados obtenidos en WATCH para dichos fluidos. Se realizaron diferentes simulaciones que ofrecieron resultados preliminares, que se toman en cuenta en el establecimiento de conclusiones; los resultados obtenidos mediante la simulación de pozos se presenta de manera extendida en el anexo 3.

## 5.2 ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD DE PARÁMETROS DE FLUIDOS GEOTÉRMICOS DE EL SALVADOR.

Al igual que con los fluidos de Japón, de manera extendida los resultados para cada fluido, mineral y parámetro se presentan en el anexo 3. A manera de resumen se presenta a continuación, los principales minerales de interés y los parámetros que generaron efectos significativos.

Tabla 13: Datos preliminares de pozos A, B y fuente termal F717.

Pozo/ Fuente termal	Fase líquida (mg/kg)								
	CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> S	NH <sub>3</sub>	B	SiO <sub>2</sub>	Na	K	Mg	Ca
A	17.24	0.00	0.44	79.1	576.00	1703.00	273.00	0.011	33.2
B	2.55	0.00	0.25	127.4	771.0	3450.0	741.0	0.047	53.1
F 717	324	0.01	0	2.14	124.5	188.9	22.5	5.85	21.3
	F	Cl	SO <sub>4</sub>	Al	Fe	TDS	pH	pH Temp (°C)	
A	0.7	2832.00	24.6	2.81	0.031	-	7.73	30.0	
B	0.5	5913.0	9.81	0.1	0.010	-	6.39	25	
F717	0	60.12	33.1	0.14	0.10	-	6.7	25	
Pozo/ Fuente termal	Fase gas (mmol/mol H <sub>2</sub> O)								
	CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> S	NH <sub>3</sub>	H <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub>		
A	1.669	0.129	0.0018	0.00183	0.00019	0.0031	0.04681		
B	1.0730	0.2390	0.0011	0.0128	0.00011	0.00266	0.0175		
F717	-	-	-	-	-	-	-		
Datos de campo									
Pozo/ Fuente termal	Temperatura de muestreo (°C)	Presión de muestreo (bar gauge)	Entalpía de descarga (kJ/kg)	Descarga (kg/s)	Temperatura de referencia (°C)				
A	30	9.5	-	-	-				
B	25	10.6	-	-	-				
F717	54.9	-	-	-	250				



### 5.2.1 Pozo A (Adiabatic Boiling)

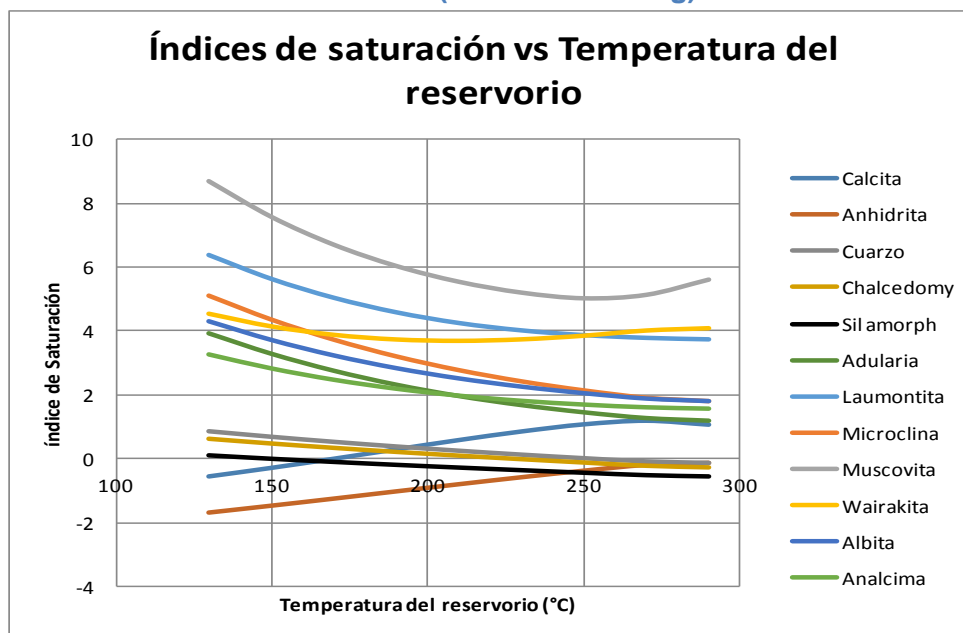


Figura 7: Gráfica de índice de saturación vs T en pozo A, a partir de datos preliminares.

#### 5.2.1.1 Calcita ( $\text{CaCO}_3$ ) y sus variaciones - Efectos de sensibilidad parámetros

Variables representativas	Efecto
<b>Ca</b>	<p>Sensibilidad de la calcita a cambios en el contenido de calcio es altamente significativa. Aumentos en la concentración de calcio reducen las temperaturas de precipitación, en pozo A:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Aumento de 33.2 ppm a 50 ppm de calcio aumentan el valor de los índices de saturación de la calcita a todas las temperaturas.</li> <li>– Reducción de la concentración de calcio de 33.2 ppm a 5 ppm generan una reducción en el valor de los índices de saturación de calcita para todas las temperaturas.</li> </ul>
<b>pH</b>	<p>La sensibilidad de la calcita a las variaciones de pH es altamente significativa. La relación entre el pH y la saturación de la calcita es directamente proporcional, a medida aumenta el pH del fluido, la calcita tiende a la saturación.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Al reducir el pH de 7.73 a 4.5 hay una reducción de valor de los índices de saturación de la calcita.</li> <li>– Al aumentar el pH de 7.73 a 8.2 los valores de los índices de saturación de la calcita aumentan.</li> </ul>
<b>CO<sub>2</sub></b>	<p>La sensibilidad de la calcita a las variaciones del contenido de CO<sub>2</sub> (gas) es altamente significativa. La relación entre el contenido de CO<sub>2</sub> (gas) y la saturación de la calcita es directamente proporcional, a medida aumenta el contenido de CO<sub>2</sub></p>

	<p>(gas) del fluido, la calcita tiende a la saturación. Aumentos en la concentración de CO<sub>2</sub> reducen la temperatura de saturación, en pozo A:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Reducción del valor de CO<sub>2</sub> de 17.24 ppm a 10 ppm genera una reducción en los valores de los índices de saturación.</li> <li>– Un aumento en la concentración de CO<sub>2</sub> de 17.24 a 32 ppm permite aumentar los valores de los índices de saturación y precipitar más fácilmente.</li> </ul>
<b>Cloro</b>	<p>La relación entre cloro y el índice de saturación de la calcita es significativa bajo grandes cambios de concentraciones. Aumentos en la concentración de cloro produce mayores temperaturas de precipitación, en pozo A:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Aumento de concentración de 2832 a 5000 ppm reduce los índices de saturación de la calcita.</li> <li>– Reducción de la concentración de cloro de 2832 ppm a 500 ppm genera un aumento en los índices de saturación de la calcita.</li> </ul>
<b>Sodio</b>	<p>La relación entre el sodio y el índice de saturación de la calcita, se vuelve significativo bajo grandes cambios de concentraciones. Aumentos de concentración de Na producen un aumento en las temperaturas de saturación. En pozo A:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Aumento de la concentración de sodio de 1703 ppm a 3000 ppm permite reducir el valor de los índices de saturación.</li> <li>– Reducción de 1703 ppm a 200 ppm en la concentración de sodio aumenta sensiblemente el valor de los índices de saturación de la calcita.</li> </ul>
<b>H<sub>2</sub>S</b>	<p>La calcita es considerablemente sensible respecto a cambios en la concentración de ácido sulfhídrico. Aumento de la concentración de H<sub>2</sub>S reducen la temperatura de saturación, en pozo A:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Reducción del valor de H<sub>2</sub>S de 15 ppm a 0 ppm genera una reducción en el valor de los índices de saturación de la calcita.</li> <li>– Un aumento en la concentración de H<sub>2</sub>S de 15 a 30 ppm provoca un aumento en los índices de saturación de la calcita.</li> </ul>
<b>NH<sub>3</sub></b>	<p>Efecto contrario a los anteriores, un aumento de concentración genera un aumento en la temperatura de saturación. En pozo A: Un aumento de concentración de 0.44 ppm a 5 ppm genera un aumento de la temperatura de saturación desde 170°C a 185 °C, lo que implica una baja en el valor de los índices de saturación.</p>
<b>Sílice</b>	<p>En este caso particular con grandes variaciones en la concentración de sílice existe un aumento en la temperatura de saturación a medida aumenta la concentración de sílice, en pozo A:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Aumento de la concentración de sílice de 576 ppm a 1000 ppm provoca una reducción en los índices de saturación de la calcita.</li> <li>– Reducción de 576 ppm a 100 ppm genera un aumento en el índice de saturación de la calcita.</li> </ul>

### 5.2.1.2 Anhidrita ( $\text{CaSO}_4$ ) y sus variaciones - Efectos de sensibilidad parámetros

Variables representativas	Efecto
<b>Sulfato</b>	<p>La anhidrita es altamente sensible a cambios en el contenido de sulfatos. Aumentar las concentraciones de sulfato permite temperaturas de saturación más bajas. En pozo A:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Cuando se reduce la concentración de sulfato de 24.6 ppm a 5 ppm genera una notable reducción en los índices de saturación.</li> <li>- En el aumento desde 24.6 ppm a 50 ppm de sulfato se genera un importante aumento en el valor del índice de saturación de anhidrita la cual bajo estas condiciones precipita a 50°C menos que en las condiciones iniciales.</li> </ul>
<b>Calcio</b>	<p>Concentración de calcio es altamente significativa en la caracterización de la anhidrita. Aumentos en concentraciones de calcio permiten temperaturas de Saturación más bajas. En pozo A:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Originalmente la anhidrita satura a temperaturas de 170 °C.</li> <li>- Un aumento de la concentración de Ca de 33.2 ppm a 50 ppm genera un aumento en los índices de saturación y una nueva temperatura de saturación de 150°C.</li> <li>- Al bajar la concentración de Ca de 33.2 ppm a 5 ppm, los índices de saturación disminuyen sensiblemente y precipita a 220 °C</li> </ul>
<b>pH</b>	<p>La variación de la anhidrita con respecto al pH es significativa. En medios ácidos tiende a presentarse insaturada y disuelta, a medida aumenta el pH aumenta su IS. En pozo A:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Originalmente a pH = 7.73 la calcita esta insaturada a temperaturas de 300 °C.</li> <li>- Al reducir el pH de 7.73 a 4.5 baja el valor de sus índices de saturación y permanece permanentemente insaturada.</li> <li>- Aumento realizado de 7.73 a 8.2 no genera mayores cambios.</li> </ul>
<b>CO<sub>2</sub></b>	<p>Las variaciones de CO<sub>2</sub> son altamente significativas. Sin embargo deben ser altas en este pozo como para poder generar cambios, los cuales si se dan en la calcita bajo los mismos cambios como se describe anteriormente.</p> <p>En tentativa a mayor concentración de dióxido de carbono, la anhidrita reduce el valor de sus índices de saturación y alcanza la temperatura de saturación a mayores temperaturas. En pozo A:</p> <p>No se dan cambios con aumentos en los intervalos de 10 – 32 ppm.</p>
<b>Cloro</b>	<p>Moderadamente significativo, en este caso hay una reducción del la temperatura de saturación cuando se reduce la concentración de Cl y caso contrario cuando se aumenta cabe resaltar que los márgenes de cambio son altos. En pozo A:</p> <p>Originalmente la anhidrita precipita a 300°C.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Para una reducción desde las 2832 ppm de Cl hasta 500 ppm hay un aumento en el índice de saturación y una baja en la temperatura de precipitación hasta 265°C.</li> <li>- Para un aumento en la concentración de Cl desde 2832 ppm a 5000 ppm hay una leve reducción en el valor de los índices de saturación y la temperatura de saturación aumenta a 310°C.</li> </ul>

<b>Sodio</b>	<p>Ligeramente significativo, en este caso hay una reducción de la temperatura de saturación cuando se reduce la concentración de Na y caso contrario cuando se aumenta cabe resaltar que los márgenes de cambio son altos. En pozo A:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Para una reducción desde las 1703 ppm de sodio hasta 200 ppm el IS aumenta de -0.139 a 0.071.</li> <li>- Para un aumento en la concentración de sodio desde 1703 ppm a 3000 ppm baja de -0.139 a -0.285.</li> </ul>
<b>Aluminio</b>	<p>Bajo las condiciones de pozo el aluminio se vuelve un elemento significativo, a medida aumenta su concentración baja la temperatura de saturación. Para pozo A: Originalmente anhidrita precipita a 300°C.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Aumento de concentraciones de 2.81 ppm a 10 ppm aumenta los índices de saturación y hace que la anhidrita precipite a 270°C.</li> <li>- Reducciones de concentraciones de 2.81 ppm a 0.1 ppm reduce sensiblemente el valor de los índices de saturación y aumenta la temperatura de saturación a 310°C.</li> </ul>
<b>NH<sub>3</sub></b>	<p>Aumento en la concentración de amoníaco reduce las temperaturas de saturación de la anhidrita. En pozo A:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Aumento en la concentración de amonio desde 0 ppm hasta 50 ppm produce un aumento en los índices de saturación y una baja en la temperatura de saturación de la anhidrita desde 240 hasta los 225 °C.</li> </ul>

### 5.2.1.3 Cuarzo (SiO<sub>2</sub>) y sus variaciones - Efectos de sensibilidad parámetros

Variables representativas	Efecto
<b>Sílice</b>	<p>La sensibilidad de cambio del Cuarzo con respecto a la concentración de sílice es altamente significativa. El cuarzo muestra una tendencia normal de solubilidad, la cual aumenta a medida aumenta la temperatura.</p> <p>La concentración de sílice es directamente proporcional a la temperatura de insaturación mineral y el valor del índice de saturación del cuarzo (a medida aumenta la concentración aumenta la temperatura a la que insatura y el valor de IS). A medida aumenta la concentración de sílice el efecto es menor. En pozo A:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Originalmente con 576 ppm de sílice el cuarzo precipita a 255 °C.</li> <li>- A concentraciones de 100 ppm, el cuarzo aumenta el valor de sus índices de saturación y se insatura a temperaturas de alrededor 145 °C.</li> <li>- A concentraciones de 1000 ppm, el cuarzo reduce el valor de su índice de saturación, y se insatura a temperaturas de alrededor 265 °C.</li> </ul> <p>Nota: a medida aumenta la concentración de sílice los cambios dejan de ser tan dependientes de ella.</p>

<b>pH</b>	<p>La sensibilidad del cuarzo con respecto a variaciones del pH es moderadamente significativa.</p> <p>A medida que el pH aumenta, reduce el valor de IS e insatura a menores temperaturas. Variaciones menores a la unidad en el pH no presentan cambios perceptibles con respecto al cuarzo. En pozo A:</p> <p>Originalmente el cuarzo precipita a 255 °C.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- La reducción del pH de 7.73 a 4.5 genera un aumento en el valor de los índices de saturación y de la temperatura de insaturación la que aumenta a 280 °C.</li> <li>- El aumento del pH de 7.73 a 8.2 no permite observar un cambio aparente en cambio de temperatura o índice de saturación, mediante gráfica e interpolación numérica se calculó una reducción de la temperatura hasta aproximadamente 253 °C y una sensible baja en el valor del índice de saturación.</li> </ul>
-----------	---

#### 5.2.1.4 Calcedonia (SiO<sub>2</sub>) y sus variaciones - Efectos de sensibilidad parámetros

Variables representativas	Efecto
<b>Sílice</b>	<p>La concentración de sílice es directamente proporcional a la temperatura de insaturación mineral y el valor del índice de saturación de la calcedonia. En pozo A:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Originalmente la calcedonia precipita a 230°C con 576 ppm de sílice.</li> <li>- A concentraciones de 100 ppm, la calcedonia reduce el valor de sus índices de saturación y se insatura a temperaturas de alrededor 130 °C</li> <li>- A concentraciones de 1000 ppm, la calcedonia aumenta el valor de sus índices de insaturación y se insatura a temperaturas de alrededor 250 °C.</li> </ul>
<b>pH</b>	<p>La sensibilidad de la calcedonia con respecto a variaciones del pH es moderadamente significativa.</p> <p>A medida que el pH aumenta, reduce el valor de IS e insatura a menores temperaturas. Variaciones menores a la unidad en el pH no presentan cambios perceptibles con respecto a la calcedonia. En pozo A:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Originalmente la calcedonia precipita a 230°C con 7.73 de pH y posee un índice de saturación de -0.249 a 290 °C.</li> <li>- La reducción del pH de 7.73 a 4.5 genera un aumento de IS por ejemplo de -0.249 a -0.13 a 290 °C.</li> <li>- El aumento del pH de 7.73 a 8.2 redujo el IS de -0.249 a -0.25 a una temperatura de 290°C, como se puede notar cambios bajos en pH no son muy significativos.</li> </ul>

### 5.2.1.5 Sílice amorfa (SiO<sub>2</sub>) y sus variaciones - Efectos de sensibilidad parámetros

VARIABLES REPRESENTATIVAS	Efecto
<b>Sílice</b>	<p>La concentración de sílice es directamente proporcional a la temperatura de insaturación mineral y el valor del índice de saturación de la sílice amorfa. En pozo A:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Originalmente la sílice amorfa precipita a 145°C con 576 ppm de sílice.</li> <li>– A concentraciones de 100 ppm, la sílice amorfa reduce el valor de sus índices de saturación y se insatura a temperaturas de alrededor 100 °C</li> <li>– A concentraciones de 1000 ppm, la sílice amorfa aumenta el valor de sus índices de saturación y se insatura a temperaturas de alrededor 170 °C.</li> </ul>
<b>pH</b>	<p>La sensibilidad de la Sílice amorfa con respecto a variaciones del pH es moderadamente significativa.</p> <p>A medida que el pH aumenta, reduce el valor de IS e insatura a menores temperaturas. Variaciones menores a la unidad en el pH no presentan cambios perceptibles con respecto a la Sílice amorfa. En pozo A:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– La reducción del pH de 7.73 a 4.5 genera un aumento de IS de -0.549 a -0.43, a una temperatura de 290 °C.</li> <li>– El aumento del pH de 7.73 a 8.2 reduce el IS de -0.549 a -0.55, a una temperatura de 290 °C., como se puede notar cambios bajos en pH no son muy significativos.</li> </ul>

### 5.2.1.6 Wairakita (Ca(Si<sub>4</sub>Al<sub>12</sub>)O<sub>12</sub>·2H<sub>2</sub>O) y sus variaciones - Efectos de sensibilidad parámetros

VARIABLES REPRESENTATIVAS	Efecto
<b>Calcio</b>	<p>Tiene un efecto similar al de la sílice, a medida aumenta la concentración de calcio aumenta el valor del IS. En pozo A:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– En un intervalo de 5 ppm y 50 ppm la wairakita permanece sobresaturada a todas las temperaturas.</li> </ul>
<b>Sílice</b>	<p>Con un aumento de la concentración de sílice, aumenta su IS, y se reduce el margen de temperaturas a la que se encuentra insaturada pudiendo alcanzar sobresaturación a todas las temperaturas si las concentraciones de sílice son demasiado altas. En pozo A:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Para un margen de concentración de Sílice entre 100 ppm y 1000 ppm permanece sobresaturada a todas las temperaturas.</li> </ul>

<b>Aluminio</b>	<p>Un aumento de concentración de Al produce un aumento en los valores del IS. En pozo A:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– En un intervalo de concentración 0.1 a 10 ppm la wairakita permanentemente se encuentra sobresaturada.</li> </ul>
<b>Sodio</b>	<p>Con un aumento en la concentración de Sodio existe un aumento en los valores de IS. En pozo A:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– En un intervalo entre 200 ppm y 3000 ppm la wairakita nunca alcanza insaturarse.</li> </ul>
<b>Cloro</b>	<p>Con un aumento en la concentración de Sodio existe un leve descenso en los valores de IS. En pozo A:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Para un intervalo de concentraciones de 500 ppm y 5000 ppm la wairakita se mantiene sobresaturada a todas las temperaturas.</li> </ul>
<b>CO<sub>2</sub></b>	<p>Margen de cambio realizado no es significativo, en tentativa, altas concentraciones de dióxido de carbono permiten reducción en el valor del IS y un margen de temperaturas de insaturación más grandes. En pozo A:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– No presenta cambios en un intervalo de concentraciones de 0-32 ppm.</li> </ul>
<b>Sulfato</b>	<p>No presenta cambios bajo los márgenes de cambio en un intervalo de concentraciones de sulfato entre 5 y 50 ppm.</p>
<b>NH<sub>3</sub></b>	<p>Altas concentraciones reduce el margen de temperaturas de insaturación, se considera menos influyente que otros elementos que causan el mismo efecto, necesita altas concentraciones para generar sobresaturación a todas las temperaturas. Por ejemplo en pozo S-2, información de agosto de 1982:</p> <p>Aumento en la concentración de amonio de 0 a 50 ppm redujo el intervalo de temperaturas de insaturación de 135°C-300°C a 150°C-290°C</p>
<b>pH</b>	<p>Aumenta el valor del IS a medida aumenta el pH. Ver tabla de conclusiones sobre pH y presión.</p>

### 5.2.2 Pozo B (Adiabatic Boiling)

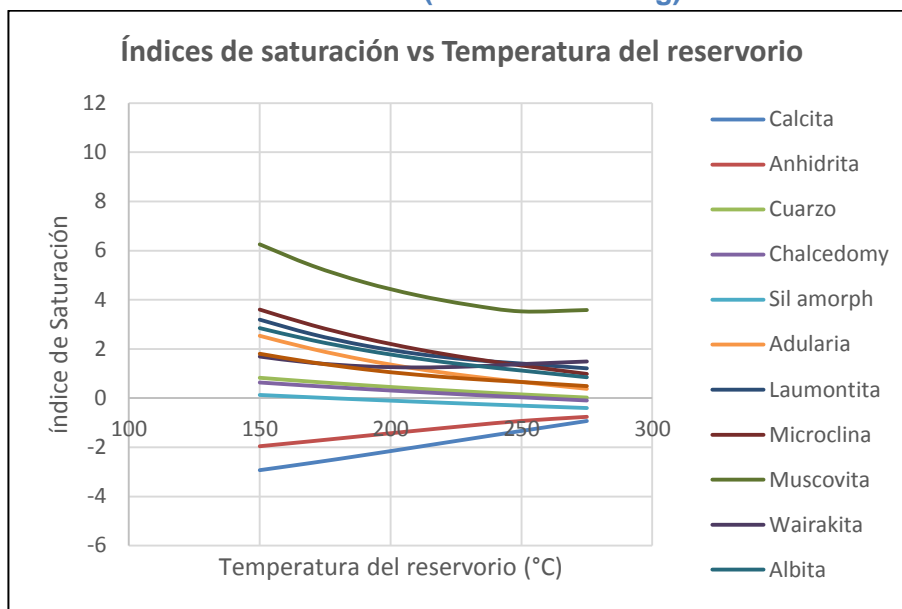


Figura 8: Gráfica de índice de saturación vs T en pozo B, a partir de datos preliminares.

#### 5.2.2.1 Calcita ( $CaCO_3$ ) y sus variaciones - Efectos de sensibilidad parámetros

Variables representativas	Efecto
<b>pH</b>	<p>La sensibilidad de la calcita a las variaciones de pH es altamente significativa.</p> <p>La relación entre el pH y la saturación de la calcita es directamente proporcional, a medida aumenta el pH del fluido, la calcita tiende a la saturación.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- En su estado original (pH=6.4) la calcita se encuentra insaturada totalmente</li> <li>- La reducción del pH (4.0) provoca mayor insaturación</li> <li>- El aumento del pH (8.0) provoca la sobresaturación a partir de 180°C la cual aumenta conforme aumentan las temperaturas.</li> </ul>
<b>Calcio</b>	<p>La sensibilidad de la calcita a las variaciones del contenido de calcio es altamente significativa.</p> <p>La relación entre el contenido de calcio y la saturación de la calcita es directamente proporcional, a medida aumenta el contenido de calcio del fluido, la calcita tiende a la saturación.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- En su estado original (Ca=53.1ppm) la calcita se encuentra insaturada totalmente</li> <li>- La reducción del Ca (5.0ppm) provoca mayor insaturación</li> <li>- El aumento del Ca (500.0ppm) no logra cambiar el estado de insaturación.</li> </ul>



<b>CO<sub>2</sub></b>	<p>La sensibilidad de la calcita a las variaciones del contenido de CO<sub>2</sub> (gas) es altamente significativa.</p> <p>La relación entre el contenido de CO<sub>2</sub> (gas) y la saturación de la calcita es directamente proporcional, a medida aumenta el contenido de CO<sub>2</sub> (gas) del fluido, la calcita tiende a la saturación.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- En su estado original (CO<sub>2</sub>=1.073 mmol/mol vapor agua) la calcita se encuentra insaturada totalmente</li> <li>- La reducción del CO<sub>2</sub> (0.1073 mmol/mol vapor agua) provoca mayor insaturación</li> <li>- El aumento del CO<sub>2</sub> (10.73 mmol/mol vapor agua) no logra cambiar el estado de insaturación.</li> </ul>
<b>NH<sub>3</sub></b>	<p>La sensibilidad de la calcita a las variaciones del contenido de NH<sub>3</sub> es altamente significativa.</p> <p>La relación entre el contenido de NH<sub>3</sub> y la saturación de la calcita es inversamente proporcional. A medida aumenta el contenido de NH<sub>3</sub> del fluido, la calcita tiende a la insaturación; en el caso contrario no pudo constatar dicha relación ya que el contenido original de NH<sub>3</sub> del fluido es cero, lo cual impidió la evaluación de la reducción de dicho parámetro.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- En su estado original (NH<sub>3</sub>=0.25 ppm) la calcita se encuentra insaturada totalmente</li> <li>- La reducción del NH<sub>3</sub> (50 ppm) provoca mayor insaturación.</li> </ul>
<b>HCO<sub>3</sub></b>	<p>La sensibilidad de la calcita a las variaciones del contenido de HCO<sub>3</sub> es moderadamente significativa.</p> <p>La relación entre el contenido de HCO<sub>3</sub> y la saturación de la calcita es directamente proporcional, a medida aumenta el contenido de HCO<sub>3</sub> del fluido, la calcita tiende a la saturación.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- En su estado original (HCO<sub>3</sub>=2.55 ppm) la calcita se encuentra insaturada totalmente</li> <li>- La reducción del HCO<sub>3</sub> (0.35 ppm) provoca mayor insaturación</li> <li>- El aumento del HCO<sub>3</sub> (25.5 ppm) provoca el equilibrio a partir de 225°C el cual aumenta conforme aumentan las temperaturas.</li> </ul>
<b>Aluminio</b>	<p>La sensibilidad de la calcita a las variaciones del contenido de Al es moderadamente significativa.</p> <p>La relación entre el contenido de Al y la saturación de la calcita es inversamente proporcional, a medida aumenta el contenido de Al del fluido, la calcita tiende a la insaturación.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- En su estado original (Al=0.1 ppm) la calcita se encuentra insaturada totalmente</li> <li>- La reducción del Al (0.01 ppm) no provoca variaciones</li> <li>- El aumento del Al (1.0 ppm) provoca mayor saturación.</li> </ul>

### 5.2.2.2 Anhidrita ( $\text{CaSO}_4$ ) y sus variaciones - Efectos de sensibilidad parámetros

Variables representativas	Efecto
<b>pH</b>	<p>La sensibilidad de la anhidrita a las variaciones de pH es mínimamente significativa.</p> <p>La relación entre el pH y la saturación de la anhidrita es directamente proporcional, a medida aumenta el pH del fluido, la anhidrita tiende a la saturación.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- En su estado original (pH =6.4) la anhidrita se encuentra insaturada totalmente</li> <li>- La reducción del pH (4.0) provoca ligeramente mayor insaturación</li> <li>- El aumento del pH (8.0) no genera cambios significativos</li> </ul>
<b>Calcio</b>	<p>La sensibilidad de la anhidrita a las variaciones del contenido de calcio es altamente significativa.</p> <p>La relación entre el contenido de calcio y la saturación de la anhidrita es directamente proporcional, a medida aumenta el contenido de calcio del fluido, la anhidrita tiende a la saturación.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- En su estado original (Ca=53.1ppm) la anhidrita se encuentra insaturada totalmente</li> <li>- La reducción del Ca (5.0ppm) provoca mayor insaturación</li> <li>- El aumento del Ca (500.0ppm) provoca el equilibrio a partir de 240°C el cual aumenta conforme aumentan las temperaturas</li> </ul>
<b>NH<sub>3</sub></b>	<p>La sensibilidad de la anhidrita a las variaciones del contenido de NH<sub>3</sub> es altamente significativa.</p> <p>La relación entre el contenido de NH<sub>3</sub> y la saturación de la anhidrita es inversamente proporcional, a medida aumenta el contenido de NH<sub>3</sub> del fluido, la anhidrita tiende a la insaturación; en el caso contrario no pudo constatar dicha relación ya que el contenido original de NH<sub>3</sub> del fluido es cero, lo cual impidió la evaluación de la reducción de dicho parámetro.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- En su estado original (NH<sub>3</sub>=0.25 ppm) la anhidrita se encuentra insaturada totalmente</li> <li>- La reducción del NH<sub>3</sub> (50 ppm) provoca mayor insaturación</li> </ul>

### 5.2.2.3 Cuarzo ( $\text{SiO}_2$ ) y sus variaciones - Efectos de sensibilidad parámetros

Variables representativas	Efecto
<b>Sílice</b>	<p>La sensibilidad del cuarzo a las variaciones del contenido de SiO<sub>2</sub> es altamente significativa.</p> <p>La relación entre el contenido de SiO<sub>2</sub> y la saturación del cuarzo es directamente proporcional, a medida aumenta el contenido de SiO<sub>2</sub> del fluido, el cuarzo tiende a la saturación.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- En su estado original (SiO<sub>2</sub>=771ppm) el cuarzo se encuentra sobresaturado a temperaturas menores a 230°C y en equilibrio a temperaturas mayores</li> <li>- La reducción del SiO<sub>2</sub> (300ppm) provoca mayor insaturación, alcanzando la insaturación a temperaturas mayores a 250°C</li> <li>- El aumento del SiO<sub>2</sub> (900.0ppm) provoca la sobresaturación a temperaturas menores a 240°C</li> </ul>

<b>pH</b>	La sensibilidad del cuarzo a las variaciones del contenido de pH es moderadamente significativa. Cambios de pH 1.5 unidades no generaron cambios significativos en el IS
-----------	---

#### 5.2.2.4 Calcedonia (SiO<sub>2</sub>) y sus variaciones - Efectos de sensibilidad parámetros

VARIABLES REPRESENTATIVAS	Efecto
<b>Sílice</b>	La sensibilidad de la calcedonia a las variaciones del contenido de SiO <sub>2</sub> es altamente significativa. La relación entre el contenido de SiO <sub>2</sub> y la saturación de la calcedonia es directamente proporcional, a medida aumenta el contenido de SiO <sub>2</sub> del fluido, la calcedonia tiende a la saturación. <ul style="list-style-type: none"> <li>- En su estado original (SiO<sub>2</sub>=771ppm) la calcedonia se encuentra sobresaturada a temperaturas menores a 210°C y en equilibrio a temperaturas mayores</li> <li>- La reducción del SiO<sub>2</sub> (300ppm) provoca mayor insaturación, alcanzando la insaturación a temperaturas mayores a 225°C</li> <li>- El aumento del SiO<sub>2</sub> (900.0ppm) provoca la sobresaturación a temperaturas menores a 220°C</li> </ul>
<b>pH</b>	La sensibilidad de la calcedonia a las variaciones del contenido de pH es moderadamente significativa. Cambios de pH 1.5 unidades no generaron cambios significativos en el IS

#### 5.2.2.5 Sílice amorfa (SiO<sub>2</sub>) y sus variaciones - Efectos de sensibilidad parámetros

VARIABLES REPRESENTATIVAS	Efecto
<b>Sílice</b>	La sensibilidad de la sílice amorfa a las variaciones del contenido de SiO <sub>2</sub> es altamente significativa. La relación entre el contenido de SiO <sub>2</sub> y la saturación de la sílice amorfa es directamente proporcional, a medida aumenta el contenido de SiO <sub>2</sub> del fluido, la sílice amorfa tiende a la saturación. <ul style="list-style-type: none"> <li>- En su estado original (SiO<sub>2</sub>=771ppm) la sílice amorfa se encuentra en equilibrio e insaturada a temperaturas mayores a 240°C</li> <li>- La reducción del SiO<sub>2</sub> (300ppm) provoca mayor insaturación, alcanzando la insaturación total en todas las temperaturas mayores a 150°C</li> <li>- El aumento del SiO<sub>2</sub> (900.0ppm) provoca el equilibrio en la mayoría de las temperaturas y la insaturación a temperaturas mayores a 255°C</li> </ul>
<b>pH</b>	La sensibilidad de la sílice amorfa a las variaciones del contenido de pH es moderadamente significativa. Cambios de pH 1.5 unidades no generaron cambios significativos en el IS

**Wairakita ( $\text{Ca}(\text{Si}_4\text{Al}_{12})\text{O}_{12}\cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) y sus variaciones - Efectos de sensibilidad parámetros**

Variables representativas	Efecto
<b>pH</b>	<p>La sensibilidad de la wairakita a las variaciones de pH es moderadamente significativa.</p> <p>La relación entre el pH y la saturación de la wairakita es directamente proporcional, a medida aumenta el pH del fluido, la wairakita tiende a la saturación.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- En su estado original (pH =6.4) la wairakita se encuentra sobresaturada totalmente</li> <li>- La reducción del pH (4.0) provoca la insaturación a temperaturas menores a 200°C</li> <li>- El aumento del pH (8.0) no genera cambios significativos</li> </ul>
<b>Calcio</b>	<p>La sensibilidad de la wairakita a las variaciones del contenido de calcio es altamente significativa.</p> <p>La relación entre el contenido de calcio y la saturación de la wairakita es directamente proporcional, a medida aumenta el contenido de calcio del fluido, la wairakita tiende a la saturación.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- En su estado original (Ca=53.1ppm) la wairakita se encuentra sobresaturada totalmente</li> <li>- La reducción del Ca (5.0ppm) provoca la reducción de los IS, sin embargo únicamente alcanza el equilibrio para la temperatura de 210°C</li> <li>- El aumento del Ca (500.0ppm) provoca mayor sobresaturación</li> </ul>
<b>Sílice</b>	<p>La sensibilidad de la wairakita a las variaciones del contenido de <math>\text{SiO}_2</math> es altamente significativa.</p> <p>La relación entre el contenido de <math>\text{SiO}_2</math> y la saturación de la wairakita es directamente proporcional, a medida aumenta el contenido de <math>\text{SiO}_2</math> del fluido, la wairakita tiende a la saturación.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- En su estado original (<math>\text{SiO}_2=771</math> ppm) la wairakita se encuentra sobresaturada totalmente</li> <li>- La reducción del <math>\text{SiO}_2</math> (300 ppm) provoca la reducción de los IS, alcanzando la insaturación entre 180°C y 250°C debido a la tendencia parabólica de la curva que provoca que regrese a su tendencia a la saturación</li> <li>- El aumento del <math>\text{SiO}_2</math> (900 ppm) provoca mayor sobresaturación</li> </ul>
<b><math>\text{NH}_3</math></b>	<p>La sensibilidad de la wairakita a las variaciones del contenido de <math>\text{NH}_3</math> es altamente significativa.</p> <p>La relación entre el contenido de <math>\text{NH}_3</math> y la saturación de la wairakita es inversamente proporcional, a medida aumenta el contenido de <math>\text{NH}_3</math> del fluido, la wairakita tiende a la insaturación; en el caso contrario no pudo constatar dicha relación ya que el contenido original de <math>\text{NH}_3</math> del fluido es muy bajo, lo cual impidió la evaluación de la reducción de dicho parámetro.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- En su estado original (<math>\text{NH}_3=0.25</math> ppm) la wairakita se encuentra sobresaturada totalmente</li> <li>- La reducción del <math>\text{NH}_3</math> (50 ppm) provoca el equilibrio a temperaturas mayores a 155°C</li> </ul>

## Aluminio

La sensibilidad de la wairakita a las variaciones del contenido de Al es altamente significativa.

La relación entre el contenido de Al y la saturación de la wairakita es directamente proporcional, a medida aumenta el contenido de Al del fluido, la wairakita tiende a la saturación.

- En su estado original (Al=0.1 ppm) la wairakita se encuentra sobresaturada totalmente
- La reducción del Al (Al=0.01 ppm) provoca la reducción de los IS, alcanzando la insaturación a temperaturas mayores a 150°C
- El aumento del Al (Al=1.0 ppm) provoca mayor sobresaturación

### 5.2.3 Fuente Termal F (Boiling Spring Model)

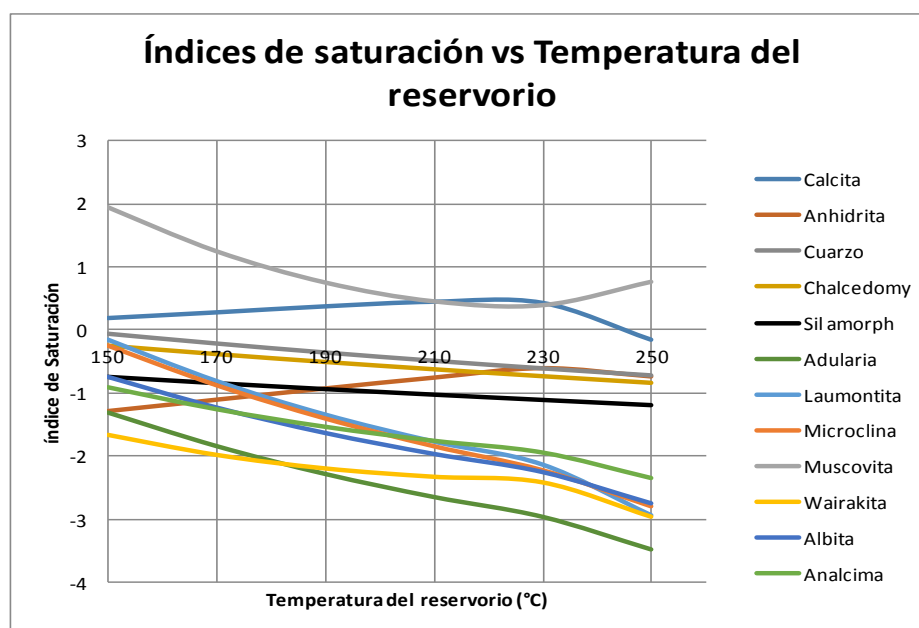


Figura 9: Gráfica de índice de saturación vs T en pozo A, a partir de datos preliminares.

#### 5.2.3.1 Calcita ( $\text{CaCO}_3$ ) y sus variaciones - Efectos de sensibilidad parámetros

Variables representativas	Efecto
$\text{CO}_2$	<p>Aumentos en la concentración de <math>\text{CO}_2</math> reducen la temperatura de saturación y aumentan índices de saturación, en pozo A:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Reducción del valor de <math>\text{CO}_2</math> de 17.24 ppm a 10 ppm reduce el valor de los índice de saturación y aumenta la temperatura de saturación de 170°C a 180 °C.</li> <li>- Un aumento en la concentración de <math>\text{CO}_2</math> de 17.24 a 32 ppm genera un aumento en los índices de saturación y reduce la temperatura de saturación de 170°C a 150 °C.</li> </ul>

<b>Sodio</b>	En el boiling spring model entre concentraciones de 100 y 250 ppm no se observa dependencia con respecto al sodio.
<b>Calcio</b>	Aumentos en la concentración de calcio aumentan IS, en pozo F717: <ul style="list-style-type: none"> <li>– Entre 5 ppm y 21.3 ppm permanece insaturada a todas las temperaturas.</li> <li>– Con el aumento de 21.3 a 40 ppm forma una campana que se insatura a 250 °C.</li> </ul>
<b>pH</b>	En ambientes ácidos la calcita tiende a ser soluble y a saturar en medios alcalinos , en pozo F717: <ul style="list-style-type: none"> <li>– A pH de 4.5 se presenta insaturada a todas las temperaturas.</li> <li>– A pH de 8.5 permanece sobre saturada a todas las temperaturas.</li> </ul>

### 5.2.3.2 Anhidrita ( $\text{CaSO}_4$ ) y sus variaciones - Efectos de sensibilidad parámetros

Variables representativas	Efecto
<b>Calcio</b>	Aumentos en concentraciones de calcio permiten temperaturas de saturación más bajas y un aumento en los IS. En pozo F717: <ul style="list-style-type: none"> <li>– En un margen de concentraciones de 5-40 ppm el sistema permanece insaturado.</li> </ul>
<b>Cloro</b>	– En un rango de concentraciones de 30 a 90 ppm no presenta cambios.
<b>Sodio</b>	Ligeramente significativo, en este caso hay un aumento en los IS y una reducción del la temperatura de saturación cuando baja la concentración de Na y caso contrario cuando se aumenta. En pozo F717: <ul style="list-style-type: none"> <li>– En un rango de concentraciones de 100 a 250 ppm el sistema permanece insaturado.</li> </ul>
<b>Sulfato</b>	En un rango de concentraciones de 10 a 50 ppm no se observan cambios.
<b>CO<sub>2</sub></b>	Al aumentar la concentración de dióxido de carbono tiende a bajar el valor de sus IS, bajo un rango de 150 ppm y 750 ppm nunca logra la saturación.
<b>pH</b>	La variación de la anhidrita con respecto al pH es significativa. En medios ácidos tiende a presentarse insaturada y disuelta, a medida aumenta el pH aumenta su IS. En pozo F717: <ul style="list-style-type: none"> <li>– A pH bajo no logra sobre saturarse.</li> <li>– Alcanza a todos los pH el valor máximo de IS a 230 °C hasta pH de 7.5 luego tiende a línea recta.</li> </ul>

### 5.2.3.3 Cuarzo (SiO<sub>2</sub>) y sus variaciones - Efectos de sensibilidad parámetros

Variables representativas	Efecto
<b>Sílice</b>	<p>La sensibilidad de cambio del Cuarzo con respecto a la concentración de sílice es significativa.</p> <p>Con reducciones en su concentración disminuye IS. En pozo F717:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Al reducir concentración de 124.5 a 50 ppm bajan los IS y se insatura mas.</li> <li>– Al aumentar las concentraciones de 124.5 a 600 ppm aumenta el IS se insatura a temperaturas cercanas a los 210 °C.</li> </ul>
<b>pH</b>	<p>La sensibilidad del cuarzo con respecto a variaciones del pH no se considera significativa, entre valores de pH de 4.5 y 8.5 no se observan cambios aparentes.</p>

### 5.2.3.4 Calcedonia (SiO<sub>2</sub>) y sus variaciones - Efectos de sensibilidad parámetros

Variables representativas	Efecto
<b>Sílice</b>	<p>La concentración de sílice es directamente proporcional a la temperatura de insaturación mineral y el valor del índice de saturación de la calcedonia. En pozo F717:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Al reducir la concentración de 124.5 a 50 ppm bajan los IS permanece insaturada.</li> <li>– Al aumentar la concentración de 124.5 a 600 ppm logra alcanzar saturación a 190°C</li> </ul>
<b>pH</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– En Boilin Spring Model en un intervalo de pH de 4.5-8.5 no genera cambios significativos.</li> </ul>

### 5.2.3.5 Sílice amorfa (SiO<sub>2</sub>) y sus variaciones - Efectos de sensibilidad parámetros

Variables representativas	Efecto
<b>Sílice</b>	<p>La concentración de sílice es directamente proporcional a la temperatura de insaturación mineral y el valor del índice de saturación de la sílice amorfa. En pozo F717:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Al reducir la concentración de 124.5 ppm a 50 ppm existe un descenso en el IS pero permanece insaturada permanentemente.</li> <li>– Al aumentar las concentraciones hasta 600 ppm continúa insaturada a todas las temperaturas. .</li> </ul>
<b>pH</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– En Boilin Spring Model en un intervalo de pH de 4.5-8.5 no genera cambios significativos.</li> </ul>

### 5.2.3.6 Wairakita y sus variaciones - Efectos de sensibilidad parámetros

Variables representativas	Efecto
<b>Sílice</b>	Con un aumento de la concentración de sílice, aumenta su IS, y se reduce el margen de temperaturas a la que se encuentra insaturada pudiendo alcanzar sobresaturación a todas las temperaturas si las concentraciones de sílice son demasiado altas. En pozo F717: <ul style="list-style-type: none"> <li>– Al reducir concentraciones del valor inicial de 124.5 solo se logra insaturar más.</li> <li>– Al aumentar la concentración de 124.5 a 600 ppm aumenta su temperatura de equilibrio de <math>T &lt; 150</math> °C a una temperatura de 250°C.</li> </ul>
<b>Sodio</b>	Con una reducción en la concentración de Sodio existe un aumento en los valores de IS. En pozo F717: <ul style="list-style-type: none"> <li>– En un intervalo entre 100 ppm y 250 ppm la wairakita nunca alcanza saturarse.</li> </ul>
<b>Calcio</b>	Tiene un efecto similar al de la sílice, a medida aumenta la concentración de calcio aumenta el valor del IS. En pozo F717: <ul style="list-style-type: none"> <li>– En un intervalo de 5 ppm y 40 ppm la wairakita permanece insaturada a todas las temperaturas</li> </ul>
<b>CO<sub>2</sub></b>	IS es inversamente proporcional a la concentración de dióxido de carbono. En pozo F717: <ul style="list-style-type: none"> <li>– En un margen de 150 ppm a 750 ppm la wairakita está permanentemente insaturada.</li> </ul>
<b>Aluminio</b>	Un aumento de concentración de Al produce un aumento en los valores del IS. En pozo F717: <ul style="list-style-type: none"> <li>– Al bajar su concentración inicial de 0.14 ppm solo se logra una mayor insaturación.</li> <li>– Al aumentar su concentración hasta 2 ppm puede alcanzar el equilibrio a 190 °C.</li> </ul>
<b>pH</b>	Aumenta el valor del IS a medida aumenta el pH. En Boiling Spring Model nunca alcanza saturación.

### 5.3 EFECTO DE LA VARIACIÓN DE MINERALES MINORITARIOS

El análisis de resultados de los fluidos estudiados, presenta una marcada tendencia a mostrar variaciones producto de la misma serie de parámetros, principalmente debido al efecto del pH, contenido de Ca, SiO<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub>, CO<sub>2</sub>, HCO<sub>3</sub>, Al, entre otros. Sin embargo la composición química de los fluidos comprende más componentes, muchos de los cuales son considerados por el programa WATCH para sus análisis y los cuales se incluyeron en las simulaciones realizadas en los diferentes escenarios de evaluación.

A continuación se presenta de manera breve el efecto que algunos de estos parámetros generan en las condiciones de saturación de los diferentes minerales:



Parámetro	Efecto
<b>Cl</b>	Predominantemente variaciones en el contenido de cloro no generan cambios, sin embargo pueda llegar a generar aumentos en el valor de los IS de la muscovita y wairakita ante reducciones en el contenido de cloro. La calcita y anhidrita también pueden variar, reduciendo la temperatura de saturación a medida disminuye el contenido de cloro.
<b>Na</b>	Variaciones en el contenido de sodio únicamente afectan a la albita, analcima y laumontita. Reducciones en el contenido de sodio tienden a que la albita y la analcima se insaturen a menores temperaturas, a diferencia de la laumontita la cual se insatura a mayores temperaturas antes las reducciones en el contenido de sodio. Adicionalmente la calcita y anhidrita pueden llegar a reducir sus temperaturas de saturación.
<b>K</b>	Predominantemente variaciones en el contenido de potasio únicamente afectan a la adularia, microclina y muscovita. Reducciones en el contenido de potasio tienden a que los tres minerales se insaturen a menores temperaturas.
<b>Al</b>	Ausencia de este valor no permite realizar cálculos en los índices de saturación de aluminio silicatos. Variaciones afectan a la calcita, anhidrita y wairakita de los minerales analizados en esta parte, aumentos generalmente elevan el valor del IS de dichos minerales.
<b>B</b>	Variaciones en el contenido de boro no afectan a ninguno de los minerales considerados por el programa WATCH. No se aprecian variaciones ante la reducción o aumento del contenido de boro.
<b>Mg</b>	Variaciones en el contenido de magnesio no afectan a ninguno de los minerales considerados por el programa WATCH. No se aprecian variaciones ante la reducción o aumento del contenido de magnesio
<b>NH<sub>3</sub></b>	Tiene un efecto inversamente proporcional en cuanto al relación IS vs concentración a medida aumenta la concentración de amoníaco disminuye el valor del IS de la calcita, anhidrita y wairakita.
<b>H<sub>2</sub>S</b>	Aumento en la concentración de ácido sulfhídrico favorece precipitación de calcita.
<b>Fe</b>	Variaciones en el contenido de hierro no afectan a ninguno de los minerales considerados por el programa WATCH. No se aprecian variaciones ante la reducción o aumento del contenido de hierro
<b>F</b>	Variaciones en el contenido de flúor no afectan a ninguno de los minerales considerados por el programa WATCH. No se aprecian variaciones ante la reducción o aumento del contenido de flúor
<b>TDS (Sólidos totales disueltos)</b>	Variaciones en el contenido de sólidos totales disueltos no afectan a ninguno de los minerales considerados por el programa WATCH. No se aprecian variaciones ante la reducción o aumento del contenido de sólidos totales disueltos. Por lo que se considera no es necesario ingresarlo en el Input.

## 5.4 INFLUENCIA DEL PH Y LA PRESIÓN EN MINERALES

Dentro del análisis de los pozos, se consideraron una serie de simulaciones especiales evaluando variaciones en el contenido de pH y la presión. Se realizaron aproximadamente 48 simulaciones de las cuales los resultados obtenidos reflejan los principales cambios detallados a continuación:

MINERAL	Dependencia de la Presión	Dependencia del pH
<b>Calcita</b>	El índice de saturación baja a medida disminuye la presión, a medida disminuye la presión tiende a aumentar el IS, sin embargo no se considera lo suficientemente significativa como para controlar el equilibrio de la calcita.	Es el mineral más dependiente del pH, a valores bajos de pH tiende a estar insaturada a todas las temperaturas, a pH entre 6 y 7 se maneja entre estado saturado e insaturado con temperaturas de saturación cercanas a 200°C, a pH altos tiende a estar sobresaturada permanentemente. A pesar de aumentar el IS a medida aumenta el pH, el punto de inflexión tiende a darse a menores temperaturas lo que permitiría lograr nuevamente insaturación a altas temperaturas, sin embargo estas son demasiadas altas en comparación a las temperaturas comunes de sistemas geotérmicos.
<b>Anhidrita</b>	Presenta las mismas características que la calcita, a pH muy alcalinos la influencia se vuelve aún menos significativa.	A pH demasiado ácidos presenta una tendencia con pendiente = 0, en la que se encuentra permanentemente insaturada, a medida aumenta el pH tiende a formar una pendiente de aumento retrógrado de solubilidad y a aumentar su IS, al aumentar más el pH y convertirlo en altamente alcalino tienden a volver a bajar los valores del IS.
<b>Cuarzo</b>	A presiones bajas cercanas a la atmosférica se observa una leve reducción en el IS.	A medida aumenta el pH reduce el valor de su IS, y se insatura a menores temperaturas.
<b>Calcedonia</b>	No presenta dependencia a la presión.	Tiene un comportamiento similar al del cuarzo tiende a alcanzar temperaturas de saturación más bajo a medida aumenta el pH.
<b>Sílice amorfa</b>	A presiones bajas cercanas a la atmosférica se observa una leve reducción en el IS.	Reduce el valor de IS a medida aumenta el pH, tendencia a cambio tiende a ser menor a pH bajos.
<b>Adularia</b>	El valor del IS se reduce levemente a presiones bajas.	Aumenta en gran medida el valor de su IS a medida aumenta el pH, tiende a insaturar solo a pH menores a 3, a pH bajo muestra comportamiento retrógrado y tiende a invertirse a medida aumenta el pH. Cambio es menos pronunciado a bajas concentraciones de sílice.

<b>Laumontita</b>	Leve reducción del IS al bajar la presión.	Aumenta en gran medida el valor de su IS a medida aumenta el pH, tiende a insaturar solo a pH menores a 3, a pH bajo muestra comportamiento retrógrado y tiende a invertirse a medida aumenta el pH. Cambio es menos pronunciado a bajas concentraciones de sílice.
<b>Microclina</b>	Reducción del IS a medida se baja la Presión, la influencia se hace mayor en pH alcalinos.	Aumenta en gran medida el valor de su IS a medida aumenta el pH, tiende a insaturar solo a pH menores a 3, a pH bajo muestra comportamiento retrógrado y tiende a invertirse a medida aumenta el pH. Cambio es menos pronunciado a bajas concentraciones de sílice, lo cual le permite alcanzar temperaturas de insaturación menores en pH moderados, a pH altos siempre tiende a estar sobresaturada.
<b>Muscovita</b>	No presenta dependencia alguna a la presión.	Presenta comportamiento retrógrado de solubilidad con respecto a la temperatura a pH bajos, a medida aumenta el pH y con valores mayores a 3 tiende a sobresaturarse a todas las temperaturas pero cambia su tendencia y poco a poco pierde el comportamiento retrogrado, a pH muy alcalinos mayores a 8 reduce sus valores de IS pero no lo suficiente como para tender a insaturación nuevamente.
<b>Wairakita</b>	Reduce el valor del IS a medida baja la presión.	Presenta comportamiento retrógrado de solubilidad con respecto a la temperatura a pH bajos, a medida aumenta el pH cerca de valores neutros tiende a sobresaturarse a todas las temperaturas pero cambia su tendencia y poco a poco pierde el comportamiento retrogrado; sin embargo forma campanas cóncavas hacia arriba que no le permiten alcanzar nuevamente la insaturación, a pH muy alcalinos mayores a 10 reduce sus valores de IS pero no lo suficiente como para tender a insaturación nuevamente.
<b>Albita</b>	Reduce el valor del IS a medida baja la presión.	Presenta comportamiento retrógrado de solubilidad con respecto a la temperatura a pH bajos, a medida aumenta el pH y con valores mayores a 3 tiende a sobresaturarse a todas las temperaturas pero cambia su tendencia y poco a poco pierde el comportamiento retrogrado, a pH muy alcalinos mayores a 10 reduce sus valores de IS pero no lo suficiente como para tender a insaturación nuevamente.

**Analcima**

Reducción del valor del IS a medida baja la presión.

Presenta comportamiento retrógrado de solubilidad con respecto a la temperatura a pH bajos, a medida aumenta el pH y con valores mayores a 3 tiende a sobresaturarse a todas las temperaturas pero cambia su tendencia y poco a poco pierde el comportamiento retrógrado, a pH muy alcalinos mayores a 10 reduce sus valores de IS pero no lo suficiente como para tender a insaturación nuevamente.

## CONCLUSIONES

- ❖ De los minerales analizados, la calcita y la anhidrita son los que muestran dependencia a un mayor número de variables, de las cuales las más significativas son pH, Ca, CO<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub>, HCO<sub>3</sub> y H<sub>2</sub>S.
- ❖ En casos particulares, la SiO<sub>2</sub>, Na y Cl al someterse a altas concentraciones, si pueden generar cambios en la calcita y anhidrita.
- ❖ De los componentes químicos, el CO<sub>2</sub> es el más significativo en la calcita, siendo el que tiene mayor influencia para generar incrustaciones. Lo cual se atribuye a la fuerte dependencia de este mineral al valor de las presiones parciales de CO<sub>2</sub> en el medio.
- ❖ En el caso del cuarzo, calcedonia y sílice amorfa, presentan únicamente dependencia del pH y la sílice.
- ❖ El cuarzo es el mineral en el cual cambios en la presión favorecen más la precipitación, reducciones en la presión hacen aumentar exponencialmente el valor del índice de saturación del cuarzo.
- ❖ De todas las variables analizadas, el pH es la única que tiene una influencia sobre todos los minerales, controlando el valor de los índices de saturación y el comportamiento de la curva de la solubilidad respecto a la temperatura.
- ❖ Variaciones de pH menores a la unidad no generan cambios significativos en el sistema.
- ❖ Los minerales aluminosilicatos no pueden ser caracterizados por el programa WATCH en ausencia del valor de concentración de aluminio.
- ❖ El contenido de B, Fe, F y TDS no se consideran variables significativas en los datos de entrada a WATCH al no generar cambios.
- ❖ En el Boiling Spring Model, el valor del pH únicamente genera cambios en el cuarzo, calcedonia y sílice amorfa, en ambientes demasiado ácidos menores a pH 2.0 y demasiado básicos mayores a pH 11.0.
- ❖ Altas concentraciones de hierro en medios ácidos pueden indicar alto nivel de corrosión en tuberías.

## RECOMENDACIONES

- ❖ Para futuras simulaciones se puede obviar el contenido de B, Fe, F y TDS, así como las otras variables como la temperatura de muestreo, temperatura de pH, entalpía y caudal
- ❖ Se recomienda profundizar el estudio haciendo evaluaciones con el modelo de Conductive Cooling
- ❖ Buscar la mejor aproximación a la temperatura de ebullición para el Boiling Spring Model

- ❖ Para atender problemas de incrustaciones al evaluar un fluido, considerar las variaciones de pH en primera instancia para generar cambios.
- ❖ Para análisis en cuanto influencia de la presión en los valores de índices de saturación, se debe realizar el cálculo de la temperatura de saturación a la presión de interés, e ingresar estos valores en el input del programa WATCH.
- ❖ Prestar atención a concentraciones de hierro en ambientes ácidos, estas no necesariamente pueden provenir de disolución mineral ya que pueden tratarse de trazas provenientes de procesos de corrosión en tuberías.
- ❖ Tratar de obtener el valor más próximo posible con respecto a la temperatura de referencia y el valor real en reservorio, el programa watch asume líquido comprimido a la temperatura ingresada en el input por lo que tiene gran influencia en los resultados.

## AGRADECIMIENTOS

- ❖ A Dios por permitirnos culminar este proyecto y poder desarrollarnos en una nueva área de estudios.
- ❖ A las instituciones BID, NFD, CNE, UES Y LaGeo, por generar este tipo de oportunidades y permitirnos ser partícipes de ella.
- ❖ A nuestro tutor del proyecto Lic. Francisco Ernesto Montalvo, por su invaluable ayuda y tiempo.
- ❖ A los coordinadores del diplomado Jaime Arévalo, David Enoc Escobar y Marilyn Idalia Deleón por su apoyo y guía.

## BIBLIOGRAFÍA

1. OLADE & BANCO INTERAMERICANO DE DESARROLLO . (1994). *Guía de Estudios de Reconocimiento y Prefactibilidad Geotérmicos*. Quito-Ecuador .
2. OLADE & BANCO INTERAMERICANO DE DESARROLLO. (1994). *Guía para Estudios de Factibilidad Geotérmica*. Quito-Ecuador.
3. OLADE & BANCO INTERAMERICANO DE DESARROLLO. (1993). *Guía para la Etapa de Desarrollo de un Proyecto Geotérmico*. Quito-Ecuador.
4. OLADE & BANCO INTERAMERICANO DE DESARROLLO. (1993). *Guía para la Operación y Mantenimiento de Campos y Plantas Geotérmicas*. Quito-Ecuador.
5. Quijano Leon, J. L. (2007). *Manual de Geotermia, Ciencias de la Tierra e Ingeniería de Reservorios*. México.
6. Reyes Linares, C. C. (2013). *Geoquímica Preliminar de los Prospectos Geotérmicos de San Francisco Libre y Santa Bárbara, Nicaragua*. San Salvador- El Salvador .
7. Montalvo, F. (Agosto de 2014). Monitoreo Geoquímico de Pozos Geotérmicos. Presentación en Módulo VI del Diplomado de Especialización en Geotermia (F. Montalvo intérprete), Universidad de El Salvador, San Salvador-El Salvador .
8. Arnórsson S.,-International atomic energy agency . (2000). *Isotopic and Chemical Techniques in Geothermal Exploration, Development and Use* . Viena-Austria.
9. Nicholson, K. (1993). *Geothermal Fluids: Chemistry and Exploration Techniques*. Escocia: Springer Vergal.
10. Hördur Svavarsson (1981). *Programas “Watch1” y “Watch3”. Herramienta para la Interpretación de Análisis Químicos de Aguas Geotérmicas*. Orkustofnun (Autoridad de Energía Nacional de Islandia), División Geotérmica, Reykjavik. The Iceland Water Chemistry Group – Isor Iceland Geosurvey (2010). “Watch”. Islandia.
11. Pellant, C. (1993). *Manual de Identificación de Rocas y Minerales* . Barcelona: OMEGA, S.A.
12. Montalvo, F. (Julio de 2014). Clasificación de Aguas y Gases . Presentación en Módulo III del Diplomado de Especialización en Géotermia (J. Tenorio intérprete), San salvador-El salvador.

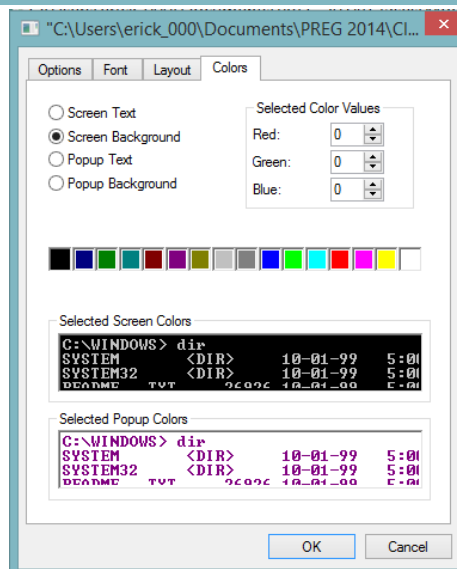
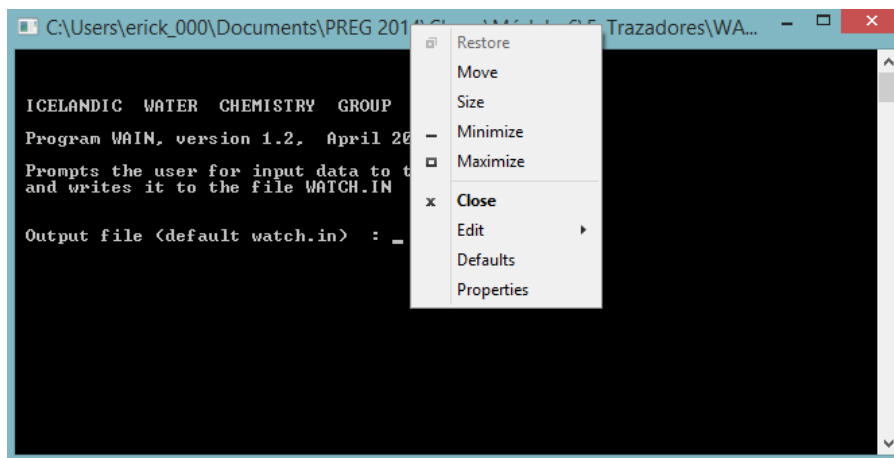
13. Rodríguez, V. T., & Gonzáles Partida, E. (1989). *GÉOQUÍMICA TERMODINÁMICA*. México: Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México.
14. Arnorsson, S., (1989). *Deposition of Calcium Carbonate Minerals from Geothermal Waters- Theoretical Considerations, Geothermics*. Volumen. 18.
15. Garg S.K. , Combs J, Pritchett J.W., Truesdell A.H. & Stevens J. L. (1997). *Development a Geothermal Resource in a Fractured Volcanic Formation: Case Study of the Sumikawa Geothermal Field, Japan*.
16. López A. V. *Instrucciones Generales para la Redacción de Informes Técnicos*. México: Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de México.



## Anexo 1: Guía de trabajo del programa WATCH

Como se describió previamente en el capítulo titulado “Introducción al Programa de especiación química WATCH”, se cuenta con la opción de desarrollar tres tipos de modelos en el programa, los cuales son Boiling Spring Model, Adiabatic Boiling y Conductive Cooling. De estos últimos, los dos primeros son los que se han utilizado en el presente trabajo y que por tanto se profundiza en su explicación en esta guía.

Por defecto los programas WAIN y WATCH poseen un formato en cual el fondo de pantalla es color negro y el texto es color blanco; sin embargo este es un formato que puede resultar incómodo para algunos usuarios, para lo cual se cuenta con la opción de cambiar estas condiciones. Para ello se abre cualquiera de los programas, WAIN o WATCH, y haciendo clic derecho en la ventana superior se apertura una serie de opciones, de las cuales se selecciona Properties. Al acceder a Properties la ventana Colors proporciona la opción para cambiar el color del fondo de pantalla en Screen Background, y cambiar el color del texto en Screen Text, para lo cual proporciona variedad de colores.



Para la ejecución del programa WATCH, previamente se requiere del programa WAIN el cual permite crear el archivo en el que se definen las características del fluido a analizar. Posteriormente, el archivo resultante del uso de WAIN será ejecutado en el programa WATCH, y dará como resultado un archivo cuyo formato deberá ser el adecuado para ser utilizado por una hoja de cálculo para la visualización y manipulación de los datos, tal y como lo es el programa Microsoft Excel. El detalle de los pasos a seguir para ejecutar estos programas se define a continuación:

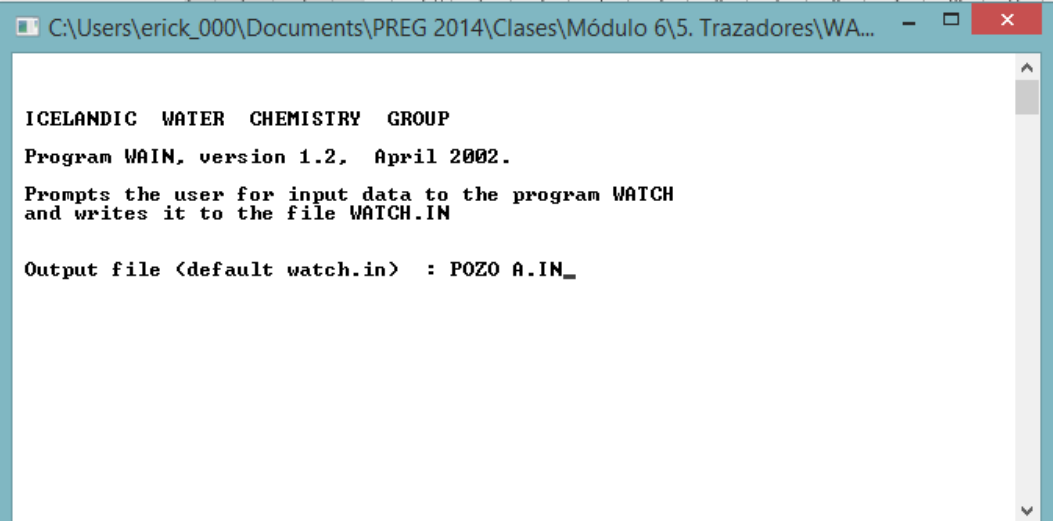
## I. PROGRAMA WAIN – Definición de las características del fluido a analizar

La ejecución del programa WAIN permite definir ciertas condiciones del archivo de trabajo, de entre las que destacan:

- ❖ Identificación del archivo de salida (archivo de entrada a WATCH)
- ❖ Identificación de la muestra: número de muestra, localización, temperatura, presión, entalpía y caudal de descarga.
- ❖ Unidades de trabajo y concentración del fluido en fase líquida
- ❖ Unidades de trabajo y concentración del fluido en fase gas

Los pasos a seguir para la ejecución del programa WAIN son:

1. **Identificación del nombre del archivo de trabajo.** Se define el nombre del archivo de trabajo, el cual preferentemente deberá ser un título breve que permita distinguir el archivo de entre otros. Ya que el nombre del archivo de salida de WATCH suele tener el mismo formato que el archivo de salida de WAIN (archivo de entrada de WATCH), se recomienda terminar el nombre del archivo con la extensión “.in” para poder diferenciarlos fácilmente. La forma en que los datos se introducen en WAIN y WATCH es escribiendo el título o valor del dato y presionando la tecla Enter.



```
ICELANDIC WATER CHEMISTRY GROUP
Program WAIN, version 1.2, April 2002.
Prompts the user for input data to the program WATCH
and writes it to the file WATCH.IN

Output file <default watch.in> : POZO A.IN_
```

2. **Identificación de los datos de la muestra.** Tal y como se describió previamente, WAIN solicita al usuario los datos sobre el número de muestra y su localización, así como también su temperatura (°C), presión (bar gauge), entalpía (kJ/kg) y descarga (kg/s). En caso no se tengan los datos o no se desee introducir algún dato específico se presiona la tecla Enter, sin embargo se debe considerar que para el caso de la temperatura, presión y entalpía dicha operación tendrá efecto en los resultados.

```

C:\Users\erick_000\Documents\PREG 2014\Clases\Módulo 6\5. Trazadores\WA...
SUNDRY DATA

Sample number           : 1
Sample location         :
Sampling temperature (C) : 25
Sampling pressure (bar-g) : 10.6
Fluid enthalpy (kJ/kg)  :
Discharge (kg/s)       :

1 : Sample number           : 1
2 : Sample location         :
3 : Sampling temperature (C) : 25.0000
4 : Sampling pressure (bar-g) : 10.6000
5 : Fluid enthalpy (kJ/kg)  : 0.0000
6 : Discharge (kg/s)       : 0.0000

```

3. **Corrección de datos.** Luego de introducidos los datos de una sección, tanto WAIN como WATCH brindan al usuario la oportunidad de hacer correcciones en caso se cometa un error, para ello se escribe el número correspondiente al ítem que se desee corregir, se presiona Enter y seguidamente se introduce el dato corregido. Finalmente se presiona la tecla Enter cuando el nuevo dato ha sido escrito para introducirlo al programa.

```

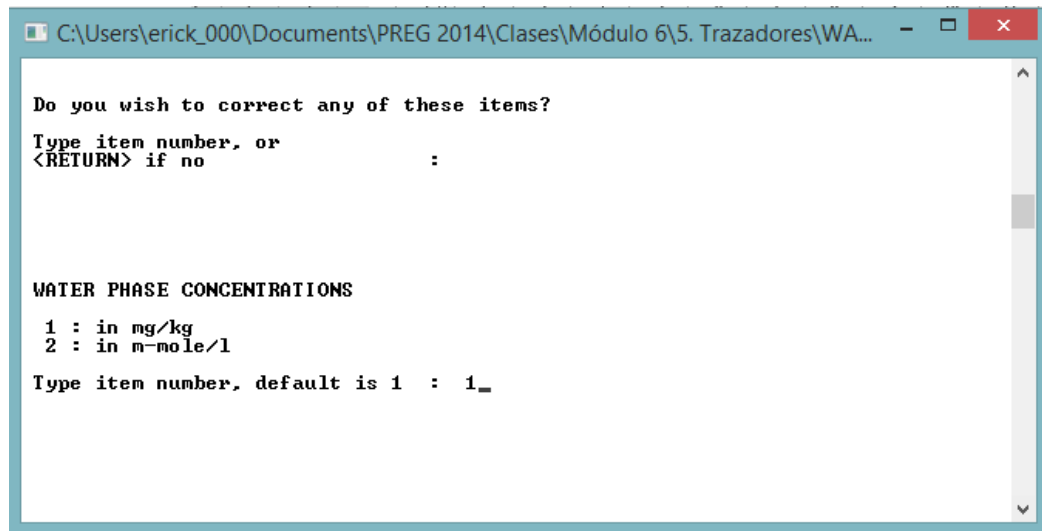
C:\Users\erick_000\Documents\PREG 2014\Clases\Módulo 6\5. Trazadores\WA...
Do you wish to correct any of these items?
Type item number, or
<RETURN> if no           : 3
    Sampling temperature (C) : 30

1 : Sample number           : 1
2 : Sample location         :
3 : Sampling temperature (C) : 30.0000
4 : Sampling pressure (bar-g) : 10.6000
5 : Fluid enthalpy (kJ/kg)  : 0.0000
6 : Discharge (kg/s)       : 0.0000

Do you wish to correct any of these items?

```

4. **Definición de las unidades de trabajo para las concentraciones en la fase líquida.** WAIN brinda al usuario dos opciones para definir las unidades de los componentes de la fase líquida. En caso se desee ingresar los datos en unidades de mg/kg, se debe introducir el ítem 1 o dar Enter ya que esta opción es la predeterminada, y en caso se desee usar unidades de mmol/l se introduce el ítem 2.



5. **Introducción de los datos en la fase líquida.** Seleccionadas las unidades de trabajo, el programa solicita el valor para cada uno de los componentes de la fase líquida con que trabaja WATCH, para lo cual estos se introducen según los datos que se tengan para el fluido en cuestión. En caso no se cuente con el valor de uno de los componentes solicitados o su valor es cero, puede presionarse directamente la tecla Enter y el programa reconocerá el valor como cero. En el caso del  $\text{HCO}_3$  reportado en la fase líquida, este se introduce como  $\text{CO}_2$  (ítem 1), para lo cual se hace necesaria la conversión correspondiente que generalmente es multiplicando el valor reportado del  $\text{HCO}_3$  por un factor de 0.72 para obtener el valor como  $\text{CO}_2$ . Introducidos todos los datos de esta sección, WAIN brinda la oportunidad de corregir datos como se describió en el inciso anterior.

Finalizada la introducción de datos de la fase líquida, el usuario debe determinar si trabajará con un modelo tipo Boiling Spring Model, ya que el siguiente paso, introducción de unidades y datos de la fase gas, define si se ejecutará este modelo o se procederá con un Adiabatic Boiling y/o un Conductive Boiling.

```

C:\Users\erick_000\Documents\PREG 2014\Clases\Módulo 6\5. Trazadores\WA...
Type item number, default is 1 : 1

CO2 in water (mg/kg) : 17.24
H2S in water (mg/kg) :
NH3 in water (mg/kg) : 0.44
B in water (mg/kg) : 79.1
SiO2 in water (mg/kg) : 576
Na in water (mg/kg) : 1703
K in water (mg/kg) : 273
Mg in water (mg/kg) : 0.011
Ca in water (mg/kg) : 33.2
F in water (mg/kg) : 0.7
Cl in water (mg/kg) : 2832
SO4 in water (mg/kg) : 24.6
Al in water (mg/kg) : 2.81
Fe in water (mg/kg) : 0.031
Total solids (mg/kg) :
Water phase pH : 7.56
pH temperature (°C) : 30

```

6. **Definición de las unidades de trabajo para las concentraciones en la fase gaseosa.** Cuando se llega a esta etapa del programa WAIN, en caso se desee un Boiling Spring Model o un Adiabatic Boiling se procede de la siguiente forma:

6.1 **Boiling Spring Model.** Para el desarrollo del Boiling Spring Model, no se introducen datos de la fase gas, por tanto cuando WAIN solicita definir las unidades de la fase gas, el usuario procederá presionando Enter. Posteriormente el programa brinda al usuario la oportunidad de introducir otra muestra, en caso no se desee se presiona Enter y el programa se cerrará automáticamente con lo cual quedará creado el archivo de entrada a WATCH para su respectiva ejecución, caso contrario se introduce el texto “y” seguido de Enter, con lo cual el usuario procederá a introducir los datos de la nueva muestra según el procedimiento antes descrito.

```

C:\Users\erick_000\Documents\PREG 2014\Clases\Módulo 6\5. Trazadores\WA...
STEAM PHASE GAS DATA AS

1 : Total steam, mg gas/kg H2O
2 : Total steam, m-mole gas/kg H2O
3 : Total steam, m-mole gas/mole H2O
4 : Total steam, mole-% gas including H2O
5 : Total steam, weight-% gas including H2O
6 : Volume-% dry gas and mg gas/kg condensate
7 : Volume-% dry gas and m-mole gas/kg condensate
8 : Volume-% residual gas and CO2, H2S, and NH3 in total steam, mg/kg
9 : Volume-% residual gas and CO2, H2S, and NH3 in total steam, m-mole/kg

Type item number, or
<RETURN> if no steam phase :

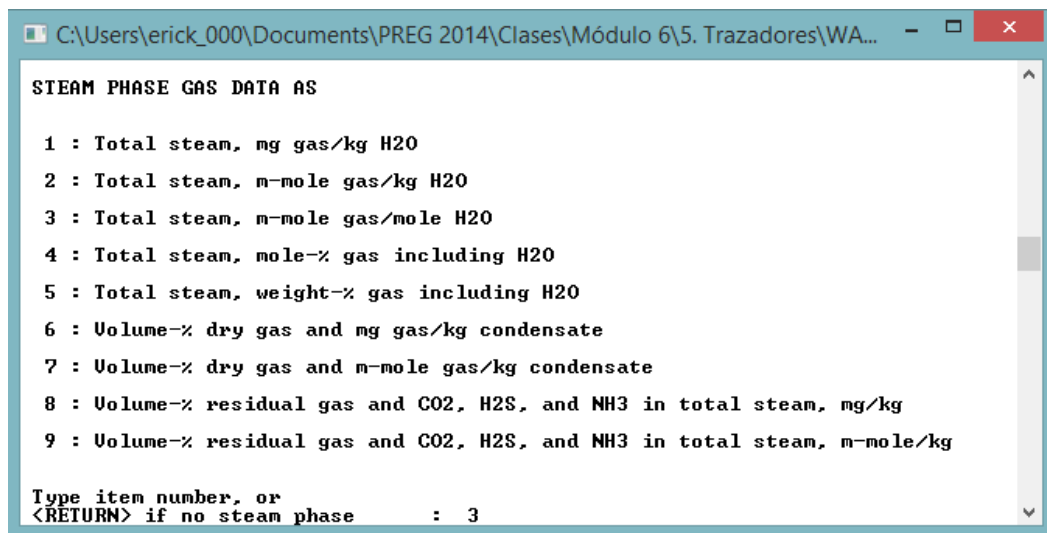
Another sample?

If so, type y,
<RETURN> if no :

```

**6.2 Adiabatic Boiling.** Para el desarrollo del Adiabatic Boiling, sí se introducen datos de la fase gas. Similar a la fase líquida, WAIN brinda al usuario diferentes opciones de las unidades en que desea introducir sus datos. Se ofrecen nueve opciones de unidades de trabajo para la fase gaseosa, sin embargo no se presenta una de las unidades más utilizadas a nivel local (mmoles/100 moles de vapor de agua), para lo cual se puede proceder a escoger el ítem 3 (mmoles/mol de vapor de agua) y realizar la conversión de las unidades obtenidas del análisis dividiendo los datos como mmolese/mol de vapor de agua entre 100, obteniéndose así mmoles/100 moles de vapor de agua.

**7. Introducción de los datos en la fase gaseosa (No aplica al Boiling Spring Model).** Seleccionadas las unidades de trabajo, el programa procede a solicitar los datos de los componentes de la fase gaseosa con que WATCH trabaja. Introducidos los datos, en las unidades correctas, WAIN brindará al usuario la oportunidad de realizar las correcciones correspondientes.



```
C:\Users\erick_000\Documents\PREG 2014\Clases\Módulo 6\5. Trazadores\WA... - [ ] [X]
STEAM PHASE GAS DATA AS

1 : Total steam, mg gas/kg H2O
2 : Total steam, m-mole gas/kg H2O
3 : Total steam, m-mole gas/mole H2O
4 : Total steam, mole-% gas including H2O
5 : Total steam, weight-% gas including H2O
6 : Volume-% dry gas and mg gas/kg condensate
7 : Volume-% dry gas and m-mole gas/kg condensate
8 : Volume-% residual gas and CO2, H2S, and NH3 in total steam, mg/kg
9 : Volume-% residual gas and CO2, H2S, and NH3 in total steam, m-mole/kg

Type item number, or
<RETURN> if no steam phase      : 3
```

Finalmente el programa brinda al usuario la oportunidad de introducir otra muestra, en caso no se desee se presiona Enter y el programa se cerrará automáticamente con lo cual quedará creado el archivo de entrada a WATCH para su respectiva ejecución, caso contrario se introduce el texto “y” seguido de Enter, con lo cual el usuario procederá a introducir los datos de la nueva muestra según el procedimiento antes descrito.

```

C:\Users\erick_000\Documents\PREG 2014\Clases\Módulo 6\5. Trazadores\WA...
1 : CO2 in total steam
    <m-mole gas/mole H2O> :      1.6690000296
2 : H2S in total steam
    <m-mole gas/mole H2O> :      0.1289999932
3 : NH3 in total steam
    <m-mole gas/mole H2O> :      0.0018000000
4 : H2  in total steam
    <m-mole gas/mole H2O> :      0.0018300000
5 : O2  in total steam
    <m-mole gas/mole H2O> :      0.0001900000
6 : CH4 in total steam
    <m-mole gas/mole H2O> :      0.0003100000
7 : N2  in total steam
    <m-mole gas/mole H2O> :      0.0468100011

Do you wish to correct any of these items?

Type item number, or
<RETURN> if no      :

```

## II. PROGRAMA WATCH – Definición de las condiciones de trabajo

La ejecución del programa WATCH permitirá establecer las condiciones bajo las cuales se desea simular el fluido de trabajo antes definido en el programa WAIN, para ello se determinan básicamente las temperaturas de trabajo y el coeficiente de desgasificación asumido, antes descrito en la sección “Introducción al Programa de especiación química WATCH”. Los pasos a seguir para la ejecución del programa WATCH son:

### 1. Identificación del nombre del archivo de trabajo de entrada y salida.

La primera solicitud del programa WATCH es el archivo de entrada que trabajará, es decir, el archivo de trabajo antes creado en WAIN. Es importante la introducción del título del archivo exactamente igual, caso contrario WATCH no identificará ningún archivo de trabajo, de igual forma es necesario que el archivo a trabajar se encuentre en la misma carpeta en que está contenido el programa WATCH para que la búsqueda sea exitosa.

Seguidamente se solicita un nombre o fecha de trabajo, dichos datos no son indispensables, pero facilitan identificar quien y cuando se realizó la simulación. De igual forma a continuación se solicita un título de encabezado para el archivo de salida, el mismo no indispensable pero permite identificar al archivo cuando posee características especiales o se desea diferenciar de otros similares.

Finalmente se debe introducir el nombre del archivo de salida, el cual sí es indispensable, con que se reconocerá la simulación. Se recomienda que dicho nombre sea breve y preferentemente con el mismo título que el archivo de entrada, con la diferencia que posea la extensión “.out” para facilitar la tarea de distinguirlo de otros archivos de trabajo.

```

C:\Users\erick_000\Documents\PREG 2014\Clases\Módulo 6\5. Trazadores\WA...
ICELAND WATER CHEMISTRY GROUP
Program WATCH, version 2.4, April 2010.
Reads chemical analyses of water, gas, and steam samples,
and computes aqueous speciation, gas pressures, and activity products,
at the temperature desired.

Input file,
default is watch.in ..... : POZO A.IN
User name or date ..... : ERICK FUNES - 19/10/2014
Printout heading ..... : POZO A CONDICIONES ORIGINALES
Output file,
default is watch.out ..... : POZO A.OUT_

```

2. **Corroboración de los datos de entrada.** Introducidas las condiciones iniciales de WATCH, el programa presenta los datos del archivo de trabajo creado en WAIN. Esto permite al usuario verificar previo a la simulación, si todos los datos introducidos están correctos, caso contrario para corregirlos el usuario deberá hacerlo directamente en el programa WAIN comenzando un nuevo archivo de trabajo. Si todos los datos se encuentran bien el usuario presiona Enter para continuar con la introducción de las condiciones de trabajo.

```

C:\Users\erick_000\Documents\PREG 2014\Clases\Módulo 6\5. Trazadores\WA...
pH          7.56  | Na      1703.00  || C02      0.00  || pH          0.00
pH-temp     30.00 | K       273.00  || H2S      0.00  || pH-temp     0.00
SiO2        576.00 | Mg      0.01   || NH3      0.00  || C02         0.00
B           79.10 | Ca     33.20  || H2       0.00  || H2S         0.00
CO2         17.24 | Al      2.81   || O2       0.00  || NH3         0.00
H2S         0.00  | Fe      0.03   || CH4      0.00  || Na          0.00
NH3         0.44  | F       0.70   || N2       0.00  ||
H2          0.00  | Cl     2832.00 ||          || Steam phase
O2          0.00  | SO4    24.60  ||          || mg/kg
CH4         0.00  | IDS     0.00  || Liters gas per kg || C02         0.00
                ||          || condensate 0.00  ||
N2          0.00  |          || Gas collection || H2S         0.00
                |          || temp.        0.00 || NH3         0.00
                |          ||
-----
Do calculation = <RETURN> // Next sample = n // Quit = q :

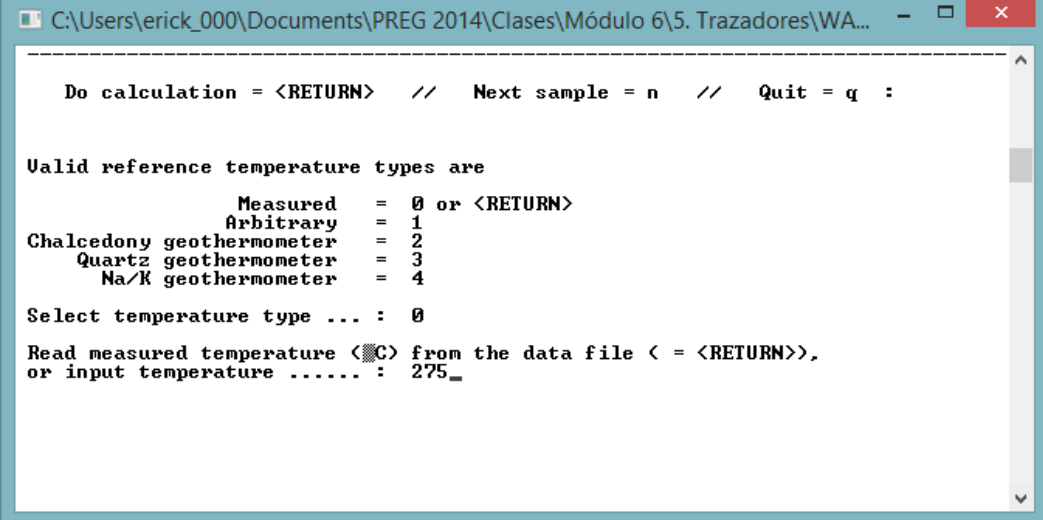
```

3. **Selección de la temperatura de referencia.** WATCH solicita al usuario la temperatura de referencia a partir de la cual realizará las simulaciones a diferentes condiciones, para ello se cuenta con cinco opciones como se ha descrito previamente en la sección “Introducción al Programa de especiación química WATCH”. Las primeras dos opciones, Measured y Arbitrary, exigen al usuario introducir el valor de temperatura (°C); mientras que las otras tres opciones, Chalcedony geothermometer, Quartz geothermometer y Na/K geothermometer,



provocarán que el programa calcule automáticamente la temperatura en base a la química del fluido.

Para seleccionar el tipo de temperatura de referencia a emplear, se introduce el valor del ítem escogido y se presiona Enter, seguidamente se introduce el valor (°C) en caso se seleccione la opción 1 o 2.



```
Do calculation = <RETURN> // Next sample = n // Quit = q :

Valid reference temperature types are
    Measured      = 0 or <RETURN>
    Arbitrary      = 1
Chalcedony geothermometer = 2
    Quartz geothermometer = 3
    Na/K geothermometer = 4

Select temperature type ... : 0

Read measured temperature <C> from the data file < = <RETURN>>,
or input temperature ..... : 275_
```

Introducida la temperatura de referencia (°C), el programa puede presentar dos opciones dependiendo del tipo de modelo que se esté trabajando. En caso no se hayan introducido datos de la fase gas en el programa WAIN, implicando que puede trabajarse un Boiling Spring Model, WATCH proveerá al usuario la opción para definir las condiciones de este modelo. En caso contrario, es decir que sí se introdujeron datos de la fase gas en el programa WAIN, WATCH no proveerá al usuario la opción para definir las condiciones para el desarrollo de un Boiling Spring Model, únicamente las opciones para trabajar un Adiabatic Boiling y un Conductive Cooling.

**4. Definición de las condiciones de trabajo del modelo.** En esta etapa del programa WATCH, se definen las temperaturas de trabajo y coeficientes de desgasificación para el o los modelos que se trabajarán. Como ya se mencionó, el Boiling Spring Model estará disponible solo bajo ciertas circunstancias. La forma en que se procede para trabajar los modelos es:

**4.1. Boiling Spring Model.** Cuando la opción de Boiling Spring Model está disponible, el programa solicita al usuario la temperatura (°C) a la que se presume que el fluido de trabajo ha entrado en ebullición. Luego de introducida se presiona Enter.

Seguidamente se solicita al usuario el coeficiente de desgasificación asumido, mismo que varía entre 0 y 1. Introducido el valor se presiona Enter. En caso no se introduzca el valor y se presione directamente Enter, WATCH asume el valor de 1.

```

C:\Users\erick_000\Documents\PREG 2014\Clases\Módulo 6\5. Trazadores\WA...
Valid reference temperature types are
      Measured      = 0 or <RETURN>
      Arbitrary     = 1
Chalcedony geothermometer = 2
      Quartz geothermometer = 3
      Na/K geothermometer  = 4
Select temperature type ... : 0
Read measured temperature (C) from the data file ( = <RETURN>),
or input temperature ..... : 275

BOILING SPRINGS MODEL: If the fluid is assumed to have boiled and
lost steam before sampling, input assumed BOILING TEMPERATURE (C).
No boiling = <RETURN> ..... : 100

The DEGASSING COEFFICIENT is a measure of the completeness of degassing
when the fluid boils. Permitted values range from 0.01 (little degassing)
to 1 (equilibrium degassing). Default ( = <RETURN>) is equilibrium degassing.
Coefficient value ..... : 1_

```

En caso no se desea el desarrollo del Boiling Spring Model, únicamente se presiona Enter y se procederá con el desarrollo del siguiente modelo.

```

C:\Users\erick_000\Documents\PREG 2014\Clases\Módulo 6\5. Trazadores\WA...
Valid reference temperature types are
      Measured      = 0 or <RETURN>
      Arbitrary     = 1
Chalcedony geothermometer = 2
      Quartz geothermometer = 3
      Na/K geothermometer  = 4
Select temperature type ... : 0
Read measured temperature (C) from the data file ( = <RETURN>),
or input temperature ..... : 275

BOILING SPRINGS MODEL: If the fluid is assumed to have boiled and
lost steam before sampling, input assumed BOILING TEMPERATURE (C).
No boiling = <RETURN> ..... :

To compute the fluid composition after single-stage ADIABATIC BOILING
from the reference temperature to another temperature, input the
NUMBER OF TEMPERATURE STEPS (maximum 10) followed by the TEMPERATURES (C),
separated by commas (i.e. no. of steps, temp., temp., .....).
No boiling = <RETURN> ..... : _

```

**4.2. Adiabatic Boiling.** Introducidos los datos del Boiling Spring Model, o en caso no se haya considerado para la modelación, WATCH solicitará al usuario las temperaturas (°C) a las cuales se desea realizar la simulación de la ebullición adiabática, tomando como punto de partida la temperatura de referencia introducida previamente. Se cuenta con un máximo de 10 pasos para realizar las pruebas y la forma en que se introducen es escribiendo primero la cantidad de pasos a trabajar, seguidamente y separado por comas, se escriben las temperaturas (°C) a las cuales se desea realizar el paso. La cantidad de temperaturas introducidas debe coincidir con la cantidad de pasos introducida al inicio. Introducidos las temperaturas deseadas se presiona Enter.

Seguidamente se solicita al usuario el coeficiente de desgasificación asumido, mismo que varía entre 0 y 1. Introducido el valor se presiona Enter. En caso no se introduzca el valor y se presione directamente Enter, WATCH asume el valor de 1.

```

C:\Users\erick_000\Documents\PREG 2014\Clases\Módulo 6\5. Trazadores\WA...
BOILING SPRINGS MODEL: If the fluid is assumed to have boiled and
lost steam before sampling, input assumed BOILING TEMPERATURE (°C).
No boiling = <RETURN> ..... : 100

The DEGASSING COEFFICIENT is a measure of the completeness of degassing
when the fluid boils. Permitted values range from 0.01 (little degassing)
to 1 (equilibrium degassing). Default (= <RETURN>) is equilibrium degassing.
Coefficient value ..... : 1

To compute the fluid composition after single-stage ADIABATIC BOILING
from the reference temperature to another temperature, input the
NUMBER OF TEMPERATURE STEPS (maximum 10) followed by the TEMPERATURES (°C),
separated by commas (i.e. no. of steps, temp., temp., .....).
No boiling = <RETURN> ..... : 5,250,225,200,200,175

The DEGASSING COEFFICIENT is a measure of the completeness of degassing
when the fluid boils. Permitted values range from 0.01 (little degassing)
to 1 (equilibrium degassing). Default (= <RETURN>) is equilibrium degassing.
Coefficient value ..... : 1

```

En caso no se desea el desarrollo del Adiabatic Boiling, únicamente se presiona Enter y se procederá con el desarrollo del siguiente modelo.

```

C:\Users\erick_000\Documents\PREG 2014\Clases\Módulo 6\5. Trazadores\WA...
BOILING SPRINGS MODEL: If the fluid is assumed to have boiled and
lost steam before sampling, input assumed BOILING TEMPERATURE (°C).
No boiling = <RETURN> ..... :

To compute the fluid composition after single-stage ADIABATIC BOILING
from the reference temperature to another temperature, input the
NUMBER OF TEMPERATURE STEPS (maximum 10) followed by the TEMPERATURES (°C),
separated by commas (i.e. no. of steps, temp., temp., .....).
No boiling = <RETURN> ..... :

To compute the fluid composition after CONDUCTIVE COOLING
from the reference temperature to another temperature, input the
NUMBER OF TEMPERATURE STEPS (maximum 10) followed by the TEMPERATURES (°C),
separated by commas (i.e. no. of steps, temp., temp., .....).
No cooling = <RETURN> ..... :

```

**4.3. Conductive Cooling.** Introducidos los datos del Boiling Spring Model, o en caso no se haya considerado para la modelación, WATCH solicitará al usuario las temperaturas (°C) a las cuales se desea realizar la simulación del enfriamiento conductivo, tomando como punto de partida la temperatura de referencia introducida previamente. Se cuenta con un máximo de 10 pasos para realizar las pruebas y la forma en que se introducen es escribiendo primero la cantidad de pasos a trabajar, seguidamente y separado por comas, se escriben las temperaturas (°C) a las cuales se desea realizar el paso. La cantidad de temperaturas introducidas debe coincidir con la cantidad de pasos introducida al inicio. Introducidos las temperaturas deseadas se presiona Enter. Para este modelo no se solicita coeficiente de desgasificación.

```

C:\Users\erick_000\Documents\PREG 2014\Clases\Módulo 6\5. Trazadores\WA...
to 1 (equilibrium degassing). Default (= <RETURN>) is equilibrium degassing.
Coefficient value ..... : 1

To compute the fluid composition after single-stage ADIABATIC BOILING
from the reference temperature to another temperature, input the
NUMBER OF TEMPERATURE STEPS (maximum 10) followed by the TEMPERATURES (C),
separated by commas (i.e. no. of steps, temp., temp., .....).
No boiling = <RETURN> ..... : 5,250,225,200,200,175

The DEGASSING COEFFICIENT is a measure of the completeness of degassing
when the fluid boils. Permitted values range from 0.01 (little degassing)
to 1 (equilibrium degassing). Default (= <RETURN>) is equilibrium degassing.
Coefficient value ..... : 1

To compute the fluid composition after CONDUCTIVE COOLING
from the reference temperature to another temperature, input the
NUMBER OF TEMPERATURE STEPS (maximum 10) followed by the TEMPERATURES (C),
separated by commas (i.e. no. of steps, temp., temp., .....).
No cooling = <RETURN> ..... :

```

En caso no se desea el desarrollo del Conductive Cooling, únicamente se presiona Enter y el programa se cerrará automáticamente generando el archivo de trabajo que podrá ser visualizado en una hoja de cálculo.

El caso del Conductive Cooling no se ha abarcado en el presente trabajo, por tanto no se detalla a profundidad.

### III. MICROSOFT EXCEL – Visualización de resultados

Finalizado el trabajo en WATCH, se puede proceder a visualizar los resultados obtenidos y manipularlos en una hoja de cálculo. El archivo generado por WATCH se encuentra en un formato especial que no corresponde a un archivo que pueda ser detectado por Microsoft Excel directamente, es por ello que algunas computadoras puedan requerir previo al uso de la hoja de cálculo, manipular el formato del archivo de salida de WATCH, transformándolo en un archivo de texto que luego puede ser detectado por Microsoft Excel. Esto se realiza abriendo el archivo de salida de WATCH en el programa Bloc de Notas o Notepad y guardando el archivo en un formato “.txt”. Este paso no es necesario en todos los casos, únicamente cuando la computadora así lo requiera.

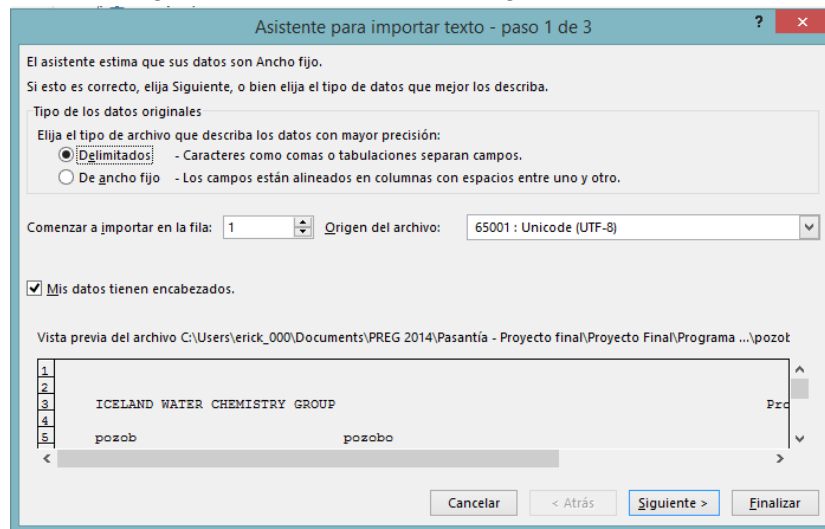
```

pozoblo - Notepad
File Edit Format View Help
ICELAND WATER CHEMISTRY GROUP
5102 771.00 02 0.33 Steam fraction at collection : 0.2106 Na
ns (mol.eq.) = 0.17131762 Anions (mol.eq.) = 0.16671820 Difference (%) = 2.72
H2O 0.595E+02 S04 7.74
(Arnorsson et al., Geochim. Cosmochim. Acta, vol. 47, pp. 567-577, 1983) Activity coefficients in water
0.125 Fe++ 0.146 Al(OH)4- 0.581 HSO4-
OH)3 0.01 -7.069 OH- 0.05 -5.526 NaCl 750.83 -1.891 Fe(OH)4- 0.04
HCO3+ 0.00 -8.898 Al+++ 0.00 -17.389 H2S 94.31 -2.558 CaOH+ 0.4
+ 2427.75 -0.976 Fe(OH)4-- 0.00 -21.315 AlF4- 0.00 -12.656 K+ 548
mor. -74.084 -63.568 Na-Montmor. -34.109 -29.729 Muscovite -17.840 -14.226 Prehnite -38.232 -
3 H2S 2034.81 H2S 0.592E-01 Na 2767.69 NH3 0.40 NH3
1000/T (Kelvin) = 1.84 Ionic balance : Cations (mol.eq.) = 0.12519353 Anions (mol.eq.) =
0.596 H2SiO4-- 0.137 CaHCO3+ 0.620 FeCl4- 0.570 H2B
0.128 AlF2+ 0.606 F- 0.555 Fe(OH)++ 0.128 AlF
- 0.00 -11.247 KS04 2.31 -4.768 FeCl++ 0.00 -17.170 NaH3SiO4 0.20
0.05 -6.222 H2S04 0.00 -11.151 NH4+ 0.14 -5.122 Al(OH)4- 0.23
constants (K) and ion activity products (Q) in water log K log Q log K log Q
-38.576 -40.483 Marcasite -10.821 -66.036 Talc 7.986 4.551 Chrysotile 14.113 8.527
0.124E-04 Ca 45.22 CH4 0.01 CH4 6.69 CH4 0.299E-03 F
Chemical geothermometers (degrees C) Quartz 295.5 (Fournier & Potter, GRC Bulletin,
131 MgOH+ 0.643 AlOH++ 0.152 HS- 0.569 NH4+
010# 1 Aquifer liquid boiled to 250.0 C Degassing coefficient is 1.0000
0.00 -7.879 FeCl4- 0.00 -20.987 H2CO3 80.57 -2.886 MgCO3 0.00 -11.921
0.14 -5.159 FeOH+ 0.00 -9.716 AlF++ 0.00 -13.418 F- 0.29 -4.810

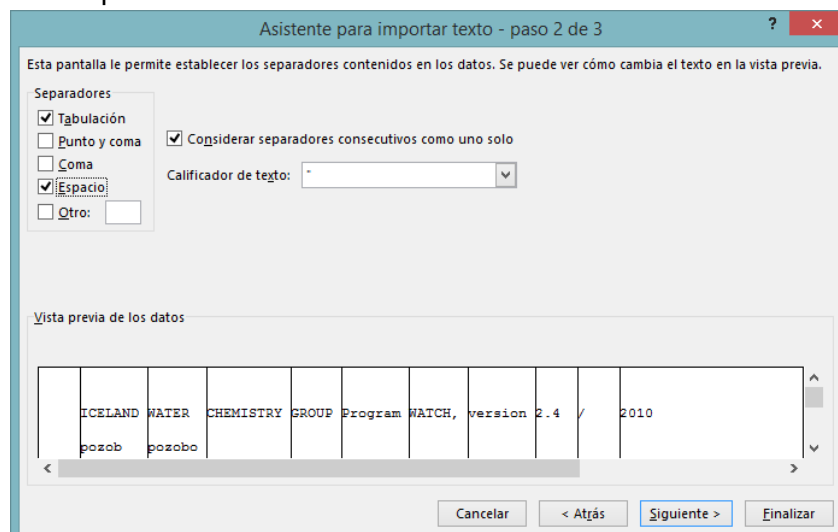
```

Manipulado el archivo para poder ser visualizado en la hoja de cálculo, se abre en Microsoft Excel, sin embargo es necesario tomar en cuenta las siguientes consideraciones en el cambio del archivo de texto a cálculo:

1. **Tipo de los datos originales.** El “Asistente para importar texto” de Microsoft Excel permite seleccionar el tipo de los datos originales. En este caso se debe seleccionar la opción “Delimitados” y seleccionar la casilla “Mis datos tienen encabezados”. Luego se presiona la opción Siguiente.



2. **Separadores.** En el segundo paso del “Asistente para importar texto” se deben seleccionar las casillas “Tabulación” y “Espacio”. Finalmente se puede seleccionar la opción Finalizar o Siguiente y después Finalizar, ya que en el paso 3 no se aplican cambios.



3. **Presentación de los resultados.** Finalmente los resultados de WATCH se presentan en una hoja de cálculo, disponibles para su interpretación y/o manipulación.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
1													
2													
3		ICELAND	WATER	CHEMISTRY	GROUP	Program	WATCH,	version	2.4 /		2010		
4													
5		ERICK	FUNES	BSM	F717	AUMENTO	FE		1				
6													
7		=====											
8													
9		1											
10		Steam	loss	at		100 deg.C	assumed,	before	sampling.				
11		Steam	loss	fraction	:	0.2954							
12		Water	sample	(mg/kg)	Steam	sample	Degassing	coeff.	at	sampling	:		1
13													
14		pH/deg.C	6.70/		25 Gas	(volume	%)	Reference	temperature deg.C	:		250 (Arbitrary)	
15		CO2		324 CO2		0							
16		H2S		0.01 H2S		0 Sampling	pressure	bar	abs.	:		1	
17		NH3		0 NH3		0 Discharge	enthalpy	kJ/kg	:		1086 (Calculated)		
18		B		2.14 H2		0 Discharge		kg/s	:		0		
19		SiO2		124.5 O2		0 Steam	fraction	at	collection	:		0	
20		Na		188.9 CH4		0							
21		K		22.5 N2		0 Measured	temperature deg.C	:			54.9		
22		Mg		5.85									
23		Ca		21.3 Liters	gas	per	kg						

La cantidad de información que WATCH trabaja es sumamente grande, por lo que el contenido de información de la hoja es extenso. Ante esto se vuelve necesario la creación de plantillas de trabajo que permitan seleccionar aquellos datos que sean de especial interés para el usuario y de ser necesario, que calculen automáticamente algún valor en especial.

Para el caso del presente se recurrió al desarrollo de una plantilla de trabajo que seleccionaba los datos de mayor interés y al mismo tiempo, calculaba los índices de saturación de los minerales a las diferentes temperaturas de trabajo. A partir de estos resultados se generaron gráficos que automáticamente actualizaban sus datos en base a los resultados de WATCH. El uso de dicha plantilla se describe a continuación:

#### IV. MICROSOFT EXCEL – Manipulación de resultados

Como ya se mencionó, se contó con una plantilla de trabajo para facilitar la visualización y cálculo de los resultados. Dicha plantilla de trabajo se tituló “Formato de plantilla de resultados” y su manejo se realizó de la siguiente manera:

1. **Copiado de los resultados de WATCH.** Una vez que los resultados de WATCH se abren en una nueva hoja de cálculo, se procede a copiarlos para luego pegarlos en el archivo “Formato de plantilla de resultados”. Esta operación se realiza seleccionando todos los datos de interés los cuales están abarcados desde la columna A hasta la columna Q, o de forma más práctica, seleccionando toda la hoja de cálculo con el botón que aparece en el esquina

superior izquierda de las columnas y filas. Finalmente se copian los datos de forma práctica con el comando Ctrl + C

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
1													
2													
3		ICELAND	WATER	CHEMISTRY	GROUP	Program	WATCH,	version	2.4 /		2010		
4													
5		ERICK	FUNES	BSM	F717	AUMENTO	FE		1				
6													
7		=====											
8													
9		1											
10		Steam	loss	at		100 deg.C	assumed,	before	sampling.				
11		Steam	loss	fraction	:	0.2954							
12		Water	sample	(mg/kg)	Steam	sample	Degassing	coeff.	at	sampling	:		1
13													
14		pH/deg.C	6.70/		25 Gas	(volume %)	Reference	temperature deg.C	:				250 (Arbitrary)
15		CO2		324 CO2		0							
16		H2S		0.01 H2S		0 Sampling	pressure	bar	abs.	:			1
17		NH3		0 NH3		0 Discharge	enthalpy	kJ/kg	:			1086 (Calculated)	
18		B		2.14 H2		0 Discharge	kg/s	:			0		
19		SiO2		124.5 O2		0 Steam	fraction	at	collection	:			0

- Apertura y pegado de los datos en el archivo “Formato de plantilla de resultados”.** Luego de copiados los datos, se abre el archivo “Formato de plantilla de resultados” y los resultados se pegan en la primera hoja titulada WATCH, la cual está en blanco. Los datos se pegan de forma práctica con el comando Ctrl +V.

- Visualización de resultados.** Pegados los datos en la hoja WATCH, automáticamente la siguiente hoja titulada Resultados, llenará todas las casillas que estaban vacías y generará los gráficos de interés. Los datos que se presentan en la hoja titulada Resultados son:

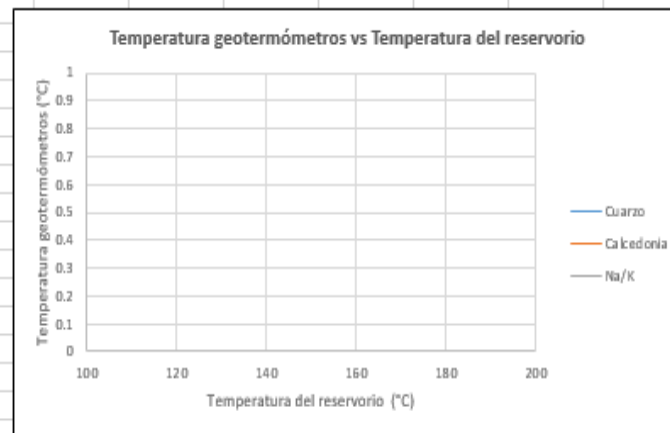
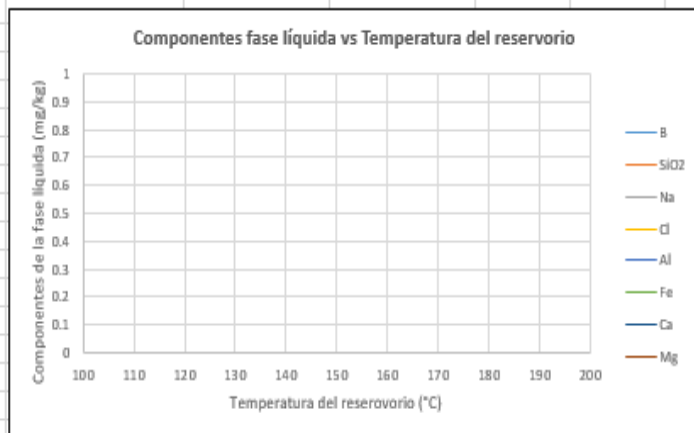
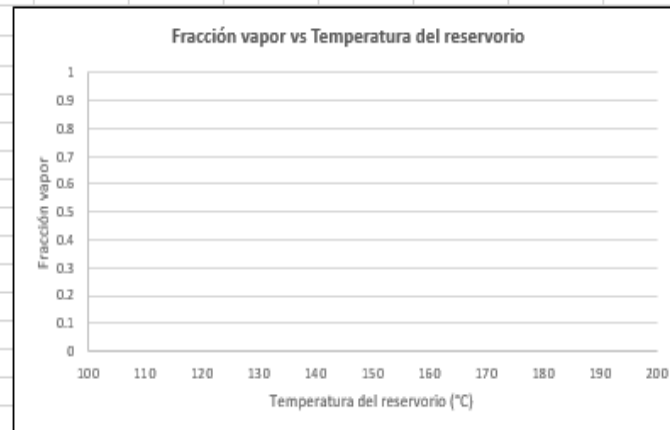
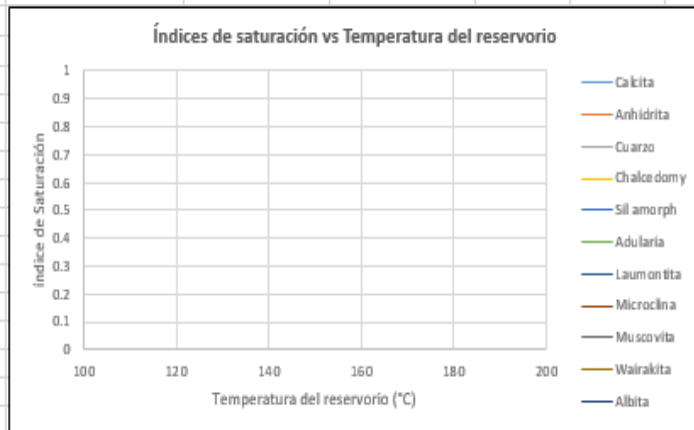
- Parámetros fisicoquímicos: fuerza iónica, cationes y aniones
- Componentes de la fase líquida: boro, sílice, sodio, cloro, aluminio, hierro, calcio, magnesio y fracción vapor
- Temperaturas geotermométricas: cuarzo, calcedonia y Na/K
- Índices de saturación: calcita, anhidrita, cuarzo, calcedonia, sílice amorfa, adularia, laumontita, microclina, muscovita, wairakita, albita, analcima. Estos índices de saturación se calculan automáticamente en base a la constante de reacción y la constante de equilibrio como se ha descrito previamente en la sección de “Saturación Mineral”.

La hoja de cálculo ha sido diseñada para que en la tabla que presenta los índices de saturación, automáticamente se aplique un formato de condición de color, de forma que si el resultado es superior al cero, las celdas adquieren un color verde, indicando que puede estar saturado; caso contrario si el resultado tiene un valor inferior a cero, la celda se torna de color amarillo, indicado que puede estar insaturado. Esto se hace con la finalidad de poder facilitar la visualización de los datos y ver de manera de manera global si existe un cambio entre la saturación e insaturación de los minerales y viceversa.

### Antes de pegar los datos

CONDICIONES DE LA PRUEBA											
Parámetro	T referencia	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10
<b>TEMPERATURA (°C)</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>FISICOQUÍMICOS</b>	Fuerza iónica	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Cationes (mol.eq.)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Aniones (mol.eq.)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>COMPONENTES FASE LÍQUIDA</b>	B (mg/kg)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	SiO2 (mg/kg)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Na (mg/kg)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Cl (mg/kg)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Al (mg/kg)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Fe (mg/kg)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Ca (mg/kg)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Mg (mg/kg)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Steam fraction	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
<b>TEMPERATURAS GEOTERMOMÉTRICAS</b>	Tqtz (°C)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Tchal (°C)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	TNaK (°C)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>ÍNDICES DE SATURACIÓN</b>	Calcita	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Anhidrita	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Cuarzo	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Chalcedony	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Sil amorph	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Adularia	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Laumontita	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Microclina	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Muscovita	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
<b>Saturado</b>	Wairakita	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Insaturado</b>	Albita	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Equilibrio</b>	Analcima	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0





OBSERVACIONES	

Después de pegar los datos

CONDICIONES DE LA PRUEBA											
Parámetro	T referencia	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10
<b>TEMPERATURA (°C)</b>	250	230	210	190	170	150	0	0	0	0	0
<b>FISICOQUÍMICOS</b>	Fuerza iónica	0.01001	0.00657	0.007	0.00744	0.00791	0.0084	0	0	0	0
	Cationes (mol.eq.)	0.01031024	0.007233	0.007641	0.008068	0.008507	0.008956	0	0	0	0
	Aniones (mol.eq.)	0.0075559	0.005206	0.005506	0.005819	0.006146	0.006486	0	0	0	0
<b>COMPONENTES FASE LÍQUIDA</b>	B (mg/kg)	1.5078	1.5917	1.6736	1.7549	1.8367	1.92	0	0	0	0
	SiO2 (mg/kg)	87.72	92.6	97.37	102.09	106.85	111.7	0	0	0	0
	Na (mg/kg)	133.1	140.5	147.73	154.9	162.12	169.48	0	0	0	0
	Cl (mg/kg)	42.36	44.72	47.02	49.3	51.6	53.94	0	0	0	0
	Al (mg/kg)	0.0986	0.1041	0.1095	0.1148	0.1202	0.1256	0	0	0	0
	Fe (mg/kg)	0.7046	0.7438	0.7821	0.82	0.8583	0.8972	0	0	0	0
	Ca (mg/kg)	21.3	15.84	16.66	17.47	18.28	19.11	0	0	0	0
	Mg (mg/kg)	5.85	4.351	4.575	4.797	5.021	5.249	0	0	0	0
Steam fraction	0	0.0527	0.0991	0.1408	0.179	0.2147	0	0	0	0	
<b>TEMPERATURAS GEOTERMOMÉTRICAS</b>	Tqtz (°C)	130.2	133.1	135.8	138.4	140.9	143.4	0	0	0	0
	Tchal (°C)	102.5	105.8	108.8	111.7	114.5	117.2	0	0	0	0
	TNa/K (°C)	220.4	220	220.2	220.4	220.6	220.7	0	0	0	0
<b>ÍNDICES DE SATURACIÓN</b>	Calcita	-0.152	0.43	0.448	0.375	0.28	0.19	0	0	0	0
	Anhidrita	-0.73	-0.6	-0.749	-0.92	-1.097	-1.276	0	0	0	0
	Cuarzo	-0.724	-0.61	-0.487	-0.353	-0.207	-0.048	0	0	0	0
	Chalcedony	-0.841	-0.734	-0.622	-0.504	-0.377	-0.24	0	0	0	0
	Sil amorph	-1.18	-1.1	-1.019	-0.934	-0.843	-0.746	0	0	0	0
	Adularia	-3.467	-2.952	-2.639	-2.275	-1.836	-1.305	0	0	0	0
	Laumontita	-2.929	-2.131	-1.77	-1.344	-0.816	-0.164	0	0	0	0
	Microclina	-2.796	-2.222	-1.84	-1.398	-0.87	-0.238	0	0	0	0
Muscovita	0.768	0.398	0.459	0.757	1.251	1.947	0	0	0	0	
<b>Saturado</b>	Wairakita	-2.952	-2.412	-2.325	-2.193	-1.98	-1.665	0	0	0	0
<b>Insaturado</b>	Albita	-2.754	-2.257	-1.969	-1.636	-1.232	-0.744	0	0	0	0
<b>Equilibrio</b>	Analcima	-2.346	-1.943	-1.757	-1.536	-1.258	-0.911	0	0	0	0

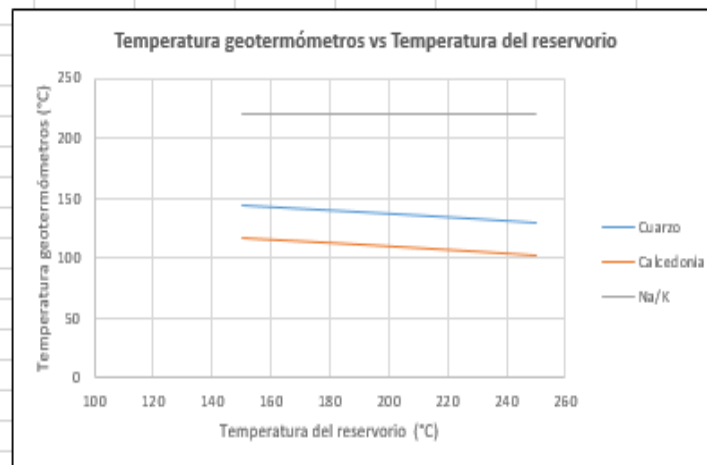
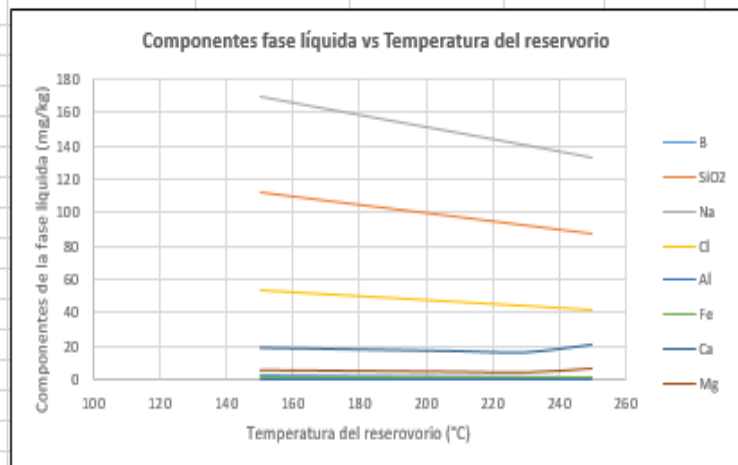
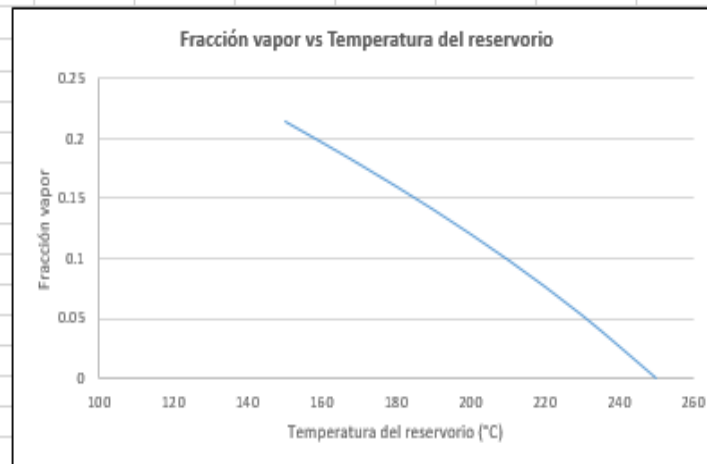
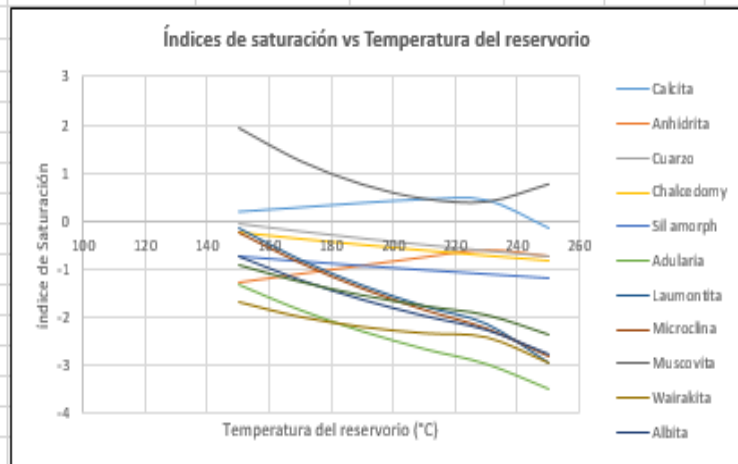
WATCH

Resultados

Plantilla de correccion

(+)

: |<



### OBSERVACIONES

[Empty green box for observations]

## Anexo 2: Ejemplo de hoja de resultados obtenida con el programa WATCH

100

ICELAND WATER CHEMISTRY GROUP  
2.4 / 2010

Program WATCH, version

=====

Water sample (mg/kg)		Steam sample	
pH/deg.C (Arbitrary)	7.00/ 25.0	Gas (volume %)	Reference temperature deg.C : 290.0
CO2	17.24	CO2	0.00
H2S	0.00	H2S	0.00
NH3	0.44	NH3	0.00
(Calculated)			Sampling pressure bar abs. : 1.0
B	79.1000	H2	3.72
SiO2	576.00	O2	0.39
Na	1703.00	CH4	0.63
K	273.00	N2	95.26
Mg	0.011		Discharge kg/s : 0.0
Ca	33.20	Liters gas per kg	Steam fraction at collection : 0.3859
F	0.700	condensate/deg.C	0.07/25.0
Cl	2832.00		Condensate (mg/kg)
SO4	24.60	Total steam (mg/kg)	pH/deg.C 0.00/ 0.0
Al	2.8100	CO2	4077.36
Fe	0.0310	H2S	244.04
TDS	0.00	NH3	1.70
			Na 0.00

Ionic strength = 0.08276

Ionic balance : Cations (mol.eq.) = 0.08260950 Anions (mol.eq.) = 0.08077457 Difference (%) = 2.25

Liquid phase components (mg/kg)		Vapor phase (mg/kg)		Gas pressures (bar-abs.)			
B	48.5745	CO2	1584.08	CO2	0.00	CO2	0.233E+01
SiO2	353.72	H2S	94.18	H2S	0.00	H2S	0.773E-01
Na	1045.79	NH3	0.93	NH3	0.00	NH3	0.243E-03
K	167.65	H2	0.08	H2	0.00	H2	0.990E-02
Mg	0.007	O2	0.13	O2	0.00	O2	0.117E-02
Ca	20.39	CH4	0.11	CH4	0.00	CH4	0.163E-02
F	0.430	N2	28.09	N2	0.00	N2	0.307E+00
Cl	1739.10					H2O	0.745E+02
SO4	15.11					Total	0.772E+02
Al	1.7256						
Fe	0.0190						
TDS	0.00						

Aquifer steam fraction = 0.0000

Ionic strength = 0.04601

1000/T (Kelvin) = 1.78

Ionic balance : Cations (mol.eq.) = 0.04606999 Anions (mol.eq.) = 0.04494383 Difference (%) = 2.47

Oxidation potential (volts) : Eh H2S= -0.518 Eh CH4= -0.571 Eh H2= -0.530 Eh NH3= -0.558

Chemical geothermometers (degrees C)

Quartz 224.2 (Fournier & Potter, GRC Bulletin, pp. 3-12, Nov. 1982)

Chalcedony 208.7 (Fournier, Geothermics, vol. 5, pp. 41-50, 1977)

Na/K 255.9 (Arnorsson et al., Geochim. Cosmochim. Acta, vol. 47, pp. 567-577, 1983)

Activity coefficients in water

H+	0.717	K+	0.627	FeSO4+	0.663
OH-	0.637	Ca++	0.212	FeCl++	0.193
H3SiO4-	0.646	Mg++	0.247	FeCl2+	0.663
H2SiO4--	0.200	CaHCO3+	0.678	FeCl4-	0.646
H2BO3-	0.617	MgHCO3+	0.646	FeCl+	0.646
HCO3-	0.646	CaOH+	0.678	Al+++	0.050
CO3--	0.183	MgOH+	0.685	AlOH++	0.200
HS-	0.637	NH4+	0.617	Al(OH)2+	0.669
S--	0.193	Fe++	0.212	Al(OH)4-	0.654
HSO4-	0.654	Fe+++	0.050	AlSO4+	0.654
SO4--	0.174	FeOH+	0.663	Al(SO4)2-	0.654
NaSO4-	0.669	Fe(OH)3-	0.663	AlF++	0.200
KSO4-	0.669	Fe(OH)4--	0.193	AlF2+	0.669
F-	0.637	Fe(OH)++	0.193	AlF4-	0.654
Cl-	0.627	Fe(OH)2+	0.669	AlF5--	0.183
Na+	0.646	Fe(OH)4-	0.669	AlF6---	0.022

Chemical species in water - ppm and log mole

H+	0.00	-5.605	Mg++	0.01	-6.617	Fe(OH)3	0.03	-6.529
OH-	0.14	-5.075	NaCl	256.11	-2.358	Fe(OH)4-	0.00	-8.543
H4SiO4	565.53	-2.230	KCl	15.53	-3.681	FeCl+	0.00	-9.793
H3SiO4-	0.19	-5.690	NaSO4-	2.95	-4.606	FeCl2	0.00	-11.686
H2SiO4--	0.00	-11.221	KSO4-	3.81	-4.549	FeCl++	0.00	-18.868
NaH3SiO4	0.09	-6.117	CaSO4	2.41	-4.752	FeCl2+	0.00	-19.997
H3BO3	277.67	-2.348	MgSO4	0.00	-7.840	FeCl3	0.00	-21.642
H2BO3-	0.15	-5.596	CaCO3	0.04	-6.456	FeCl4-	0.00	-23.405
H2CO3	2220.41	-1.446	MgCO3	0.00	-11.181	FeSO4	0.00	-12.251
HCO3-	9.01	-3.831	CaHCO3+	5.05	-4.301	FeSO4+	0.00	-20.147
CO3--	0.00	-8.738	MgHCO3+	0.00	-8.770	Al+++	0.00	-18.816
H2S	92.65	-2.566	CaOH+	0.03	-6.287	AlOH++	0.00	-13.126
HS-	1.48	-4.349	MgOH+	0.00	-7.696	Al(OH)2+	0.00	-8.768
S--	0.00	-12.824	NH4OH	1.77	-4.298	Al(OH)3	0.54	-5.160
H2SO4	0.00	-11.025	NH4+	0.07	-5.395	Al(OH)4-	5.42	-4.244

Water pH is 5.749

HSO4-	2.36	-4.614	Fe++	0.00	-10.092	AlSO4+	0.00	-19.154
SO4--	5.98	-4.206	Fe+++	0.00	-23.936	Al (SO4) 2-	0.00	-20.958
HF	0.20	-4.996	FeOH+	0.00	-10.925	AlF++	0.00	-13.994
F-	0.24	-4.902	Fe (OH) 2	0.00	-11.429	AlF2+	0.00	-11.088
Cl-	1576.36	-1.352	Fe (OH) 3-	0.00	-17.682	AlF3	0.00	-10.511
Na+	944.45	-1.386	Fe (OH) 4--	0.00	-20.302	AlF4-	0.00	-12.042
K+	158.40	-2.392	Fe (OH) ++	0.00	-15.305	AlF5--	0.00	-14.909
Ca++	17.64	-3.356	Fe (OH) 2+	0.00	-7.377	AlF6---	0.00	-19.361

Logarithms of mineral solubility product constants (K) and ion activity products (Q) in water

	log K	log Q		log K	log Q		log K	log Q
Adularia	-14.398	-13.714	Albite, low	-13.978	-12.695	Analcime	-11.663	-10.465
Anhydrite	-8.857	-8.997	Calcite	-13.831	-13.505	Chalcedony	-1.845	-2.230
Mg-Chlorite	-88.404	-93.833	Fluorite	-11.186	-14.227	Goethite	4.570	-3.447
Laumontite	-24.993	-21.808	Microcline	-14.974	-13.714	Magnetite	-12.959	-28.202
Ca-Montmor.	-72.549	-51.837	K-Montmor.	-33.733	-26.498	Mg-Montmor.	-74.053	-55.029
Na-Montmor.	-34.016	-25.479	Muscovite	-17.847	-12.028	Prehnite	-38.862	-34.151
Pyrrhotite	1.991	-56.240	Pyrite	-12.376	-60.482	Quartz	-1.973	-2.230
Wairakite	-25.442	-21.808	Wollastonite	6.846	5.237	Zoisite	-39.967	-33.308
Epidote	-40.315	-37.598	Marcasite	3.177	-60.482	Talc	7.312	3.902
Chrysotile	13.292	8.363	Sil. amorph.	-1.557	-2.230			

## Anexo 3: Tablas de resultados.

### Resultados extendidos de la variación de parámetros por pozos

Las tablas presentadas a continuación, muestran con más detalle algunos de los resultados obtenidos de las variaciones en los parámetros de simulación para los pozos analizados. A diferencia de las tablas presentadas en la sección de Resultados, las tablas acá anexadas muestran las variaciones en todos los minerales para cada pozo según los cambios que se hicieron en los diferentes componentes de la fase líquida y gaseosa de las muestras.

Para los análisis se contó con los datos de diez fluidos geotérmicos, siete de los cuales se localizan en Japón y corresponden a datos de las aguas geotérmicas de los pozos productores de Sumikawa y Ohnuma entre 1972 y 1989. Los datos de los fluidos geotérmicos A y B corresponden a pozos a de El Salvador, mientras que el fluido F – 717 corresponden a una fuente termal de El Salvador, cuyos orígenes no se revela por motivos de confidencialidad.

Cabe resaltar que si bien es cierto las tablas presentadas muestran únicamente una variación en el aumento y en la reducción respectivamente para cada uno de los componentes considerados en cada pozo, sí se han hecho más simulaciones aumentando o disminuyendo dichos parámetros, sin embargo por motivos de practicidad las tablas presentan únicamente un aumento y una reducción correspondientes a los casos que generaron los cambios más significativos.

En las tablas se presenta la magnitud del cambio provocado en la variable manipulada, es decir se presenta el Valor Inicial, representado con las siglas VI, del componente en su estado original; así como también se presenta el Valor Final, representado con las siglas VF, de la variable que ha sido cambiada. En medio de estos resultados se presenta el cambio, representado con el símbolo  $\Delta$ .

En la valoración de los cambios obtenidos en los índices de saturación y las tendencias de las curvas a la insaturación, equilibrio o sobresaturación, es importante mencionar que únicamente se tomaron en cuenta aquellos cambios que se consideraron significativos. Numéricamente estos casos corresponden a aquellos en que el índice de saturación tuvo un cambio respecto a su valor original, aproximadamente mayor a 0.1 o 0.2, ello también dependió de la tendencia de la curva en todo el rango de temperaturas evaluado. De forma que si el índice de saturación presentaba variaciones inferiores a 0.1 automáticamente se consideró como invariante con el título de “No genera cambios”.

Para el caso de los pozos de Sumikawa y Ohnuma, se cuenta con una valoración previa por parte del personal encargado del área de reservorios para dichos pozos, las cuales han sido incluidas previo a la presentación de las tablas para facilitar la comprensión los resultados obtenidos y al mismo tiempo, conocer un poco más del historial del pozo y su evolución en el tiempo. En el caso de la fuente termal F-717 se modela un Boiling Spring Model, a diferencia de los otros nueve pozos que fueron modelados como Adiabatic Boiling.



En caso se desee profundizar en los resultados numéricos obtenidos por WATCH, se puede proceder a visualizar las hojas de cálculo obtenidas en Microsoft Excel, las cuales se anexan en la carpeta de simulaciones.

### POZO O-6T

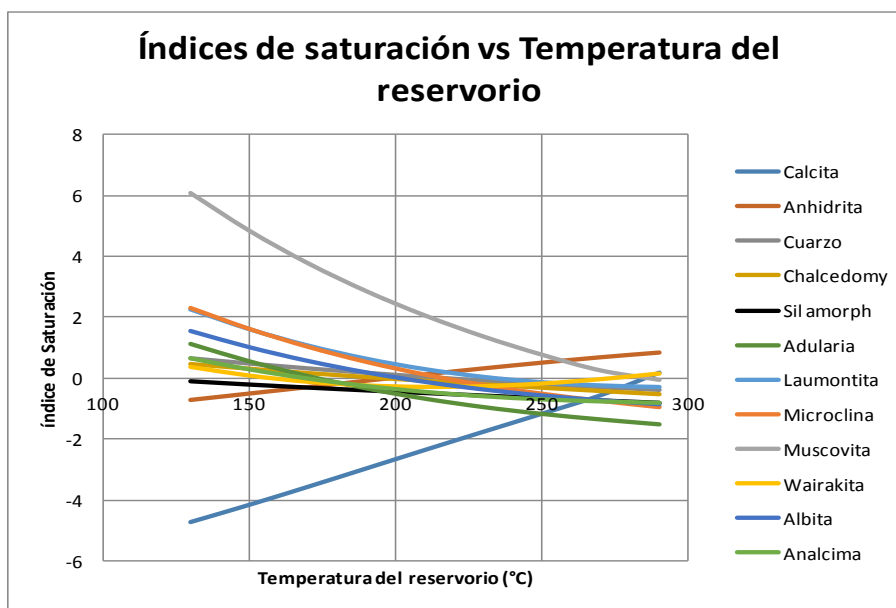
Resultados de WATCH para el pozo O-6T de Ohnuma. Es de notar que la entalpía total medida (958 kJ/kg) and y la temperatura de referencia (220.3 °C para la solubilidad del cuarzo) indican solo 0.7% de vapor en el reservorio. El potencial de oxidación (0.4 V calculado del H<sub>2</sub>S y H<sub>2</sub>) es relativamente oxidante y el pH es relativamente bajo (5.8). Los cálculos de la solubilidad mineral (usando Al<sup>3+</sup> basado en la saturación asumida de la microclina) muestran saturación de anhidrita, laumontita, wairakita, albita, analcima, goethita, prehnita, y zoisita con pirrotita, epidota, y K-montmorillonita posiblemente saturado. Notablemente la calcita y muscovita no están saturadas. Los cálculos usando aluminio basado en adularia muestran la mayoría de los aluminosilicatos sobresaturados.

Pozo O-6T / Fase líquida (mg/kg)								
CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> S	NH <sub>3</sub>	B	SiO <sub>2</sub>	Na	K	Mg	Ca
0.00	0.00	0.00	374.00	441.00	374.00	60.40	2.900	16.00
F	Cl	SO <sub>4</sub>	Al	Fe	TDS*	pH	pH Temp (°C)	
0.000	578.00	305.00	0.134	4.500	0.00	5.90	20.0	

\*TDS: Sólidos totales disueltos

Pozo O-6T / Fase gas (% volumen)						
CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> S	NH <sub>3</sub>	H <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub>
71.80	4.09	0.00	0.42	1.10	0.00	0.00

Pozo O-6T / Datos de campo					
Localización	Temperatura de muestreo (°C)	Presión de muestreo (bar abs)	Entalpía de descarga (kJ/kg)	Descarga (kg/s)	Temperatura de referencia (°C)
Ohnuma	-	1.0	958	-	220.3



**Cuadros de variación de los componentes del Pozo O-6T**

Pozo O-6T - Variaciones en Sílice - SiO <sub>2</sub>						
MINERAL	Reducción			Aumento		
	VI: 441 ppm	Δ: 331 ppm	VF: 100 ppm	VI: 441 ppm	Δ: 359 ppm	VF: 800 ppm
Calcita	No se genera cambios			No se genera cambios		
Anhidrita	No se genera cambios			No se genera cambios		
Cuarzo	Con una reducción en el contenido de sílice tiende a insaturarse a menor temperatura en este caso pasa de lograr insaturación a 220 °C a una temperatura mucho menor e igual a 130°C.			Con un aumento en el contenido de sílice tiende a insaturarse a mayor temperatura en este caso pasa de lograr insaturación a 220 °C a una temperatura mayor e igual a 230°C.		
Calcedonia	Con una reducción en el contenido de sílice tiende a insaturarse a menor temperatura en este caso pasa de lograr insaturación a 200 °C a una temperatura mucho menor e igual a 120 °C.			Con un aumento en el contenido de sílice tiende a insaturarse a mayor temperatura en este caso pasa de lograr insaturación a 200 °C a una temperatura mayor e igual a 210°C.		
Sílice amorfa	Se insatura a una temperatura menor a 100 °C, sin alteraciones a la data original lo hace aproximadamente a 110 °C			Con un aumento en el contenido de sílice tiende a insaturarse a mayor temperatura en este caso pasa de lograr insaturación a 110 °C a una temperatura mayor e igual a 150°C.		
Adularia	Tiende a insaturarse a menor temperatura en este caso pasa de lograr insaturación a 170 °C a una temperatura mucho menor e igual a 120 °C.			Con un aumento en el contenido de sílice tiende a insaturarse a mayor temperatura en este caso pasa de lograr insaturación a 170 °C a una temperatura mayor e igual a 220°C.		
Laumontita	Con una reducción en el contenido de sílice tiende a insaturarse a menor			Con un aumento en el contenido de sílice tiende a insaturarse a mayor		

	temperatura en este caso pasa de lograr insaturación a 235 °C a una temperatura mucho menor e igual a 125 °C.	temperatura en este caso pasa de lograr insaturación a 170 °C a permanente sobresaturación a las temperaturas de trabajo.
Microclina	Con una reducción en el contenido de sílice tiende a insaturarse a menor temperatura en este caso pasa de lograr insaturación a 215 °C a una temperatura mucho menor e igual a 140 °C.	Con un aumento en el contenido de sílice tiende a insaturarse a mayor temperatura en este caso pasa de lograr insaturación a 215 °C a una temperatura mayor e igual a 270°C.
Muscovita	Con una reducción en el contenido de sílice tiende a insaturarse a menor temperatura en este caso pasa de lograr insaturación a 285 °C a una temperatura mucho menor e igual a 215 °C.	Con un aumento en el contenido de sílice tiende a insaturarse a mayor temperatura en este caso pasa de lograr insaturación a 285 °C a una temperatura mayor e igual a 300°C.
Wairakita	Reduce el valor de su índice de saturación, en condiciones iniciales insatura entre temperaturas de 160 hasta 270°C, con la reducción de la concentración de sílice se mantiene permanentemente insaturada.	Aumenta el valor de su índice de saturación, en condiciones iniciales insatura entre temperaturas de 160 hasta 270°C, con el aumento de la concentración de sílice se mantiene permanentemente sobresaturada.
Albita	Con una reducción en el contenido de sílice tiende a insaturarse a menor temperatura en este caso pasa de lograr insaturación a 200 °C a una temperatura mucho menor e igual a 125 °C.	Con un aumento en el contenido de sílice tiende a insaturarse a mayor temperatura en este caso pasa de lograr insaturación a 200 °C a permanente sobresaturación a las temperaturas de trabajo.
Analcima	Con una reducción en el contenido de sílice tiende a insaturarse a menor temperatura en este caso pasa de lograr insaturación a 170 °C a una temperatura mucho menor e igual a 110 °C.	Con un aumento en el contenido de sílice tiende a insaturarse a mayor temperatura en este caso pasa de lograr insaturación a 170 °C a una temperatura mayor e igual a 240 °C.
Notas	Potencial de oxidación se mantiene.	Balance iónico y potencial de oxidación se mantiene constante , se forman dos puntos de unión diferentes a una misma temperatura de 290 aproximadamente

Pozo O-6T - Variaciones en Sodio - Na						
MINERAL	Reducción			Aumento		
	VI: 374 ppm	Δ: 274ppm	VF: 100 ppm	VI: 374 ppm	Δ: 126 ppm	VF: 500 ppm
Calcita	No se genera cambios			No se genera cambios		
Anhidrita	No se genera cambios			No se genera cambios		
Cuarzo	No se genera cambios			No se genera cambios		
Calcedonia	No se genera cambios			No se genera cambios		
Sílice amorfa	No se genera cambios			No se genera cambios		

Adularia	No se genera cambios	No se genera cambios
Laumontita	Con una reducción en el contenido de sodio tiende a insaturarse a mayor temperatura en este caso pasa de lograr insaturación a 235 °C a una temperatura mayor a 300 °C.	No se genera cambios
Microclina	No se genera cambios	No se genera cambios
Muscovita	No se genera cambios	No se genera cambios
Wairakita	No se genera cambios	No se genera cambios
Albita	Con una reducción en el contenido de Sodio tiende a insaturarse a menor temperatura en este caso pasa de lograr insaturación a 200 °C a una temperatura mucho menor e igual a 160 °C.	Con un aumento en el contenido de Sodio tiende a insaturarse a mayor temperatura en este caso pasa de lograr insaturación a 215 °C a una temperatura mayor e igual a 230 °C.
Analcima	Con una reducción en el contenido de Sodio tiende a insaturarse a menor temperatura en este caso pasa de lograr insaturación a 170 °C a una temperatura mucho menor e igual a 130 °C.	Con un aumento en el contenido de Sodio tiende a insaturarse a mayor temperatura en este caso pasa de lograr insaturación a 170 °C a una temperatura mayor e igual a 175 °C.
Notas	Cambios deben ser sensibles para mantener equilibrio iónico, potenciales de oxidación se mantienen. Valores demasiado bajos hacen que geotermómetro Na/K de valores altos.	A temperaturas de 270 el geotermómetro de Na/K se hace igual al de cuarzo, a temperaturas menores a estas da valores menores que el de sílice. El balance iónico aumenta de manera positiva en 24 unidades porcentuales, potenciales de oxidación se mantienen.

Pozo O-6T - Variaciones en Boro - B						
MINERAL	Reducción			Aumento		
	VI: 374 ppm	Δ: 274 ppm	VF: 100 ppm	VI: 374 ppm	Δ: 226 ppm	VF: 600 ppm
Calcita	No se generan cambios			No se generan cambios		
Anhidrita	No se generan cambios			No se generan cambios		
Cuarzo	No se generan cambios			No se generan cambios		
Calcedonia	No se generan cambios			No se generan cambios		
Sílice amorfa	No se generan cambios			No se generan cambios		
Adularia	No se generan cambios			No se generan cambios		
Laumontita	No se generan cambios			No se generan cambios		
Microclina	No se generan cambios			No se generan cambios		
Muscovita	No se generan cambios			No se generan cambios		
Wairakita	No se generan cambios			No se generan cambios		
Albita	No se generan cambios			No se generan cambios		
Analcima	No se generan cambios			No se generan cambios		
Notas	No se generan cambios			No se generan cambios		

Pozo O-6T - Variaciones en Potasio - K						
MINERAL	Reducción			Aumento		
	VI: 60.4 ppm	$\Delta$ : 40.4 ppm	VF: 20 ppm	VI: 60.4 ppm	$\Delta$ : 139.6 ppm	VF: 200 ppm
Calcita	No se genera cambios			No se genera cambios		
Anhidrita	No se genera cambios			No se genera cambios		
Cuarzo	No se genera cambios			No se genera cambios		
Calcedonia	No se genera cambios			No se genera cambios		
Sílice amorfa	No se genera cambios			No se genera cambios		
Adularia	Con una reducción en el contenido de Potasio tiende a insaturarse a menor temperatura en este caso pasa de lograr insaturación a 170 °C a una temperatura mucho menor e igual a 155 °C.			Con un aumento en el contenido de potasio tiende a insaturarse a mayor temperatura en este caso pasa de lograr insaturación a 170 °C a una temperatura mayor e igual a 230°C.		
Laumontita	No se genera cambios			No se genera cambios		
Microclina	Con una reducción en el contenido de Potasio tiende a insaturarse a menor temperatura en este caso pasa de lograr insaturación a 215 °C a una temperatura mucho menor e igual a 190 °C.			Con un aumento en el contenido de potasio tiende a insaturarse a mayor temperatura en este caso pasa de lograr insaturación a 215 °C a una temperatura mayor e igual a 250 °C.		
Muscovita	Con una reducción en el contenido de Potasio tiende a insaturarse a menor temperatura en este caso pasa de lograr insaturación a 285 °C a una temperatura mucho menor e igual a 260 °C.			Con un aumento en el contenido de potasio tiende a insaturarse a mayor temperatura en este caso pasa de lograr insaturación a 285 °C a una temperatura mayor e igual a 310 °C.		
Wairakita	No se generan cambios			No se generan cambios		
Albita	No se genera cambios			No se genera cambios		
Analcima	No se genera cambios			No se genera cambios		
Notas	Aunque el cambio en ppm es menor que el aplicado en el sodio el desbalance iónico se hace casi 10 % más negativo, el potencial de oxidación se mantiene constante, Geotermómetro de Na/K reporta temperaturas menores.			Geotermómetro de Na/K deja de no presenta resultados confiables.		

## POZO O-10R

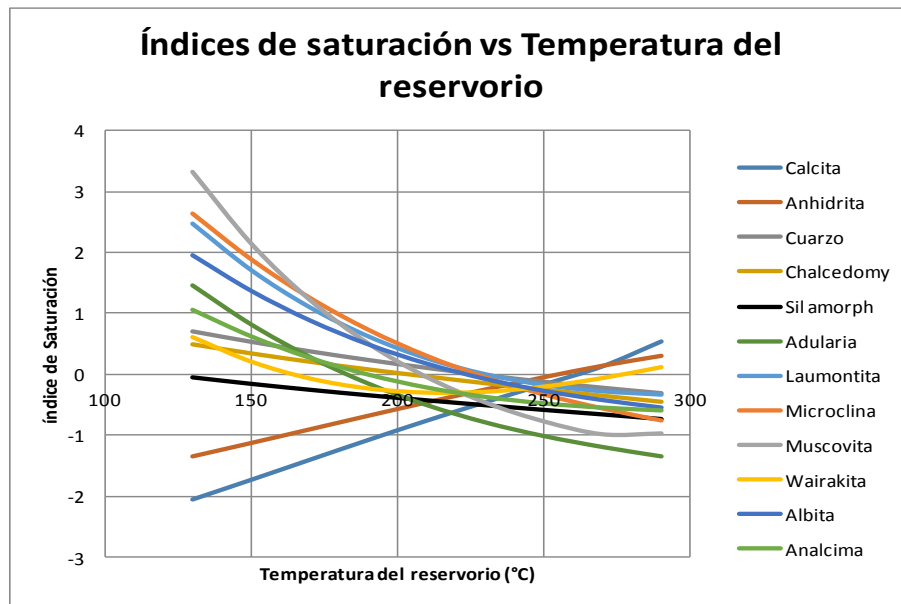
Resultados de WATCH para el pozo O-10R de Ohnuma. La entalpía medida y las temperaturas de cuarzo indican 9% de vapor en el reservorio. Es de notar que las presiones de gas de reservorio calculadas son mucho menores que las del pozo O-6T porque hay menos gas en el fluido total y más espacio para el vapor. El fluido es más alcalino y más reductor (pH 7.2, Eh, 0.62 ±0.4V) que el pozo O-6T. Los cálculos para la saturación mineral muestran que la albita, laumontita, wairakita, anhidrita, epidota y muscovita están cerca de la saturación y la calcita y zoisita están más o menos saturadas. Wollastonita aparenta posible saturación pero es una coincidencia.

Pozo O-10R / Fase líquida (mg/kg)								
CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> S	NH <sub>3</sub>	B	SiO <sub>2</sub>	Na	K	Mg	Ca
39.00	0.00	0.00	202.00	506.00	418.00	51.40	3.100	5.20
F	Cl	SO <sub>4</sub>	Al	Fe	TDS*	pH	pH Temp (°C)	
0.000	561.00	190.00	0.150	0.120	2580.00	7.20	20.0	

\*TDS: Sólidos totales disueltos

Pozo O-10R / Fase gas (% volumen)						
CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> S	NH <sub>3</sub>	H <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub>
37.60	32.30	0.00	0.42	0.24	0.18	28.60

Pozo O-10R / Datos de campo					
Localización	Temperatura de muestreo (°C)	Presión de muestreo (bar abs)	Entalpía de descarga (kJ/kg)	Descarga (kg/s)	Temperatura de referencia (°C)
Ohnuma	-	1.0	1140	-	227.8



### Cuadros de variación de los componentes del Pozo O-10R

Pozo O-10R - Variaciones en Magnesio - Mg						
MINERAL	Reducción			Aumento		
	VI: 3.1 ppm	$\Delta$ : 2.1 ppm	VF: 1 ppm	VI: 3.1 ppm	$\Delta$ : 6.9 ppm	VF: 10 ppm
Calcita	No se generan cambios			No se generan cambios		
Anhidrita	No se generan cambios			No se generan cambios		
Cuarzo	No se generan cambios			No se generan cambios		
Calcedonia	No se generan cambios			No se generan cambios		
Sílice amorfa	No se generan cambios			No se generan cambios		
Adularia	No se generan cambios			No se generan cambios		
Laumontita	No se generan cambios			No se generan cambios		
Microclina	No se generan cambios			No se generan cambios		
Muscovita	No se generan cambios			No se generan cambios		
Wairakita	No se generan cambios			No se generan cambios		
Albita	No se generan cambios			No se generan cambios		
Analcima	No se generan cambios			No se generan cambios		
Notas	Geotermómetro de Na/K y Sílice tienden a dar el mismo resultado a una temperatura igual a 280 °C.			Balance iónico se hace ligeramente positivo aproximadamente 2 puntos porcentuales.		

Pozo O-10R - Variaciones en Calcio - Ca						
MINERAL	Reducción			Aumento		
	VI: 5.2 ppm	$\Delta$ : 4.2 ppm	VF: 1 ppm	VI: 5.2 ppm	$\Delta$ : 6.8 ppm	VF: 12 ppm
Calcita	Al reducir el contenido de calcio tiende a saturarse a mayor temperatura en este caso pasa de lograr saturación a 260 °C a una temperatura mayor e igual a 290 °C.			Al aumentar el contenido de calcio tiende a saturarse a menor temperatura en este caso pasa de lograr saturación a 260 °C a una temperatura de a 230 °C.		
Anhidrita	Al reducir el contenido de calcio tiende a saturarse a mayor temperatura en este caso pasa de lograr saturación a 255 °C a una temperatura mayor e igual a 290 °C.			Al aumentar el contenido de calcio tiende a saturarse a menor temperatura en este caso pasa de lograr saturación a 255 °C a una temperatura de a 220 °C.		
Cuarzo	No se generan cambios			No se generan cambios		
Calcedonia	No se generan cambios			No se generan cambios		
Sílice amorfa	No se generan cambios			No se generan cambios		
Adularia	No se generan cambios			No se generan cambios		
Laumontita	Con una reducción en el contenido de Calcio tiende a insaturarse a menor temperatura en este caso pasa de lograr insaturación a 225 °C a una temperatura mucho menor e igual a 180 °C.			Al aumentar el contenido de Calcio tiende a insaturarse a mayor temperatura, pasa de lograr insaturación a 225 °C a una temperatura igual a 290 °C.		
Microclina	No se generan cambios			No se generan cambios		
Muscovita	No se generan cambios			No se generan cambios		
Wairakita	Reduce el valor de su índice de saturación, en condiciones iniciales			Aumenta el valor de su índice de saturación, en condiciones iniciales		

	insatura entre temperaturas de 165 hasta 275°C , con la reducción de la concentración de calcio el margen de temperaturas de insaturación aumenta un rango entre 130°C -310°C.	insatura entre temperaturas de 165 hasta 275°C, con el aumento de la concentración de calcio pasa a estar permanentemente sobresaturada.				
Albita	No se generan cambios	No se generan cambios				
Analcima	No se generan cambios	No se generan cambios				
Notas	Ensamble en zona insaturada a 280.					
<b>Pozo O-10R - Variaciones en Flúor - F</b>						
MINERAL	Reducción			Aumento		
	VI:	Δ:	VF:	VI: 0 ppm	Δ: 10 ppm	VF: 10 ppm
Calcita		N/A			No se generan cambios	
Anhidrita		N/A			No se generan cambios	
Cuarzo		N/A			No se generan cambios	
Calcedonia		N/A			No se generan cambios	
Sílice amorfa		N/A			No se generan cambios	
Adularia		N/A			No se generan cambios	
Laumontita		N/A			No se generan cambios	
Microclina		N/A			No se generan cambios	
Muscovita		N/A			No se generan cambios	
Wairakita		N/A			No se generan cambios	
Albita		N/A			No se generan cambios	
Notas		N/A			No se generan cambios	

<b>Pozo O-10R - Variaciones en Cloro - Cl</b>						
MINERAL	Reducción			Aumento		
	VI: 561 ppm	Δ: 361 ppm	VF: 200 ppm	VI: 561ppm	Δ: 339 ppm	VF: 900 ppm
Calcita	No se generan cambios			No se generan cambios		
Anhidrita	No se generan cambios			No se generan cambios		
Cuarzo	No se generan cambios			No se generan cambios		
Calcedonia	No se generan cambios			No se generan cambios		
Sílice amorfa	No se generan cambios			No se generan cambios		
Adularia	No se generan cambios			No se generan cambios		
Laumontita	No se generan cambios			No se generan cambios		
Microclina	No se generan cambios			No se generan cambios		
Muscovita	No se generan cambios			No se generan cambios		
Wairakita	No se generan cambios			No se generan cambios		
Albita	No se generan cambios			No se generan cambios		
Analcima	No se generan cambios			No se generan cambios		
Notas	Modificaciones alteran balance iónico					



Pozo O-10R - Variaciones en Sulfato - SO <sub>4</sub>						
MINERAL	Reducción			Aumento		
	VI: 190 ppm	Δ: 150 ppm	VF: 40 ppm	VI: 190 ppm	Δ: 210 ppm	VF: 400 ppm
Calcita	Al reducir el contenido de sulfatos tiende a saturarse a menor temperatura en este caso pasa de lograr saturación a 260 °C a una temperatura de 240 °C.			Al aumentar el contenido de sulfatos tiende a saturarse a mayor temperatura en este caso pasa de lograr saturación a 260 °C a alcanzarlo a una temperatura de 275 °C.		
Anhidrita	Al reducir el contenido de sulfato tiende a saturarse a mayor temperatura en este caso pasa de lograr saturación a 255 °C a una temperatura mayor e igual a 285 °C.			Al aumentar el contenido de sulfatos tiende a saturarse a menor temperatura en este caso pasa de lograr saturación a 255 °C a alcanzarlo a una temperatura de 240 °C.		
Cuarzo	No se generan cambios			No se generan cambios		
Calcedonia	No se generan cambios			No se generan cambios		
Sílice amorfa	No se generan cambios			No se generan cambios		
Adularia	No se generan cambios			No se generan cambios		
Laumontita	Al reducir el contenido de sulfato tiende a insaturarse a mayor temperatura en este caso pasa de lograr insaturación a 230 °C a una temperatura mayor e igual a 270 °C.			Al aumentar el contenido de sulfato tiende a insaturarse a menor temperatura en este caso pasa de lograr insaturación a 230 °C a una temperatura de 210 °C.		
Microclina	No se generan cambios			No se generan cambios		
Muscovita	No se generan cambios			No se generan cambios		
Wairakita	Aumenta el valor de su índice de saturación, en condiciones iniciales insatura entre temperaturas de 165 hasta 275°C , con la reducción de la concentración de sulfato el margen de temperaturas de insaturación cambia a un rango entre 175°C -250°C.			Reduce el valor de su índice de saturación, en condiciones iniciales insatura entre temperaturas de 165 hasta 275°C , con el aumento de la concentración de sulfato el margen de temperaturas de insaturación aumenta un rango entre 155°C -290°C.		
Albita	No se generan cambios			No se generan cambios		
Analcima	No se generan cambios			No se generan cambios		
Notas	Balance iónico se hace más positivo, no existe cambio considerable en potencial de oxidación.			Balance iónico se hace más negativo, no existe cambio considerable en potencial de oxidación.		

## POZO S-2 AGOSTO 1982

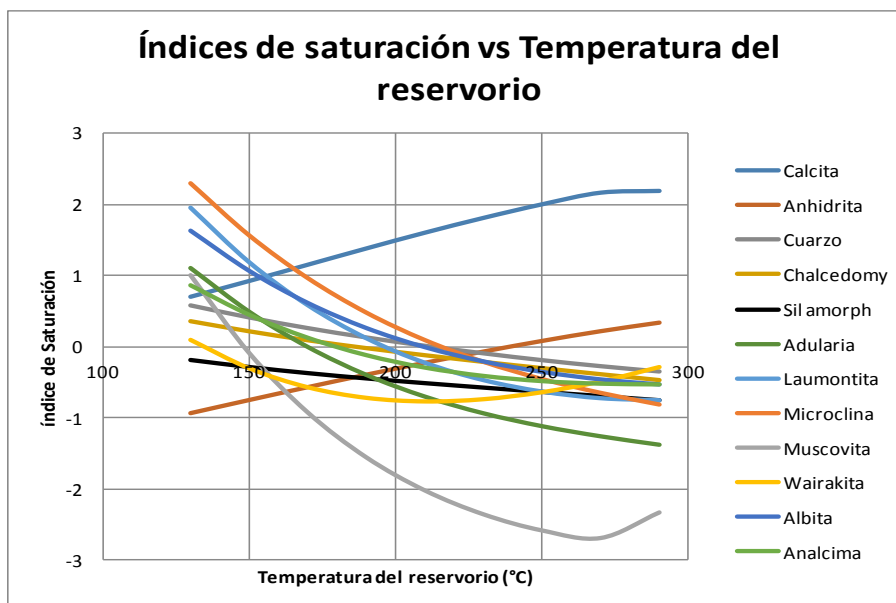
Resultados de WATCH para el pozo S-2 de Agosto de 1982 de Sumikawa. El fluido del pozo S-2 es particularmente interesante porque se volvió altamente ácido cuando el pozo se profundizó en Octubre de 1982. En agosto de 1982 el pH del agua separada era 7.86 y la entalpía y la fracción vapor del acuífero era muy altas (2330 kJ/kg y 0.74 respectivamente). Aparte de tener SO<sub>4</sub> relativamente alto (SO<sub>4</sub>>Cl), Mg y Fe, el análisis es similar a los otros fluidos neutrales de producción de Sumikawa. El agua está casi saturada con albita; insaturada con anhidrita, laumontita, wairakita, analcima y muscovita; y sobresaturación con calcita, epidota y zoisita.

Pozo S-2 (Agosto 1982) / Fase líquida (mg/kg)								
CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> S	NH <sub>3</sub>	B	SiO <sub>2</sub>	Na	K	Mg	Ca
243.00	0.00	0.00	101.00	488.00	578.00	69.60	5.590	9.22
F	Cl	SO <sub>4</sub>	Al	Fe	TDS*	pH	pH Temp (°C)	
4.000	399.00	423.00	0.146	14.800	3110.00	7.86	20.0	

\*TDS: Sólidos totales disueltos

Pozo S-2 (Agosto 1982) / Fase gas (% volumen)							
CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> S	NH <sub>3</sub>	H <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub>	
84.40	6.53	0.00	1.87	0.00	0.61	6.33	

Pozo S-2 (Agosto 1982) / Datos de campo					
Localización	Temperatura de muestreo (°C)	Presión de muestreo (bar abs)	Entalpía de descarga (kJ/kg)	Descarga (kg/s)	Temperatura de referencia (°C)
Sumikawa	-	1.0	2300	-	202.7



**Cuadros de variación de los componentes del Pozo S-2. Agosto 1982**

<b>Pozo S-2 (Agosto 1982) - Variaciones en Dióxido de carbono - CO<sub>2</sub></b>						
MINERAL	Reducción			Aumento		
	VI: 243 ppm	Δ: 193 ppm	VF: 50 ppm	VI: 243 ppm	Δ: 277 ppm	VF: 520 ppm
Calcita	El cambio produce que pase de estar sobresaturada a todas las temperaturas de estudio, a precipitar a una temperatura de 175.			Aumenta sensiblemente su índice de saturación, se mantiene sobresaturada al igual que las condiciones iniciales.		
Anhidrita	Al reducir la concentración de CO <sub>2</sub> reduce su temperatura de precipitación baja desde 240°C a 220°C.			Al aumentar la concentración de CO <sub>2</sub> precipita a mayor temperatura, pasa de precipitar de 240 a 285 °C		
Cuarzo	No se generan cambios			No se generan cambios		
Calcedonia	No se generan cambios			No se generan cambios		
Sílice amorfa	No se generan cambios			No se generan cambios		
Adularia	Al reducir el contenido de CO <sub>2</sub> tiende a insaturarse a mayor temperatura en este caso pasa de lograr saturación a 170 °C a una temperatura de 180 °C.			Al aumentar el contenido de CO <sub>2</sub> tiende a insaturarse a menor temperatura en este caso pasa de lograr saturación a 170 °C a una temperatura de 155 °C.		
Laumontita	Al reducir el contenido de CO <sub>2</sub> tiende a insaturarse a mayor temperatura en este caso pasa de lograr saturación a 195 °C a una temperatura de 225 °C.			Al aumentar el contenido de CO <sub>2</sub> tiende a insaturarse a menor temperatura en este caso pasa de lograr saturación a 195 °C a una temperatura de 170 °C.		
Microclina	Al disminuir el contenido de CO <sub>2</sub> tiende a insaturarse a mayor temperatura en este caso pasa de lograr saturación a 215 °C a una temperatura de 225 °C.			Al aumentar el contenido de CO <sub>2</sub> tiende a insaturarse a menor temperatura en este caso pasa de lograr saturación a 215 °C a una temperatura de 200 °C.		
Muscovita	Al reducir el contenido de CO <sub>2</sub> tiende a insaturarse a mayor temperatura en este caso pasa de lograr saturación a 150 °C a una temperatura de 180 °C.			Al aumentar el contenido de CO <sub>2</sub> tiende a insaturarse a menor temperatura en este caso pasa de lograr saturación a 150 °C a una temperatura de 130 °C.		
Wairakita	Su rango de insaturación se reduce de un margen de temperaturas entre 135-300 °C a un margen de 160-290 °C.			Su rango de insaturación aumenta de un margen de temperaturas entre 135-300 °C a un margen de 110-310°C.		
Albita	Al reducir el contenido de CO <sub>2</sub> tiende a insaturarse a mayor temperatura en este caso pasa de lograr saturación a 210 °C a una temperatura de 225 °C.			Insatura a menor temperatura, el cambio se da de 210 °C a 180 °C.		
Analcima	Al reducir el contenido de CO <sub>2</sub> tiende a saturarse a mayor temperatura en este caso pasa de lograr insaturación a 180 °C a una temperatura de 195 °C.			Insatura a menor temperatura, el cambio se da de 180 °C a 155 °C.		
Notas	A pesar de carecer de carga el balance iónico se hace más positivo, los potenciales de oxidación se mantienen.			A pesar de carecer de carga el balance iónico se hace muy negativo, los potenciales de oxidación se mantienen.		

Pozo S-2 (Agosto 1982) - Variaciones en Aluminio - Al						
MINERAL	Reducción			Aumento		
	VI: 0.146 ppm	$\Delta$ : 0.146 ppm	VF:0 ppm	VI: 0.146 ppm	$\Delta$ : 9.85 ppm	VF: 10 ppm
Calcita	No se generan cambios			No se generan cambios		
Anhidrita	No se generan cambios			No se generan cambios		
Cuarzo	No se generan cambios			No se generan cambios		
Calcedonia	No se generan cambios			No se generan cambios		
Sílice amorfa	No se generan cambios			No se generan cambios		
Adularia	No se puede calcular sin información del aluminio.			Pasa de insaturar a 170 °C, a insaturación en temperaturas mucho mayores a 300°C.		
Laumontita	No se puede calcular sin información del aluminio.			Inicialmente insaturada a partir de 195°C, con el cambio aplicado se encuentra sobresaturada a todas las temperaturas.		
Microclina	No se puede calcular sin información del aluminio.			Inicialmente insaturada a partir de 215 °C, con el cambio aplicado se encuentra sobresaturada a todas las temperaturas.		
Muscovita	No se puede calcular sin información del aluminio.			Inicialmente insaturada a partir de 150°C, con el cambio aplicado se encuentra sobresaturada a todas las temperaturas.		
Wairakita	No se puede calcular sin información del aluminio.			Inicialmente insaturada a temperaturas entre los 135°C y 300°C, con el cambio aplicado se encuentra sobresaturada a todas las temperaturas.		
Albita	No se puede calcular sin información del aluminio.			Inicialmente insaturada a 210°C, con el cambio aplicado se encuentra sobresaturada a todas las temperaturas.		
Analcima	No se puede calcular sin información del aluminio.			Inicialmente insaturada a 180°C, con el cambio aplicado se encuentra sobresaturada a todas las temperaturas.		
Notas	Tiene mucha influencia en el balance iónico, no hay cambios aparentes en los potenciales de oxidación . Los minerales sobre saturados de esta tabla no pueden ser evaluados.			Favorece un balance iónico negativo a pesar de aumentar la concentración de un elemento altamente polarizante, los potenciales no se ven alterados, se aprecia que el análisis del sistema es sensible a pequeños cambios en concentraciones de aluminio.		

Pozo S-2 (Agosto 1982) - Variaciones en Hierro - Fe						
MINERAL	Reducción			Aumento		
	VI: 14.8 ppm	$\Delta$ : 12.8 ppm	VF: 2 ppm	VI: 14.8 ppm	$\Delta$ : 10.2 ppm	VF: 25 ppm
Calcita	No se generan cambios			No se generan cambios		
Anhidrita	No se generan cambios			No se generan cambios		
Cuarzo	No se generan cambios			No se generan cambios		
Calcedonia	No se generan cambios			No se generan cambios		

Sílice amorfa	No se generan cambios	No se generan cambios
Adularia	No se generan cambios	No se generan cambios
Laumontita	No se generan cambios	No se generan cambios
Microclina	No se generan cambios	No se generan cambios
Muscovita	No se generan cambios	No se generan cambios
Wairakita	No se generan cambios	No se generan cambios
Albita	No se generan cambios	No se generan cambios
Analcima	No se generan cambios	No se generan cambios
Notas	Sin cambios aparentes en este pozo con condiciones ligeramente alcalinas.	

<b>Pozo S-2 (Agosto 1982) - Variaciones en Sulhídrico y Amoníaco – H<sub>2</sub>S y NH<sub>3</sub></b>						
MINERAL	Aumento de H <sub>2</sub> S			Aumento de NH <sub>3</sub>		
	VI: 0 ppm	Δ: 50 ppm	VF:50 ppm	VI: 0 ppm	Δ: 50 ppm	VF:50 ppm
Calcita	No se generan cambios			Aumenta su temperatura de saturación a una temperatura de 130 °C.		
Anhidrita	No se generan cambios			Disminuye el valor de la temperatura de saturación pasa de 240 °C a 225 °C.		
Cuarzo	No se generan cambios			No se generan cambios		
Calcedonia	No se generan cambios			No se generan cambios		
Sílice amorfa	No se generan cambios			No se generan cambios		
Adularia	No se generan cambios			Aumenta sensiblemente su temperatura de insaturación pasa de 170 a 180 °C		
Laumontita	No se generan cambios			Aumenta su temperatura de insaturación pasa de 195 °C a 215 °C		
Microclina	No se generan cambios			Hay un aumento de temperatura de insaturación de 215°C a 225°C.		
Muscovita	No se generan cambios			Aumenta la temperatura de insaturación de 150 °C a 170 °C.		
Wairakita	No se generan cambios			Se reduce su margen de insaturación de temperaturas entre 135-300 °C a un margen de 150-290°C		
Albita	No se generan cambios			Insatura a mayor temperatura, el cambio se da de 210 °C a 225 °C.		
Analcima	No se generan cambios			Aumenta la temperatura de insaturación de 180 °C a 190 °C.		
Notas	Balance iónico se hace más negativo.			Aumento positivo en el balance iónico.		

<b>Pozo S-2 (Agosto 1982) - Variaciones en Sólidos totales disueltos – TDS</b>						
MINERAL	Aumento			Aumento		
	VI:	Δ:	VF:	VI: 3110 ppm	Δ: 4890 ppm	VF: 8000 ppm
Calcita	N/A			No se generan cambios		
Anhidrita	N/A			No se generan cambios		
Cuarzo	N/A			No se generan cambios		
Calcedonia	N/A			No se generan cambios		
Sílice amorfa	N/A			No se generan cambios		
Adularia	N/A			No se generan cambios		
Laumontita	N/A			No se generan cambios		

Microclina	N/A	No se generan cambios
Muscovita	N/A	No se generan cambios
Wairakita	N/A	No se generan cambios
Albita	N/A	No se generan cambios
Analcima	N/A	No se generan cambios
Notas	N/A	No existe cambio alguno al variar este parámetro.

## POZO S-2 NOVIEMBRE DE 1982

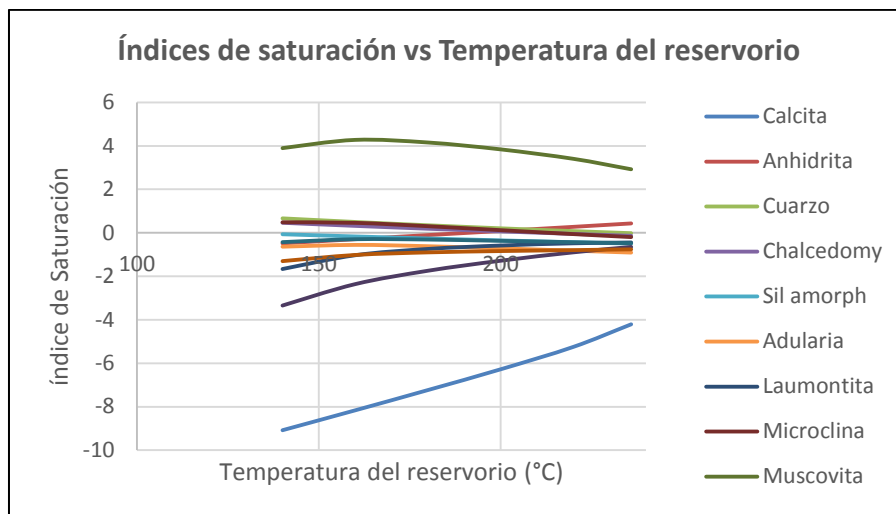
Resultados de WATCH para el pozo S-2 de Noviembre de 1982 de Sumikawa justo después de profundizar el pozo. El fluido es muy diferente al colectado 3 meses antes. La entalpía ha caído hasta 1060 kJ/kg con solo 2% del vapor del reservorio. El gas en el vapor separado es menor (0.44 vs 0.56) pero las presiones de gas, son cerca de 2 veces mayor. El pH de superficie ha caído a 2.8 y los potenciales de oxidación son mucho mayores que en el fluido anterior (-0.44 vs -0.62 V). En el agua separada, las concentraciones de Cl, Na y B han caído, pero el SO<sub>4</sub>, Mg y Fe han aumentado (cambios: Cl, 399 a 294 ppm; Na, 578 a 308 ppm; B, 101 to 31 ppm; SO<sub>4</sub>, 306 a 1310 ppm; y Mg, 5 a 60 ppm). El incremento en el Fe de 14 a 225 ppm puede resultar de la reacción de las aguas ácidas con la tubería de hierro. Las temperaturas geotermométricas son mayores, particularmente la de Na/K. Aparentemente las aguas anteriores eran una mezcla de aguas neutrales, altas en cloro con una menor cantidad de aguas ácido sulfatadas luego de la profundización. Los cambios en la química del fluido se reflejan en la saturación mineral. La anhidrita ahora se encuentra sobresaturada y la calcita está muy insaturada, pero (sorprendentemente) la laumontita, wairakita, albita y pirrotita están cercanas a la saturación.

<b>Pozo S-2 (Noviembre 1982) / Fase líquida (mg/kg)</b>								
CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> S	NH <sub>3</sub>	B	SiO <sub>2</sub>	Na	K	Mg	Ca
0.00	0.00	0.00	31.30	528.00	308.00	84.00	60.800	13.60
F	Cl	SO <sub>4</sub>	Al	Fe	TDS*	pH	pH Temp (°C)	
0.000	294.00	1310.00	0.130	307.000	3880.00	2.80	20.0	

\*TDS: Sólidos totales disueltos

<b>Pozo S-2 (Noviembre 1982) / Fase gas (% volumen)</b>						
CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> S	NH <sub>3</sub>	H <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub>
11.90	1.74	0.00	30.70	0.00	0.58	54.20

<b>Pozo S-2 (Noviembre 1982) / Datos de campo</b>					
Localización	Temperatura de muestreo (°C)	Presión de muestreo (bar abs)	Entalpía de descarga (kJ/kg)	Descarga (kg/s)	Temperatura de referencia (°C)
Sumikawa	-	1.0	1060	-	235.9



**Cuadros de variación de los componentes del Pozo S-2. Noviembre 1982**

Pozo S-2 (Noviembre 1982) - Variaciones en pH						
MINERAL	Reducción			Aumento		
	VI: 2.8	$\Delta$ : 1.0	VF: 1.8	VI: 2.8	$\Delta$ : 5.2	VF: 8.0
Calcita	Tiende a la insaturación al reducir sus IS. Se encuentra insaturada en condiciones originales por lo que se provoca mayor insaturación			Tiende a la saturación al aumentar sus IS, sin embargo mantiene la insaturación para todas sus temperaturas		
Anhidrita	Tiende a la insaturación al reducir sus IS. Alcanza la insaturación para todas sus temperaturas			No se generan cambios		
Cuarzo	No se generan cambios			No se generan cambios		
Calcedonia	No se generan cambios			No se generan cambios		
Sílice amorfa	No se generan cambios			No se generan cambios		
Adularia	Tiende a la insaturación al reducir sus IS. Se encuentra insaturada en condiciones originales por lo que se provoca mayor insaturación			Tiende a la saturación al aumentar sus IS. Pasa del insaturación al equilibrio a 200°C		
Laumontita	Tiende a la insaturación al reducir sus IS. Se encuentra insaturada en condiciones originales por lo que se provoca mayor insaturación			Tiende a la saturación al aumentar sus IS. Pasa del insaturación al equilibrio a 232°C y alcanza la sobresaturación en la mayoría de temperaturas		
Microclina	Tiende a la insaturación al reducir sus IS. Alcanza la insaturación para todas sus temperaturas			Tiende a la saturación al aumentar sus IS. Pasa del insaturación al equilibrio a 220°C y alcanza la sobresaturación en la mayoría de temperaturas		
Muscovita	Tiende a la insaturación al reducir sus IS. Pasa de la sobresaturación a la insaturación para todas sus temperaturas			Tiende a la saturación al aumentar sus IS. Pasa del insaturación al equilibrio a 220°C y mantiene la sobresaturación en la mayoría de temperaturas		
Wairakita	Tiende a la insaturación al reducir sus IS. Se encuentra insaturada en condiciones originales por lo que se provoca mayor insaturación			Tiende a la saturación al aumentar sus IS. Pasa del insaturación al equilibrio a 180°C y mantiene la insaturación en la mayoría de temperaturas		



Albita	Tiende a la insaturación al reducir sus IS. Se encuentra insaturada en condiciones originales por lo que se provoca mayor insaturación	Tiende a la saturación al aumentar sus IS. Pasa del insaturación al equilibrio a 232°C y alcanza la equilibrio en la mayoría de temperaturas
Analcima	Tiende a la insaturación al reducir sus IS. Se encuentra insaturada en condiciones originales por lo que se provoca mayor insaturación	Tiende a la saturación al aumentar sus IS. Pasa del insaturación al equilibrio a 180°C y mantiene la insaturación en la mayoría de temperaturas
NOTAS	El balance iónico y los potenciales de oxidación aumentan	El balance iónico y los potenciales de oxidación disminuyen

Pozo S-2 (Noviembre 1982) - Variaciones en HCO <sub>3</sub>						
MINERAL	Reducción			Aumento		
	VI: 0	Δ: N/A	VF: N/A	VI: 0 (CO <sub>2</sub> )	Δ: 72	VF: 72 (CO <sub>2</sub> )
Calcita	N/A			Tiende a la saturación al aumentar su IS pero siempre permanece insaturada en todas sus temperaturas		
Anhidrita	N/A			No se generan cambios		
Cuarzo	N/A			No se generan cambios		
Calcedonia	N/A			No se generan cambios		
Sílice amorfa	N/A			No se generan cambios		
Adularia	N/A			No se generan cambios		
Laumontita	N/A			No se generan cambios		
Microclina	N/A			No se generan cambios		
Muscovita	N/A			No se generan cambios		
Wairakita	N/A			No se generan cambios		
Albita	N/A			No se generan cambios		
Analcima	N/A			No se generan cambios		
NOTAS	N/A			El balance iónico y los potenciales de oxidación aumentan		

Pozo S-2 (Noviembre 1982) - Variaciones en Sílice – SiO <sub>2</sub>						
MINERAL	Reducción			Aumento		
	VI: 528ppm	Δ: 278ppm	VF: 250ppm	VI: 528ppm	Δ: 222ppm	VF: 750ppm
Calcita	No se generan cambios			No se generan cambios		
Anhidrita	No se generan cambios			No se generan cambios		
Cuarzo	Tiende a la insaturación al disminuir sus IS. Pasa de alcanzar el equilibrio de 200°C a una temperatura menor a 160°C			Tiende a la saturación al aumentar sus IS. Alcanza la sobresaturación en la mayoría de temperaturas		
Calcedonia	Tiende a la insaturación al disminuir sus IS. Pasa de alcanzar la insaturación de >236°C a una temperatura menor a 200°C			Tiende a la saturación al aumentar sus IS. Alcanza la sobresaturación en la mayoría de temperaturas		
Sílice amorfa	Tiende a la insaturación al reducir sus IS. Se encuentra insaturada en condiciones originales por lo que se provoca mayor insaturación			Tiende a la saturación al aumentar sus IS pero siempre permanece insaturada en la mayoría de sus temperaturas		

Adularia	Tiende a la insaturación al reducir sus IS. Se encuentra insaturada en condiciones originales por lo que se provoca mayor insaturación	Tiende a la saturación al aumentar sus IS pero siempre permanece insaturada en la mayoría de sus temperaturas
Laumontita	Tiende a la insaturación al reducir sus IS. Se encuentra insaturada en condiciones originales por lo que se provoca mayor insaturación	Tiende a la saturación al aumentar sus IS. Pasa de la insaturación al equilibrio a 180°C y alcanza el equilibrio en la mayoría de temperaturas
Microclina	Tiende a la insaturación al reducir sus IS. Alcanza la insaturación para la todas las temperaturas	Tiende a la saturación al aumentar sus IS. Alcanza la sobresaturación en todas sus temperaturas
Muscovita	Tiende a la insaturación al reducir sus IS pero siempre permanece sobresaturada en todas sus temperaturas	Tiende a la saturación al aumentar sus IS. Se encuentra sobresaturada en condiciones originales por lo que se provoca mayor sobresaturación
Wairakita	Tiende a la insaturación al reducir sus IS. Se encuentra insaturada en condiciones originales por lo que se provoca mayor insaturación	Tiende a la saturación al aumentar sus IS pero siempre permanece insaturada en la mayoría de sus temperaturas
Albita	Tiende a la insaturación al reducir sus IS. Se encuentra insaturada en condiciones originales por lo que se provoca mayor insaturación	Tiende a la saturación al aumentar sus IS. Pasa de la insaturación al equilibrio en todas sus temperaturas
Analcima	Tiende a la insaturación al reducir sus IS. Se encuentra insaturada en condiciones originales por lo que se provoca mayor insaturación	Tiende a la saturación al aumentar sus IS pero siempre permanece insaturada en la mayoría de sus temperaturas
NOTAS	El balance iónico y los potenciales de oxidación aumentan	El balance iónico y los potenciales de oxidación no cambian

Pozo S-2 (Noviembre 1982) - Variaciones en Calcio – Ca						
MINERAL	Reducción			Aumento		
	VI: 13.6 ppm	$\Delta$ : 6.8 ppm	VF: 6.8 ppm	VI: 13.6 ppm	$\Delta$ : 86.4 ppm	VF: 100 ppm
Calcita	Tiende a la insaturación al reducir sus IS. Se encuentra insaturada en condiciones originales por lo que se provoca mayor insaturación			Tiende a la saturación al aumentar sus IS pero siempre permanece insaturada en todas de sus temperaturas		
Anhidrita	Tiende a la insaturación al reducir sus IS. Alcanza insaturación en la mayoría de sus temperaturas			Tiende a la saturación al aumentar sus IS. Alcanza sobresaturación en todas de sus temperaturas		
Cuarzo	No se generan cambios			No se generan cambios		
Calcedonia	No se generan cambios			No se generan cambios		
Sílice amorfa	No se generan cambios			No se generan cambios		
Adularia	No se generan cambios			No se generan cambios		
Laumontita	Tiende a la insaturación al reducir sus IS. Se encuentra insaturada en condiciones originales por lo que se			Tiende a la saturación al aumentar sus IS. Alcanza sobresaturación y equilibrio en la mayoría de sus temperaturas		

	provoca mayor insaturación	
Microclina	No se generan cambios	No se generan cambios
Muscovita	Tiende a la saturación al aumentar sus IS. Se encuentra sobresaturada en condiciones originales por lo que se provoca mayor sobresaturación	Tiende a la insaturación al reducir sus IS pero siempre permanece sobresaturada en todas de sus temperaturas
Wairakita	Tiende a la insaturación al reducir sus IS. Se encuentra insaturada en condiciones originales por lo que se provoca mayor insaturación	Tiende a la saturación al aumentar sus IS. Mantiene la insaturación en la mayoría de sus temperaturas
Albita	No se generan cambios	No se generan cambios
Analcima	No se generan cambios	No se generan cambios
NOTAS	El balance iónico y los potenciales de oxidación aumentan	El balance iónico y los potenciales de oxidación aumentan

Pozo S-2 (Noviembre 1982) - Variaciones en Cloro – Cl						
MINERAL	Reducción			Aumento		
	VI: 294 ppm	$\Delta$ : 244 ppm	VF: 50 ppm	VI: 294 ppm	$\Delta$ : 1206 ppm	VF: 1500 ppm
Calcita	No se generan cambios			No se generan cambios		
Anhidrita	No se generan cambios			No se generan cambios		
Cuarzo	No se generan cambios			No se generan cambios		
Calcedonia	No se generan cambios			No se generan cambios		
Sílice amorfa	No se generan cambios			No se generan cambios		
Adularia	No se generan cambios			Tiende a la insaturación		
Laumontita	No se generan cambios			Tiende a la insaturación		
Microclina	No se generan cambios			Tiende a la insaturación		
Muscovita	No se generan cambios			No se generan cambios		
Wairakita	No se generan cambios			Tiende a la insaturación		
Albita	No se generan cambios			Tiende a la insaturación		
Analcima	No se generan cambios			Tiende a la insaturación		
NOTAS	El balance iónico y los potenciales de oxidación aumentan			El balance iónico y los potenciales de oxidación disminuyen		

Pozo S-2 (Noviembre 1982) - Variaciones en Aluminio – Al						
MINERAL	Reducción			Aumento		
	VI: 0.13 ppm	$\Delta$ : 0.12 ppm	VF: 0.01 ppm	VI: 0.13 ppm	$\Delta$ : 0.87 ppm	VF: 1.0 ppm
Calcita	No se generan cambios			No se generan cambios		
Anhidrita	No se generan cambios			No se generan cambios		
Cuarzo	No se generan cambios			No se generan cambios		
Calcedonia	No se generan cambios			No se generan cambios		
Sílice amorfa	No se generan cambios			No se generan cambios		
Adularia	Tiende a la insaturación al reducir sus IS. Se encuentra insaturada en condiciones originales por lo que se provoca mayor insaturación			Tiende a la saturación al aumentar sus IS. Pasa de la insaturación total al equilibrio a 180°C		
Laumontita	Tiende a la insaturación al reducir sus IS. Se encuentra insaturada en			Tiende a la saturación al aumentar sus IS. Pasa de la insaturación a la		

	condiciones originales por lo que se provoca mayor insaturación	sobresaturación en la mayoría de las temperaturas
Microclina	Tiende a la insaturación al reducir sus IS. Pasa de la sobresaturación a la insaturación en todas las temperaturas	Tiende a la saturación al aumentar sus IS. Alcanza la sobresaturación en todas las temperaturas
Muscovita	Tiende a la insaturación al disminuir sus IS. Pasa de la sobresaturación total a la insaturación a 232°C y mantiene la sobresaturación en la mayoría de temperaturas	Tiende a la saturación al aumentar sus IS. Se encuentra sobresaturada en condiciones originales por lo que se provoca mayor sobresaturación
Wairakita	Tiende a la insaturación al reducir sus IS. Se encuentra insaturada en condiciones originales por lo que se provoca mayor insaturación	Tiende a la saturación al aumentar sus IS. Pasa de la insaturación total al equilibrio a 180°C
Albita	Tiende a la insaturación al reducir sus IS. Se encuentra insaturada en condiciones originales por lo que se provoca mayor insaturación	Tiende a la saturación al aumentar sus IS. Alcanza la sobresaturación en todas las temperaturas
Analcima	Tiende a la insaturación al reducir sus IS. Se encuentra insaturada en condiciones originales por lo que se provoca mayor insaturación	Tiende a la saturación al aumentar sus IS. Pasa de la insaturación total al equilibrio a 160°C
NOTAS	El balance iónico aumenta pero los potenciales de oxidación aumentan	El balance iónico y los potenciales de oxidación aumentan

<b>Pozo S-2 (Noviembre 1982) - Variaciones en Hierro – Fe</b>						
MINERAL	Reducción			Aumento		
	VI: 307 ppm	$\Delta$ : 297 ppm	VF: 10 ppm	VI: 307 ppm	$\Delta$ : 693 ppm	VF: 1000 ppm
Calcita	Mínima tendencia a la saturación. No altera el equilibrio de las condiciones originales			Mínima tendencia a la insaturación. No altera el equilibrio de las condiciones originales		
Anhidrita	Mínima tendencia a la saturación. No altera el equilibrio de las condiciones originales			Mínima tendencia a la insaturación. No altera el equilibrio de las condiciones originales		
Cuarzo	No se generan cambios			No se generan cambios		
Calcedonia	No se generan cambios			No se generan cambios		
Sílice amorfa	No se generan cambios			No se generan cambios		
Adularia	No se generan cambios			No se generan cambios		
Laumontita	No se generan cambios			No se generan cambios		
Microclina	No se generan cambios			No se generan cambios		
Muscovita	No se generan cambios			No se generan cambios		
Wairakita	No se generan cambios			No se generan cambios		
Albita	No se generan cambios			No se generan cambios		
Analcima	No se generan cambios			No se generan cambios		
NOTAS	El balance iónico disminuye pero los potenciales de oxidación aumentan			El balance iónico aumenta y los potenciales de oxidación aumentan		

Pozo S-2 (Noviembre 1982) - Variaciones en Dióxido de carbono – CO <sub>2</sub>						
MINERAL	Reducción			Aumento		
	VI: 11.9 ppm	Δ: 5.95 ppm	VF: 5.95 ppm	VI: 11.9 ppm	Δ: 58.1 ppm	VF: 70 ppm
Calcita	Mínima tendencia a la insaturación al reducir sus IS. Se encuentra insaturada en condiciones originales por lo que se provoca mayor insaturación			Mínima tendencia a la saturación al aumentar sus IS. Mantiene su insaturación en todas las temperaturas		
Anhidrita	No se generan cambios			No se generan cambios		
Cuarzo	No se generan cambios			No se generan cambios		
Calcedonia	No se generan cambios			No se generan cambios		
Sílice amorfa	No se generan cambios			No se generan cambios		
Adularia	No se generan cambios			No se generan cambios		
Laumontita	No se generan cambios			No se generan cambios		
Microclina	No se generan cambios			No se generan cambios		
Muscovita	No se generan cambios			No se generan cambios		
Wairakita	No se generan cambios			No se generan cambios		
Albita	No se generan cambios			No se generan cambios		
Analcima	No se generan cambios			No se generan cambios		
NOTAS	El balance iónico y los potenciales de oxidación no cambian			El balance iónico y los potenciales de oxidación aumentan		

Pozo S-2 (Noviembre 1982) - Variaciones en Amoníaco – NH <sub>3</sub>						
MINERAL	Reducción			Aumento		
	VI: 0	Δ: N/A	VF: N/A	VI: 0 ppm	Δ: 50 ppm	VF: 50 ppm
Calcita	N/A			Tiende a la insaturación al reducir sus IS. Se encuentra insaturada en condiciones originales por lo que se provoca mayor insaturación		
Anhidrita	N/A			No se generan cambios		
Cuarzo	N/A			No se generan cambios		
Calcedonia	N/A			No se generan cambios		
Sílice amorfa	N/A			No se generan cambios		
Adularia	N/A			No se generan cambios		
Laumontita	N/A			No se generan cambios		
Microclina	N/A			No se generan cambios		
Muscovita	N/A			No se generan cambios		
Wairakita	N/A			No se generan cambios		
Albita	N/A			No se generan cambios		
Analcima	N/A			No se generan cambios		
NOTAS	N/A			El balance iónico y los potenciales de oxidación aumentan		

### POZO S-3 – 83/07/28

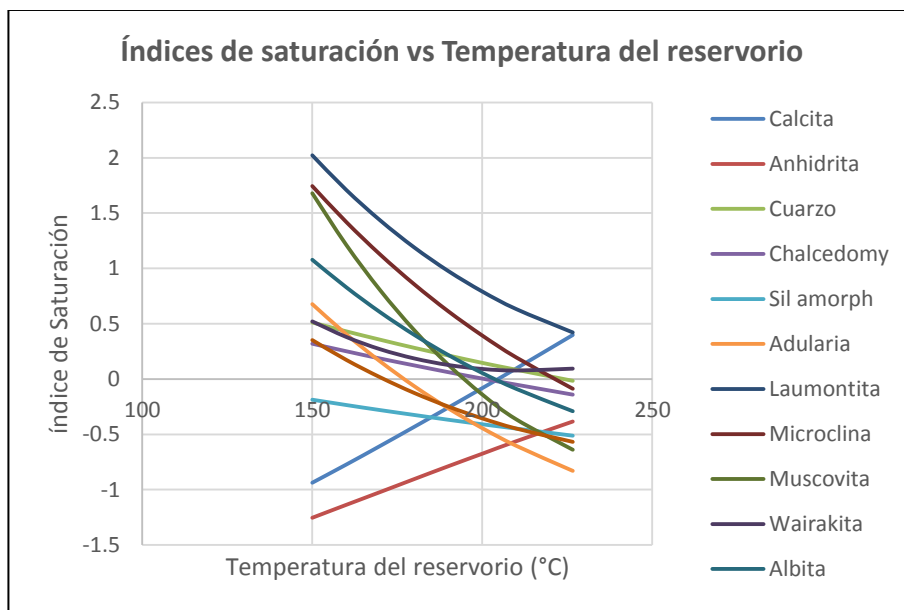
Resultados de WATCH para el pozo S-3 83/07/28 de Sumikawa. El agua del pozo S-3 está relativamente diluida y contiene alto  $\text{HCO}_3 + \text{SO}_4/\text{Cl}$  y  $\text{Ca} + \text{Mg}/\text{Na} + \text{K}$ , y es de una forma oxidante (Eh 0.63 V) comparado a las aguas de alta temperatura de Sumikawa, lo cual sugiere que está mezclada con aguas superficiales. Los cálculos de la saturación muestran que está saturada con albita, wairakita y calcita y relativamente cercana a la saturación con anhidrita, laumontita, analcima y muscovita. La proporción de  $\text{HCO}_3 + \text{SO}_4/\text{Cl}$  en las aguas del S-3 tienen una amplia variedad y las aguas pobres en Cl pueden mostrar cercanía a la saturación con arcillas montmorilloníticas.

Pozo S-3 (83/07/28) / Fase líquida (mg/kg)								
CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> S	NH <sub>3</sub>	B	SiO <sub>2</sub>	Na	K	Mg	Ca
0.00	0.00	0.00	55.00	485.00	162.00	28.00	3.400	4.81
F	Cl	SO <sub>4</sub>	Al	Fe	TDS*	pH	pH Temp (°C)	
0.000	124.00	87.90	0.208	0.090	1310.00	8.51	20.0	

\*TDS: Sólidos totales disueltos

Pozo S-3 (83/07/28) / Fase gas (% volumen)							
CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> S	NH <sub>3</sub>	H <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub>	
77.60	14.00	0.00	2.33	0.00	0.39	5.43	

Pozo S-3 (83/07/28) / Datos de campo					
Localización	Temperatura de muestreo (°C)	Presión de muestreo (bar abs)	Entalpía de descarga (kJ/kg)	Descarga (kg/s)	Temperatura de referencia (°C)
Sumikawa	-	1.0	1080	-	226.6



**Cuadros de variación de los componentes del Pozo S-3 83/07/28**

<b>Pozo S-3 (83/07/28) - Variaciones en pH</b>						
MINERAL	Reducción			Aumento		
	VI: 8.51	$\Delta$ : 1	VF: 7.5	VI: 8.51	$\Delta$ : 1	VF: 9.5
Calcita	Tiende a la saturación al aumentar sus IS. Se encuentra insaturada en condiciones originales por lo que se provoca mayor insaturación			Tiende a la saturación al aumentar sus IS. Pasa de la insaturación a la sobresaturación en todas sus temperaturas		
Anhidrita	No se generan cambios			Mínima tendencia a la insaturación. Se encuentra insaturada en condiciones originales por lo que se provoca mayor insaturación		
Cuarzo	No se generan cambios			Mínima tendencia a la insaturación. Se encuentra en equilibrio en condiciones originales y así se mantiene		
Calcedonia	No se generan cambios			Mínima tendencia a la insaturación. Se encuentra en equilibrio en condiciones originales y así se mantiene		
Sílice amorfa	No se generan cambios			Mínima tendencia a la insaturación. Se encuentra insaturada en condiciones originales por lo que se provoca mayor insaturación		
Adularia	No se generan cambios			Tiende a la insaturación al reducir sus IS. Pasa de alcanzar la insaturación de 190°C, a una menor temperatura de 170°C		
Laumontita	No se generan cambios			Tiende a la insaturación al reducir sus IS. Pasa de la sobresaturación total al equilibrio a 200°C		
Microclina	No se generan cambios			Tiende a la insaturación al reducir sus IS. Pasa de alcanzar el equilibrio de 210°C, a una menor temperatura a 190°C		
Muscovita	Tiende a la saturación al aumentar sus IS. Alcanza la sobresaturación en todas sus temperaturas			Tiende a la insaturación al reducir sus IS. Pasa de alcanzar la insaturación de 210°C a 150°C en todas sus temperaturas		
Wairakita	No se generan cambios			Tiende a la insaturación al reducir sus IS. Alcanza la insaturación en todas sus temperaturas		
Albita	No se generan cambios			Tiende a la insaturación al reducir sus IS. Pasa de alcanzar la insaturación de 226 a 200°C		
Analcima	No se generan cambios			Tiende a la insaturación al reducir sus IS. Pasa de alcanzar la insaturación de 190 a 170°		
NOTAS	El balance iónico y los potenciales de oxidación aumentan			El balance iónico y los potenciales de oxidación disminuyen		

Pozo S-3 (83/07/28) - Variaciones en HCO <sub>3</sub>						
MINERAL	Reducción			Aumento		
	VI: 0	Δ: N/A	VF: N/A	VI: 0 (CO <sub>2</sub> )	Δ: 10	VF: 10 (CO <sub>2</sub> )
Calcita	N/A			Tiende a la insaturación al reducir sus IS. Pasa de la insaturación de 190°C, a una menor temperatura a 170°C		
Anhidrita	N/A			No se generan cambios		
Cuarzo	N/A			No se generan cambios		
Calcedonia	N/A			No se generan cambios		
Sílice amorfa	N/A			No se generan cambios		
Adularia	N/A			Tiende a la insaturación al reducir sus IS. Pasa de alcanzar la insaturación de 190°C a 150°C en todas sus temperaturas		
Laumontita	N/A			Tiende a la insaturación al reducir sus IS. Pasa de alcanzar la sobresaturación total a la insaturación a 160°C		
Microclina	N/A			Tiende a la insaturación al reducir sus IS. Pasa de alcanzar el equilibrio de 210°C a una menor temperatura a 170°C		
Muscovita	N/A			Tiende a la insaturación al reducir sus IS. Alcanza la insaturación en todas sus temperaturas		
Wairakita	N/A			Tiende a la insaturación al reducir sus IS. Alcanza la insaturación en todas sus temperaturas		
Albita	N/A			Tiende a la insaturación al reducir sus IS. Pasa de alcanzar la insaturación de 226°C a una menor temperatura a 170°C		
Analcima	N/A			Tiende a la insaturación al reducir sus IS. Alcanza la insaturación en todas sus temperaturas		
NOTAS	N/A			El balance iónico y los potenciales de oxidación no cambian		

Pozo S-3 (83/07/28) - Variaciones en Cloro - Cl						
MINERAL	Reducción			Aumento		
	VI: 124 ppm	Δ: 74 ppm	VF: 50 ppm	VI: 124 ppm	Δ: 176 ppm	VF: 300 ppm
Calcita	No se generan cambios			No se generan cambios		
Anhidrita	No se generan cambios			No se generan cambios		
Cuarzo	No se generan cambios			No se generan cambios		
Calcedonia	No se generan cambios			No se generan cambios		
Sílice amorfa	No se generan cambios			No se generan cambios		
Adularia	No se generan cambios			No se generan cambios		
Laumontita	No se generan cambios			No se generan cambios		
Microclina	No se generan cambios			No se generan cambios		



Muscovita	No se generan cambios	No se generan cambios
Wairakita	No se generan cambios	No se generan cambios
Albita	No se generan cambios	No se generan cambios
Analcima	No se generan cambios	No se generan cambios
NOTAS	El balance iónico aumenta pero los potenciales de oxidación no cambian	El balance iónico disminuye pero los potenciales de oxidación no cambian

Pozo S-3 (83/07/28) - Variaciones en Sílice – SiO <sub>2</sub>						
MINERAL	Reducción			Aumento		
	VI: 485 ppm	Δ: 285 ppm	VF: 200 ppm	VI: 485 ppm	Δ: 115 ppm	VF: 600 ppm
Calcita	No se generan cambios			No se generan cambios		
Anhidrita	No se generan cambios			No se generan cambios		
Cuarzo	Tiende a la insaturación al reducir sus IS. Pasa de alcanzar la insaturación a una temperatura superior de 225°C a una menor temperatura a 210°C			Tiende a la saturación al aumentar su IS pero siempre permanece sobresaturada en la mayoría de sus temperaturas		
Calcedonia	Tiende a la insaturación al reducir sus IS. Pasa de alcanzar la insaturación a una temperatura superior de 225°C a una menor temperatura a 200°C			Tiende a la saturación al aumentar su IS pero siempre permanece sobresaturada en la mayoría de sus temperaturas		
Sílice amorfa	Tiende a la insaturación al reducir sus IS. Se encuentra insaturada en condiciones originales por lo que se provoca mayor insaturación			Tiende a la saturación al aumentar su IS pero siempre permanece insaturada en todas sus temperaturas		
Adularia	Tiende a la insaturación al reducir sus IS. Alcanza la insaturación en todas sus temperaturas			Tiende a la saturación al aumentar su IS pero no hay cambios generales en el equilibrio		
Laumontita	Tiende a la insaturación al reducir sus IS. Pasa de la sobresaturación total a la insaturación a 210°C a una menor temperatura 180°C			Tiende a la saturación al aumentar sus IS. Se encuentra sobresaturada en condiciones originales por lo que se provoca mayor sobresaturación		
Microclina	Tiende a la insaturación al reducir sus IS. Pasa de alcanzar el equilibrio de 210°C a una menor temperatura 180°C			Tiende a la saturación al aumentar sus IS. Alcanza la sobresaturación en todas sus temperaturas		
Muscovita	Tiende a la insaturación al reducir sus IS. Pasa de alcanzar el equilibrio de 210°C a una menor temperatura 170°C			Tiende a la saturación al aumentar su IS pero siempre permanece sobresaturada en la mayoría de sus temperaturas		
Wairakita	Tiende a la insaturación al reducir sus IS. Pasa del equilibrio a alcanzar la insaturación en todas sus temperaturas			Tiende a la saturación al aumentar sus IS. Se encuentra sobresaturada en condiciones originales por lo que se provoca mayor sobresaturación		
Albita	Tiende a la insaturación al reducir sus IS. Pasa de alcanzar el equilibrio de 226°C a una menor temperatura 160°C			Tiende a la saturación al aumentar su IS pero siempre permanece sobresaturada en la mayoría de sus temperaturas		
Analcima	Tiende a la insaturación al reducir sus IS. Alcanza la insaturación en todas sus temperaturas			Tiende a la saturación al aumentar sus IS. Pasa de la sobresaturación al equilibrio a 210°C		
NOTAS	El balance iónico aumenta pero los potenciales de oxidación no cambian			El balance iónico disminuye pero los potenciales de oxidación no cambian		

Pozo S-3 (83/07/28) - Variaciones en Hierro - Fe						
MINERAL	Reducción			Aumento		
	VI: 0.09 ppm	$\Delta$ : 0.08 ppm	VF: 0.01 ppm	VI: 0.09 ppm	$\Delta$ : 9.91 ppm	VF: 10.0 ppm
Calcita	No se generan cambios			No se generan cambios		
Anhidrita	No se generan cambios			No se generan cambios		
Cuarzo	No se generan cambios			No se generan cambios		
Calcedonia	No se generan cambios			No se generan cambios		
Sílice amorfa	No se generan cambios			No se generan cambios		
Adularia	No se generan cambios			No se generan cambios		
Laumontita	No se generan cambios			No se generan cambios		
Microclina	No se generan cambios			No se generan cambios		
Muscovita	No se generan cambios			No se generan cambios		
Wairakita	No se generan cambios			No se generan cambios		
Albita	No se generan cambios			No se generan cambios		
Analcima	No se generan cambios			No se generan cambios		
NOTAS	El balance iónico y los potenciales de oxidación no cambian			El balance iónico disminuye pero los potenciales de oxidación no cambian		

Pozo S-3 (83/07/28) - Variaciones en Calcio - Ca						
MINERAL	Reducción			Aumento		
	VI: 4.81 ppm	$\Delta$ : 2.81 ppm	VF: 2.0 ppm	VI: 4.81 ppm	$\Delta$ : 15.19 ppm	VF: 20 ppm
Calcita	Tiende a la insaturación al disminuir sus IS. Se encuentra insaturada en condiciones originales por lo que se provoca mayor insaturación			Tiende a la saturación al aumentar sus IS. Pasa de la insaturación al equilibrio a 170°C		
Anhidrita	Tiende a la insaturación al disminuir sus IS. Se encuentra insaturada en condiciones originales por lo que se provoca mayor insaturación			Tiende a la saturación al aumentar sus IS. Pasa de la insaturación al equilibrio a 210°C		
Cuarzo	No se generan cambios			No se generan cambios		
Calcedonia	No se generan cambios			No se generan cambios		
Sílice amorfa	No se generan cambios			No se generan cambios		
Adularia	No se generan cambios			No se generan cambios		
Laumontita	Tiende a la insaturación al reducir sus IS. Pasa de la sobresaturación total al equilibrio a 210°C			Tiende a la saturación al aumentar sus IS. Se encuentra sobresaturada en condiciones originales por lo que se provoca mayor sobresaturación		
Microclina	No se generan cambios			Mínima tendencia a la insaturación. No altera el equilibrio de las condiciones originales		
Muscovita	No se generan cambios			Mínima tendencia a la insaturación. No altera el equilibrio de las condiciones originales		
Wairakita	Tiende a la insaturación al reducir sus IS. Pasa del equilibrio total a la insaturación a 200°C			Tiende a la saturación al aumentar sus IS. Se encuentra sobresaturada en condiciones originales por lo que se		

		provoca mayor sobresaturación
Albita	No se generan cambios	Tiende a la saturación al aumentar sus IS. Alcanza la sobresaturación en todas sus temperaturas
Analcima	No se generan cambios	Tiende a la saturación al aumentar sus IS. Alcanza la sobresaturación en todas sus temperaturas
NOTAS	El balance iónico disminuye pero los potenciales de oxidación no cambian	El balance iónico aumenta pero los potenciales de oxidación no cambian

<b>Pozo S-3 (83/07/28) - Variaciones en Dióxido de carbono – CO<sub>2</sub></b>						
MINERAL	Reducción			Aumento		
	VI: 77.6 ppm	Δ: 27.6 ppm	VF: 50 ppm	VI: 77.6 ppm	Δ: 22.4 ppm	VF: 100 ppm
Calcita	Tiende a la insaturación, reduce el valor de su IS, pasa a alcanzar saturación hasta los 285°C.			Tiende a saturar, aumenta el valor de su IS, pasa a alcanzar saturación hasta los 190°C.		
Anhidrita	No se generan cambios			No se generan cambios		
Cuarzo	No se generan cambios			No se generan cambios		
Calcedonia	No se generan cambios			No se generan cambios		
Sílice amorfa	No se generan cambios			No se generan cambios		
Adularia	No se generan cambios			No se generan cambios		
Laumontita	No se generan cambios			No se generan cambios		
Microclina	No se generan cambios			No se generan cambios		
Muscovita	No se generan cambios			No se generan cambios		
Wairakita	No se generan cambios			No se generan cambios		
Albita	No se generan cambios			No se generan cambios		
Analcima	No se generan cambios			No se generan cambios		
NOTAS	El balance iónico y los potenciales de oxidación no cambian			El balance iónico y los potenciales de oxidación no cambian		

<b>Pozo S-3 (83/07/28) - Variaciones en Aluminio - Al</b>						
MINERAL	Reducción			Aumento		
	VI: 0.208 ppm	Δ: 0.108 ppm	VF: 0.1 ppm	VI: 0.208 ppm	Δ: 0.792 ppm	VF: 1.0 ppm
Calcita	No se generan cambios			No se generan cambios		
Anhidrita	No se generan cambios			No se generan cambios		
Cuarzo	No se generan cambios			No se generan cambios		
Calcedonia	No se generan cambios			No se generan cambios		
Sílice amorfa	No se generan cambios			No se generan cambios		
Adularia	Tiende a la insaturación al reducir sus IS. No altera el equilibrio de las condiciones originales			Tiende a la saturación al aumentar sus IS. Alcanza la sobresaturación en la mayoría de sus temperaturas		
Laumontita	Tiende a la insaturación al reducir sus IS. Pasa de la sobresaturación total al equilibrio a 200°C			Tiende a la saturación al aumentar sus IS. Se encuentra sobresaturada en condiciones originales por lo que se provoca mayor sobresaturación		
Microclina	Tiende a la insaturación al reducir sus IS. Pasa de la sobresaturación total al			Tiende a la saturación al aumentar sus IS. Alcanza la sobresaturación en todas		

	equilibrio a 200°C	sus temperaturas
Muscovita	Tiende a la insaturación al reducir sus IS. Pasa de alcanzar la insaturación de 210°C a una menor temperatura a 180°C	Tiende a la saturación al aumentar sus IS. Alcanza la sobresaturación en todas sus temperaturas
Wairakita	Tiende a la insaturación al reducir sus IS. Pasa del equilibrio total a la insaturación a 160°C	Tiende a la saturación al aumentar sus IS. Se encuentra sobresaturada en condiciones originales por lo que se provoca mayor sobresaturación
Albita	Tiende a la insaturación al reducir sus IS. Pasa de alcanzar la insaturación de 226°C a una menor temperatura a 200°C	Tiende a la saturación al aumentar sus IS. Alcanza la sobresaturación en todas sus temperaturas
Analcima	Tiende a la insaturación al reducir sus IS. Pasa de alcanzar la insaturación de 200°C a una menor temperatura a 170°C	Tiende a la saturación al aumentar sus IS. Alcanza la sobresaturación en la mayoría de sus temperaturas
NOTAS	El balance iónico y los potenciales de oxidación no cambian	El balance iónico y los potenciales de oxidación no cambian

Pozo S-3 (83/07/28) - Variaciones en amoníaco – NH <sub>3</sub>						
MINERAL	Reducción			Aumento		
	VI: 0	Δ: N/A	VF: N/A	VI: 0 ppm	Δ: 50 ppm	VF: 50 ppm
Calcita	N/A			Tiende a la insaturación al reducir sus IS. Alcanza la insaturación en todas sus temperaturas		
Anhidrita	N/A			No se generan cambios		
Cuarzo	N/A			No se generan cambios		
Calcedonia	N/A			No se generan cambios		
Sílice amorfa	N/A			No se generan cambios		
Adularia	N/A			No se generan cambios		
Laumontita	N/A			No se generan cambios		
Microclina	N/A			No se generan cambios		
Muscovita	N/A			Tiende a la saturación al aumentar sus IS. Alcanza la sobresaturación en todas sus temperaturas		
Wairakita	N/A			No se generan cambios		
Albita	N/A			No se generan cambios		
Analcima	N/A			No se generan cambios		
NOTAS	El balance iónico y los potenciales de oxidación no cambian			El balance iónico y los potenciales de oxidación aumentan		

**POZO S-4 – 85/09/17**

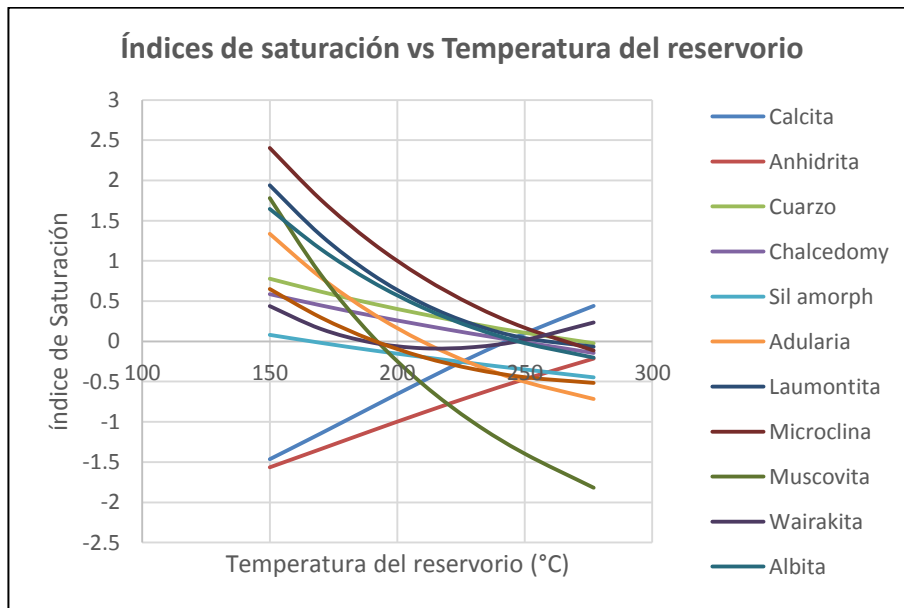
Resultados de WATCH para el pozo S-4 85/09/17 de Sumikawa. El fluido del pozo S-4 es típico del reservorio de alta temperatura de Sumikawa, con composiciones que abarcan las de los pozos SA-1, SA-2, SB-1, SC-1 y SM-2, en adición a algunos pozos de Ohnuma. El pH neutral, alto SiO<sub>2</sub>, bajo Mg y bajo Eh son típicos de aguas geotérmicas de alta temperatura a nivel mundial. La anhidrita, laumontita, wairakita, albita, analcima y calcita están saturadas (todas menos la wairakita y la analcima dentro 0.2 log unidades) en adición al cuarzo y la microclina que se asume están saturadas.

Pozo S-4 (85/09/17) / Fase líquida (mg/kg)								
CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> S	NH <sub>3</sub>	B	SiO <sub>2</sub>	Na	K	Mg	Ca
59.00	0.00	0.00	130.00	911.00	240.00	51.40	0.020	2.25
F	Cl	SO <sub>4</sub>	Al	Fe	TDS*	pH	pH Temp (°C)	
0.000	293.00	112.00	0.091	0.020	2160.00	7.60	20.0	

\*TDS: Sólidos totales disueltos

Pozo S-4 (85/09/17) / Fase gas (% volumen)							
CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> S	NH <sub>3</sub>	H <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub>	
60.40	14.80	0.00	0.82	4.80	0.05	18.70	

Pozo S-4 (85/09/17) / Datos de campo					
Localización	Temperatura de muestreo (°C)	Presión de muestreo (bar abs)	Entalpía de descarga (kJ/kg)	Descarga (kg/s)	Temperatura de referencia (°C)
Sumikawa	-	1.0	1700	-	277.0



**Cuadros de variación de los componentes del Pozo S-4 85/09/17**

<b>Pozo S-4 (85/09/17) - Variaciones en pH</b>						
MINERAL	Reducción			Aumento		
	VI: 7.6	Δ: 2.1	VF: 5.5	VI: 7.6	Δ: 1.9	VF: 9.5
Calcita	Tiende a la insaturación al disminuir sus IS. Se encuentra insaturada en condiciones originales por lo que se provoca mayor insaturación			Tiende a la saturación al aumentar sus IS. Alcanza la sobresaturación para todas las temperaturas		
Anhidrita	No se generan cambios			Tiende a la insaturación al disminuir sus IS. Se encuentra insaturada en condiciones originales por lo que se provoca mayor insaturación		
Cuarzo	No se generan cambios			Mínima tendencia a la insaturación al reducir sus IS. Mantiene sus condiciones de equilibrio		
Calcedonia	No se generan cambios			Mínima tendencia a la insaturación al reducir sus IS. Mantiene sus condiciones de equilibrio		
Sílice amorfa	No se generan cambios			Mínima tendencia a la insaturación al reducir sus IS. Mantiene sus condiciones de insaturación		
Adularia	No se generan cambios			Tiende a la insaturación al reducir sus IS. Pasa de alcanzar la insaturación de 230°C a una menor temperatura a 190°C		
Laumontita	No se generan cambios			Tiende a la insaturación al reducir sus IS. Pasa de alcanzar la insaturación de una temperatura >245°C a una temperatura menor a 210°C		
Microclina	No se generan cambios			Tiende a la insaturación al reducir sus IS. Pasa de alcanzar el equilibrio de 250°C a una menor temperatura a 210°C		
Muscovita	Tiende a la saturación al aumentar sus IS. Pasa de alcanzar el equilibrio de 190°C a una mayor temperatura a 277°C			Tiende a la insaturación al reducir sus IS. Alcanza la insaturación en todas las temperaturas		
Wairakita	No se generan cambios			Tiende a la insaturación al reducir sus IS. Alcanza la insaturación en todas las temperaturas		
Albita	No se generan cambios			Tiende a la insaturación al reducir sus IS. Pasa de alcanzar el equilibrio de 230°C a una menor temperatura a 190°C		
Analcima	No se generan cambios			Tiende a la insaturación al reducir sus IS. Pasa de alcanzar la insaturación de 230°C a una menor temperatura a 190°C		
NOTAS	El balance iónico y los potenciales de oxidación aumentan			El balance iónico y los potenciales de oxidación disminuyen		

Pozo S-4 (85/09/17) - Variaciones en HCO <sub>3</sub>						
MINERAL	Reducción (ppm)			Aumento (ppm)		
	VI: 59(CO <sub>2</sub> )	Δ: 39 (CO <sub>2</sub> )	VF: 20 (CO <sub>2</sub> )	VI: 59 (CO <sub>2</sub> )	Δ: 41 (CO <sub>2</sub> )	VF: 100 (CO <sub>2</sub> )
Calcita	Tiende a la insaturación al reducir sus IS. Pasa de alcanzar la insaturación de 210°C a una menor temperatura a 250°C			Tiende a la saturación al aumentar sus IS. Pasa de alcanzar la insaturación de 210°C a una menor temperatura a 190°C		
Anhidrita	No se generan cambios			No se generan cambios		
Cuarzo	No se generan cambios			No se generan cambios		
Calcedonia	No se generan cambios			No se generan cambios		
Sílice amorfa	No se generan cambios			No se generan cambios		
Adularia	No se generan cambios			No se generan cambios		
Laumontita	No se generan cambios			No se generan cambios		
Microclina	No se generan cambios			No se generan cambios		
Muscovita	Tiende a la saturación al aumentar sus IS. Pasa de alcanzar la insaturación de 210°C a una mayor temperatura a 230°C			Tiende a la insaturación al disminuir sus IS. Pasa de alcanzar la insaturación de 210°C a una menor temperatura a 190°C		
Wairakita	No se generan cambios			No se generan cambios		
Albita	No se generan cambios			No se generan cambios		
Analcima	No se generan cambios			No se generan cambios		
NOTAS	El balance iónico y los potenciales de oxidación aumentan			El balance iónico y los potenciales de oxidación disminuyen		

Pozo S-4 (85/09/17) - Variaciones en Cloro - Cl						
MINERAL	Reducción			Aumento		
	VI: 293 ppm	Δ: 193 ppm	VF: 100 ppm	VI: 293 ppm	Δ: 407 ppm	VF: 700 ppm
Calcita	No se generan cambios			No se generan cambios		
Anhidrita	No se generan cambios			No se generan cambios		
Cuarzo	No se generan cambios			No se generan cambios		
Calcedonia	No se generan cambios			No se generan cambios		
Sílice amorfa	No se generan cambios			No se generan cambios		
Adularia	No se generan cambios			No se generan cambios		
Laumontita	No se generan cambios			No se generan cambios		
Microclina	No se generan cambios			No se generan cambios		
Muscovita	No se generan cambios			No se generan cambios		
Wairakita	No se generan cambios			No se generan cambios		
Albita	No se generan cambios			No se generan cambios		
Analcima	No se generan cambios			No se generan cambios		
NOTAS	El balance iónico y los potenciales de oxidación aumentan			El balance iónico y los potenciales de oxidación disminuyen		

Pozo S-4 (85/09/17) - Variaciones en Sílice – SiO <sub>2</sub>						
MINERAL	Reducción			Aumento		
	VI: 911 ppm	Δ: 611 ppm	VF: 300 ppm	VI: 911 ppm	Δ: 589 ppm	VF: 1500 ppm
Calcita	Mínima tendencia a la saturación al aumentar sus IS. Mantiene sus condiciones de insaturación			Mínima tendencia a la saturación al aumentar sus IS. Mantiene sus condiciones de insaturación		
Anhidrita	No se generan cambios			No se generan cambios		
Cuarzo	Tiende a la insaturación al reducir sus IS. Pasa a alcanzar el equilibrio de 230°C a una menor temperatura a 190°C			Tiende a la saturación al aumentar sus IS. Pasa a alcanzar la sobresaturación de 210°C a una mayor temperatura a 250°C		
Calcedonia	Tiende a la insaturación al reducir sus IS. Pasa de alcanzar la insaturación de una temperatura >245°C a una temperatura menor a 210°C			Tiende a la saturación al aumentar sus IS. Pasa a alcanzar la sobresaturación de 190°C a una mayor temperatura a 230°C		
Sílice amorfa	Tiende a la insaturación al reducir sus IS. Alcanza la insaturación en todas las temperaturas			Tiende a la saturación al aumentar sus IS. Pasa de la insaturación al equilibrio a 275°C		
Adularia	Tiende a la insaturación al reducir sus IS. Pasa a alcanzar la insaturación de 230°C a una menor temperatura a 170°C			Tiende a la saturación al aumentar sus IS. Pasa a alcanzar la sobresaturación de 210°C a una mayor temperatura a 230°C		
Laumontita	Tiende a la insaturación al reducir sus IS. Pasa a alcanzar el equilibrio de 230°C a una menor temperatura a 150°C			Tiende a la saturación al aumentar sus IS. Alcanza la sobresaturación en todas las temperaturas		
Microclina	Tiende a la insaturación al reducir sus IS. Pasa a alcanzar el equilibrio de 250°C a una menor temperatura a 170°C			Tiende a la saturación al aumentar sus IS. Alcanza la sobresaturación en todas las temperaturas		
Muscovita	Tiende a la insaturación al reducir sus IS. Pasa a alcanzar la insaturación de 210°C a una menor temperatura a 170°C			Tiende a la saturación al aumentar sus IS. Pasa a alcanzar la sobresaturación de 170°C a una mayor temperatura a 210°C		
Wairakita	Tiende a la insaturación al reducir sus IS. Alcanza la insaturación en todas las temperaturas			Tiende a la saturación al aumentar sus IS. Alcanza la sobresaturación en todas las temperaturas		
Albita	Tiende a la insaturación al reducir sus IS. Pasa a alcanzar el equilibrio de 230°C a una menor temperatura a 150°C			Tiende a la saturación al aumentar sus IS. Alcanza la sobresaturación en todas las temperaturas		
Analcima	Tiende a la insaturación al reducir sus IS. Alcanza la insaturación en todas las temperaturas			Tiende a la saturación al aumentar sus IS. Pasa a alcanzar la sobresaturación de 170°C a una mayor temperatura a 190°C		
NOTAS	El balance iónico aumenta pero los potenciales de oxidación disminuyen			El balance iónico disminuye y los potenciales de oxidación aumentan		



Pozo S-4 (85/09/17) - Variaciones en Hierro - Fe						
MINERAL	Reducción			Aumento		
	VI: 0.02	$\Delta$ : N/A	VF: N/A	VI: 0.02 ppm	$\Delta$ : 9.98 ppm	VF: 10.0 ppm
Calcita	N/A			No se generan cambios		
Anhidrita	N/A			No se generan cambios		
Cuarzo	N/A			No se generan cambios		
Calcedonia	N/A			No se generan cambios		
Sílice amorfa	N/A			No se generan cambios		
Adularia	N/A			No se generan cambios		
Laumontita	N/A			No se generan cambios		
Microclina	N/A			No se generan cambios		
Muscovita	N/A			No se generan cambios		
Wairakita	N/A			No se generan cambios		
Albita	N/A			No se generan cambios		
Analcima	N/A			No se generan cambios		
NOTAS	El balance iónico y los potenciales de oxidación no cambian			El balance iónico disminuye y los potenciales de oxidación no cambian		

Pozo S-4 (85/09/17) - Variaciones en Calcio - Ca						
MINERAL	Reducción			Aumento		
	VI: 2.25 ppm	$\Delta$ : 1.25 ppm	VF: 1.0 ppm	VI: 2.25 ppm	$\Delta$ : 97.75 ppm	VF: 100 ppm
Calcita	Tiende a la insaturación al reducir sus IS. Pasa a alcanzar la insaturación de 210°C a una mayor temperatura a 250°C			Tiende a la saturación al aumentar sus IS. Pasa a alcanzar la sobresaturación de 277°C a una menor temperatura a 170°C		
Anhidrita	Tiende a la insaturación al disminuir sus IS. Se encuentra insaturada en condiciones originales por lo que se provoca mayor insaturación			Tiende a la saturación al aumentar sus IS. Pasa a alcanzar el equilibrio de 277°C a una menor temperatura a 170°C		
Cuarzo	No se generan cambios			No se generan cambios		
Calcedonia	No se generan cambios			No se generan cambios		
Sílice amorfa	No se generan cambios			No se generan cambios		
Adularia	No se generan cambios			No se generan cambios		
Laumontita	Tiende a la insaturación al reducir sus IS. Pasa a alcanzar el equilibrio de 230°C a una menor temperatura a 210°C			Tiende a la saturación al aumentar sus IS. Alcanza la sobresaturación en todas las temperaturas		
Microclina	No se generan cambios			No se generan cambios		
Muscovita	No se generan cambios			No se generan cambios		
Wairakita	Tiende a la insaturación al reducir sus IS. Predomina el equilibrio en sus temperaturas			Tiende a la saturación al aumentar sus IS. Alcanza la sobresaturación en todas las temperaturas		
Albita	No se generan cambios			No se generan cambios		
Analcima	No se generan cambios			No se generan cambios		
NOTAS	El balance iónico disminuye pero los potenciales de oxidación no cambian			El balance iónico y los potenciales de oxidación aumentan		

<b>Pozo S-4 (85/09/17) - Variaciones en Dióxido de carbono – CO<sub>2</sub></b>						
MINERAL	Reducción			Aumento		
	VI: 60.4 ppm	Δ: 40.4 ppm	VF: 20 ppm	VI: 60.4 ppm	Δ: 39.6 ppm	VF: 100 ppm
Calcita	Tiende a la insaturación al reducir sus IS. Pasa a alcanzar la insaturación de 210°C a una mayor temperatura a 230°C			No se generan cambios		
Anhidrita	No se generan cambios			No se generan cambios		
Cuarzo	No se generan cambios			No se generan cambios		
Calcedonia	No se generan cambios			No se generan cambios		
Sílice amorfa	No se generan cambios			No se generan cambios		
Adularia	No se generan cambios			No se generan cambios		
Laumontita	No se generan cambios			No se generan cambios		
Microclina	No se generan cambios			No se generan cambios		
Muscovita	No se generan cambios			No se generan cambios		
Wairakita	No se generan cambios			No se generan cambios		
Albita	No se generan cambios			No se generan cambios		
Analcima	No se generan cambios			No se generan cambios		
NOTAS	El balance iónico y los potenciales de oxidación no cambian			El balance iónico y los potenciales de oxidación no cambian		

<b>Pozo S-4 (85/09/17) - Variaciones en Aluminio - Al</b>						
MINERAL	Reducción			Aumento		
	VI: 0.091 ppm	Δ: 0.081 ppm	VF: 0.01 ppm	VI: 0.091 ppm	Δ: 1.909 ppm	VF: 2.0 ppm
Calcita	No se generan cambios			No se generan cambios		
Anhidrita	No se generan cambios			No se generan cambios		
Cuarzo	No se generan cambios			No se generan cambios		
Calcedonia	No se generan cambios			No se generan cambios		
Sílice amorfa	No se generan cambios			No se generan cambios		
Adularia	Provoca mayor insaturación			Tiende a la saturación al aumentar sus IS. Alcanza la sobresaturación en todas las temperaturas		
Laumontita	Provoca mayor insaturación			Tiende a la saturación al aumentar sus IS. Alcanza la sobresaturación en todas las temperaturas		
Microclina	Provoca mayor insaturación			Tiende a la saturación al aumentar sus IS. Alcanza la sobresaturación en todas las temperaturas		
Muscovita	Tiende a la insaturación al disminuir sus IS. Alcanza la insaturación en todas las temperaturas			Tiende a la saturación al aumentar sus IS. Alcanza la sobresaturación en todas las temperaturas		
Wairakita	Tiende a la insaturación al disminuir sus IS. Alcanza la insaturación en todas las temperaturas			Tiende a la saturación al aumentar sus IS. Alcanza la sobresaturación en todas las temperaturas		
Albita	Tiende a la insaturación al reducir sus IS. Pasa de alcanzar la sobresaturación de 277°C a una menor temperatura a 150°C			Tiende a la saturación al aumentar sus IS. Alcanza la sobresaturación en todas las temperaturas		

Analcima	Tiende a la insaturación al disminuir sus IS. Alcanza la insaturación en todas las temperaturas	Tiende a la saturación al aumentar sus IS. Alcanza la sobresaturación en todas las temperaturas
NOTAS	El balance iónico y los potenciales de oxidación no cambian	El balance iónico disminuye y los potenciales de oxidación no cambian

<b>Pozo S-4 (85/09/17) - Variaciones en amoníaco – NH<sub>3</sub></b>						
MINERAL	Reducción			Aumento		
	VI: 0	Δ: N/A	VF: N/A	VI: 0 ppm	Δ: 50 ppm	VF: 50 ppm
Calcita	N/A			Tiende a la insaturación al reducir sus IS. Alcanza la insaturación en todas las temperaturas		
Anhidrita	N/A			Mínima tendencia a la saturación al aumentar sus IS. Mantiene sus condiciones de insaturación		
Cuarzo	N/A			No se generan cambios		
Calcedonia	N/A			No se generan cambios		
Sílice amorfa	N/A			No se generan cambios		
Adularia	N/A			Mínima tendencia a la saturación al aumentar sus IS. Mantiene sus condiciones de insaturación		
Laumontita	N/A			Mínima tendencia a la saturación al aumentar sus IS. Mantiene sus condiciones de insaturación		
Microclina	N/A			Mínima tendencia a la saturación al aumentar sus IS. Mantiene sus condiciones de insaturación		
Muscovita	N/A			Tiende a la saturación al aumentar sus IS. Alcanza la sobresaturación en todas las temperaturas		
Wairakita	N/A			Mínima tendencia a la saturación al aumentar sus IS. Mantiene sus condiciones de insaturación		
Albita	N/A			Mínima tendencia a la saturación al aumentar sus IS. Mantiene sus condiciones de insaturación		
Analcima	N/A			Mínima tendencia a la saturación al aumentar sus IS. Mantiene sus condiciones de insaturación		
NOTAS	N/A			El balance iónico y los potenciales de oxidación aumentan		

### POZO SA-2 89/07/03

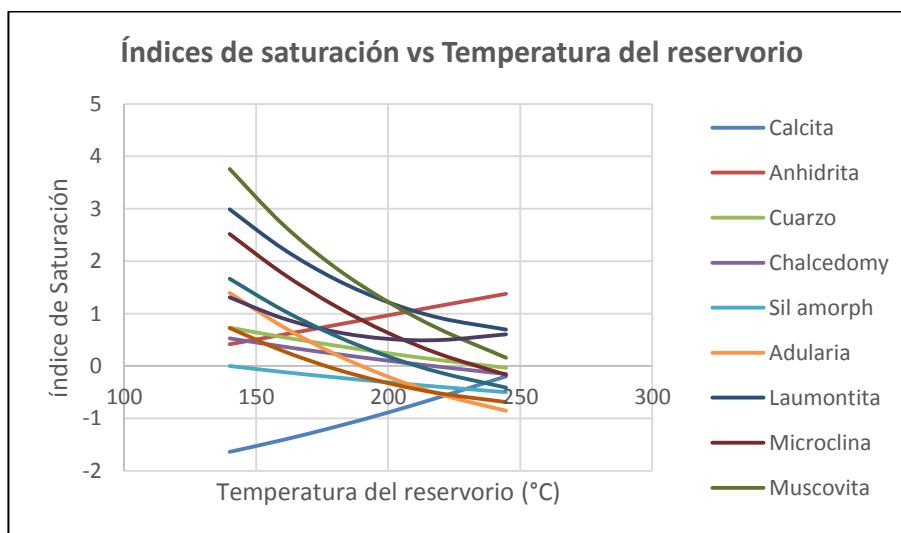
Resultados de WATCH para el pozo SA-2 89/07/03 de Sumikawa. El pozo SA-2 es el más cercano al monte Yake y muestra influencia magmática. Así como con el pozo S-2, este pozo evolucionó de ligeramente alcalino (pH 8) a distintivamente ácido (pH 3.3) a lo largo de un año de muestreo. La muestra escogida es de las primeras en esta progresión (pH 6.1). El cloro en la descarga del SA-2 (y en el reservorio) es alto y variable con casi nada de CO<sub>2</sub> disuelto. El poco contenido de las razones B/Cl y el alto contenido de Cl/SO<sub>4</sub>, y el patrón de las concentraciones de los gases Ar – N<sub>2</sub> – He también sugieren fuertemente que el fluido de este pozo contiene significativamente un fluido magmático. Mientras para el pozo S-2, el agua está sobresaturada con anhidrita; insaturada con calcita y aproximadamente saturada con laumontita, wairakita, albita y muscovita.

Pozo SA-2 (89/07/03) / Fase líquida (mg/kg)								
CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> S	NH <sub>3</sub>	B	SiO <sub>2</sub>	Na	K	Mg	Ca
12.00	0.00	0.00	81.00	669.00	1030.00	233.00	1.49	397.00
F	Cl	SO <sub>4</sub>	Al	Fe	TDS*	pH	pH Temp (°C)	
0.000	2270.00	390.00	0.047	2.100	4000.00	6.10	20.0	

\*TDS: Sólidos totales disueltos

Pozo SA-2 (89/07/03) / Fase gas (% volumen)							
CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> S	NH <sub>3</sub>	H <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub>	
57.10	29.30	0.00	1.36	0.74	0.05	12.00	

Pozo SA-2 (89/07/03) / Datos de campo					
Localización	Temperatura de muestreo (°C)	Presión de muestreo (bar abs)	Entalpía de descarga (kJ/kg)	Descarga (kg/s)	Temperatura de referencia (°C)
Sumikawa	-	1.0	2200	-	244.6



**Cuadros de variación de los componentes del Pozo SA-2 89/07/03**

<b>Pozo SA-2 (89/07/03) - Variaciones en pH</b>						
MINERAL	Reducción			Aumento		
	VI: 6.1	Δ: 1.1	VF: 5.0	VI: 6.1	Δ: 0.9	VF: 7.0
Calcita	Tiende a la insaturación al reducir sus IS. Se encuentra insaturada en condiciones originales por lo que se provoca mayor insaturación			Tiende a la saturación al aumentar sus IS. Pasa de alcanzar la insaturación de 220°C a una temperatura menor a 180°C		
Anhidrita	No se generan cambios			No se generan cambios		
Cuarzo	No se generan cambios			No se generan cambios		
Calcedonia	No se generan cambios			No se generan cambios		
Sílice amorfa	No se generan cambios			No se generan cambios		
Adularia	No se generan cambios			No se generan cambios		
Laumontita	No se generan cambios			No se generan cambios		
Microclina	No se generan cambios			No se generan cambios		
Muscovita	Tiende a la saturación al aumentar sus IS. Se encuentra sobresaturada en condiciones originales por lo que se provoca mayor sobresaturación			Tiende a la insaturación al disminuir sus IS. Pasa de la sobresaturación total a la insaturación a 245°C		
Wairakita	No se generan cambios			No se generan cambios		
Albita	No se generan cambios			No se generan cambios		
Analcima	No se generan cambios			No se generan cambios		
NOTAS	El balance iónico y los potenciales de oxidación aumentan			El balance iónico y los potenciales de oxidación disminuyen		

<b>Pozo SA-2 (89/07/03) - Variaciones en HCO<sub>3</sub></b>						
MINERAL	Reducción (ppm)			Aumento (ppm)		
	VI: 12 (CO <sub>2</sub> )	Δ: 11 (CO <sub>2</sub> )	VF: 1 (CO <sub>2</sub> )	VI: 12 (CO <sub>2</sub> )	Δ: 12 (CO <sub>2</sub> )	VF: 24 (CO <sub>2</sub> )
Calcita	Mínima tendencia a la insaturación al reducir sus IS. Se encuentra insaturada en condiciones originales por lo que se provoca mayor insaturación			Tiende a la saturación al aumentar sus IS. Pasa de alcanzar el equilibrio de 245°C a una temperatura menor a 220°C		
Anhidrita	No se generan cambios			No se generan cambios		
Cuarzo	No se generan cambios			No se generan cambios		
Calcedonia	No se generan cambios			No se generan cambios		
Sílice amorfa	No se generan cambios			No se generan cambios		
Adularia	No se generan cambios			No se generan cambios		
Laumontita	No se generan cambios			No se generan cambios		
Microclina	No se generan cambios			No se generan cambios		
Muscovita	Tiende a la saturación al aumentar sus IS. Se encuentra sobresaturada en condiciones originales por lo que se provoca mayor sobresaturación			Tiende a la insaturación. Mantiene la sobresaturación en la mayoría de las temperaturas		
Wairakita	No se generan cambios			No se generan cambios		
Albita	No se generan cambios			No se generan cambios		
Analcima	No se generan cambios			No se generan cambios		
NOTAS	El balance iónico y los potenciales de oxidación aumentan			El balance iónico y los potenciales de oxidación disminuyen		

Pozo SA-2 (89/07/03) - Variaciones en Sílice – SiO <sub>2</sub>						
MINERAL	Reducción			Aumento		
	VI: 669 ppm	Δ: 369 ppm	VF: 300 ppm	VI: 669 ppm	Δ: 231 ppm	VF: 900 ppm
Calcita	No se generan cambios			No se generan cambios		
Anhidrita	No se generan cambios			No se generan cambios		
Cuarzo	Tiende a la insaturación al disminuir sus IS. Pasa de alcanzar el equilibrio de 200°C a una temperatura menor a 160°C			Tiende a la saturación al aumentar sus IS. Se encuentra sobresaturada en condiciones originales por lo que se provoca mayor sobresaturación		
Calcedonia	Tiende a la insaturación al disminuir sus IS. Pasa de alcanzarla la insaturación de una temperatura >245°C a una temperatura menor a 160°C			Tiende a la saturación al aumentar sus IS. Se encuentra sobresaturada en condiciones originales por lo que se provoca mayor sobresaturación		
Sílice amorfa	Tiende a la insaturación al reducir sus IS. Alcanza la insaturación en todas sus temperaturas			Tiende a la saturación al aumentar sus IS. Pasa de alcanzar la insaturación de 200°C a una mayor temperatura a 220°		
Adularia	Tiende a la insaturación al disminuir sus IS. Pasa de alcanzar la insaturación de 220°C a una temperatura menor a 160°C			Tiende a la saturación al aumentar sus IS. Pasa de alcanzar la insaturación de 220°C a una mayor temperatura a 245°		
Laumontita	Tiende a la insaturación al reducir sus IS. Pasa de la sobresaturación a la insaturación a 220°C			Tiende a la saturación al aumentar sus IS. Se encuentra sobresaturada en condiciones originales por lo que se provoca mayor sobresaturación		
Microclina	Tiende a la insaturación al reducir sus IS. Pasa de la sobresaturación total a alcanzar la insaturación a 200°C			Tiende a la saturación al aumentar sus IS. Se encuentra sobresaturada en condiciones originales por lo que se provoca mayor sobresaturación		
Muscovita	Tiende a la insaturación al reducir sus IS. Pasa de la sobresaturación total a alcanzar la insaturación a 220°C			Tiende a la saturación al aumentar sus IS. Se encuentra sobresaturada en condiciones originales por lo que se provoca mayor sobresaturación		
Wairakita	Tiende a la insaturación al reducir sus IS. Pasa de la sobresaturación total a la insaturación a 160°C			Tiende a la saturación al aumentar sus IS. Se encuentra sobresaturada en condiciones originales por lo que se provoca mayor sobresaturación		
Albita	Tiende a la insaturación al reducir sus IS. Pasa de alcanzar la insaturación de 245°C a una menor temperatura a 180°C			Tiende a la saturación al aumentar sus IS. Pasa de alcanzar el equilibrio de 200°C a una mayor temperatura a 220°		
Analcima	Tiende a la insaturación al reducir sus IS. Pasa de alcanzar la insaturación de 200°C a una menor temperatura a 160°C			Tiende a la saturación al aumentar sus IS. Pasa de alcanzar el equilibrio de 160°C a una mayor temperatura a 180°		
NOTAS	El balance iónico y los potenciales de oxidación no cambian			El balance iónico y los potenciales de oxidación no cambian		

Pozo SA-2 (89/07/03) - Variaciones en Cloro - Cl						
MINERAL	Reducción			Aumento		
	VI: 2270 ppm	$\Delta$ : 1070 ppm	VF: 1200 ppm	VI: 2270 ppm	$\Delta$ : 930 ppm	VF: 3200 ppm
Calcita	No se generan cambios			No se generan cambios		
Anhidrita	No se generan cambios			No se generan cambios		
Cuarzo	No se generan cambios			No se generan cambios		
Calcedonia	No se generan cambios			No se generan cambios		
Sílice amorfa	No se generan cambios			No se generan cambios		
Adularia	No se generan cambios			No se generan cambios		
Laumontita	No se generan cambios			No se generan cambios		
Microclina	No se generan cambios			No se generan cambios		
Muscovita	No se generan cambios			No se generan cambios		
Wairakita	No se generan cambios			No se generan cambios		
Albita	No se generan cambios			No se generan cambios		
Analcima	No se generan cambios			No se generan cambios		
NOTAS	El balance iónico aumenta pero los potenciales de oxidación no cambia			El balance iónico disminuye pero los potenciales de oxidación aumentan		

Pozo SA-2 (89/07/03) - Variaciones en Calcio - Ca						
MINERAL	Reducción			Aumento		
	VI: 397 ppm	$\Delta$ : 297 ppm	VF: 100 ppm	VI: 397 ppm	$\Delta$ : 103 ppm	VF: 500 ppm
Calcita	Tiende a la insaturación al disminuir sus IS. Se encuentra insaturada en condiciones originales por lo que se provoca mayor insaturación			No se generan cambios		
Anhidrita	Tiende a la insaturación al reducir sus IS. Pasa de la sobresaturación total al equilibrio a 160°C			No se generan cambios		
Cuarzo	No se generan cambios			No se generan cambios		
Calcedonia	No se generan cambios			No se generan cambios		
Sílice amorfa	No se generan cambios			No se generan cambios		
Adularia	No se generan cambios			No se generan cambios		
Laumontita	Tiende a la insaturación al reducir sus IS. Pasa de la sobresaturación total al equilibrio a 245°C			No se generan cambios		
Microclina	No se generan cambios			No se generan cambios		
Muscovita	No se generan cambios			No se generan cambios		
Wairakita	Tiende a la insaturación al reducir sus IS. Pasa de la sobresaturación total al equilibrio a 180°C			No se generan cambios		
Albita	No se generan cambios			No se generan cambios		
Analcima	No se generan cambios			No se generan cambios		
NOTAS	El balance iónico y los potenciales de oxidación disminuyen			El balance iónico y los potenciales de oxidación aumentan		

Pozo SA-2 (89/07/03) - Variaciones en Aluminio - Al						
MINERAL	Reducción			Aumento		
	VI: 0.047 ppm	$\Delta$ : 0.037 ppm	VF: 0.01 ppm	VI: 0.047 ppm	$\Delta$ : 0.953 ppm	VF: 1.0 ppm
Calcita	No se generan cambios			No se generan cambios		
Anhidrita	No se generan cambios			No se generan cambios		
Cuarzo	No se generan cambios			No se generan cambios		
Calcedonia	No se generan cambios			No se generan cambios		
Sílice amorfa	No se generan cambios			No se generan cambios		
Adularia	Tiende a la insaturación al reducir sus IS. Pasa de alcanzar la insaturación de 220°C a una menor temperatura a 180°C			Tiende a la saturación al aumentar sus IS. Alcanza la sobresaturación en todas las temperaturas		
Laumontita	Tiende a la insaturación al reducir sus IS. Pasa de la sobresaturación total a alcanzar la insaturación a 220°C			Tiende a la saturación al aumentar sus IS. Se encuentra sobresaturada en condiciones originales por lo que se provoca mayor sobresaturación		
Microclina	Tiende a la insaturación al reducir sus IS. Pasa de alcanzarla la insaturación de una temperatura >245°C a una temperatura menor a 220°C			Tiende a la saturación al aumentar sus IS. Alcanza la sobresaturación en todas las temperaturas		
Muscovita	Tiende a la insaturación al reducir sus IS. Pasa de la sobresaturación total a alcanzar la insaturación a 200°C			Tiende a la saturación al aumentar sus IS. Se encuentra sobresaturada en condiciones originales por lo que se provoca mayor sobresaturación		
Wairakita	Tiende a la insaturación al reducir sus IS. Pasa de la sobresaturación total a alcanzar la insaturación a 160°C			Tiende a la saturación al aumentar sus IS. Se encuentra sobresaturada en condiciones originales por lo que se provoca mayor sobresaturación		
Albita	Tiende a la insaturación al reducir sus IS. Pasa de alcanzar la insaturación de 245°C a una menor temperatura a 200°C			Tiende a la saturación al aumentar sus IS. Alcanza la sobresaturación en todas las temperaturas		
Analcima	Tiende a la insaturación al reducir sus IS. Pasa de alcanzar la insaturación de 200°C a una menor temperatura a 160°C			Tiende a la saturación al aumentar sus IS. Alcanza la sobresaturación en todas las temperaturas		
NOTAS	El balance iónico y los potenciales de oxidación no cambian			El balance iónico y los potenciales de oxidación aumentan		

Pozo SA-2 (89/07/03) - Variaciones en Hierro - Fe						
MINERAL	Reducción			Aumento		
	VI: 2.1 ppm	$\Delta$ : 1.1 ppm	VF: 1.0 ppm	VI: 2.1 ppm	$\Delta$ : 7.9 ppm	VF: 10.0 ppm
Calcita	No se generan cambios			No se generan cambios		
Anhidrita	No se generan cambios			No se generan cambios		
Cuarzo	No se generan cambios			No se generan cambios		
Calcedonia	No se generan cambios			No se generan cambios		
Sílice amorfa	No se generan cambios			No se generan cambios		
Adularia	No se generan cambios			No se generan cambios		
Laumontita	No se generan cambios			No se generan cambios		



Microclina	No se generan cambios	No se generan cambios
Muscovita	No se generan cambios	No se generan cambios
Wairakita	No se generan cambios	No se generan cambios
Albita	No se generan cambios	No se generan cambios
Analcima	No se generan cambios	No se generan cambios
NOTAS	El balance iónico y los potenciales de oxidación no cambian	El balance iónico y los potenciales de oxidación no cambian

Pozo SA-2 (89/07/03) - Variaciones en Dióxido de carbono – CO <sub>2</sub>						
MINERAL	Reducción			Aumento		
	VI: 57.1 ppm	Δ: 47.1 ppm	VF: 10 ppm	VI: 57.1 ppm	Δ: 72.9 ppm	VF: 130 ppm
Calcita	Mínima tendencia a la insaturación al disminuir sus IS. Se encuentra insaturada en condiciones originales por lo que se provoca mayor insaturación			No se generan cambios		
Anhidrita	No se generan cambios			No se generan cambios		
Cuarzo	No se generan cambios			No se generan cambios		
Calcedonia	No se generan cambios			No se generan cambios		
Sílice amorfa	No se generan cambios			No se generan cambios		
Adularia	No se generan cambios			No se generan cambios		
Laumontita	No se generan cambios			No se generan cambios		
Microclina	No se generan cambios			No se generan cambios		
Muscovita	No se generan cambios			No se generan cambios		
Wairakita	No se generan cambios			No se generan cambios		
Albita	No se generan cambios			No se generan cambios		
Analcima	No se generan cambios			No se generan cambios		
NOTAS	El balance iónico no cambia pero los potenciales de oxidación disminuyen			El balance iónico no cambia pero los potenciales de oxidación aumentan		

Pozo SA-2 (89/07/03) - Variaciones en amoníaco- NH <sub>3</sub>						
MINERAL	Reducción			Aumento		
	VI: 0	Δ: N/A	VF: N/A	VI: 0 ppm	Δ: 50 ppm	VF: 50 ppm
Calcita	N/A			Tiende a la insaturación al disminuir sus IS. Se encuentra insaturada en condiciones originales por lo que se provoca mayor insaturación		
Anhidrita	N/A			No se generan cambios		
Cuarzo	N/A			No se generan cambios		
Calcedonia	N/A			No se generan cambios		
Sílice amorfa	N/A			No se generan cambios		
Adularia	N/A			Tiende a la insaturación al reducir sus IS. Pasa de alcanzar la insaturación de 220°C a una menor temperatura a 180°C		
Laumontita	N/A			Tiende a la insaturación al reducir sus IS. Pasa de la sobresaturación total a la insaturación a 220°C		

Microclina	N/A	Tiende a la insaturación al reducir sus IS. Pasa de alcanzar la insaturación de una temperatura >245°C a una temperatura menor a 220°C
Muscovita	N/A	Tiende a la saturación al aumentar sus IS. Se encuentra sobresaturada en condiciones originales por lo que se provoca mayor sobresaturación
Wairakita	N/A	Tiende a la insaturación al reducir sus IS. Pasa de la sobresaturación a la insaturación en todas las temperaturas
Albita	N/A	Tiende a la insaturación al reducir sus IS. Pasa de alcanzar la insaturación de 245°C a una menor temperatura a 200°C
Analcima	N/A	Tiende a la insaturación al reducir sus IS. Pasa de alcanzar la insaturación de 200°C a una menor temperatura a 140°C
NOTAS	N/A	Tiende a la insaturación al reducir sus IS. Pasa de la sobresaturación a la insaturación a 140°C

## POZO A

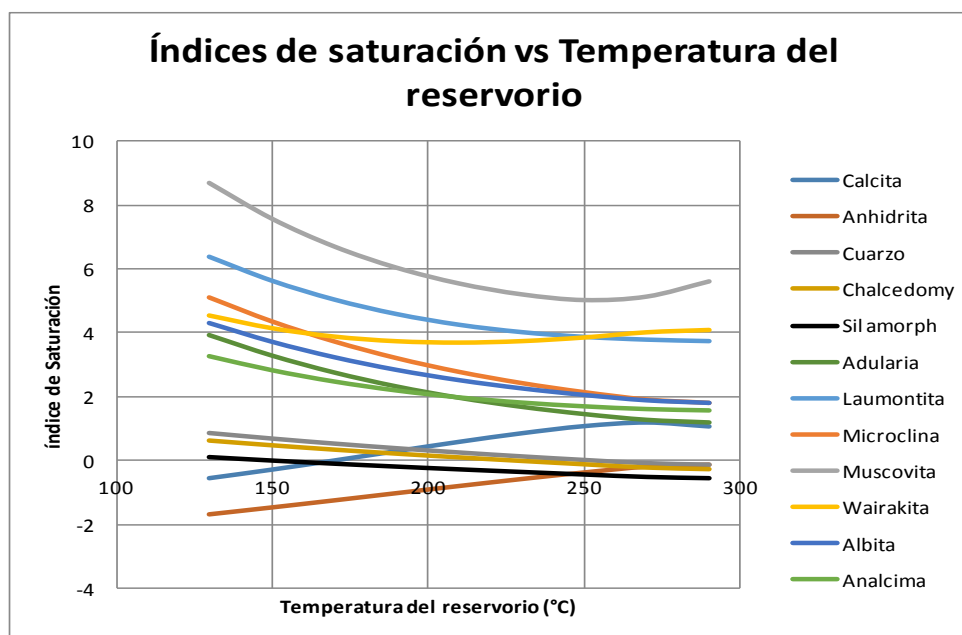
Para el pozo A el valor del potencial de oxidación (0.56 V) es relativamente oxidante y su pH (7.73) ligeramente básico en condiciones originales. Se aprecia que la anhidrita, cuarzo, sílice amorfa y calcedonia podrían estar saturadas, mientras el resto de los minerales se encuentran sobresaturadas. El alto contenido del sodio del pozo A (1703 ppm) puede estar afectando la saturación de la anhidrita y calcita, posiblemente provocando la sobresaturación de esta última. El contenido moderadamente alto de HCO<sub>3</sub>, le puede conferir potencial de incrustación al fluido.

Pozo A / Fase líquida (mg/kg)								
CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> S	NH <sub>3</sub>	B	SiO <sub>2</sub>	Na	K	Mg	Ca
17.24	0.00	0.44	79.1	576.00	1703.00	273.00	0.011	33.2
F	Cl	SO <sub>4</sub>	Al	Fe	TDS*	pH	pH Temp (°C)	
0.7	2832.00	24.6	2.81	0.031	-	7.73	30.0	

\*TDS: Sólidos totales disueltos

Pozo A/ Fase gas (mmol/mol H <sub>2</sub> O)							
CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> S	NH <sub>3</sub>	H <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub>	
1.669	0.129	0.0018	0.00183	0.00019	0.0031	0.04681	

Pozo A / Datos de campo					
Localización	Temperatura de muestreo (°C)	Presión de muestreo (bar gauge)	Entalpía de descarga (kJ/kg)	Descarga (kg/s)	Temperatura de referencia (°C)
-	30	9.5	-	-	-



### Cuadros de variación de los componentes del Pozo A

Pozo A - Variaciones en Dióxido de carbono - CO <sub>2</sub>						
MINERAL	Reducción			Aumento		
	VI: 17.24 ppm	Δ:	VF:0 y 10 ppm	VI: 17.24 ppm	Δ: 14.76 ppm	VF: 32 ppm
Calcita	El efecto que se produce al disminuir la concentración de CO <sub>2</sub> es un aumento en la temperatura de saturación que inicialmente está a 170 °C a 205 °C para una concentración de 0 ppm y a 180 °C para 10 ppm.			Al aumentar la concentración de CO <sub>2</sub> es una reducción en el valor de la temperatura de saturación la cual pasa de 170 a 150°C.		
Anhidrita	No se generan cambios			No se generan cambios		
Cuarzo	No se generan cambios			No se generan cambios		
Calcedonia	No se generan cambios			No se generan cambios		
Sílice amorfa	No se generan cambios			No se generan cambios		
Adularia	No se generan cambios			No se generan cambios		
Laumontita	No se generan cambios			No se generan cambios		
Microclina	No se generan cambios			No se generan cambios		
Muscovita	Hay un aumento en el valor de su IS, se mantiene siempre en saturación.			Disminuye sensiblemente el índice de saturación, se mantiene en zona de sobre saturación.		
Wairakita	No se generan cambios			No se generan cambios		
Albita	No se generan cambios			No se generan cambios		
Analcima	No se generan cambios			No se generan cambios		
Notas	Aumenta levemente el balance iónico el cual se hace más positivo, leve aumento en potencial de oxidación.			Reducción leve en el balance iónico, aumento de potencial de oxidación.		

Pozo A - Variaciones en sulfhídrico - H <sub>2</sub> S						
MINERAL	Aumento			Aumento		
	VI: 0 ppm	Δ: 15 ppm	VF:15 ppm	VI: 0 ppm	Δ: 30 ppm	VF:30 ppm
Calcita	Reducción de Temperatura de saturación de 170 a 150 °C			Reducción de Temperatura de saturación de 170 a 130 °C.		
Anhidrita	No se generan cambios			No se generan cambios		
Cuarzo	No se generan cambios			No se generan cambios		
Calcedonia	No se generan cambios			No se generan cambios		
Sílice amorfa	No se generan cambios			No se generan cambios		
Adularia	No se generan cambios			No se generan cambios		
Laumontita	No se generan cambios			No se generan cambios		
Microclina	No se generan cambios			No se generan cambios		
Muscovita	Leve disminución en valor de IS, se mantiene sobre saturado			Leve disminución en valor de IS, se mantiene sobre saturado		
Wairakita	No se generan cambios			No se generan cambios		
Albita	No se generan cambios			No se generan cambios		
Analcima	No se generan cambios			No se generan cambios		
Notas	Aumento de cargas negativas en balance iónico, leve aumento en potencial de oxidación.			Aumento de cargas negativas en balance iónico, leve aumento en potencial de oxidación.		

Pozo A - Variaciones en amoníaco – NH <sub>3</sub>						
MINERAL	Reducción			Aumento		
	VI:	Δ:	VF:	VI:0.44 ppm	Δ:	VF:5 ppm
Calcita	N/A			Temperatura de saturación aumenta de 170 a 185 °C, punto más alto de de IS es menor que al inicial y siempre se da a 270 C.		
Anhidrita	N/A			No se generan cambios		
Cuarzo	N/A			No se generan cambios		
Calcedonia	N/A			No se generan cambios		
Sílice amorfa	N/A			No se generan cambios		
Adularia	N/A			No se generan cambios		
Laumontita	N/A			No se generan cambios		
Microclina	N/A			No se generan cambios		
Muscovita	N/A			Leve aumento en el índice de saturación, se mantiene sobre saturado.		
Wairakita	N/A			No se generan cambios		
Albita	N/A			No se generan cambios		
Analcima	N/A			No se generan cambios		
Notas	N/A			Balance iónico se hace más positivo, y aumenta potencial de oxidación.		

Pozo A - Variaciones en sílice – SiO <sub>2</sub>						
MINERAL	Reducción			Aumento		
	VI: 576 ppm	Δ: 476 ppm	VF: 100 ppm	VI:576 ppm	Δ:424 ppm	VF: 1000 ppm
Calcita	La temperatura de saturación disminuye de 170 °C a 145°C.			Se satura a mayor temperatura, la temperatura original de 170°C aumenta a190°C.		
Anhidrita	No se generan cambios			No se generan cambios		
Cuarzo	Se insatura a menor temperatura, la temperatura original de 255°C baja a145°C.			Se insatura a mayor temperatura, la temperatura original de 255°C aumenta a 265°C.		
Calcedonia	Se insatura a menor temperatura, la temperatura original de 230°C baja a130°C.			Se insatura a mayor temperatura, la temperatura original de 230°C aumenta a250°C.		
Sílice amorfa	Se insatura a menor temperatura, la temperatura original de 145°C baja a temperaturas inferiores a los 100°C.			Se insatura a mayor temperatura, la temperatura original de 145 °C aumenta a170°C.		
Adularia	Pasa de estar permanentemente sobresaturada, a insaturar a 190 °C.			Aumenta sus IS a todas las temperaturas, se sobre satura a todas las temperaturas.		
Laumontita	Reduce sus valores de IS a todas las temperaturas pero se mantiene siempre sobresaturada.			Aumenta sus valores de IS a todas las temperaturas se mantiene sobresaturada		
Microclina	Pasa de estar permanentemente sobresaturada, a insaturar a 240 °C.			Aumenta sus valores de IS a todas las temperaturas se mantiene sobresaturada		
Muscovita	Reduce sus valores de IS a todas las temperaturas pero se mantiene			Aumenta sus valores de IS a todas las temperaturas se mantiene		

	siempre sobresaturada.	sobresaturada
Wairakita	Reduce sus valores de IS a todas las temperaturas pero se mantiene siempre sobresaturada.	Aumenta sus valores de IS a todas las temperaturas se mantiene sobresaturada
Albita	Pasa de estar permanentemente sobresaturada, a insaturar a 225 °C.	Aumenta sus valores de IS a todas las temperaturas se mantiene sobresaturada
Analcima	Pasa de estar permanentemente sobresaturada, a insaturar a 280 C	Aumenta sus valores de IS a todas las temperaturas pero se mantiene sobresaturada
Notas	Aumenta positivamente el balance iónico, hay una reducción en potencial de oxidación.	Balance iónico se hace más negativo, aumenta el potencial de oxidación.

Pozo A - Variaciones en sodio – Na						
MINERAL	Reducción			Aumento		
	VI: 1703 ppm	Δ: 1503 ppm	VF: 200 ppm	VI: 1703 ppm	Δ: 1297 ppm	VF: 3000 ppm
Calcita	La temperatura de saturación disminuye de 170 °C a 150°C.			Aumenta la temperatura de saturación de 170 a 175 °C.		
Anhidrita	Leve reducción en temperatura de saturación que pasa de 300 a 255 °C.			Se reduce la temperatura de saturación de 300 a 285 °C.		
Cuarzo	No se generan cambios			No se generan cambios		
Calcedonia	No se generan cambios			No se generan cambios		
Sílice amorfa	No se generan cambios			No se generan cambios		
Adularia	No se generan cambios			No se generan cambios		
Laumontita	No se generan cambios			No se generan cambios		
Microclina	No se generan cambios			No se generan cambios		
Muscovita	Aumento leve en IS siempre se mantiene sobre saturada			No se generan cambios apreciables.		
Wairakita	Aumento leve en IS siempre se mantiene sobre saturada			Aumento leve en IS, se mantiene sobre saturada		
Albita	Reducción en IS se mantiene sobre saturada			Reducción en IS, se mantiene sobre saturada		
Analcima	Reducción en IS se mantiene sobre saturada			Aumento en IS, se mantiene sobre saturada		
Notas	Cambio iónico es demasiado brusco pero la tendencia con cambios menores se mantiene, potencial de oxidación se mantiene.			Cambio iónico es demasiado brusco pero la tendencia con cambios menores se mantiene, potencial de oxidación se mantiene.		

Pozo A - Variaciones en potasio – K						
MINERAL	Reducción			Aumento		
	VI:273 ppm	Δ: 273 ppm	VF: 100 ppm	VI: 273 ppm	Δ:227 ppm	VF: 500 ppm
Calcita	No se generan cambios apreciables.			No se generan cambios		
Anhidrita	No se generan cambios			No se generan cambios		
Cuarzo	No se generan cambios			No se generan cambios		

Calcedonia	No se generan cambios	No se generan cambios
Sílice amorfa	No se generan cambios	No se generan cambios
Adularia	Reducción en valores de IS, se mantiene sobre saturada.	Aumento mínimo en valores de IS, se mantiene sobre saturada
Laumontita	No se generan cambios	No se generan cambios
Microclina	Reducción en valores de IS, se mantiene sobre saturada.	Aumento en valores de IS, se mantiene sobre saturada.
Muscovita	Reducción en valores de IS, se mantiene sobre saturada.	Aumento en valores de IS, se mantiene sobre saturada.
Wairakita	No se generan cambios	No se generan cambios
Albita	No se generan cambios	No se generan cambios
Analcima	No se generan cambios	No se generan cambios
Notas	Balance iónico se hace más negativo, potencial de oxidación no se ve alterado.	Balance iónico se hace más positivo, potencial de oxidación no se ve alterado.

Pozo A - Variaciones en magnesio - Mg						
MINERAL	Reducción			Aumento		
	VI: 0.011 ppm	$\Delta$ :	VF: 0 ppm	VI: 0.011 ppm	$\Delta$ :	VF: 5 ppm
Calcita	No se generan cambios			No se generan cambios		
Anhidrita	No se generan cambios			No se generan cambios		
Cuarzo	No se generan cambios			No se generan cambios		
Calcedonia	No se generan cambios			No se generan cambios		
Sílice amorfa	No se generan cambios			No se generan cambios		
Adularia	No se generan cambios			No se generan cambios		
Laumontita	No se generan cambios			No se generan cambios		
Microclina	No se generan cambios			No se generan cambios		
Muscovita	No se generan cambios			No se generan cambios		
Wairakita	No se generan cambios			No se generan cambios		
Albita	No se generan cambios			No se generan cambios		
Analcima	No se generan cambios			No se generan cambios		
Notas	No hay cambios en el balance iónico ni en los potenciales de oxidación.			No hay cambios en el balance iónico ni en los potenciales de oxidación.		

Pozo A - Variaciones en calcio - Ca						
MINERAL	Reducción			Aumento		
	VI: 33.2 ppm	$\Delta$ : 28.2 ppm	VF: 5 ppm	VI: 33.2 ppm	$\Delta$ :16.8 ppm	VF: 50 ppm
Calcita	Aumento de temperatura de precipitación de pasa de 170°C a 220°C, los valores de IS tienden a ser bajos.			Reducción de temperatura de precipitación de 170°C a 155°C, los valores de IS tienden a ser más altos.		
Anhidrita	Aumenta la temperatura de saturación de 270°C a temperaturas superiores a 300 °C.			Reducción de temperatura de precipitación de 270°C a 260°C		
Cuarzo	No se generan cambios			No se generan cambios		
Calcedonia	No se generan cambios			No se generan cambios		
Sílice	No se generan cambios			No se generan cambios		

amorfa		
Adularia	No se generan cambios	No se generan cambios
Laumontita	Reducción de valores de IS, se mantiene sobresaturada.	Aumento de valores de IS, se mantiene sobresaturada.
Microclina	No se generan cambios	No se generan cambios
Muscovita	No se generan cambios	No se generan cambios
Wairakita	Reducción de valores de IS, se mantiene sobresaturada.	Aumento de valores de IS, se mantiene sobresaturada.
Albita	No se generan cambios	No se generan cambios
Analcima	No se generan cambios	No se generan cambios
Notas	Balance iónico se hace negativo, aumento en potencial de oxidación.	Balance iónico se hace más positivo, se reduce en potencial de oxidación.

Pozo A - Variaciones en flúor – F						
MINERAL	Reducción			Aumento		
	VI:	Δ:	VF:	VI: 0.7 ppm	Δ: 9.3 ppm	VF: 10 ppm
Calcita		N/A				No se generan cambios
Anhidrita		N/A				No se generan cambios
Cuarzo		N/A				No se generan cambios
Calcedonia		N/A				No se generan cambios
Sílice amorfa		N/A				No se generan cambios
Adularia		N/A				No se generan cambios
Laumontita		N/A				No se generan cambios
Microclina		N/A				No se generan cambios
Muscovita		N/A				No se generan cambios
Wairakita		N/A				No se generan cambios
Albita		N/A				No se generan cambios
Analcima		N/A				No se generan cambios
Notas		N/A				Balance iónico se hace más negativo, potencial de oxidación aumenta.

Pozo A - Variaciones en cloro – Cl						
MINERAL	Reducción			Aumento		
	VI:	Δ:	VF:	VI:	Δ:	VF:
	2832 ppm	2332 ppm	500 ppm	2832ppm	2168 ppm	5000 ppm
Calcita	Reducción leve de temperatura de precipitación pasa de 170°C a 165 °C, los valores de IS tienden a ser similares en zona de sobre saturación			Aumento leve de temperatura de precipitación de 170 a 175 °C, los valores de IS similares en zona de sobre saturación		
Anhidrita	Reducción leve de temperatura de precipitación de 300°C a 265°C, los valores de IS similares en zona de sobre saturación.			Aumento leve de temperatura de precipitación de 300°C a 310 °C, los valores de IS similares en zona de sobre saturación.		
Cuarzo	No se generan cambios			No se generan cambios		
Calcedonia	No se generan cambios			No se generan cambios		
Sílice amorfa	No se generan cambios			No se generan cambios		
Adularia	No se generan cambios			No se generan cambios		
Laumontita	No se generan cambios			Reducción leve en valores de IS, se mantiene sobre saturada.		



Microclina	No se generan cambios	No se generan cambios
Muscovita	Aumento levemente en valores de IS, se mantiene sobre saturada.	Reducción leve en valores de IS, se mantiene sobre saturada.
Wairakita	Aumento levemente en valores de IS, se mantiene sobre saturada.	Se reduce levemente en valores de IS, se mantiene sobre saturada.
Albita	No se generan cambios	No se generan cambios
Analcima	No se generan cambios	No se generan cambios
Notas	Balance iónico se dispara hasta valores de 200% al realizar cambios menores cambian los márgenes de modificación pero se mantienen las observaciones realizadas. No se modifica potencial de oxidación.	Balance iónico se hace negativo, potencial de oxidación se mantiene.

Pozo A - Variaciones en sulfato – SO <sub>4</sub>						
MINERAL	Reducción			Aumento		
	VI: 24.6	Δ:	VF: 5	VI: 24.6	Δ:	VF: 50
Calcita	No se generan cambios			No se generan cambios		
Anhidrita	Aumenta temperatura de saturación de 300°C a temperaturas mucho mayores a 300°C (calculada de 560 °C)			Reducción de temperatura de saturación de 300°C a temperaturas mayores de 260 °C.		
Cuarzo	No se generan cambios			No se generan cambios		
Calcedonia	No se generan cambios			No se generan cambios		
Sílice amorfa	No se generan cambios			No se generan cambios		
Adularia	No se generan cambios			No se generan cambios		
Laumontita	No se generan cambios			No se generan cambios		
Microclina	No se generan cambios			No se generan cambios		
Muscovita	No se generan cambios			No se generan cambios		
Wairakita	No se generan cambios			No se generan cambios		
Albita	No se generan cambios			No se generan cambios		
Analcima	No se generan cambios			No se generan cambios		
Nota	Balance iónico se hace más positivo, potencial de oxidación se mantiene.			Balance iónico se reduce, potencial de oxidación se mantiene.		

Pozo A - Variaciones en aluminio – Al						
MINERAL	Reducción			Aumento		
	VI: 2.81	Δ:	VF: 0.1	VI: 2.81	Δ:	VF: 10
Calcita	No se generan cambios			No se generan cambios		
Anhidrita	Aumenta temperatura de saturación de 300°C a temperaturas mayores de 310 °C.			Disminuye la temperatura de saturación de 300°C a 270 °C.		
Cuarzo	No se generan cambios			No se generan cambios		
Calcedonia	No se generan cambios			No se generan cambios		
Sílice amorfa	No se generan cambios			No se generan cambios		
Adularia	Se reduce el valor de IS, alcanza insaturación a 245°C.			Aumento de valores de IS, se mantiene sobresaturada.		
Laumontita	Reduce considerablemente valores de IS, no alcanza la insaturación en			Aumento de valores de IS, se mantiene sobresaturada.		

	temperaturas de trabajo.	
Microclina	Reduce considerablemente valores de IS, alcanza la insaturación a 310 °C	Aumento de valores de IS, se mantiene sobresaturada.
Muscovita	Reduce mucho sus valores de IS, pendiente se hace pronunciada, pero sus valores mínimos se dan en 250 °C aun así no alcanza insaturación.	Aumento de valores de IS, se mantiene sobresaturada.
Wairakita	Reduce mucho sus valores de IS, no alcanza insaturación.	Aumento de valores de IS, se mantiene sobresaturada.
Albita	Reduce sus valores de IS, alcanza saturación a temperatura mayor a 300 °C	Aumento de valores de IS, se mantiene sobresaturada.
Analcima	Reduce sus valores de IS alcanza saturación a 300 °C	Aumento de valores de IS, se mantiene sobresaturada.
Notas	Balance iónico se hace más positivo no cambia el potencial de oxidación.	Balance iónico se hace más negativo no cambia el potencial de oxidación.

Pozo A - Variaciones en hierro – Fe						
MINERAL	Reducción			Aumento		
	VI: 0.031	$\Delta$ :	VF: 5	VI: 0.031	$\Delta$ :	VF: 10
Calcita	No se generan cambios			No se generan cambios		
Anhidrita	No se generan cambios			No se generan cambios		
Cuarzo	No se generan cambios			No se generan cambios		
Calcedonia	No se generan cambios			No se generan cambios		
Sílice amorfa	No se generan cambios			No se generan cambios		
Adularia	No se generan cambios			No se generan cambios		
Laumontita	No se generan cambios			No se generan cambios		
Microclina	No se generan cambios			No se generan cambios		
Muscovita	No se generan cambios			No se generan cambios		
Wairakita	No se generan cambios			No se generan cambios		
Albita	No se generan cambios			No se generan cambios		
Analcima	No se generan cambios			No se generan cambios		
Notas	Balance iónico se hace más positivo, potencial de oxidación se mantiene.			Balance iónico se hace más positivo, potencial de oxidación se mantiene.		

Pozo A - Variaciones en Sólidos Totales Disueltos – TDS						
MINERAL	Reducción			Aumento		
	VI:	$\Delta$ :	VF:	VI: 0 ppm	$\Delta$ : 10000 ppm	VF:10000 ppm
Calcita	N/A			No se generan cambios		
Anhidrita	N/A			No se generan cambios		
Cuarzo	N/A			No se generan cambios		
Calcedonia	N/A			No se generan cambios		
Sílice amorfa	N/A			No se generan cambios		
Adularia	N/A			No se generan cambios		
Laumontita	N/A			No se generan cambios		
Microclina	N/A			No se generan cambios		

Muscovita	N/A	No se generan cambios
Wairakita	N/A	No se generan cambios
Albita	N/A	No se generan cambios
Analcima	N/A	No se generan cambios
Notas	N/A	No se registra cambio alguno

Pozo A - Variaciones en pH						
MINERAL	Reducción			Aumento		
	VI: 7.73	$\Delta$ :3.23	VF: 4.5	VI: 7.73	$\Delta$ :	VF:8.2
Calcita	Aumenta su temperatura de saturación de 170 °C temperaturas mayores a 300 °C.			Se reduce la temperatura de saturación de 170 a 130 °C.		
Anhidrita	No alcanza la saturación temperaturas bajas, se maneja de manera casi paralela a IS=0			No generan cambios.		
Cuarzo	Logra insaturación a 280 °C.			No generan cambios.		
Calcedonia	Logra insaturación a 265 °C.			No generan cambios.		
Sílice amorfa	Logra saturación a 175 °C.			No generan cambios.		
Adularia	Reduce su valor de IS pero se indefine y no logra insaturación.			No generan cambios.		
Laumontita	Reduce su valor de IS pero se indefine y no logra insaturación.			Aumenta de manera mínima su valor de IS, no logra insaturación.		
Microclina	Reduce su valor de IS pero no logra insaturación a temperaturas bajas.			No generan cambios.		
Muscovita	Eleva sus valores de IS, no tiene sentido tomarla en cuenta en análisis.			Reduce valores de IS, no alcanza insaturación.		
Wairakita	Valor de IS aumenta constantemente a medida se aumenta la temperatura, IS=0 a temperaturas menores a 100 °C.			Reduce valores de IS, no alcanza insaturación.		
Albita	Reduce su valor de IS pero no logra insaturación a temperaturas bajas.			No genera cambio		
Analcima	Reduce su valor de IS pero no logra insaturación a temperaturas bajas.			Aumenta levemente su valor de IS.		
Nota	Balance iónico se hace más positivo. Potencial de oxidación se reduce drásticamente.			Balance iónico se hace más negativo, aumenta el potencial de oxidación.		

## POZO B

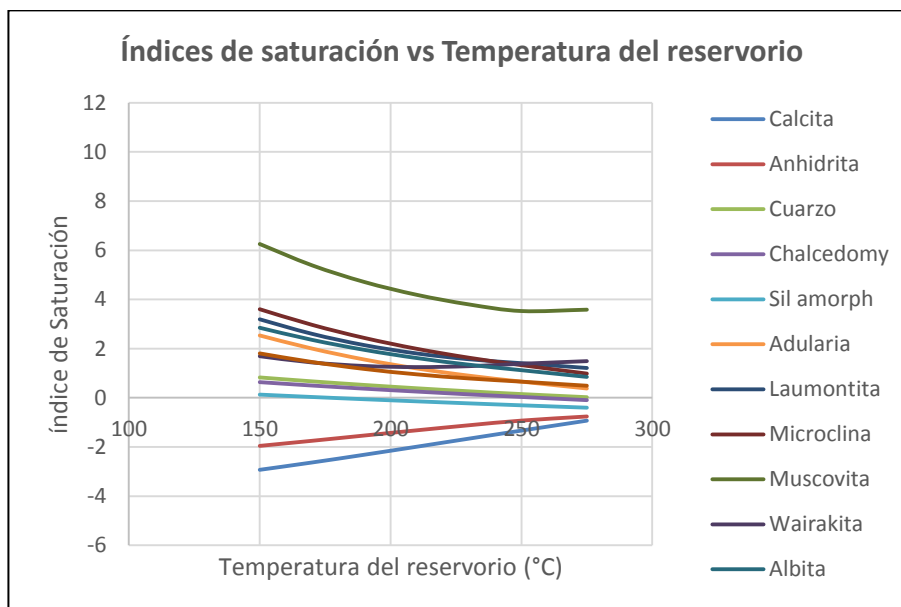
El pozo B posee menor potencial de oxidación que el pozo A (0.44 V), lo que lo vuelve menos oxidante y su pH (6.4) lo que lo vuelve ligeramente ácido. Su alto contenido de sodio, este juega un papel importante en la temperatura de saturación de la calcita y la anhidrita, sin embargo el contenido de HCO<sub>3</sub> puede compensar ese contenido. El valor de SiO<sub>2</sub> es más alto, lo cual puede significar mayores problemas de incrustación.

Pozo B / Fase líquida (mg/kg)								
CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> S	NH <sub>3</sub>	B	SiO <sub>2</sub>	Na	K	Mg	Ca
2.55	0.00	0.25	127.4	771.0	3450.0	741.0	0.047	53.1
F	Cl	SO <sub>4</sub>	Al	Fe	TDS*	pH	pH Temp (°C)	
0.5	5913.0	9.81	0.1	0.010	-	6.39	25	

\*TDS: Sólidos totales disueltos

Pozo B/ Fase gas (mmol/mol H <sub>2</sub> O)						
CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> S	NH <sub>3</sub>	H <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub>
1.0730	0.2390	0.0011	0.0128	0.00011	0.00266	0.0175

Pozo B / Datos de campo					
Localización	Temperatura de muestreo (°C)	Presión de muestreo (bar gauge)	Entalpía de descarga (kJ/kg)	Descarga (kg/s)	Temperatura de referencia (°C)
-	25	10.6	-	-	-



### Cuadros de variación de los componentes del Pozo B

Pozo B - Variaciones en pH						
MINERAL	Reducción			Aumento		
	VI: 6.4	Δ: 2.4	VF: 4.0	VI: 6.4	Δ: 1.6	VF: 8.0
Calcita	Tiende a la insaturación al reducir sus IS. Se encuentra insaturada en condiciones originales por lo que se provoca mayor insaturación			Tiende a la saturación al aumentar sus IS. Pasa de la insaturación a la sobresaturación a 190°C		
Anhidrita	No se generan cambios			No se generan cambios		
Cuarzo	No se generan cambios			No se generan cambios		
Calcedonia	No se generan cambios			No se generan cambios		
Sílice amorfa	No se generan cambios			No se generan cambios		
Adularia	Tiende a la insaturación al reducir sus IS. Pasa de la sobresaturación al equilibrio a 250°C			Tiende a la saturación al aumentar sus IS. Se encuentra sobresaturada en condiciones originales por lo que se provoca mayor sobresaturación		
Laumontita	Tiende a la insaturación al reducir sus IS. Pasa de la sobresaturación al equilibrio a 150°C			Tiende a la saturación al aumentar sus IS. Se encuentra sobresaturada en condiciones originales por lo que se provoca mayor sobresaturación		
Microclina	Tiende a la insaturación al reducir su IS pero siempre permanece sobresaturada en todas sus temperaturas			Tiende a la saturación al aumentar sus IS. Se encuentra sobresaturada en condiciones originales por lo que se provoca mayor sobresaturación		
Muscovita	Tiende a la saturación al aumentar su IS pero siempre permanece sobresaturada en todas sus temperaturas			Tiende a la insaturación al reducir su IS pero siempre permanece sobresaturada en todas sus temperaturas		
Wairakita	Tiende a la insaturación al reducir sus IS. Pasa de la sobresaturación total a la insaturación a 190°C			Tiende a la saturación al aumentar sus IS. Se encuentra sobresaturada en condiciones originales por lo que se provoca mayor sobresaturación		
Albita	Tiende a la insaturación al reducir su IS pero siempre permanece sobresaturada en todas sus temperaturas			Tiende a la saturación al aumentar sus IS. Se encuentra sobresaturada en condiciones originales por lo que se provoca mayor sobresaturación		
Analcima	Tiende a la insaturación al reducir sus IS. Pasa de la sobresaturación total al equilibrio a 230°C			Tiende a la saturación al aumentar sus IS. Se encuentra sobresaturada en condiciones originales por lo que se provoca mayor sobresaturación		
NOTAS	El balance iónico y los potenciales de oxidación no cambian			El balance iónico y los potenciales de oxidación no cambian		

Pozo B - Variaciones en HCO <sub>3</sub>						
MINERAL	Reducción			Aumento		
	VI: 3.54 ppm	Δ: 3.15 ppm	VF: 0.35 ppm	VI: 3.54 ppm	Δ: 31.86 ppm	VF: 35.4 ppm
Calcita	Tiende a la insaturación al reducir sus IS. Se encuentra insaturada en condiciones originales por lo que se provoca mayor insaturación			Tiende a la saturación al aumentar sus IS. Pasa de la insaturación total al equilibrio a 230°C		
Anhidrita	No se generan cambios			No se generan cambios		
Cuarzo	No se generan cambios			No se generan cambios		
Calcedonia	No se generan cambios			No se generan cambios		
Sílice amorfa	No se generan cambios			No se generan cambios		
Adularia	No se generan cambios			No se generan cambios		
Laumontita	No se generan cambios			No se generan cambios		
Microclina	No se generan cambios			No se generan cambios		
Muscovita	Tiende a la saturación al aumentar sus IS. Se encuentra sobresaturada en condiciones originales por lo que se provoca mayor sobresaturación			Tiende a la insaturación al reducir su IS pero siempre permanece sobresaturada en todas sus temperaturas		
Wairakita	No se generan cambios			No se generan cambios		
Albita	No se generan cambios			No se generan cambios		
Analcima	No se generan cambios			No se generan cambios		
NOTAS	El balance iónico y los potenciales de oxidación aumentan			El balance iónico y los potenciales de oxidación disminuyen		

Pozo B - Variaciones en cloro - Cl						
MINERAL	Reducción			Aumento		
	VI: 5913 ppm	Δ: 4913 ppm	VF: 1000 ppm	VI: 5913ppm	Δ: 4087ppm	VF: 10000ppm
Calcita	No se generan cambios			No se generan cambios		
Anhidrita	No se generan cambios			No se generan cambios		
Cuarzo	No se generan cambios			No se generan cambios		
Calcedonia	No se generan cambios			No se generan cambios		
Sílice amorfa	No se generan cambios			No se generan cambios		
Adularia	No se generan cambios			No se generan cambios		
Laumontita	No se generan cambios			No se generan cambios		
Microclina	No se generan cambios			No se generan cambios		
Muscovita	No se generan cambios			No se generan cambios		
Wairakita	No se generan cambios			No se generan cambios		
Albita	No se generan cambios			No se generan cambios		
Analcima	No se generan cambios			No se generan cambios		
NOTAS	El balance iónico aumenta pero el potenciales de oxidación permanece constante			El balance iónico disminuye pero el potenciales de oxidación permanece constante		

Pozo B - Variaciones en sílice – SiO <sub>2</sub>						
MINERAL	Reducción			Aumento		
	VI: 771 ppm	Δ: 471 ppm	VF: 300 ppm	VI: 771 ppm	Δ: 129 ppm	VF: 900 ppm
Calcita	No se generan cambios			No se generan cambios		
Anhidrita	No se generan cambios			No se generan cambios		
Cuarzo	Tiende a la insaturación al reducir sus IS. Pasa de lograr el equilibrio de 250°C a 170°C			Mínima tendencia a la saturación. Se encuentra sobresaturada en condiciones originales por lo que se provoca mayor sobresaturación		
Calcedonia	Tiende a la insaturación al reducir sus IS. Pasa de lograr el equilibrio de 210°C a 150°C			Mínima tendencia a la saturación. Se encuentra sobresaturada en condiciones originales por lo que se provoca mayor sobresaturación		
Sílice amorfa	Tiende a la insaturación al reducir sus IS. Pasa de alcanzar a la insaturación de 230°C a 150°C			Mínima tendencia a la saturación. Se encuentra sobresaturada en condiciones originales por lo que se provoca mayor sobresaturación		
Adularia	Tiende a la insaturación al reducir sus IS. Pasa de la sobresaturación total a la insaturación a 230°C			Mínima tendencia a la saturación. Se encuentra sobresaturada en condiciones originales por lo que se provoca mayor sobresaturación		
Laumontita	Tiende a la insaturación al reducir sus IS. Pasa de la sobresaturación total a la insaturación al a 275°C			Mínima tendencia a la saturación. Se encuentra sobresaturada en condiciones originales por lo que se provoca mayor sobresaturación		
Microclina	Tiende a la insaturación al reducir sus IS. Pasa de la sobresaturación total a la insaturación al a 275°C			Mínima tendencia a la saturación. Se encuentra sobresaturada en condiciones originales por lo que se provoca mayor sobresaturación		
Muscovita	Tiende a la insaturación al reducir su IS pero siempre permanece sobresaturada en todas sus temperaturas			Mínima tendencia a la saturación. Se encuentra sobresaturada en condiciones originales por lo que se provoca mayor sobresaturación		
Wairakita	Tiende a la insaturación al reducir sus IS. Pasa de la sobresaturación total a la insaturación de 190°C			Mínima tendencia a la saturación. Se encuentra sobresaturada en condiciones originales por lo que se provoca mayor sobresaturación		
Albita	Tiende a la insaturación al reducir sus IS. Pasa de la sobresaturación total a la insaturación al a 275°C			Mínima tendencia a la saturación. Se encuentra sobresaturada en condiciones originales por lo que se provoca mayor sobresaturación		
Analcima	Tiende a la insaturación al reducir sus IS. Pasa de la sobresaturación a la insaturación al a 275°C			Mínima tendencia a la saturación. Se encuentra sobresaturada en condiciones originales por lo que se provoca mayor sobresaturación		
NOTAS	El balance iónico y los potenciales de oxidación no cambian			El balance iónico y los potenciales de oxidación no cambian		

Pozo B - Variaciones en hierro - Fe						
MINERAL	Reducción			Aumento		
	VI: 0.01 ppm	$\Delta$ : 0.09 ppm	VF: 0.001 ppm	VI: 0.01 ppm	$\Delta$ : 9.99 ppm	VF: 10 ppm
Calcita	Tiende a la insaturación al reducir sus IS. Se encuentra sobresaturada en condiciones originales por lo que se provoca mayor insaturación			No se generan cambios		
Anhidrita	No se generan cambios			No se generan cambios		
Cuarzo	No se generan cambios			No se generan cambios		
Calcedonia	No se generan cambios			No se generan cambios		
Sílice amorfa	No se generan cambios			No se generan cambios		
Adularia	No se generan cambios			No se generan cambios		
Laumontita	No se generan cambios			No se generan cambios		
Microclina	No se generan cambios			No se generan cambios		
Muscovita	No se generan cambios			No se generan cambios		
Wairakita	No se generan cambios			No se generan cambios		
Albita	No se generan cambios			No se generan cambios		
Analcima	No se generan cambios			No se generan cambios		
NOTAS	El balance iónico y los potenciales de oxidación no cambian			El balance iónico y los potenciales de oxidación no cambian		

Pozo B - Variaciones en calcio - Ca						
MINERAL	Reducción			Aumento		
	VI: 53.1 ppm	$\Delta$ : 48.1 ppm	VF: 5.0 ppm	VI: 53.1 ppm	$\Delta$ : 446.9 ppm	VF: 500.0 ppm
Calcita	Tiende a la insaturación al reducir sus IS. Se encuentra insaturada en condiciones originales por lo que se provoca mayor insaturación			Tiende a la saturación al aumentar sus IS pero siempre permanece insaturada en todas sus temperaturas		
Anhidrita	Tiende a la insaturación al reducir sus IS. Se encuentra insaturada en condiciones originales por lo que se provoca mayor insaturación			Tiende a la saturación al aumentar sus IS. Pasa de la insaturación total al equilibrio a 250°C		
Cuarzo	No se generan cambios			No se generan cambios		
Calcedonia	No se generan cambios			No se generan cambios		
Sílice amorfa	No se generan cambios			No se generan cambios		
Adularia	No se generan cambios			No se generan cambios		
Laumontita	Tiende a la insaturación al reducir su IS pero siempre permanece sobresaturada en todas sus temperaturas			Tiende a la saturación al aumentar sus IS. Se encuentra sobresaturada en condiciones originales por lo que se provoca mayor sobresaturación		
Microclina	No se generan cambios			No se generan cambios		
Muscovita	No se generan cambios			No se generan cambios		
Wairakita	Tiende a la insaturación al reducir su IS pero siempre permanece sobresaturada en todas sus temperaturas			Tiende a la saturación al aumentar sus IS. Se encuentra sobresaturada en condiciones originales por lo que se provoca mayor sobresaturación		
Albita	No se generan cambios			No se generan cambios		



Analcima	No se generan cambios	No se generan cambios
NOTAS	El balance iónico y los potenciales de oxidación disminuyen	El balance iónico y los potenciales de oxidación no cambian

Pozo B - Variaciones en dióxido de carbono – CO <sub>2</sub>						
MINERAL	Reducción			Aumento		
	VI: 1.073ppm	Δ: 0.9657ppm	VF: 0.1073ppm	VI: 1.073ppm	Δ: 9.657ppm	VF: 10.73ppm
Calcita	Tiende a la insaturación al reducir sus IS. Se encuentra insaturada en condiciones originales por lo que se provoca mayor insaturación			Tiende a la saturación al aumentar sus IS pero siempre permanece insaturada en todas sus temperaturas		
Anhidrita	No se generan cambios			No se generan cambios		
Cuarzo	No se generan cambios			No se generan cambios		
Calcedonia	No se generan cambios			No se generan cambios		
Sílice amorfa	No se generan cambios			No se generan cambios		
Adularia	No se generan cambios			No se generan cambios		
Laumontita	No se generan cambios			No se generan cambios		
Microclina	No se generan cambios			No se generan cambios		
Muscovita	Tiende a la insaturación al reducir su IS pero siempre permanece sobresaturada en todas sus temperaturas			Tiende a la saturación al aumentar sus IS. Se encuentra sobresaturada en condiciones originales por lo que se provoca mayor sobresaturación		
Wairakita	No se generan cambios			No se generan cambios		
Albita	No se generan cambios			No se generan cambios		
Analcima	No se generan cambios			No se generan cambios		
NOTAS	El balance iónico no cambia pero los potenciales de oxidación disminuyen			El balance iónico no cambia pero los potenciales de oxidación aumentan		

Pozo B - Variaciones en amoníaco – NH <sub>3</sub>						
MINERAL	Reducción			Aumento		
	VI: 0	Δ: N/A	VF: N/A	VI: 0.25 ppm	Δ: 49.75 ppm	VF: 50 ppm
Calcita	N/A			Tiende a la insaturación al reducir sus IS. Se encuentra insaturada en condiciones originales por lo que se provoca mayor insaturación		
Anhidrita	N/A			Tiende a la insaturación al reducir sus IS. Se encuentra insaturada en condiciones originales por lo que se provoca mayor insaturación		
Cuarzo	N/A			No se generan cambios		
Calcedonia	N/A			No se generan cambios		
Sílice amorfa	N/A			No se generan cambios		
Adularia	N/A			Tiende a la insaturación al reducir sus IS. Pasa del sobresaturación a la insaturación a 275°C		
Laumontita	N/A			Tiende a la insaturación al reducir sus IS. Pasa del sobresaturación al		

		equilibrio a 275°C
Microclina	N/A	Tiende a la insaturación al reducir sus IS pero siempre permanece sobresaturada en todas sus temperaturas
Muscovita	N/A	Tiende a la saturación al aumentar sus IS. Se encuentra sobresaturada en condiciones originales por lo que se provoca mayor sobresaturación
Wairakita	N/A	Tiende a la insaturación al reducir sus IS. Pasa del sobresaturación al equilibrio en todas sus temperaturas
Albita	N/A	Tiende a la insaturación al reducir sus IS. Pasa del sobresaturación al equilibrio a 275°C
Analcima	N/A	Tiende a la insaturación al reducir sus IS. Pasa del sobresaturación al equilibrio a 230°C
NOTAS	N/A	El balance iónico y los potenciales de oxidación disminuyen

Pozo B - Variaciones en aluminio - Al						
MINERAL	Reducción			Aumento		
	VI: 0.1 ppm	$\Delta$ : 0.09 ppm	VF: 0.01 ppm	VI: 0.1 ppm	$\Delta$ : 0.9 ppm	VF: 1.0 ppm
Calcita	No se generan cambios			Tiende a la insaturación al reducir sus IS. Se encuentra insaturada en condiciones originales por lo que se provoca mayor insaturación		
Anhidrita	No se generan cambios			No se generan cambios		
Cuarzo	No se generan cambios			No se generan cambios		
Calcedonia	No se generan cambios			No se generan cambios		
Sílice amorfa	No se generan cambios			No se generan cambios		
Adularia	Tiende a la insaturación al reducir sus IS. Pasa de la sobresaturación total a la insaturación a 250°C			Tiende a la saturación al aumentar sus IS. Se encuentra sobresaturada en condiciones originales por lo que se provoca mayor sobresaturación		
Laumontita	Tiende a la insaturación al reducir sus IS. Pasa del sobresaturación total a la insaturación a 230°C			Tiende a la saturación al aumentar sus IS. Se encuentra sobresaturada en condiciones originales por lo que se provoca mayor sobresaturación		
Microclina	Tiende a la insaturación al reducir sus IS. Pasa del sobresaturación total al equilibrio a 275°C			Tiende a la saturación al aumentar sus IS. Se encuentra sobresaturada en condiciones originales por lo que se provoca mayor sobresaturación		
Muscovita	Tiende a la insaturación al reducir su IS pero siempre permanece sobresaturada en todas sus temperaturas			Tiende a la saturación al aumentar sus IS. Se encuentra sobresaturada en condiciones originales por lo que se provoca mayor sobresaturación		
Wairakita	Tiende a la insaturación al reducir sus IS. Pasa del sobresaturación a la insaturación en todas sus temperaturas			Tiende a la saturación al aumentar sus IS. Se encuentra sobresaturada en condiciones originales por lo que se		

		provoca mayor sobresaturación
Albita	Tiende a la insaturación al reducir sus IS. Pasa del sobresaturación total al equilibrio a 275°C	Tiende a la saturación al aumentar sus IS. Se encuentra sobresaturada en condiciones originales por lo que se provoca mayor sobresaturación
Analcima	Tiende a la insaturación al reducir sus IS. Pasa del sobresaturación total a la insaturación a 250°C	Tiende a la saturación al aumentar sus IS. Se encuentra sobresaturada en condiciones originales por lo que se provoca mayor sobresaturación
NOTAS	El balance iónico y los potenciales de oxidación no cambian	El balance iónico y los potenciales de oxidación no cambian

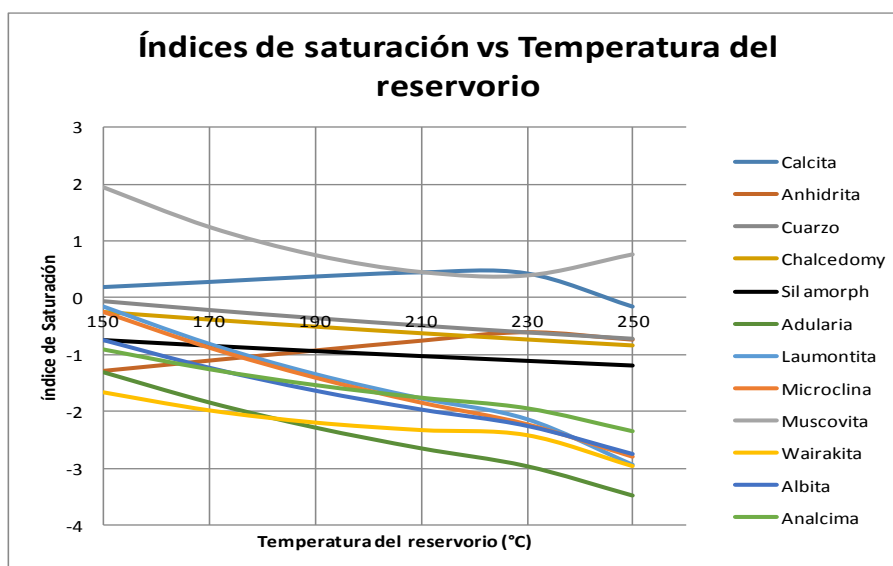
### FUENTE TERMAL F-717

Fuente termal F-717 (89/07/03) / Fase líquida (mg/kg)								
CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> S	NH <sub>3</sub>	B	SiO <sub>2</sub>	Na	K	Mg	Ca
324	0.01	0	2.14	124.5	188.9	22.5	5.85	21.3
F	Cl	SO <sub>4</sub>	Al	Fe	TDS*	pH	pH Temp (°C)	
0	60.12	33.1	0.14	0.10	-	6.7	25	

\*TDS: Sólidos totales disueltos

Fuente termal F-717 (89/07/03) / Fase gas (mmol/mol H <sub>2</sub> O)							
CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> S	NH <sub>3</sub>	H <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub>	
-	-	-	-	-	-	-	

Fuentes F717 / Datos de campo					
Localización	Temperatura de muestreo (°C)	Presión de muestreo (bar abs)	Entalpía de descarga (kJ/kg)	Descarga (kg/s)	Temperatura de referencia (°C)
	54.9	-		-	250



### Cuadros de variación de los componentes del Pozo F – 717

Fuente termal F-717 - Variaciones en sodio - Na						
MINERAL	Reducción			Aumento		
	VI: 188.9 ppm	$\Delta$ : 88.9 ppm	VF: 100 ppm	VI: 188 ppm	$\Delta$ : 62 ppm	VF: 250 ppm
Calcita	Sin cambios aparentes, insaturada hasta T=245			Sin cambios aparentes, insaturada hasta T=245		
Anhidrita	Aumenta su valor de IS no alcanza saturación.			No se generan cambios		
Cuarzo	No se generan cambios			No se generan cambios		
Calcedonia	No se generan cambios			No se generan cambios		
Sílice amorfa	No se generan cambios			No se generan cambios		
Adularia	No se generan cambios			No se generan cambios		
Laumontita	Aumenta su T de insaturación pasa de 142°C a 145°C.			Reducción mínima de IS, se mantiene siempre insaturada.		
Microclina	No se generan cambios			No se generan cambios		
Muscovita	Continúa permanentemente sobresaturada.			Permanentemente sobresaturada		
Wairakita	Aumenta su valor de IS pero permanece insaturada indefinidamente			No se generan cambios		
Albita	Reduce su valor de IS, permanentemente insaturada			Aumenta su valor de IS permanece insaturada.		
Analcima	Aumenta su valor de IS pero permanece insaturada indefinidamente con respecto a la temperatura.			Aumenta levemente su valor de IS, permanece insaturada indefinidamente.		
Notas	Se logra un mejor balance iónico, el cual se hace más negativo, potencial de oxidación se mantiene.			Aumenta balance iónico, potencial de oxidación se mantiene constante, se logra equilibrio mineral de compuestos principales de sílice (qz, chal) calcita, microclina y laumontita a 143 °C.		

Fuente termal F-717 - Variaciones en potasio - K						
MINERAL	Reducción			Aumento		
	VI: 22.5	$\Delta$ :	VF: 10	VI: 22.5	$\Delta$ :	VF: 30
Calcita	No se generan cambios			No se generan cambios		
Anhidrita	No se generan cambios			No se generan cambios		
Cuarzo	No se generan cambios			No se generan cambios		
Calcedonia	No se generan cambios			No se generan cambios		
Sílice amorfa	No se generan cambios			No se generan cambios		
Adularia	Reduce valor de IS, se insatura a mayor temperatura.			Aumenta valor de IS, se insatura a mayor temperatura.		
Laumontita	No se generan cambios			No se generan cambios		
Microclina	Disminuye valor de IS, pero se mantiene permanentemente insaturada, T de insaturación baja de 145°C a 135°C.			Aumenta valor de IS, pero se mantiene permanentemente insaturada, T de insaturación tiene un ligero aumento.		
Muscovita	Logra alcanzar saturación solo a			Reduce de manera mínima sus valores		

	225°C. En condiciones normales está permanentemente sobresaturada.	de IS, nunca alcanza insaturarse.
Wairakita	No se generan cambios	No se generan cambios
Albita	No se generan cambios	No se generan cambios
Analcima	No se generan cambios	No se generan cambios
Notas	Balance iónico baja levemente, potencial se mantiene.	Balance iónico aumenta levemente, potencial se mantiene.

Fuente termal F-717 - Variaciones en calcio - Ca						
MINERAL	Reducción			Aumento		
	VI:21.3	$\Delta$ :	VF:5	VI:21.3	$\Delta$ :	VF:40
Calcita	Calcita se insatura a todas las temperaturas			Aumenta IS, su primera temperatura de saturación disminuye, y vuelve a saturar a 250°C, sin cambios lo hace a 245°C.		
Anhidrita	Reduce valor de IS mas nunca alcanza saturación.			Aumenta valor de IS mas nunca alcanza saturación.		
Cuarzo	No se generan cambios			No se generan cambios		
Calcedonia	No se generan cambios			No se generan cambios		
Sílice amorfa	No se generan cambios			No se generan cambios		
Adularia	No se generan cambios			No se generan cambios		
Laumontita	Disminuyen los valores del índice de saturación, T de insaturación baja pasa de 145°C a 135°C.			Aumenta los valores de índice de saturación, T de insaturación pasa de 145°C a 152°C		
Microclina	No se generan cambios			No se generan cambios		
Muscovita	No se generan cambios			No se generan cambios		
Wairakita	No se generan cambios			No se generan cambios		
Albita	No se generan cambios			No se generan cambios		
Analcima	No se generan cambios			No se generan cambios		
Nota	Balance iónico se hace más negativo. Potencial no cambia de manera apreciable.			Balance iónico se hace más positivo. Reduce el potencial de oxidación.		

Fuente termal F-717 - Variaciones en cloro - Cl						
MINERAL	Reducción			Aumento		
	VI: 60.12	$\Delta$ :	VF:30	VI:60.12	$\Delta$ :	VF:90
Calcita	No se generan cambios			No se generan cambios		
Anhidrita	No se generan cambios			No se generan cambios		
Cuarzo	No se generan cambios			No se generan cambios		
Calcedonia	No se generan cambios			No se generan cambios		
Sílice amorfa	No se generan cambios			No se generan cambios		
Adularia	No se generan cambios			No se generan cambios		
Laumontita	No se generan cambios			No se generan cambios		
Microclina	No se generan cambios			No se generan cambios		
Muscovita	No se generan cambios			No se generan cambios		
Wairakita	No se generan cambios			No se generan cambios		
Albita	No se generan cambios			No se generan cambios		
Analcima	No se generan cambios			No se generan cambios		
Notas:	Balance iónico se hace más positivo, Potencial de oxidación se mantiene.			Balance iónico se reduce, Potencial de oxidación se mantiene.		

Fuente termal F-717 - Variaciones en sílice – SiO <sub>2</sub>						
MINERAL	Reducción			Aumento		
	VI: 124.5 ppm	Δ: 74.5 ppm	VF: 50 ppm	VI: 124.5 ppm	Δ: 475.5 ppm	VF: 600 ppm
Calcita	No se generan cambios			No se generan cambios		
Anhidrita	No se generan cambios			No se generan cambios		
Cuarzo	Tiende a la insaturación al disminuir sus IS. Se encuentra insaturada en condiciones originales por lo que se provoca mayor insaturación			Tiende a la saturación al aumentar sus IS. Pasa de alcanzar el equilibrio de una temperatura <150°C, a lograr el equilibrio a una mayor temperatura a 210°C		
Calcedonia	Tiende a la insaturación al disminuir sus IS. Se encuentra insaturada en condiciones originales por lo que se provoca mayor insaturación			Tiende a la saturación al aumentar sus IS. Pasa de alcanzar el equilibrio de una temperatura <150°C, a lograr el equilibrio a una mayor temperatura a 190°C		
Sílice amorfa	Tiende a la insaturación al disminuir sus IS. Se encuentra insaturada en condiciones originales por lo que se provoca mayor insaturación			Tiende a la insaturación al disminuir sus IS. Mantiene su condición de insaturación		
Adularia	Tiende a la insaturación al disminuir sus IS. Se encuentra insaturada en condiciones originales por lo que se provoca mayor insaturación			Tiende a la saturación al aumentar sus IS. Pasa de alcanzar el equilibrio de una temperatura <150°C, a lograr el equilibrio a una mayor temperatura a 170°C		
Laumontita	Tiende a la insaturación al disminuir sus IS. Se encuentra insaturada en condiciones originales por lo que se provoca mayor insaturación			Tiende a la saturación al aumentar sus IS. Pasa de alcanzar el equilibrio de una temperatura <150°C, a lograr el equilibrio a una mayor temperatura a 250°C		
Microclina	Tiende a la insaturación al disminuir sus IS. Se encuentra insaturada en condiciones originales por lo que se provoca mayor insaturación			Tiende a la saturación al aumentar sus IS. Pasa de alcanzar el equilibrio de una temperatura <150°C, a lograr el equilibrio a una mayor temperatura a 210°C		
Muscovita	Tiende a la insaturación al disminuir sus IS. Pasa de la sobresaturación total a la insaturación en la mayoría de sus temperaturas, presentando únicamente sobresaturación en 150°C			Tiende a la saturación al disminuir sus IS. Se encuentra sobresaturada en condiciones originales por lo que se provoca mayor sobresaturación		
Wairakita	Tiende a la insaturación al disminuir sus IS. Se encuentra insaturada en condiciones originales por lo que se provoca mayor insaturación			Tiende a la saturación al aumentar sus IS. Pasa de alcanzar el equilibrio de una temperatura <150°C, a lograr el equilibrio a una mayor temperatura a 250°C		
Albita	Tiende a la insaturación al disminuir sus IS. Se encuentra insaturada en condiciones originales por lo que se provoca mayor insaturación			Tiende a la saturación al aumentar sus IS. Pasa de alcanzar el equilibrio de una temperatura <150°C, a lograr el equilibrio a una mayor temperatura a 210°C		
Analcima	Tiende a la insaturación al disminuir sus IS. Se encuentra insaturada en			Tiende a la saturación al aumentar sus IS. Pasa de alcanzar el equilibrio de una		

	condiciones originales por lo que se provoca mayor insaturación	temperatura <150°C, a lograr el equilibrio a una mayor temperatura a 170°C
Nota	El balance iónico y los potenciales de oxidación no cambian	El balance iónico y los potenciales de oxidación no cambian

Fuente termal F-717 - Variaciones en sulfato – SO <sub>4</sub>						
MINERAL	Reducción			Aumento		
	VI:33.1	Δ:	VF:10	VI:33.1	Δ:	VF: 50
Calcita	No se generan cambios			No se generan cambios		
Anhidrita	No se generan cambios			No se generan cambios		
Cuarzo	No se generan cambios			No se generan cambios		
Calcedonia	No se generan cambios			No se generan cambios		
Sílice amorfa	No se generan cambios			No se generan cambios		
Adularia	No se generan cambios			No se generan cambios		
Laumontita	No se generan cambios			No se generan cambios		
Microclina	No se generan cambios			No se generan cambios		
Muscovita	No se generan cambios			No se generan cambios		
Wairakita	No se generan cambios			No se generan cambios		
Albita	No se generan cambios			No se generan cambios		
Analcima	No se generan cambios			No se generan cambios		
Nota	Balance iónico se hace positivo, potencial de oxidación aumenta 0.005			N/A		

Fuente termal F-717 - Variaciones en aluminio - Al						
MINERAL	Reducción			Aumento		
	VI: 0.14 ppm	Δ: 0.13 ppm	VF: 0.01 ppm	VI: 0.14 ppm	Δ: 1.86 ppm	VF: 2.0ppm
Calcita	No se generan cambios			No se generan cambios		
Anhidrita	No se generan cambios			No se generan cambios		
Cuarzo	No se generan cambios			No se generan cambios		
Calcedonia	No se generan cambios			No se generan cambios		
Sílice amorfa	No se generan cambios			No se generan cambios		
Adularia	Tiende a la insaturación al disminuir sus IS. Se encuentra insaturada en condiciones originales por lo que se provoca mayor insaturación			Tiende a la saturación al aumentar sus IS. Se encuentra insaturada en condiciones originales y alcanza el equilibrio a 150°C		
Laumontita	Tiende a la insaturación al disminuir sus IS. Se encuentra insaturada en condiciones originales por lo que se provoca mayor insaturación			Tiende a la saturación al aumentar sus IS. Se encuentra insaturada en condiciones originales y alcanza el equilibrio a 230°C		
Microclina	Tiende a la insaturación al disminuir sus IS. Se encuentra insaturada en condiciones originales por lo que se provoca mayor insaturación			Tiende a la saturación al aumentar sus IS. Se encuentra insaturada en condiciones originales y alcanza el equilibrio a 190°C		
Muscovita	Tiende a la insaturación al disminuir sus IS. Se encuentra totalmente sobresaturada en condiciones originales y alcanza la totalmente la			Tiende a la saturación al disminuir sus IS. Se encuentra sobresaturada en condiciones originales por lo que se provoca mayor sobresaturación		



	insaturación	
Wairakita	Tiende a la insaturación al disminuir sus IS. Se encuentra insaturada en condiciones originales por lo que se provoca mayor insaturación	Tiende a la saturación al aumentar sus IS. Se encuentra insaturada en condiciones originales y alcanza el equilibrio a 190°C
Albita	Tiende a la insaturación al disminuir sus IS. Se encuentra insaturada en condiciones originales por lo que se provoca mayor insaturación	Tiende a la saturación al aumentar sus IS. Se encuentra insaturada en condiciones originales y alcanza el equilibrio a 170°C
Analcima	Tiende a la insaturación al disminuir sus IS. Se encuentra insaturada en condiciones originales por lo que se provoca mayor insaturación	Tiende a la saturación al aumentar sus IS. Se encuentra insaturada en condiciones originales y alcanza el equilibrio a 150°C
Nota	El balance iónico y los potenciales de oxidación no cambian	

Fuente termal F-717 - Variaciones en pH						
MINERAL	Reducción			Aumento		
	VI: 6.7	$\Delta$ : 2.2	VF: 4.5	VI: 6.7	$\Delta$ : 1.8	VF: 8.5
Calcita	Tiende a la insaturación al disminuir sus IS. Pasa de la sobresaturación a la insaturación en todas las temperaturas			Tiende a la saturación al aumentar sus IS. Se encuentra sobresaturada en condiciones originales por lo que aumenta la sobresaturación en todas sus temperaturas		
Anhidrita	Tendencia curva. Conserva para todas las temperaturas su insaturación			Mínima tendencia a la insaturación al disminuir sus IS. Aumenta la insaturación en todas las temperaturas		
Cuarzo	No se generan cambios			No se generan cambios		
Calcedonia	No se generan cambios			No se generan cambios		
Sílice amorfa	No se generan cambios			No se generan cambios		
Adularia	Tiende a la insaturación al disminuir sus IS. Aumenta la insaturación en todas las temperaturas			Mínima tendencia a la saturación al aumentar sus IS. Conserva su insaturación en todas las temperaturas		
Laumontita	Tiende a la insaturación al disminuir sus IS. Aumenta la insaturación en todas las temperaturas			Mínima tendencia a la saturación al aumentar sus IS. Conserva su insaturación en todas las temperaturas		
Microclina	Tiende a la insaturación al disminuir sus IS. Aumenta la insaturación en todas las temperaturas			Mínima tendencia a la saturación al aumentar sus IS. Conserva su insaturación en todas las temperaturas		
Muscovita	Tiende a la insaturación al disminuir sus IS. Pasa de la sobresaturación total a alcanzar el equilibrio a 250°C			Tiende a la insaturación al disminuir sus IS. Pasa de la sobresaturación total a alcanzar la insaturación en todas sus temperaturas		
Wairakita	Tiende a la insaturación al disminuir sus IS. Aumenta la insaturación en todas las temperaturas			Mínima tendencia a la saturación al aumentar sus IS. Conserva su insaturación en todas las temperaturas		
Albita	Tiende a la insaturación al disminuir sus IS. Aumenta la insaturación en todas las temperaturas			Mínima tendencia a la saturación al aumentar sus IS. Conserva su insaturación en todas las temperaturas		
Analcima	Tiende a la insaturación al disminuir sus IS. Aumenta la insaturación en todas las temperaturas			Mínima tendencia a la saturación al aumentar sus IS. Conserva su insaturación en todas las temperaturas		

Nota	El balance iónico y los potenciales de oxidación aumentan	El balance iónico y los potenciales de oxidación disminuyen
------	---	---

Fuente termal F-717 - Variaciones en hierro - Fe						
MINERAL	Reducción			Aumento		
	VI: 0.1 ppm	$\Delta$ : 0.09	VF: 0.01 ppm	VI: 0.1 ppm	$\Delta$ : 4.99 ppm	VF: 5.0 ppm
Calcita	No se generan cambios			No se generan cambios		
Anhidrita	No se generan cambios			No se generan cambios		
Cuarzo	No se generan cambios			No se generan cambios		
Calcedonia	No se generan cambios			No se generan cambios		
Sílice amorfa	No se generan cambios			No se generan cambios		
Adularia	No se generan cambios			No se generan cambios		
Laumontita	No se generan cambios			No se generan cambios		
Microclina	No se generan cambios			No se generan cambios		
Muscovita	No se generan cambios			No se generan cambios		
Wairakita	No se generan cambios			No se generan cambios		
Albita	No se generan cambios			No se generan cambios		
Analcima	No se generan cambios			No se generan cambios		
Nota	El balance iónico y los potenciales de oxidación no cambian			El balance aumenta pero los potenciales de oxidación no cambian		

Fuente termal F-717 - Variaciones en HCO <sub>3</sub>						
MINERAL	Reducción			Aumento		
	VI: 450 ppm	$\Delta$ : 300 ppm	VF: 150 ppm	VI: 450 ppm	$\Delta$ : 300 ppm	VF: 750 ppm
Calcita	Mínima tendencia a la insaturación al disminuir sus IS. Pasa de la sobresaturación al equilibrio en la mayoría de sus temperaturas			Mínima tendencia a la saturación. Conserva su sobresaturación en todas las temperaturas		
Anhidrita	Mínima tendencia a la saturación al aumentar sus IS. Conserva su insaturación en todas las temperaturas			Mínima tendencia a la insaturación al disminuir sus IS. Aumenta la insaturación en todas las temperaturas		
Cuarzo	No se generan cambios			No se generan cambios		
Calcedonia	No se generan cambios			No se generan cambios		
Sílice amorfa	No se generan cambios			No se generan cambios		
Adularia	No se generan cambios			No se generan cambios		
Laumontita	Mínima tendencia a la saturación al aumentar sus IS. Conserva su insaturación en todas las temperaturas			Mínima tendencia a la insaturación al disminuir sus IS. Aumenta la insaturación en todas las temperaturas		
Microclina	No se generan cambios			No se generan cambios		
Muscovita	No se generan cambios			No se generan cambios		
Wairakita	Mínima tendencia a la saturación al aumentar sus IS. Conserva su insaturación en todas las temperaturas			Mínima tendencia a la insaturación al disminuir sus IS. Aumenta la insaturación en todas las temperaturas		
Albita	No se generan cambios			No se generan cambios		
Analcima	No se generan cambios			No se generan cambios		
Nota	El balance iónico aumenta y los potenciales de oxidación no cambian			El balance iónico disminuye y los potenciales de oxidación no cambian		