



Análisis de la **estratigrafía** y las características **hidrogeológicas** de los estratos profundos que conforman el subsuelo de la cuenca de México a partir de la perforación de dos pozos profundos, uno a 2000 m y otro a 1570 m denominados Agrícola Oriental no. 2B y 2C



**Informe final por:**

Eric Morales Casique  
José Luis Arce Saldaña  
José Luis Lezama Campos  
Oscar A. Escolero Fuentes

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

RECTOR

*Dr. Enrique Graue Wiechers*

SECRETARIO GENERAL

*Dr. Leonardo Lomelí Vanegas*

SECRETARIO ADMINISTRATIVO

*Ing. Leopoldo Silva Gutiérrez*

SECRETARIO DE DESARROLLO INSTITUCIONAL

*Dr. Alberto Ken Oyama Nakagawa*

SECRETARIO DE SERVICIOS A LA COMUNIDAD

*M. en C. Mireya A. Ímaz Gispert*

ABOGADO GENERAL

*Lic. Mónica González Contró*

COORDINADOR DE LA INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA

*Dr. William Henry Lee Alardín*

---

INSTITUTO DE GEOLOGÍA  
CIUDAD UNIVERSITARIA  
ALCALDÍA DE COYOACÁN  
04510 CDMX

---

DIRECTOR

*Dr. Ricardo Barragán Manzo*

EDITOR EN JEFE

*Dra. Ana Bertha Villaseñor Martínez*

EDITOR TÉCNICA

*Mtra. Sandra Ramos Amézquita*

DISEÑADORA

*Mtra. Myrna Laura Martínez Robles*

FOTOGRAFÍA

*M. en C. José Luis Lezama Campos*

Prohibida la reproducción total o parcial por cualquier medio sin la autorización escrita del titular de los derechos patrimoniales.

El procesamiento editorial se realizó en la Unidad Editorial del Instituto de Geología de la Universidad Nacional Autónoma de México bajo la coordinación de la editora técnica Mtra. Sandra Ramos Amézquita con apoyo de las colaboradoras Mtra. Elizabeth Chávez García y Mtra. Alejandra Vieyra Ramírez.

DR©2018 Universidad Nacional Autónoma de México, Av. Universidad 3000,  
Colonia Copilco Universidad, Alcaldía de Coyoacán, 04510 CDMX, México  
ISSN 0185-5530  
Impreso y hecho en México.

Esta monografía se realizó con base en el Informe Técnico Final del Convenio entre el Instituto de Geología de la UNAM y el Sistema de Aguas de la Ciudad de México (SACMEX), contrato número 0296-10-ED-DT-1-16-1928, con número de registro UNAM 35135-1584-22-VII-13, con el objeto de “Analizar la Estratigrafía y las Características Hidrogeológicas de los Estratos Profundos que conforman el Subsuelo de la Cuenca de México a partir de la perforación de dos pozos profundos, uno a 2000 metros y otro a 1570 metros denominados 2 y 2A, respectivamente.”

## **AGRADECIMIENTOS**

### **Por el SACMEX**

*Ing. Ramón Aguirre Díaz*

DIRECTOR GENERAL

*Ing. Fernando Alonzo Avila Luna*

DIRECCIÓN EJECUTIVA DE CONSTRUCCIÓN

*Ing. Alejandro Escobedo Ramírez*

U. D. DE GEOHIDROLOGÍA

### **Por PEMEX**

*Ing. Carlos Rangel Hernández*

SUBDIRECTOR DE OPERACIONES EN INTERVENCIONES A POZOS

*Ing. Víctor M. Hernández Prieto*

GERENTE DE PERFORACIÓN Y REPARACIÓN DE POZOS TERRESTRE

*Ing. Juan Saldaña Martínez*

JEFE DE LA UNIDAD DE PERFORACIÓN POZA RICA-ALTAMIRA

*Ing. Santiago Avelino Zumaya*

COORDINADOR DE PERFORACIÓN

TRIPULACION DEL EQUIPO PM-1282

### **Por la supervisión del SACMEX**

*Ing. Marco Alfonso González Castañeda*

JEFE SUPERVISOR

Los interesados en adquirir las publicaciones del Boletín del Instituto de Geología de la UNAM podrán adquirirlas en:

<http://www.geologia.unam.mx:8080/igl/index.php/difusion-y-divulgacion/publicaciones/boletin-del-instituto-de-geologia>

**PARTICIPANTES**

Dr. Eric Morales Casique<sup>1</sup>  
 Dr. José Luis Arce Saldaña<sup>1</sup>  
 M.C. José Luis Lezama Campos<sup>1</sup>  
 Dr. Oscar A. Escolero Fuentes<sup>1</sup>

**TABLA DE CONTENIDO**

<b>1. Introducción.....</b>	<b>5</b>
<b>1.1 Generalidades.....</b>	<b>5</b>
<b>2. Seguimiento <i>in situ</i> de la perforación.....</b>	<b>5</b>
<b>2.1 Descripción general.....</b>	<b>5</b>
<b>2.1.1 Mayo.....</b>	<b>6</b>
<b>2.1.2 Junio.....</b>	<b>9</b>
<b>2.1.3 Julio.....</b>	<b>10</b>
<b>2.1.4 Agosto.....</b>	<b>11</b>
<b>2.1.5 Septiembre.....</b>	<b>12</b>
<b>2.1.6 Octubre.....</b>	<b>12</b>
<b>2.1.7 Noviembre.....</b>	<b>14</b>
<b>2.1.8 Diciembre.....</b>	<b>14</b>
<b>2.2 Elementos entregados al IGL producto de la perforación del pozo AO2B y AO2C.....</b>	<b>14</b>
<b>2.2.1 Muestras de recorte.....</b>	<b>15</b>
<b>2.2.2 Núcleos.....</b>	<b>15</b>
<b>2.2.3 Registros geofísicos.....</b>	<b>16</b>
<b>2.2.4 Muestras de agua y gas.....</b>	<b>16</b>
<b>3. Análisis e interpretación de muestras de perforación y núcleos.....</b>	<b>17</b>
<b>3.1 Análisis macroscópico de las muestras de canal.....</b>	<b>17</b>
<b>3.1.1 Muestreo y limpieza.....</b>	<b>21</b>
<b>3.1.2 Descripción.....</b>	<b>21</b>
<b>3.2 Análisis macroscópico de los núcleos.....</b>	<b>21</b>
<b>3.2.1 Limpieza.....</b>	<b>21</b>
<b>3.2.2 Descripción.....</b>	<b>23</b>
<b>3.3 Pruebas de laboratorio.....</b>	<b>23</b>
<b>3.3.1 Láminas delgadas.....</b>	<b>24</b>
<b>3.3.2 Geoquímica de roca total.....</b>	<b>24</b>
<b>3.3.3 Difracción de Rayos X.....</b>	<b>26</b>
<b>3.3.4 Fechamientos.....</b>	<b>30</b>
<b>3.4 Muestras de agua y gas.....</b>	<b>31</b>
<b>3.4.1 Muestras de gas.....</b>	<b>32</b>
<b>3.4.2 Muestras de agua.....</b>	<b>33</b>
<b>4. Interpretación del registro geofísico del pozo proporcionado por PEMEX.....</b>	<b>36</b>
<b>4.1 Interpretación cualitativa.....</b>	<b>36</b>
<b>4.2 Interpretación cuantitativa.....</b>	<b>38</b>
<b>4.2.1 Primera etapa del pozo AO2B.....</b>	<b>38</b>
<b>4.2.2 Segunda etapa del pozo AO2B.....</b>	<b>42</b>
<b>4.2.3 Tercera etapa del pozo AO2B.....</b>	<b>45</b>
<b>4.2.4 Pozo AO2C.....</b>	<b>45</b>
<b>4.2.5 Correlación de los pozos AO2B y AO2C utilizando la metodología de agrupación de análisis de grupos.....</b>	<b>47</b>
<b>4.2.6 Comparativo de las curvas GR, TR y RXO entre los pozos AO2B y AO2C.....</b>	<b>49</b>

<sup>1</sup> Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México, Investigación Científica, Copilco Universidad, Alcaldía de Coyoacán, 04360 CDMX, México.  
 Dr. Eric Morales Casique  
 ericmc@geologia.unam.mx

## Análisis de la estratigrafía de los pozos profundos Agrícola Oriental 2B y 2C

<b>5. Integración de la información.....</b>	<b>52</b>
<b>5.1 Sección de 0 a 560 m de profundidad.....</b>	<b>52</b>
<b>5.2 Sección de 580 a 1100 m de profundidad.....</b>	<b>54</b>
<b>5.3 Sección de 1200 a 1600 m de profundidad.....</b>	<b>54</b>
<b>5.4 Sección de 1580 a 2000 m de profundidad.....</b>	<b>58</b>
<b>6. Conclusiones.....</b>	<b>58</b>
<b>Referencias.....</b>	<b>60</b>
<b>Anexo 1. Seguimiento día a día de los trabajos de perforación.....</b>	<b>61</b>
<b>Anexo 2. Relación de muestras de canal de los pozos AO2B y AO2C.....</b>	<b>64</b>
<b>Anexo 3. Relación de curvas y registros tomados en los pozos AO2B y AO2C... .....</b>	<b>69</b>
<b>Anexo 4. Metodología utilizada para procesar las muestras de recorte de perforación.....</b>	<b>74</b>
<b>Anexo 5. Descripción de los núcleos extraídos de los pozos AO2B y AO2C.....</b>	<b>80</b>
<b>Anexo 6. Láminas delgadas y microfotografías correspondientes a muestras de los Pozos AO2B y AO2C.....</b>	<b>92</b>
<b>Anexo 7. Metodología para la realización de gráficos de propiedades petrofísicas.....</b>	<b>99</b>
<b>Anexo 8. Curvas utilizadas en las pruebas de los análisis de grupos generados para el pozo AO2C.....</b>	<b>102</b>

## RESUMEN EJECUTIVO

Los pozos profundos Agrícola Oriental 2B (AO2B) y Agrícola Oriental 2C (AO2C) se localizan en el oriente de la Ciudad de México, en la alcaldía Iztacalco, en la zona conocida como Magdalena Mixhuca. El pozo AO2B se perforó de abril a junio de 2016 alcanzando una profundidad total de diseño de 2000 m, mientras que el pozo AO2C se perforó entre julio y agosto del mismo año, con una profundidad de 1570 m.

Los objetivos de este estudio son:

- a) Conocer la estratigrafía de la Cuenca de México.
- b) Determinar un modelo hidrogeológico de las rocas carbonatadas y de las rocas volcánicas a profundidades entre 500 y 2000 m.
- c) Realizar estudios petrográficos de las muestras de canal y núcleos.
- d) Identificar y caracterizar las rocas formadoras de acuíferos y acuitardos.

Con base en estos objetivos, las actividades planteadas en el convenio entre el Instituto de Geología de la UNAM (IGL) y el Sistema de Aguas de la Ciudad de México (SACMEX) fueron:

- (a) Seguimiento *in situ* de la perforación.
- (b) Análisis e interpretación de muestras de perforación y núcleos.
- (c) Interpretación del registro geofísico del pozo proporcionado por Petróleos Mexicanos (PEMEX).
- (d) Integración de la información.

El seguimiento *in situ* de la perforación tuvo por objetivo conocer de primera mano las condiciones que se presentaron durante el desarrollo de la perforación para apoyar la interpretación de los datos que se recaben y proporcionar información cualitativa de las condiciones hidrogeológicas encontradas. Adicionalmente, este seguimiento permitió al personal del IGL participar de manera oportuna e informada en las reuniones técnicas que periódicamente organizó el SACMEX, tanto en el sitio de perforación como en las oficinas del SACMEX y la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). Estas reuniones permitieron ajustar periódicamente el plan de perforación de acuerdo a las condiciones que se presentaron.

Durante el seguimiento de la perforación, el IGL recibió del SACMEX (a través de la supervisión): los recortes de roca (muestras de canal) producto del proceso de perforación, los núcleos programados para ambos pozos y los registros de pozos tomados durante las diferentes etapas de perforación.

Del pozo AO2B se recibieron 77 muestras de recortes correspondientes a las profundidades de 500 a 2000 m (cada 20 m). Del pozo AO2C se recibieron 40 muestras de recortes correspondientes a las profundidades de 240 a 960 m (cada 20 m) y 40 muestras correspondientes a las profundidades de 970 hasta 1560 m (cada 10 m).

Del pozo AO2B se obtuvieron 3 núcleos: Núcleo 1 (N1-AO2B), entre 830 y 844.15 m de profundidad; Núcleo 2 (N2-AO2B), entre 900 y 918 m de profundidad y Núcleo 3 (N3-AO2B), entre 1950 y 1954 m de profundidad. Del pozo AO2C se obtuvieron 2 núcleos: Núcleo 4 (N1-AO2C), entre 1130 y 1139 m de profundidad y Núcleo 5 (N2-AO2C), entre 1550 y 1559 m de profundidad.

## Análisis de la estratigrafía de los pozos profundos Agrícola Oriental 2B y 2C

Los registros geofísicos de pozo fueron adquiridos por personal de PEMEX durante las diferentes etapas de perforación de cada uno. Del pozo AO2B se obtuvieron tres registros: (1) de 697 a 1151 m, (2) de 1093 a 1567 m y (3) de 1570 a 2010 m. Los tres registros incluyeron Litodensidad (LDL), Neutrón Compensado (CNL), Geometría del pozo (BGL), Direccional (GPIT), Sónico Dipolar (DSI) y Rayos gamma (GR). Adicionalmente el (1) y el (3) incluyeron Arreglo Inductivo (AIT), mientras que el (2) incluyó Arreglo Resistivo (DLL). Del pozo AO2C se adquirió un registro de 1093 a 1567 m de profundidad que incluyó AIT, BGL, GPIT, Potencial Natural (SP), GR y Espectroscopia (HNGL).

El análisis e interpretación de muestras de perforación y núcleos inició con la limpieza de éstas para después realizar su análisis macroscópico. Posteriormente se procedió a seleccionar muestras para pruebas de laboratorio. Las muestras fueron elegidas con base en los intervalos de interés y en que cumplieran los requisitos necesarios para aplicar las técnicas de laboratorio. Los análisis consistieron en la elaboración de láminas delgadas, análisis geoquímicos de roca total, difracción de rayos X y fechamientos con dos técnicas (U-Pb en circones y  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ ). El método de fechamientos por U-Pb en circones tiene la ventaja de que aun tratándose de muestras alteradas es posible analizar los circones presentes en cada una.

Los resultados que arrojaron estos análisis permitieron hacer una clasificación química de las rocas analizadas. La composición de las rocas varía desde basalto hasta dacita, aunque la mayoría de éstas caen dentro del campo de las andesitas, de la serie magmática calcialcalina. Algunas muestras presentan valores bajos de álcalis, probablemente como resultado del grado de alteración de dichas muestras.

En diagramas binarios de la composición química de roca es posible observar tendencias claras para el  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$ ,  $\text{CaO}$  y  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Sin embargo, no son tendencias típicas de evolución magmática. Por tanto, esto podría indicar que las muestras analizadas no tienen relación genética o bien, que el grado de alteración está enmascarando dicha relación. No es posible descartar estas dos opciones sin antes contar con las edades de cada unidad analizada.

Los diagramas de tierras raras (REE) y multielementos, mostraron patrones de rocas de arco, con claros enriquecimientos en REE ligeras así como en elementos incompatibles, con anomalías ligeras en Eu, y notoriamente marcadas en Nb y Ta. Por otro lado, se observaron anomalías positivas marcadas en Cs, Pb y K, que sugieren un ambiente de subducción.

Se seleccionaron dos muestras de diferentes niveles para realizar la separación de circones y posteriormente con estos cristales llevar a cabo fechamientos por el método de U-Pb. Hasta el momento las muestras se encuentran ya preparadas y se ha iniciado el proceso de separación mecánica (con ayuda de un microscopio binocular). Posteriormente se enviarán los circones al Centro de Geociencias de la UNAM, en Juriquilla, Querétaro para su análisis por LA-ICP-MS.

Para los fechamientos por Ar-Ar se seleccionaron muestras de lava sin importar la composición, siempre y cuando no presentaran alteración. Se tomaron en total siete muestras con dimensiones de aproximadamente  $5 \times 5 \times 5$  cm, las cuales fueron empacadas en bolsas de plástico y enviadas al Laboratorio de Geocronología, de la Universidad de Alaska, Fairbanks, E.U.A. Con este tipo de

## Análisis de la estratigrafía de los pozos profundos Agrícola Oriental 2B y 2C

análisis se pretende obtener la edad absoluta de dichas muestras que serán de gran ayuda para correlaciones estratigráficas en el futuro. A la fecha de elaboración de este informe los resultados de los fechamientos aún no están disponibles.

De la interpretación cualitativa del registro geofísico, (con base en las curvas de resistividad, GR, CNL y DSI), se identificaron 5 zonas. El análisis cuantitativo del registro incluyó análisis de grupos (hierarchical cluster analysis) y la construcción de gráficos de correlación entre los registros geofísicos de HNGL.

Los resultados del análisis de grupos confirman en lo general las zonas delimitadas en el análisis cualitativo pero resaltan la heterogeneidad de esas zonas. Esta respuesta será estudiada con mayor detalle en análisis posteriores. Por su parte, los gráficos de correlación entre los registros geofísicos de HNGL corroboraron la clasificación litológica obtenida a través de los análisis de laboratorio. Se observó la coincidencia dentro de los rangos esperados para la mayoría de los intervalos. Sin embargo, pudo observarse que es posible realizar una interpretación errónea si no se toma en cuenta el grado de alteración a arcillas en algunos intervalos que modifican la respuesta esperada en el registro de rayos gamma, por ejemplo el intervalo arcilloso observado entre 1070 y 1180 m. Esto pudo ser corroborado gracias a los análisis geoquímicos. De lo anterior se concluyó que es necesario realizar más ensayos de los registros junto con análisis geoquímicos para encontrar una función que relacione el grado de alteración por hidrotermalismo y la respuesta de los registros de rayos gamma. El resultado final del proceso de integración de la información (producto de analizar las muestras de recorte, núcleos y registros) consistió en generar la columna geológica del sitio (Figura 64). Esta columna integra la información de ambos pozos para configurar, de la mejor manera, la geología del sitio.

De 0 a 500 m de profundidad la caracterización es incompleta debido a que en esta etapa no se corrió ningún registro geofísico y no se recuperó muestra en un tramo de cerca de 300 m de espesor. Para los 520 m se caracterizó un estrato de ignimbrita de color rosa (en muestra de mano) gracias a los análisis de microscopio y a las muestras de recorte. Esta ignimbrita se asocia a un estrato que también fue observado en el pozo profundo San Lorenzo Tezonco. Los resultados de los registros geofísicos y del análisis cualitativo y cuantitativo de la profundidad 580 a 1100 m ayudó a definir los espesores de la columna. En su mayoría, esta sección se compone de flujos piroclásticos de bloques y cenizas (descripción apoyada por los núcleos N1-AO2B y N2-AO2B). Estos flujos están presentes desde los 600 hasta los 1030 m de profundidad. A estas secuencias piroclásticas se intercalan lavas dacíticas. El análisis del registro sísmico reveló que la velocidad de las ondas de compresión indicaba el aumento de competencia en las rocas debido a un menor grado de alteración. Esta observación fue corroborada con los núcleos N1-AO2B y N2-AO2B donde se percibió el cambio en el grado de alteración. Esta alteración se interpreta de origen hidrotermal debido a la cantidad de pirita y otros minerales que son indicadores de este fenómeno. Los análisis de difracción y geoquímica de roca total apoyan dicha hipótesis.

Entre 1070 y 1180 m se encontró un estrato de ceniza alterada color gris, muy arcillosa (núcleo N1-AO2C). Por la litología, es posible que el comportamiento de esta unidad sea tipo acuitardo. De 1200 a 1580 m de profundidad se

## Análisis de la estratigrafía de los pozos profundos Agrícola Oriental 2B y 2C

observa una secuencia de lavas y flujos piroclásticos. Existe un cambio evidente a los 1380 m de profundidad donde la secuencia se vuelve más heterogénea debido al cambio en el grado de alteración y la existencia de bloques de mayor espesor (observados en los registros de porosidad y densidad). Existe también un cambio muy importante en los elementos radiactivos de esta formación, destacando la presencia del K y Th característico de las arcillas producto de la alteración de los flujos piroclásticos. La secuencia de lavas continúa hacia el final de la sección, aumentando el grado de alteración a partir de los 1520 m donde se observan diferentes fracturas, planos asociados a fallamiento y cambios en la estructura física de las rocas. Lo anterior se atribuyó a esfuerzos compresionales, además de un cambio en las propiedades petrofísicas que indican un cambio en la permeabilidad y porosidad de las lavas (N2-AO2C). De 1580 a 2000 m de profundidad (fondo del pozo) se localizaron formaciones calcáreas (calizas). De los registros geofísicos se puede interpretar que se trata de una secuencia más homogénea. En los 1700 y 1800 m existe una secuencia que contrasta en su respuesta geofísica y en las muestras de recorte. Esta formación se clasificó como una secuencia de calizas con una mayor presencia de arcillas debido a su respuesta en los registros radiactivos (GR y CNL) y a lo observado durante la perforación. Este cambio no es tan evidente en las muestras de recorte limpias, ya que las arcillas fueron disueltas por el lodo de perforación y el restante en el proceso de lavado. En el núcleo N3-AO2B se aprecia que la secuencia es homogénea pero se encuentra en un estado altamente fracturado (al menos así lo demuestra el núcleo al final del pozo). Finalmente, el muestreo de gases indicó que éstos, en su mayoría  $\text{CO}_2$ , pueden provenir de un fluido con cierto grado de hidrotermalismo. Existe la presencia  $\text{CH}_4$  y  $\text{H}_2$ , pero no se pudo determinar. En la mayoría de los sistemas, la concentración de  $\text{H}_2\text{S}$  es muy baja mientras la del  $\text{CO}_2$  generalmente es mayor al 80% del total de gases, por lo cual es necesario realizar un muestreo específico que permita concentrar la muestra y determinar los gases con menor proporción.

### 1. INTRODUCCIÓN

Como apoyo al manejo del recurso hídrico, el Gobierno de la Ciudad de México a través del Sistema de Aguas de la Ciudad de México (SACMEX) llevó a cabo la perforación del pozo San Lorenzo Tezonco (SLT) que alcanzó los 2008 m de profundidad. El pozo SLT aportó información nueva sobre la geología y la hidrogeología de la Cuenca de México (Arce *et al.*, 2013, 2015; Morales-Casique *et al.*, 2014, 2015; Lezama-Campos *et al.*, 2016). Adicionalmente, los resultados obtenidos en el pozo SLT, en términos de su productividad y de la calidad del agua, motivaron que se impulsara un programa de exploración profunda, ahora en convenio entre el SACMEX, la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) y Petróleos Mexicanos (PEMEX). La primera parte de este programa de perforación/exploración/estudio comprende la perforación de dos pozos denominados Agrícola Oriental 2B (AO2B) y Agrícola Oriental 2C (AO2C), con profundidades programadas de 2000 m y 1570 m, respectivamente. Para el análisis e interpretación de la información generada en esta primera parte del programa, el SACMEX estableció un convenio con el IGL. Los objetivos planteados en el convenio son:

- a) Conocer la estratigrafía de la Cuenca de México.
- b) Determinar un modelo hidrogeológico de las rocas carbonatadas y de las rocas volcánicas a profundidades entre 500 y 2000 m.
- c) Realizar estudios petrográficos de las muestras de canal y núcleos.
- d) Determinar los potenciales de los probables acuíferos que se llegaren a encontrar en la Cuenca de México.
- e) Identificar y caracterizar las rocas formadoras de acuíferos (cuerpos litológicos de interés de alta permeabilidad) y acuitardos (formaciones de baja permeabilidad que posiblemente retrasen el efecto del bombeo hacia el acuífero superior el cual se encuentra actualmente en explotación).

Con base en estos objetivos, las actividades planteadas en el convenio fueron:

- (a) Seguimiento *in situ* de la perforación.
- (b) Análisis e interpretación de muestras de perforación y núcleos.
- (c) Interpretación del registro geofísico del pozo proporcionado por PEMEX.
- (d) Integración de la información.

En este documento se reportan los resultados del convenio. La estructura de presentación sigue la secuencia de las actividades planteadas.

#### 1.1 GENERALIDADES

Los pozos profundos Agrícola Oriental 2B (AO2B) y Agrícola Oriental 2C (AO2C) se localizan en el oriente de la Ciudad de México, en la Alcaldía Iztacalco (Figura 1), en la zona conocida como Magdalena Mixhuca. El pozo AO2B se perforó de abril a junio de 2016 alcanzando una profundidad total de diseño de 2000 m (Figura 2), mientras que el pozo AO2C se perforó entre julio y agosto del mismo año, con una profundidad de 1570 m (Figura 3). Por diversas circunstancias, de las que se comentarán más adelante, ambos pozos quedaron equipados con un arreglo de válvulas tipo “árbol de navidad” como el presentado en el diagrama de la Figura 4 para su operación.

En las Figuras 5 y 6 se muestra el arreglo final de ambos pozos.

### 2. SEGUIMIENTO *IN SITU* DE LA PERFORACIÓN

El seguimiento *in situ* de la perforación tiene por objetivo conocer de primera mano las condiciones que se presentaron durante su desarrollo. Ejemplo de estas condiciones son velocidad de avance, pérdidas de circulación, cambios en el nivel del lodo y adelgazamiento del lodo de perforación.

A partir de mayo de 2016 y hasta el final de dicho convenio (diciembre 2016), el Instituto de Geología (IGL) realizó actividades de seguimiento en el sitio de perforación de los pozos AO2B y AO2C.

El seguimiento oportuno de las perforaciones permitió que el personal del IGL participara de manera precisa e informada en las reuniones técnicas que periódicamente organizó el SACMEX, tanto en el sitio de perforación como en las oficinas del SACMEX y la CONAGUA. Estas reuniones permitieron ajustar periódicamente el plan de perforación de acuerdo a las condiciones que se presentaron.

#### 2.1 DESCRIPCIÓN GENERAL

El personal del IGL, conformado por técnicos e investigadores, realizó trabajos *in situ* durante la perforación de los pozos para conocer los avances de la misma y

## Análisis de la estratigrafía de los pozos profundos Agrícola Oriental 2B y 2C

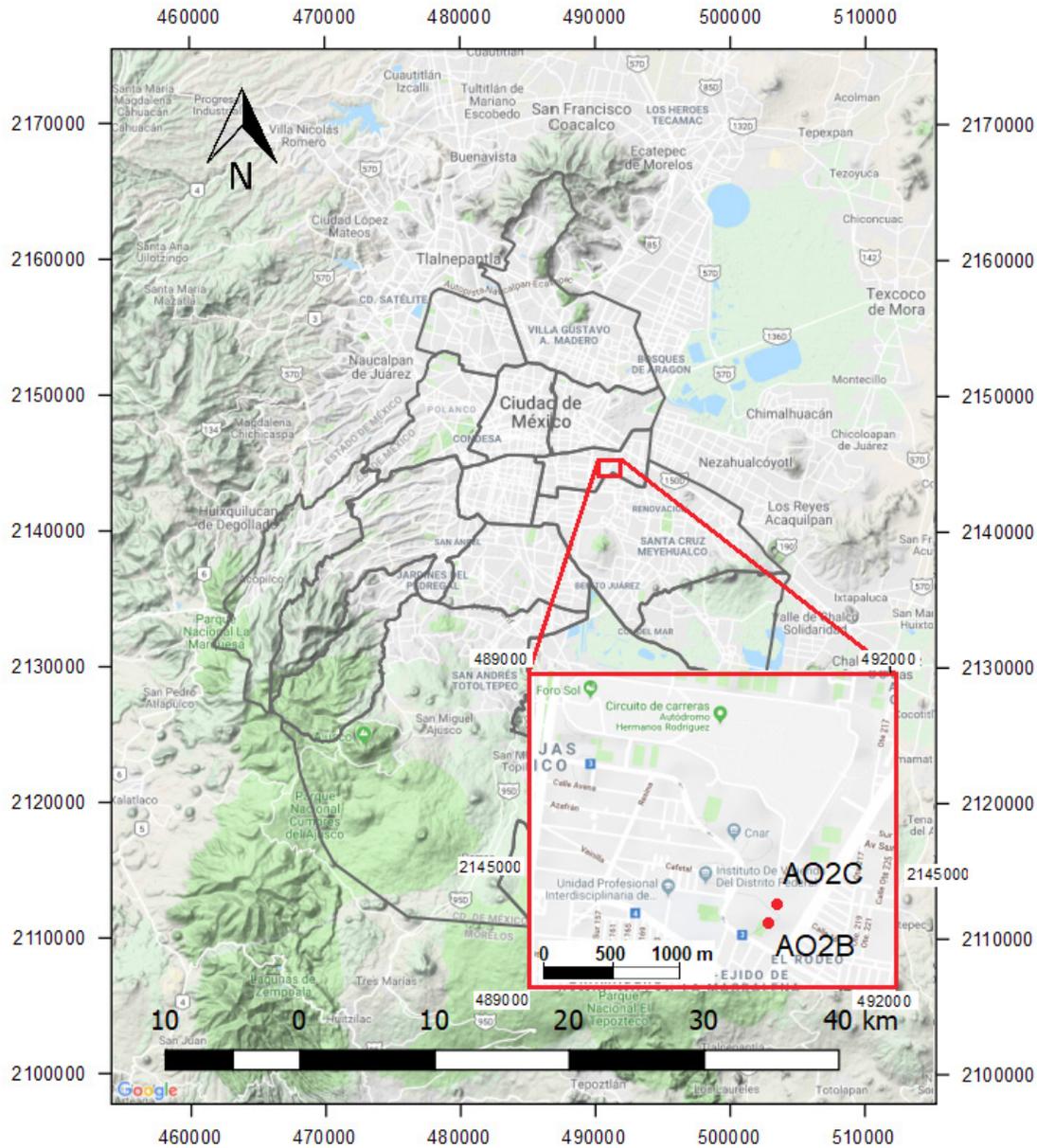


Figura 1. Ubicación de los pozos Agrícola Oriental 2B (AO2B) y Agrícola Oriental 2C (AO2C).

recolectar muestras y núcleos, realizar el trabajo de investigación dentro de las instalaciones del Instituto y analizar los registros geofísicos generados.

A continuación se presenta una síntesis de este seguimiento y en el Anexo 1 un seguimiento más detallado día a día.

### 2.1.1 Mayo

Durante este periodo el IGL inició el trabajo en campo, se recolectaron muestras de recorte de perforación tomadas cada 20 m a partir de los 500 a los 1200 m de profundidad. Dichas muestras fueron facilitadas por la

supervisión del SACMEX, que fue la responsable de realizar el muestreo en campo.

Por otra parte, se extrajeron dos núcleos al pozo AO2B, el primero a una profundidad de 830 a 843 m (N1-AO2B) y el segundo entre 900 a 918 m (N2-AO2B), los cuales fueron entregados al IGL para su análisis (Figura 7). Se intentó obtener un tercer núcleo a 1100 m, desafortunadamente las condiciones físicas de la formación en ese intervalo (pérdida total de circulación del fluido de perforación) y las condiciones de perforación impuestas a la barrena no permitieron recuperarlo. Por lo anterior, se decidió intentar tomar otro núcleo a una profundidad similar (1130 m)

# Análisis de la estratigrafía de los pozos profundos Agrícola Oriental 2B y 2C

Figura 2. Diagrama del pozo Agrícola Oriental 2B.

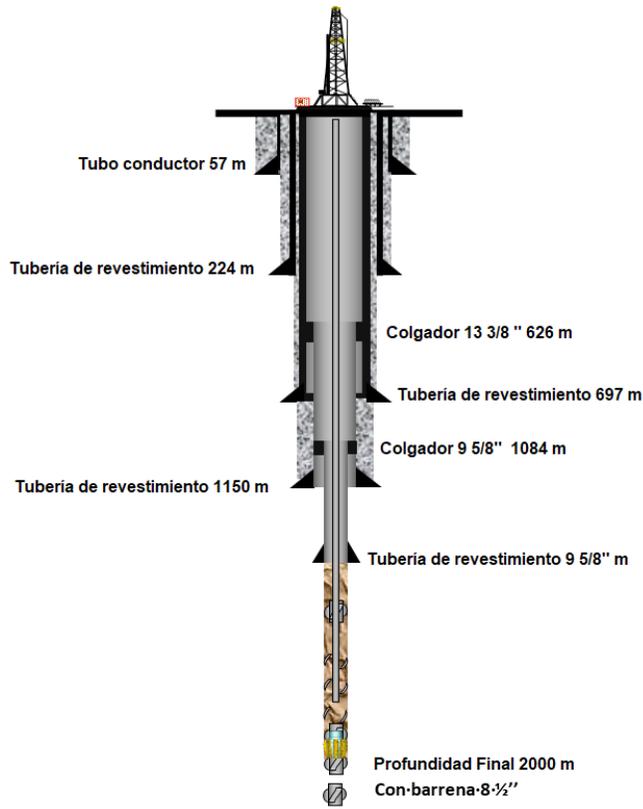
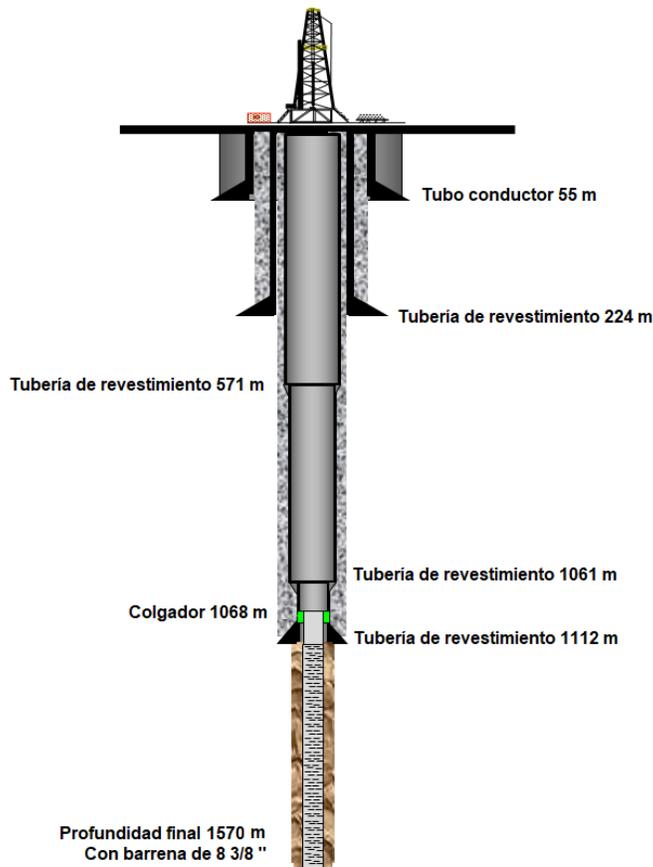


Figura 3. Diagrama del pozo Agrícola Oriental 2C.



## Análisis de la estratigrafía de los pozos profundos Agrícola Oriental 2B y 2C

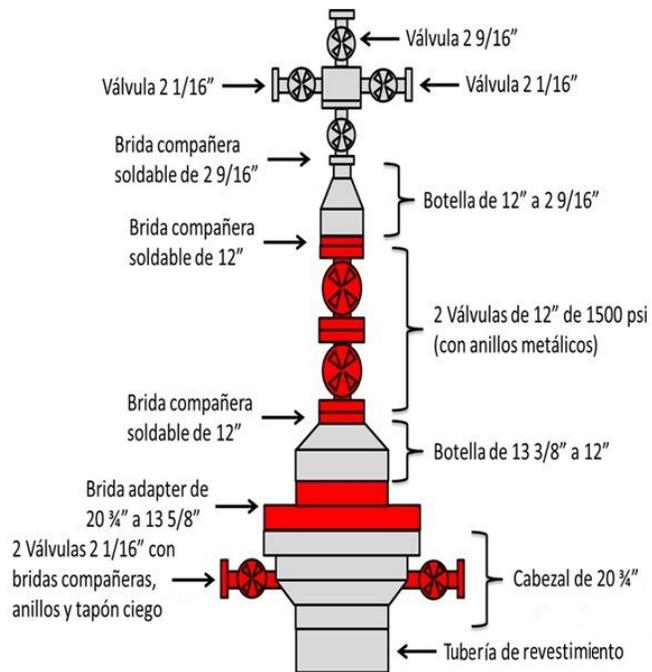


Figura 4. Arreglo de válvulas de los pozos Agrícola Oriental 2B y 2C.



Figura 5. Arreglo final del pozo Agrícola Oriental 2B.



Figura 6. Arreglo final del pozo Agrícola Oriental 2C.

cuando se perforara el pozo AO2C. Además se corrió el primer registro geofísico de pozo AO2B a la profundidad de 697 a 1151 m.

Finalmente, se llevó a cabo una reunión con carácter de urgente para definir el contacto entre las unidades volcánicas y las formaciones calcáreas (calizas), en la que la UNAM participó con resultados de la interpretación del registro geofísico existente en el pozo Mixhuca-1 y láminas delgadas de las muestras de canal analizadas en el IGL.

La profundidad total del pozo fue alcanzada durante este mes y se inició el trabajo de revestimiento de la última sección del pozo.

#### 2.1.2 Junio

Durante este periodo se recolectaron muestras de recorte de perforación tomadas cada 20 m entre los 1220 y los 2000 m de profundidad. Dichas muestras fueron facilitadas por la supervisión del SACMEX. Adicionalmente, se extrajo un núcleo entre 1950 a 1954 m (N3-AO2B) el

cual quedó en resguardo del Instituto (Figura 8). Además, se entregó el segundo y tercer registro geofísico de pozo; el segundo comprende el intervalo de 1093 a 1567 m y el tercero los 1570 a 2010 m.

Se realizó una reunión entre el personal del Instituto, el SACMEX y la CONAGUA con la finalidad de comentar el plan de perforación y el diseño del pozo AO2C. En esta reunión el IGL participó con los resultados de la interpretación del registro geofísico del pozo AO2B para determinar la profundidad de las formaciones volcánicas y el contacto con las formaciones calcáreas, donde se mostraron los resultados preliminares de la interpretación.

Finalmente, en preparación para la perforación del pozo AO2C, se ejecutaron maniobras de desinstalación, traslado y mantenimiento del equipo de perforación. Durante estas maniobras, por recomendación del personal de seguridad de PEMEX, el equipo de campo del IGL disminuyó las actividades de seguimiento en el sitio.



Figura 7. Núcleo N1-AO2B entregado por la supervisión del SACMEX al IGL.



Figura 8. Núcleo N3-AO2B después de ser extraído del empaque entregado por PEMEX y la supervisión de PEMEX.

### 2.1.3 Julio

Durante este periodo se dio inicio a la perforación del pozo AO2C. Se recolectaron muestras de recorte de perforación, tomadas cada 20 m entre los 240 y los 960 m de profundidad. Dichas muestras fueron facilitadas por la

supervisión del SACMEX. A estas muestras se les adicionó una más, tomada por una “canastilla chatarrera” (Figura 9) a una profundidad donde se observó una importante pérdida de circulación. Adicionalmente, se extrajo exitosamente el primer núcleo del pozo AO2C a una profundidad de 1130 a

## Análisis de la estratigrafía de los pozos profundos Agrícola Oriental 2B y 2C

1139 m (N1-AO2C). Este núcleo se tomó debido a que no fue posible obtenerlo en el pozo AO2B.

Además se intentó adquirir el registro geofísico de pozo BGL, AIT y HNGLT. Sin embargo, el registro no pudo ser tomado debido a un infructuoso intento de bajar la herramienta al fondo del pozo y observarse resistencia en dos diferentes intervalos. A pesar de descender la barrena para eliminar la resistencia, no fue posible bajar la herramienta. Por este motivo el personal de PEMEX y de la supervisión del SACMEX desistieron de la adquisición del registro en este intervalo.

### 2.1.4 Agosto

Durante este periodo se recolectaron muestras de recorte de perforación, tomadas cada 10 m entre los 970 y los 1560 m de profundidad. Además, se hizo la entrega al Instituto de los dos núcleos que fueron programados en dos puntos estratégicos después de perforarse el pozo AO2B. Por otra parte, el Instituto recibió el registro geofísico del pozo AO2C.

Con la terminación de los pozos, se inició con la limpieza para su posterior desarrollo y pruebas de aforo, las cuales no pudieron realizarse debido a que:

- El pozo AO2B presentó una presión de desfogue no esperada el 26 de agosto además de gases cuya concentración se desconoce. Por este motivo el equipo de perforación (PEMEX) y la supervisión (SACMEX) acordaron no proceder a su limpieza y desarrollo hasta que las condiciones de seguridad estuvieran garantizadas.
- El nivel estático del pozo AO2C ha presentado cambios significativos, abatiéndose hasta los 340 m, lo que impidió su desarrollo y prueba de aforo.

El equipo del IGL estuvo presente durante las maniobras del primer desfogue y fue testigo del primer monitoreo de los gases expulsados por el pozo AO2B (Figura 11), por lo que respaldó la decisión de PEMEX de cerrar el pozo hasta conocer las condiciones en las que se podría operar con seguridad.



Figura 9. Muestras adicionales (por “canastilla chatarrera”) tomadas por la supervisión del SACMEX para el IGL.

## Análisis de la estratigrafía de los pozos profundos Agrícola Oriental 2B y 2C

Finalmente el personal del IGL presencié las maniobras de desarrollo del pozo AO2C, las cuales fueron infructuosas debido a que el nivel se encontraba a una profundidad mayor a los 300 m de profundidad (Figura 10).

### 2.1.5 Septiembre

La presión de gas que se reportó el mes anterior continuó en el pozo AO2B, a partir de su apertura el 25 de agosto. Durante este periodo la presión alta (inusual para un pozo de agua en la Cuenca de México) ha continuado, variando su magnitud entre los 0 a 1000 PSI (Figura 12). La presión se pudo controlar y bajar a cero con la adición de una solución salina (salmuera), pero con el tiempo volvía a aumentar.

Por tal motivo, y por recomendación de PEMEX en conjunto con la supervisión del SACMEX, a principios de septiembre se pausaron las actividades para esperar un juego de válvulas. Con éstas se podría colocar un arreglo tipo “árbol de navidad” (Figura 4) que mejorará el control del pozo y poder hacer las pruebas pertinentes de limpieza y posible desfogue. Hasta el 30 de septiembre no se habían completado las maniobras del cambio de válvulas. Sin embargo, el personal de PEMEX facilitó el equipo de tubería flexible para inyectar salmuera y poder controlar el pozo.

El 2 de septiembre, el equipo del IGL, con el apoyo de

técnicos del Centro de Ciencias de la Atmósfera de la UNAM, realizó un primer muestreo de los gases expedidos por el pozo AO2B al desfogue. Se registró una presión de 800 PSI (Figura 12) y se presencié la instalación de un arreglo de válvulas (Figura 11) provisionales en espera del arreglo final. Las muestras fueron analizadas por cromatografía de gases en el Instituto Nacional de Electricidad y Energías Limpias (INEEL) con el Dr. Rubén A. Bernard Romero.

Con respecto al pozo AO2C, no ha sido posible la instalación de un equipo para el bombeo continuo. Se ha observado que el nivel estático ha variado con el tiempo, observándose abatimientos de hasta 100 m. Por lo anterior, este pozo será sometido a un proceso de limpieza para estabilizar el nivel estático y realizar la toma de muestras de agua.

### 2.1.6 Octubre

Durante este periodo el personal del Instituto disminuyó las visitas en sitio, debido a que inició el traslado del equipo de perforación y las áreas periféricas (cámpers, válvulas tanques de almacén etc.) a un nuevo sitio (Santa Catarina 3).

En este mes se realizó la primera limpieza del pozo AO2C a base de nitrógeno. Esto se llevó a cabo debido a los cambios en el nivel estático del pozo que se atribuyen



Figura 10. Maniobras de medición durante el intento de bombeo en el pozo Agrícola Oriental 2C.

Análisis de la estratigrafía de los pozos profundos Agrícola Oriental 2B y 2C



Figura 11. Maniobras de control del pozo Agrícola Oriental 2B.



Figura 12. Presión de 800 PSI medida el 2 de septiembre en las válvulas de seguridad del pozo AO2B.

## Análisis de la estratigrafía de los pozos profundos Agrícola Oriental 2B y 2C

a la alta filtración que tuvo el lodo de perforación a la formación, sobre todo en los estratos más alterados que han demostrado ser deleznable y posibles zonas de enjarre. Al final de este procedimiento se observó que el pozo (AO2C) también comenzaba a presentar gas y aumento de presión de gas a la descarga. Puesto que en este pozo tampoco se esperaba una presión positiva, las válvulas a la descarga no podrían resistir la presión si ésta aumentaba a valores similares al AO2B (en este periodo los valores aún eran < 100 PSI). Para brindar mayor seguridad en el pozo AO2C se instaló un arreglo tipo “árbol de navidad” como en el pozo AO2B.

El 19 de octubre se realizó un segundo muestreo de gas del pozos AO2. El muestreo estuvo a cargo de personal técnico del INEEL y los análisis se llevarán a cabo en los laboratorios de la Gerencia de Geotermia de dicho Instituto de acuerdo con los procedimientos documentados por Giggenbach y Goguel (1989). La técnica de muestreo de gases es la descrita en la norma ASTM E1675 que aplica para pozos geotérmicos.

### 2.1.7 Noviembre

Durante este periodo se realizó un tercer muestreo de gas al pozo AO2C que ha presentado, al igual que el pozo AO2B, gas con presiones mayores a las esperadas y que han aumentado a *ca.* 200 PSI. El muestreo se realizó con la colaboración del Dr. Yuri Taran, del Instituto de Geofísica de la UNAM (Figura 13).

El trabajo se ha concentrado completamente en las instalaciones del IGL.

Se completó la instalación de las válvulas y los arreglos de salida de cada uno de los pozos. Adicionalmente se inició la integración de resultados y la redacción de este informe técnico.

### 2.1.8 Diciembre

Durante este periodo el trabajo en el sitio ha dejado de ser constante debido a que finalizó el traslado del equipo de perforación y áreas auxiliares a un nuevo sitio de perforación y los pozos esperan iniciar su etapa de desfogue.

El 7 de Diciembre se realizó una reunión con el personal del SACMAEX, CONAGUA y el Instituto con la finalidad de determinar los tiempos pertinentes para desfogar y desarrollar los pozos.

La realización del presente informe se centró en este mes.



Figura 13. Tercera campaña de muestreo de gas en pozo Agrícola Oriental 2C.

## 2.2 ELEMENTOS ENTREGADOS AL IGL PRODUCTO DE LA PERFORACIÓN DEL POZO AO2B Y AO2C

Como parte del convenio de colaboración entre el SACMEX y IGL, los elementos resultantes de la perforación de los pozos AO2B y AO2C quedaron en resguardo del IGL. Estos elementos consistieron en los recortes de roca (muestras de canal) producto del proceso de perforación, los núcleos programados para ambos pozos y los registros de pozos tomados durante las diferentes etapas de perforación.

Adicionalmente, se colectarán las muestras de agua obtenidas durante las pruebas de desarrollo (que al momento de entregar el presente reporte siguen inconclusas) y las muestras de gas colectadas.

## Análisis de la estratigrafía de los pozos profundos Agrícola Oriental 2B y 2C

### 2.2.1 Muestras de recorte

Durante la perforación de los pozos AO2B y AO2C se realizó un proceso de muestreo continuo sobre los recortes producto de la perforación. El muestreo cerca del pozo estuvo a cargo de la supervisión del SACMEX, la cual entregó las muestras al personal técnico del IGL. Dichas muestras fueron proporcionadas en contenedores de aproximadamente 350 ml con el propósito de realizar una columna geológica preliminar. Posteriormente, la supervisión entregó el resto de las muestras obtenidas en bolsas de aproximadamente 5 kg para el análisis en las instalaciones del IGL (Figura 14).

A continuación se presenta un resumen de las muestras entregadas cuya relación total se muestra en el Anexo 2.

Del pozo Agrícola Oriental 2B se entregaron:

- 77 muestras de recortes correspondientes a las profundidades de 500 a 2000 m, colectadas cada 20 m.

Del pozo Agrícola Oriental 2C se entregaron:

- 40 muestras de recortes correspondientes a las profundidades de 240 a 960 m, colectadas cada 20 m.
- 40 muestras de recortes correspondientes a las

profundidades de 970 hasta 1560 m, colectadas cada 10 m.

- Muestras de “canastilla chatarrera” y material alojado en los hombros de la barrena.

### 2.2.2 Núcleos

Se obtuvieron 5 núcleos, tres en el pozo AO2B y dos más en el pozo AO2C. Debido a las condiciones del agujero y la competencia de las formaciones, la longitud total y el porcentaje de recuperación es variable en cada núcleo. Estos núcleos fueron entregados por PEMEX a la supervisión del SACMEX, que a su vez hizo entrega al IGL.

Un ejemplo de estos núcleos se presenta en la Figura 15. A continuación se describen las principales características de cada núcleo.

Pozo Agrícola Oriental 2B

- Núcleo 1 N1-AO2B, 18 tramos de 80 cm y 4 pulgadas de diámetro, empacados y etiquetados, correspondientes a las profundidades 830 a 844 m (Figura 15).
- Núcleo 2 N2-AO2B, 18 tramos de 100 cm y 4 pulgadas de diámetro, empacados y etiquetados, correspondientes a las profundidades 900 a 918 m.
- Núcleo 3 N3-AO2B, 4 tramos de 100 cm y 4



Figura 14. Muestras de recorte del pozo AO2B.



Figura 15. Ejemplo del Núcleo N1-AO2B.

pulgadas de diámetro, empacados y etiquetados, correspondientes a las profundidades 1950 a 1954 m.

#### Pozo Agrícola Oriental 2C

- Núcleo 4 N1-AO2C, 9 tramos de 100 cm y 4 pulgadas de diámetro, empacados y etiquetados, correspondientes a las profundidades 1130 a 1139 m.
- Núcleo 5 N2-AO2C, 9 tramos de 100 cm y 4 pulgadas de diámetro, empacados y etiquetados, correspondientes a las profundidades 1550 a 1559 m.

#### 2.2.3 Registros geofísicos

Otros elementos entregados al IGL fueron los registros geofísicos de pozo. Dichos registros fueron adquiridos por personal de PEMEX durante las diferentes etapas de perforación de los pozos. A continuación se enuncian los registros adquiridos en cada una de las etapas y las herramientas utilizadas en cada uno de ellos:

#### Pozo Agrícola Oriental 2B

- Registro geofísico 1, AIT, LDL, CNL, BGL, GPIT, DSI y GR correspondientes a la profundidad de 697 a 1151 m.
- Registro geofísico 2, DLL, LDL, CNL, BGL, GPIT, DSI y GR correspondientes a la profundidad de 1093 a 1567 m.
- Registro geofísico 3, AIT, LDL, CNL, BGL, GPIT, DSI y GR que corresponden a la profundidad de 1570 a 2010 m.

#### Pozo Agrícola Oriental 2C

- Registro geofísico 4, AIT, BGL, GPIT, SP, GR y HNGL correspondientes a la profundidad de 1093 a 1567 m.

El detalle de cada herramienta se muestra en el Anexo 3.

#### 2.2.4 Muestras de agua y gas

El personal del IGL también está interesado en la toma de muestras, análisis y estudio del agua encontrada en los pozos AO2B y AO2C, cuya procedencia se esperaba



Figura 16. Fragmentos de cáscara de nuez y lodo de perforación en las muestras entregadas.

de diferentes formaciones. Sin embargo, la presencia de gas a alta presión a la descarga de ambos pozos y la disminución del nivel estático del pozo AO2C impidieron el desarrollo de estos objetivos durante el transcurso de este convenio. Por tal motivo, únicamente se logró realizar un muestreo de agua al pozo AO2C durante su primer intento de desarrollo. Dicho muestreo no fue concluyente debido a que se encontraba aún con fluido estabilizador (salmuera). El resultado del análisis de estas muestras se menciona más adelante.

La presencia de gas a presiones entre 600 y 1000 PSI en el pozo AO2B hizo necesario un estudio detallado del tipo de gas. Para ello, el IGL realizó y coordinó tres campañas de muestreo. La primera se realizó el 2 de septiembre, 9 días después de la apertura del pozo AO2B. Durante esta primera fase se tomaron tres muestras de gas, que fueron analizadas en el INEEL por el Dr. Rubén A. Bernard Romero. Los resultados se reportan más adelante.

La segunda campaña se realizó el 19 de octubre, con personal del INEEL y equipo más especializado. La tercera campaña se llevó a cabo el 25 de noviembre por el Dr. Yuri Taran y en el pozo AO2C que presentaba ya manifestaciones de gas y presión.

De los dos muestreos posteriores (octubre 19 y noviembre 25) aún no se tienen resultados del laboratorio.

### 3. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE MUESTRAS DE PERFORACIÓN Y NÚCLEOS

Durante y después de la perforación de los pozos AO2B y AO2C, el trabajo se realizó de manera minuciosa; así como el trabajo de gabinete, principalmente en las instalaciones y laboratorios del Instituto. En una primera instancia se realizó un análisis macroscópico con base en las características físicas de las muestras de mano (recortes), núcleos y registros. Lo anterior puede arrojar una interpretación preliminar que ayudará al proceso de perforación y las incidencias presentadas. Posteriormente se realizó un análisis detallado de cada elemento.

A continuación se sintetiza el proceso al que fueron sometidos las muestras de canal y los núcleos, su interpretación macroscópica y cualitativa y ejemplos de los resultados del trabajo de laboratorio más especializado.

#### 3.1 ANÁLISIS MACROSCÓPICO DE LAS MUESTRAS DE CANAL

Uno de los elementos más importantes con los que se contó fueron las muestras de recorte derivadas de la perforación, las cuales dieron valiosa información acerca de las características de las formaciones y permitieron una

Tabla 1. Descripción de las muestras de canal.

Abreviatura	Palabra
Plg	Plagioclasas
BAF	Flujo de bloques y cenizas
Amph	Anfiboles
Px	Piroxeno
Qz	Cuarzo
OI	Olivino
Cpx	Clinopiroxeno
Bt	Biotita

Análisis de la estratigrafía de los pozos profundos Agrícola Oriental 2B y 2C

N. de Muestra	Profundidad	Descripción
1	500 m	Muestra Color gris-rosado, con abundantes fragmentos de lava cristalina color claro, con fenocristales de Plg, Amph, Px y Qz. <b>LAVA DACÍTICA</b> . Además se observan fragmentos de lava alterada, rojiza, verde y cristales individuales de Qz, Plg y Px.
2	520 m	Muestra color rosa con predominación de fragmentos rosados, de material piroclástico <b>IGNIMBRITA ROSADA</b> . Estos fragmentos de ignimbrita están constituidos por una ceniza fina como matriz, soportando fenocristales de Qz, Plg y pocos ferromagnesianos (no se conoce el contenido de Px y Amph)
3	540 m	Muestra color gris claro-oscuro con abundantes fragmentos de lava gris oscura, afanítico, con algunos cristales de Plg y probablemente Ol. <b>LAVA ANDESÍTICA BASÁLTICA</b> . También se observan fragmentos de ignimbrita, lava alterada (rojiza, verde, café) y cristales de cuarzo lechoso, esto en toda la muestra.
4	560 m	Muestra de color gris claro con fragmentos de grumosa. <b>CONCRETO</b> . Además se observan fragmentos de lava de color gris oscuro, afanítica, con algunos cristales de Ol, Cpx y Plg. <b>ANDESITA BASÁLTICA</b> .
5	580 m	Muestra color gris claro con abundantes fragmentos de color gris claro, de textura porfídica con vesículas, fenocristales de Plg, Px, Qz en una matriz vítrea y alterada. <b>LAVA DACÍTICA ALTERADA</b> . También se observan fragmentos de ignimbrita, andesita basáltica y fragmentos de lava alterada (rojiza, verde).
6	600 m	Muestra color gris oscuro-claro con abundantes fragmentos de lava gris oscura y en menor proporción fragmentos rojizos. La lava gris oscura es porfídica, rica en vidrio oscuro, con fenocristales de Plg, Qz y Px. <b>LAVA DACÍTICA</b> .
7	620 m	Muestra de color gris-amarillenta constituida por fragmentos de lava de color gris claro-oscuro y fragmentos alterados de color amarillo y rojizo. Aparentemente la roca cortada es la de color gris claro-oscuro, la cual es vítrea con fenocristales de Plg y Qz. <b>LAVA DACÍTICA</b> .
8	640 m	Muestra de color gris-amarillenta, con abundantes fragmentos de lava vítrea alterada (amarillenta y rojiza) con textura "sacarosa". Podría tratarse de <b>LAVA DACÍTICA ALTERADA</b> . Además se observan fragmentos de lava dacítica gris oscuro y fragmentos de depósitos piroclásticos.
9	660 m	Con características similares a la muestra número 8.
10	680 m	Muestra de color gris-amarillenta con abundancia de fragmentos de flujo piroclástico de color claro y amarillento. <b>BAF-AMARILLENTO-BLANCO</b> . También se observan fragmentos de lava vítrea alterada (amarillento y rojizo) así como fragmentos de lava gris vítrea.
11	700 m	Muestra de colores (gris-oscuro, rojizo, amarillento), aunque predominan los fragmentos de color gris oscuro vítreo y amarillento vítreo, con fenocristales de Plg, Qz. <b>LAVA DACÍTICA</b> .
12	720 m	Muestra de color amarillo-gris claro con abundantes fragmentos de lava alterada color gris (terrosa). <b>LAVA DACÍTICA ALTERADA</b> .
13	740 m	Muestra de color amarillo-gris claro con abundantes fragmentos de lava alterada color gris (terrosa). <b>LAVA DACÍTICA ALTERADA</b> .
14	760 m	Muestra de color amarillo-gris claro con abundantes fragmentos de lava alterada color gris (terrosa). <b>LAVA DACÍTICA ALTERADA</b> .
15	780 m	Muestra de color amarillenta con muchos fragmentos de material alterado al parecer es un BAF alterado de color amarillento con arcilla. <b>BAF ALTERADO</b> . Además se observan fragmentos redondeados de lava dacítica alterada (terrosa).
16	800 m	Muestra de color amarillenta con muchos fragmentos de material alterado, al parecer es un BAF alterado de color amarillento con arcilla. <b>BAF ALTERADO</b> . Además se observan fragmentos redondeados de lava dacítica alterada (terrosa).

Análisis de la estratigrafía de los pozos profundos Agrícola Oriental 2B y 2C

N. de Muestra	Profundidad	Descripción
17	820 m	Muestra de color amarillenta con muchos fragmentos de material alterado al parecer es un BAF alterado de color amarillento con arcilla. <b>BAF ALTERADO</b> . Además se observan fragmentos redondeados de lava dacítica alterada (terrosa).
18	840 m	No se recuperó.
19	860 m	Muestra color gris claro con abundantes fragmentos de BAF alterados, amarillentos, con Qz y fragmentos verdosos (epidota).
20	880 m	No se recuperó.
21	900 m	Muestra de color gris-amarillenta con abundantes fragmentos de lava <b>DACÍTICA</b> de color gris oscuro con fenocristales de Plg, Qz y Bt, algunos fragmentos presentan piritita y epidota. Además de que se observan fragmentos de Qz lechoso y lava alterada (de color rojizo).
22	920 m	Muestra color gris oscuro de <b>LAVA DACÍTICA</b> con fenocristales de Plg, Qz, Bt. Además se observan fragmentos estriados (falla), fragmentos de Qz lechoso, fragmentos verdosos (epidota y piritita) y fragmentos de (brecha?) flujo piroclástico.
23	940 m	Muestra en general de color gris oscuro a gris claro. En la que predomina una lava de color gris oscuro cubierta por vidrio, con textura porfídica constituida por cristales de Plg, Cpx, Qz y en menor cantidad Bt. <b>LAVA DACÍTICA</b> . Además se observan fragmentos de color rojo (oxidación), verdes (epidota). También una lava de color gris claro, además de Qz lechoso, piritita y vidrio.
24	960 m	Muestra en general de color gris oscuro a gris claro. En la que predomina una lava de color gris oscuro cubierta por vidrio, con textura porfídica constituida por cristales de Plg, Cpx, Qz y en menor cantidad Bt. <b>LAVA DACÍTICA</b> . Además se observan fragmentos de color rojo (oxidación), verdes (epidota). También una lava de color gris claro, además de Qz lechoso, piritita y vidrio.
25	980 m	Muestra de color gris oscuro a claro presenta un tamaño de ceniza lapilli, pero aún predomina la <b>LAVA DACÍTICA</b> de las muestras 23 y 24. También fragmentos de color rojo (oxidación), verdes (epidota), lava de color gris claro, abundancia de vidrio y calcita, además de piritita y algunos fragmentos planos que manifiestan estrías.
26	1000 m	Muestra de color gris oscuro a claro presenta un tamaño de ceniza lapilli, pero aún predomina la <b>LAVA DACÍTICA</b> de las muestras 23 y 24. También fragmentos de color rojo (oxidación), verdes (epidota), lava de color gris claro, abundancia de vidrio y calcita, además de piritita y algunos fragmentos planos que manifiestan estrías.
27	1020 m	Muestra de color gris claro con tamaño de ceniza fina a lapilli, predomina una <b>LAVA DACÍTICA</b> vista en las muestras 23 y 24. En toda la muestra se pueden apreciar fragmentos de color rojo-naranja (oxidación), verde (clorita o epidota) y café, además de calcita, piritita y cristales sueltos de Plg. Así mismo algunos fragmentos y minerales presentan estrías.
28	1040 m	Muestra de color gris claro con tamaño de ceniza fina a lapilli, predomina una <b>LAVA DACÍTICA</b> vista en las muestras 23 y 24. En toda la muestra se pueden apreciar fragmentos de color rojo-naranja (oxidación), verde (clorita o epidota) y café, además de calcita, piritita y cristales sueltos de Plg. Así mismo, existen algunos fragmentos y minerales con estrías.
29	1060 m	Lava de color gris, intemperizada cubierta por vidrio, con textura porfídica, constituida por cristales de Plg. <b>LAVA DACÍTICA</b> . Además de fragmentos de color blanco y café. También piritita y epidota.
30	10080 m	Esta muestra presenta en general un color gris. Predomina una lava gris oscura intemperizada, con textura porfídica, compuesta por Plg; se encuentra cubierta por vidrio. Hay presencia de epidota, piritita y calcita, además se observan fragmentos de lava roja (oxidación). Existe presencia de algunos fragmentos con estrías.
31	1100 m	Esta muestra presenta en general un color gris. Predomina una lava gris oscura intemperizada, con textura porfídica, compuesta por Plg; se encuentra cubierta por vidrio. Hay presencia de epidota, piritita y calcita, además se observan fragmentos de lava roja (oxidación), existe presencia de algunos fragmentos con estrías.

## Análisis de la estratigrafía de los pozos profundos Agrícola Oriental 2B y 2C

N. de Muestra	Profundidad	Descripción
32	1120 m	Esta muestra presenta en general un color gris. Predomina una lava gris oscura intemperizada, manifiesta una textura porfídica compuesta por Plg se encuentra cubierta por vidrio.
		Hay presencia de epidota, pirita y calcita, además se observan fragmentos de lava roja (oxidación); existen algunos fragmentos con estrías. Comienzan a aparecer fragmentos rojos y negros con vesículas rellenas.
33	1140 m	Esta muestra presenta en general un color gris. Predomina una lava gris oscura intemperizada, con textura porfídica compuesta por Plg; se encuentra cubierta por vidrio.
		Hay presencia de epidota, pirita y calcita, además se observan fragmentos de lava roja (oxidación). Existen algunos fragmentos con estrías. Comienzan a aparecer fragmentos rojos y negros con vesículas rellenas de lodo.
34	1160 m	Lava de color gris claro, textura porfídica, constituida por cristales de Plg, Qz y Bt los cuales se encuentran cubiertos por vidrio, posiblemente <b>LAVA ANDESÍTICA</b> .
		También fragmentos de color rojo (oxidación), verdes (epidota), cristales sueltos de Qz y pirita.
35	1180 m	Lava de color gris, con textura porfídica, compuesta por cristales de Plg, Qz y Bt, cubierta por vidrio, posiblemente <b>LAVA ANDESÍTICA</b> . Fragmentos de color rojo (óxidos) y verde (epidota) además de cristales sueltos de pirita.
36	1200 m	Muestra de color rosado, material alterado muy fino del tamaño de ceniza. Se reconocen cristales de Plg, Qz, Cpx y posiblemente Amph. Además de roca de color gris, roja y verde, también fragmentos con estrías, pirita y epidota diseminada.
37	1220 m	Muestra de color rosado, material alterado muy fino del tamaño de ceniza. Se reconocen cristales de Plg, Qz, Cpx y posiblemente Amph.
		Se observa roca de color gris, roja y verde, también fragmentos con estrías, pirita y epidota diseminada. Se reconoce, además, una importante proporción de fragmentos de color gris y existe mayor abundancia de fragmentos con estrías.
38	1240 m	Lava intemperizada de color gris cubierta por vidrio, se observan cristales de Plg, además de fragmentos de lava roja (oxidación), pirita y epidota.
39	1260 m	Lava de color gris muy intemperizada cubierta por vidrio. Se observan cristales de Plg, además de fragmentos de lava roja (oxidación), pirita y epidota diseminada.
40	1280 m	Muestra de color café del tamaño de ceniza fina. Se reconocen cristales de Plg y Cpx, además de pirita y epidota diseminada. También fragmentos de roca de color gris, algunos de los cuales presentan estrías.
41	1300 m	Fragmentos de lava intemperizada que presenta una coloración gris claro cubierta por vidrio con textura porfídica compuesta de Plg. También hay fragmentos de lava color rojo y café. Con pirita y epidota diseminada, posiblemente calcita y clorita.
42	1320 m	Fragmentos de lava intemperizada que presenta una coloración gris claro cubierta por vidrio con textura porfídica compuesta de Plg. También hay fragmentos de lava color rojo y café. Con pirita y epidota diseminada, posiblemente calcita y clorita.
43	1340 m	Material de color gris del tamaño de ceniza, se reconocen cristales de Plg y Cpx, además de pirita, epidota y posiblemente clorita. Presenta fragmentos de color gris (lava), rojos (oxidación) y verdes (clorita, epidota). Abunda el vidrio y algunos fragmentos presentan planos de estrías.
44	1360 m	Material de color gris del tamaño de ceniza, se reconocen cristales de Plg y Cpx además de pirita, epidota y posiblemente clorita. Presenta fragmentos de color gris (lava), rojos (oxidación), verdes (clorita, epidota). Abunda el vidrio y algunos fragmentos presentan planos de estrías. En esta muestra proliferan las lavas rojas (oxidación).
45	1380 m	Lava alterada de color rojo (oxidación) cubierta por vidrio con textura porfídica compuesta de Plg y Cpx.
		Hay presencia de epidota, calcita y pirita. Además de fragmentos de lava gris.
46	1400 m	No se recuperó.
47	1420 m	Material de color rojo del tamaño de ceniza fina, se reconocen cristales de Plg, vidrio, además de pirita, epidota y fragmentos de roca gris de los cuales algunos presentan estrías.
48	1440 m	Material de color rojo del tamaño de ceniza fina, se reconocen cristales de Plg, vidrio, además de pirita, epidota y fragmentos de roca gris de los cuales algunos presentan estrías.

## Análisis de la estratigrafía de los pozos profundos Agrícola Oriental 2B y 2C

N. de Muestra	Profundidad	Descripción
49	1460 m	Fragmentos de lava de color gris claro y gris oscuro, con textura porfídica. Compuesta por Plg y epidota cubierta por vidrio. Posiblemente <b>LAVA ANDESÍTICA</b> .
		Además se observan lavas rojas (oxidación), cafés con epidota, piritas diseminadas y fragmentos con estrías.
50	1480 m	Fragmentos de lava de color gris claro y gris oscuro, con textura porfídica. Compuesta por Plg y epidota cubierta por vidrio. Posiblemente <b>LAVA ANDESÍTICA</b> .
		Además se observan lavas rojas (oxidación), cafés con epidota, piritas diseminadas y fragmentos con estrías. La presencia de fragmentos rojos disminuye.
51	1500 m	Fragmentos de lava de color gris claro y gris oscuro, con textura porfídica. Compuesta por Plg y epidota cubierta por vidrio. Posiblemente <b>LAVA ANDESÍTICA</b> .
		Además se observan lavas rojas (oxidación), cafés con epidota, piritas diseminadas y fragmentos con estrías. La presencia de fragmentos rojos disminuye.
52	1520 m	Fragmentos de lava de color gris claro y gris oscuro, con textura porfídica. Compuesta por Plg y epidota cubierta por vidrio. Posiblemente <b>LAVA ANDESÍTICA</b> .
		Además se observan lavas rojas (oxidación), cafés con epidota, piritas diseminadas y fragmentos con estrías.
53	1540 m	Fragmentos de lava de color gris claro y gris oscuro, con textura porfídica. Compuesta por Plg y epidota cubierta por vidrio. Posiblemente <b>LAVA ANDESÍTICA</b> .
		Además se observan lavas rojas (oxidación), cafés con epidota, piritas diseminadas y fragmentos con estrías.
54	1560 m	Muestra de color gris claro, presenta una textura porfídica, está compuesta por cristales de Plg. Además de epidota y en algunos fragmentos hay presencia de vesículas.

primera interpretación cualitativa de la columna geológica del sitio. Para el pozo AO2B el muestreo continuo comenzó a partir de los 500 m, cada 20 m de avance. Mientras que para el pozo AO2C el muestreo se realizó desde los 250 m y a mayor frecuencia (cada 10 m).

### 3.1.1 Muestreo y limpieza

Las muestras de canal fueron entregadas por la supervisión del SACMEX al IGL sin limpieza (tal como fueron colectadas), sin ningún otro agregado y en las diferentes etapas de perforación. En el Anexo 2 se presenta un listado total de las muestras recibidas, así como el día y la hora de la toma de muestra por parte de la supervisión.

Las muestras de canal fueron entregadas en contenedores plásticos para las profundidades señaladas en la sección 2.2.1. Una vez que PEMEX y CONAGUA manifestaron que ya no requerían más muestra de canal, el resto del material recolectado fue entregado al IGL en bolsas con peso aproximado de 5 kg.

Las muestras fueron sometidas a un proceso de limpieza dentro de los laboratorios del Instituto, debido a que contenían agua, lodo de perforación y obturante (principalmente fragmentos de cascarilla de nuez) (Figura 16). El proceso de limpieza se detalla en el Anexo 4. Es

importante mencionar que debido al uso de cascarilla de nuez, la coloración de algunas muestras se alteró, por lo que fue considerada en la descripción macroscópica.

### 3.1.2 Descripción

Para facilitar su descripción, las muestras de recorte limpias fueron dispuestas en canaletas divididas en secciones de acuerdo a su profundidad. La primera descripción se hizo de manera cualitativa, buscando cambios de coloración o de minerales constituyentes de los recortes. A continuación se muestra el resultado de la descripción de las muestras del pozo AO2B, desde el inicio de la toma de muestreo hasta el contacto con las formaciones calcáreas.

## 3.2 ANÁLISIS MACROSCÓPICO DE LOS NÚCLEOS

Los núcleos fueron un elemento vital para la construcción de la columna geológica, ya que su estado inalterado por el proceso de perforación generaba una caracterización precisa de las formaciones a las que pertenecían.

### 3.2.1 Limpieza

Cada uno de los núcleos fue extraído de sus contenedores y sometido a un proceso de limpieza (Figura 17) dentro de



Figura 17. Ejemplo del Núcleo N3-AO2B después de ser extraído y sometido a limpieza.



Material gris verdoso, masivo, constituido por clastos. 6-7 cm hasta 40 cm (lapilli y bloques), inmersos en matriz de ceniza, abundan fragmentos sub-angulosos, la matriz tiene coloración verdosa corresponde a alteración hidrotermal (epidota). Los fragmentos son de color gris oscuro, gris claro, rojizo de textura porfídica con fenocristales de Plg y Px (andesita).

Deposito F.B Cenizas

Figura 18. Ejemplo de la descripción realizada para el núcleo N2-AO2B (F.B: Flujo de bloques y cenizas).

## Análisis de la estratigrafía de los pozos profundos Agrícola Oriental 2B y 2C

Tabla 2. Muestras seleccionadas para análisis de laboratorio. DRX = Difracción de Rayos X; Ar-Ar = fechamientos por  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ .

Profundidad (m)	Fechamientos Ar-Ar	Geoquímica	Lámina delgada	Separación de Circones	Otros
520				X	
580			X		
600	X	X	X		
830		X	X		DRX
841	X	X	X		DRX
908	X	X	X		DRX
913			X	X	DRX
980	X	X	X		
1135			X		DRX
1138.6			X	X	
1160			X	X	
1180	X	X	X		
1550	X	X	X		DRX
1555	X	X	X		DRX
1558			X		DRX

las instalaciones del IGL. Posteriormente fueron colocados en contenedores de PVC para su análisis. Actualmente se encuentran en resguardo dentro del IGL.

### 3.2.2 Descripción

La descripción de cada núcleo se hizo tramo por tramo y se registraron sus características macroscópicas principales. Se hizo una clasificación de acuerdo a los minerales que se observan en muestra de mano y sus principales características físicas observadas cualitativamente (Figura 18).

En particular, para el primer núcleo del pozo Agrícola Oriental 2B (N1-AO2B) que se encontraba completamente alterado, no se realizó una descripción individual para cada tramo, debido a que su grado de alteración en cada uno resultaba de difícil clasificación.

En el Anexo 5 se presentan las imágenes de cada núcleo y su descripción detallada.

### 3.3 PRUEBAS DE LABORATORIO

Se realizaron diferentes pruebas de laboratorio para eliminar incertidumbres en la descripción macroscópica e integrar la información. Las pruebas de laboratorio fueron:



Figura 19. Lámina pulida de la muestra de canal de la profundidad de 520 m.

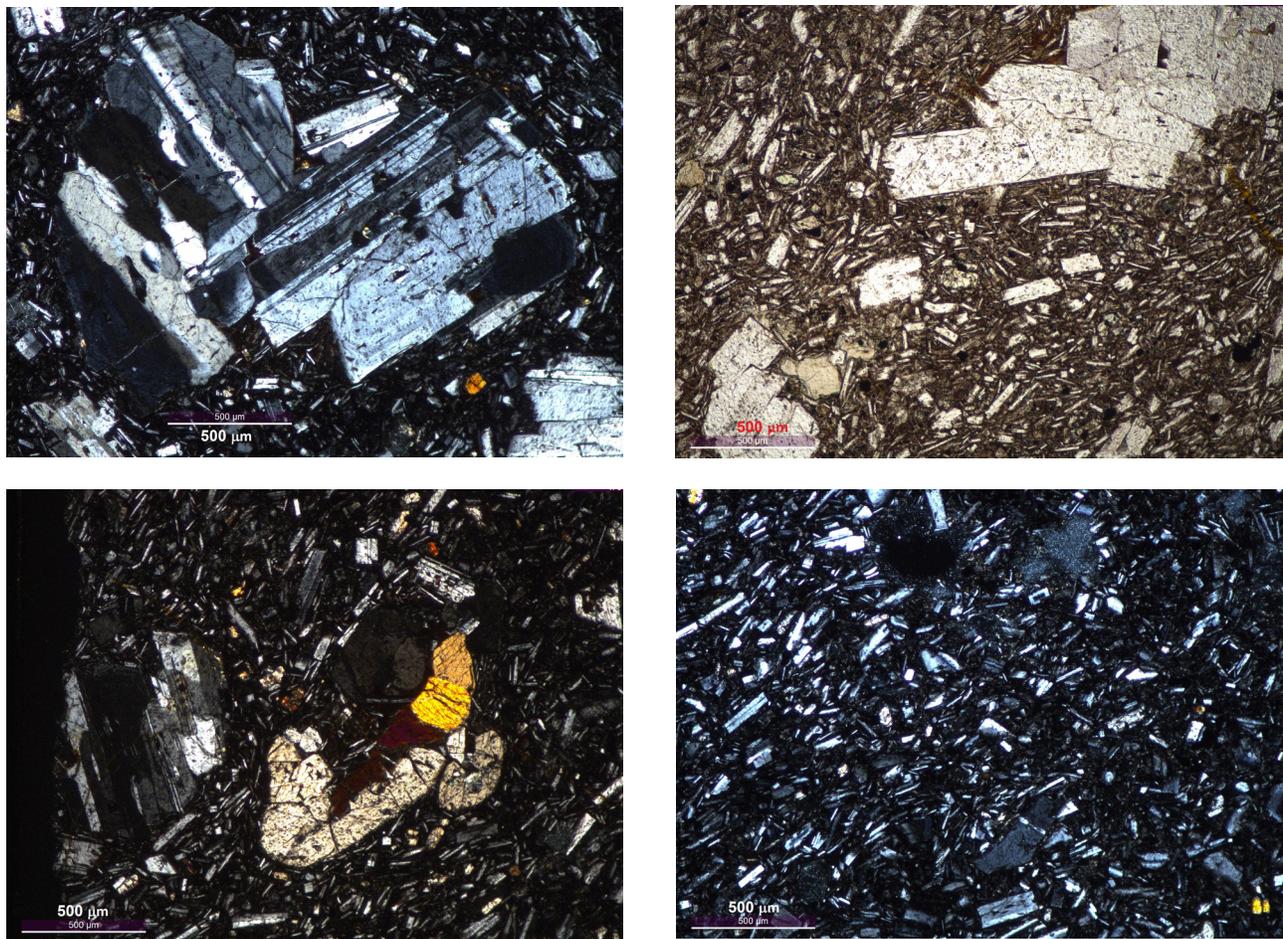


Figura 20. Ejemplos de microfotografías de un bloque de lava de composición andesítica, ubicado a 841 m de profundidad usando láminas delgadas.

- Láminas delgadas.
- Geoquímica.
- Fechamientos.
- Difracción de rayos X.

Las muestras fueron seleccionadas con base en intervalos de interés y en muestras que cumplieran los requisitos para realizar dichos análisis. En muestras alteradas y arcillosas no fue posible obtener algunos de los análisis. En la Tabla 3.1 se presenta la selección de profundidades y el tipo de análisis que se aplicó.

### 3.3.1 Láminas delgadas

Se seleccionaron 14 muestras de diferentes niveles estratigráficos en ambos pozos para realizar láminas delgadas.

En primer lugar, se tomó un fragmento del material, ya fuera de núcleos o de muestras de canal. Los fragmentos de núcleo fueron cortados a tamaño de un portaobjetos, después fueron pulidos en una sección y pegados al

portaobjetos. Posteriormente, los fragmentos fueron desbastados hasta obtener una lámina muy delgada (entre 15 y 30  $\mu$  de espesor) del material.

Para las muestras de canal, éstas se aglutinaron en resina y posteriormente se cortaron, se pulieron y se pegaron en los portaobjetos. Finalmente se desbastaron hasta un espesor adecuado, un ejemplo del resultado final se observa en la Figura 19.

En la Figura 20 se muestra un ejemplo de una lámina delgada vista a microscopio. La interpretación y descripción de estas láminas se presenta en el Anexo 6.

### 3.3.2 Geoquímica de roca total

Se seleccionaron 8 muestras (Tabla 2) para llevar a cabo análisis químicos de roca total. En primer lugar, se seleccionaron las muestras más frescas (sin alteración o sin rasgos de intemperismo), se trituraron en fragmentos de aproximadamente 2 cm. Posteriormente, se lavaron con agua destilada y se secaron en un horno a 50°C por

## Análisis de la estratigrafía de los pozos profundos Agrícola Oriental 2B y 2C

24 horas. Después de secar perfectamente los fragmentos de las muestras, se procedió a pulverizarlas con el equipo denominado “Herzog” el cual tiene unos discos de carburo de tungsteno para moler. Las muestras pulverizadas se almacenaron en frascos de vidrio y se enviaron al Laboratorio de Fluorescencia de Rayos X para los análisis químicos. El equipo utilizado se observa en la Figura 21.

El análisis de roca total permite realizar una clasificación química de la muestra, que a su vez es útil para realizar correlaciones de rocas de otros pozos o incluso con rocas de la superficie.

Para el análisis de muestras seleccionadas de los pozos AO2B y AO2C se utilizó el método de Fluorescencia de Rayos X, en el Laboratorio Nacional de Geoquímica y Mineralogía (LANGEM) del IGL, por la Quím. Patricia Girón García. El procedimiento para realizar el análisis de elementos

mayores está descrito en Lozano *et al.* (1995) y para los elementos traza se describen en Verma *et al.* (1996). Este método mide desde 100% en peso a los elementos mayores y en partes por millón (ppm) a los elementos traza, siempre y cuando el elemento no tenga un número atómico menor al del sodio ( $\text{Na}^+$ ).

Adicionalmente se realizaron análisis químicos de roca total por el método de Espectrometría de Masas con Acoplamiento Inductivo (LA-ICP-MS, por sus siglas en inglés) para determinar elementos traza, incluyendo tierras raras. Estos análisis se llevaron a cabo en el Centro de Geociencias, Campus Juriquilla, de la UNAM. Todos los procedimientos analíticos para este tipo de análisis se describen en Mori *et al.* (2007).

Los resultados que arrojaron estos análisis químicos permitieron hacer una clasificación química de las rocas



Figura 21. Fotografías del Taller de Molienda en donde se llevó a cabo el pulverizado de las muestras para los análisis químicos. A) Molino vibratorio Herzog H100 y sus componentes; B) Prensa modelo LAB-50TON-5HPM; C) Máquina vibratoria RO-TAP modelo RX-29.

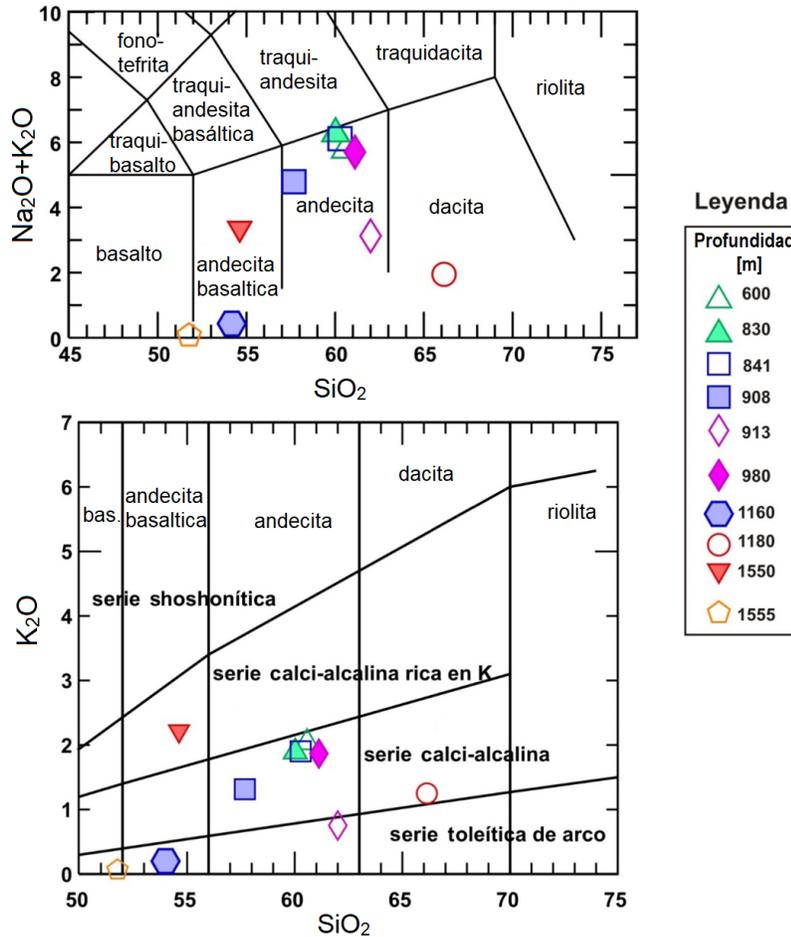


Figura 22. Diagramas de clasificación química de rocas de acuerdo a Le Bas *et al.* (1986) y Peccerillo y Taylor (1976). La mayoría de las muestras son de composición andesítica.

estudiadas (Figura 22), con base en el contenido de sílice versus el contenido de álcalis ( $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ ) de acuerdo a Le Bas *et al.* (1986). En la Figura 22 podemos apreciar que la composición de las rocas varía desde basalto hasta dacita, aunque la mayoría de las rocas caen dentro del campo de las andesitas, de la serie magmática calci-alcalina (Figura 22). Resaltan las muestras ubicadas a 1160 m, 1180 m, 1555 m y en menor grado las muestras 913 m y 1550, m las cuales presentan valores bajos de álcalis, probablemente como resultado del grado de alteración de dichas muestras.

Con los datos químicos se construyeron diagramas binarios (Figura 23) para observar posibles tendencias de evolución de las muestras analizadas. Sin embargo, solamente se pueden observar tendencias claras para el  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$ ,  $\text{CaO}$  y  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , aunque no son tendencias típicas de evolución magmática. Por lo tanto, esto podría indicar que las muestras analizadas no tienen relación genética o

bien, que el grado de alteración está enmascarando esta relación. No es posible descartar estas dos opciones sin antes contar con las edades de cada unidad analizada.

Los diagramas de tierras raras (REE) y multielementos, muestran patrones de rocas de arco, con claros enriquecimientos en REE ligeras y en elementos incompatibles, con anomalías ligeras en Eu, así como en Nb y Ta. Por otro lado, se observan anomalías positivas marcadas en Cs, Pb y K, que sugieren un ambiente de subducción (Figura 24).

### 3.3.3 Difracción de Rayos X

Se seleccionaron cuatro muestras (Tabla 2) para análisis por DRX. En particular se eligieron muestras que presentaran grados diversos de alteración (Figura 25). Con este método se pretende conocer cuál es el o los minerales de alteración que se están formando en cada muestra seleccionada.

Análisis de la estratigrafía de los pozos profundos Agrícola Oriental 2B y 2C

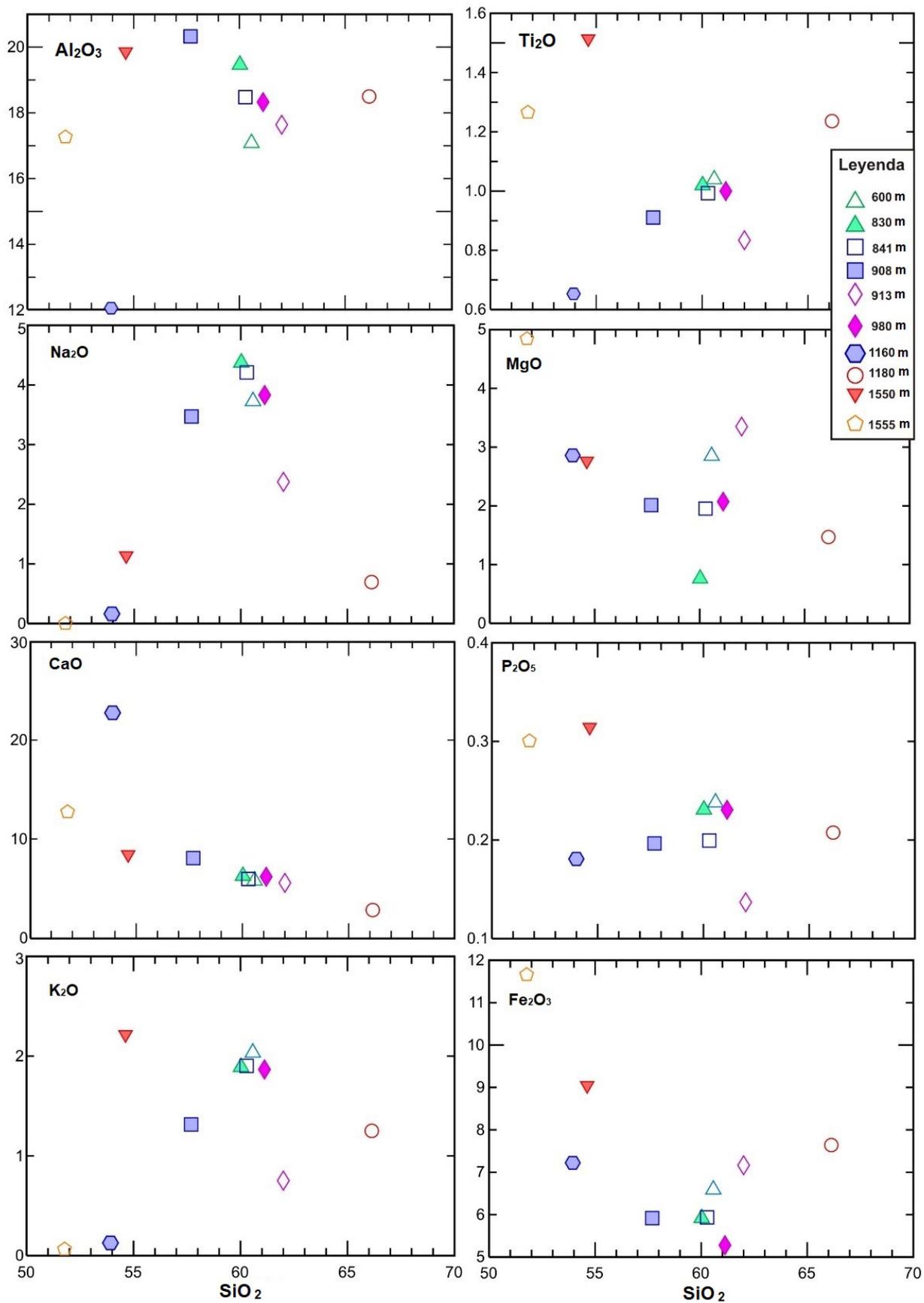


Figura 23. Diagramas binarios de sílice versus otros elementos mayores de las muestras seleccionadas del pozo profundo AO2B y AO2C.

## Análisis de la estratigrafía de los pozos profundos Agrícola Oriental 2B y 2C

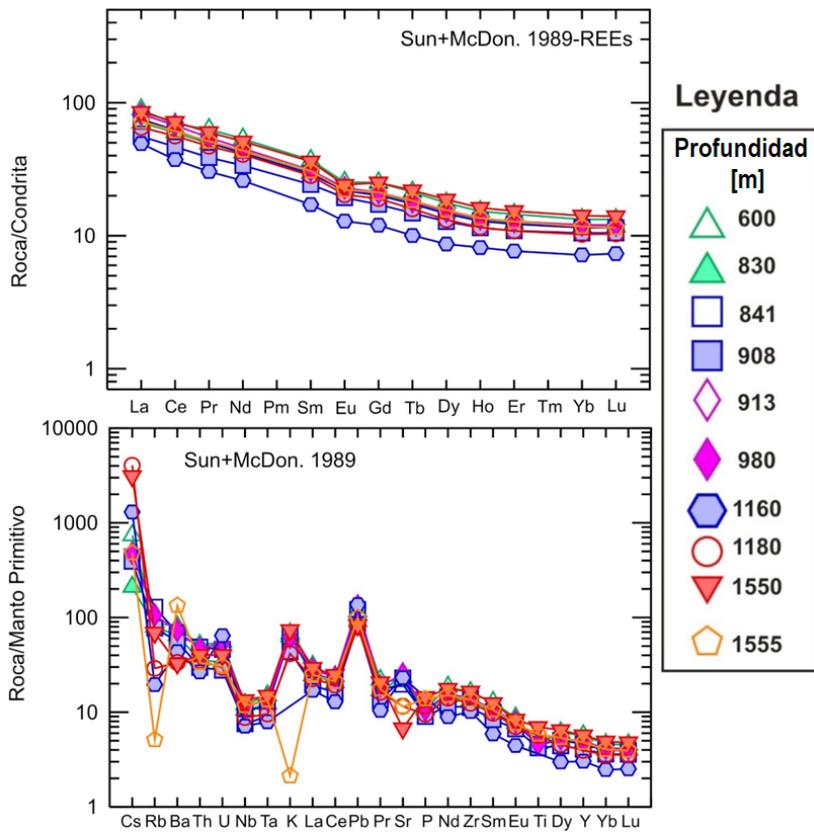


Figura 24. Diagramas de tierras raras (REE) normalizado con Condrita de Sun y McDonough (1989) y multielementos, normalizado con Manto Primitivo de Sun y McDonough (1989) de muestras analizadas del pozo profundo Agrícola Oriental 2B y C.

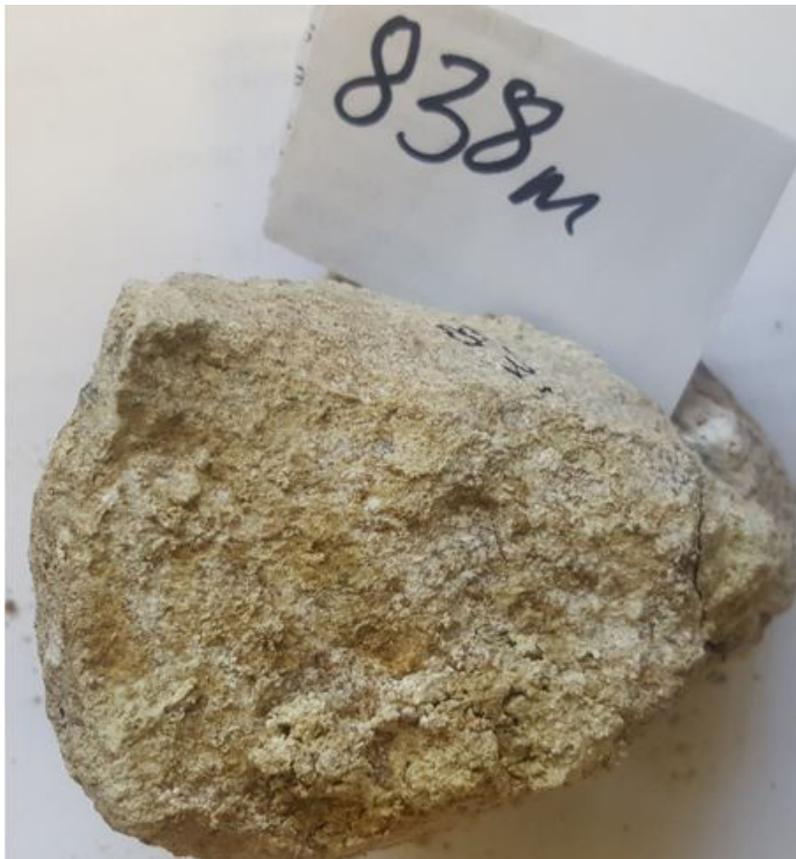


Figura 25. Muestra de núcleo seleccionada a una profundidad de 838 m para llevar a cabo análisis por Difracción de Rayos X. La muestra presenta un fuerte grado de alteración que le proporciona un color amarillento.

Análisis de la estratigrafía de los pozos profundos Agrícola Oriental 2B y 2C

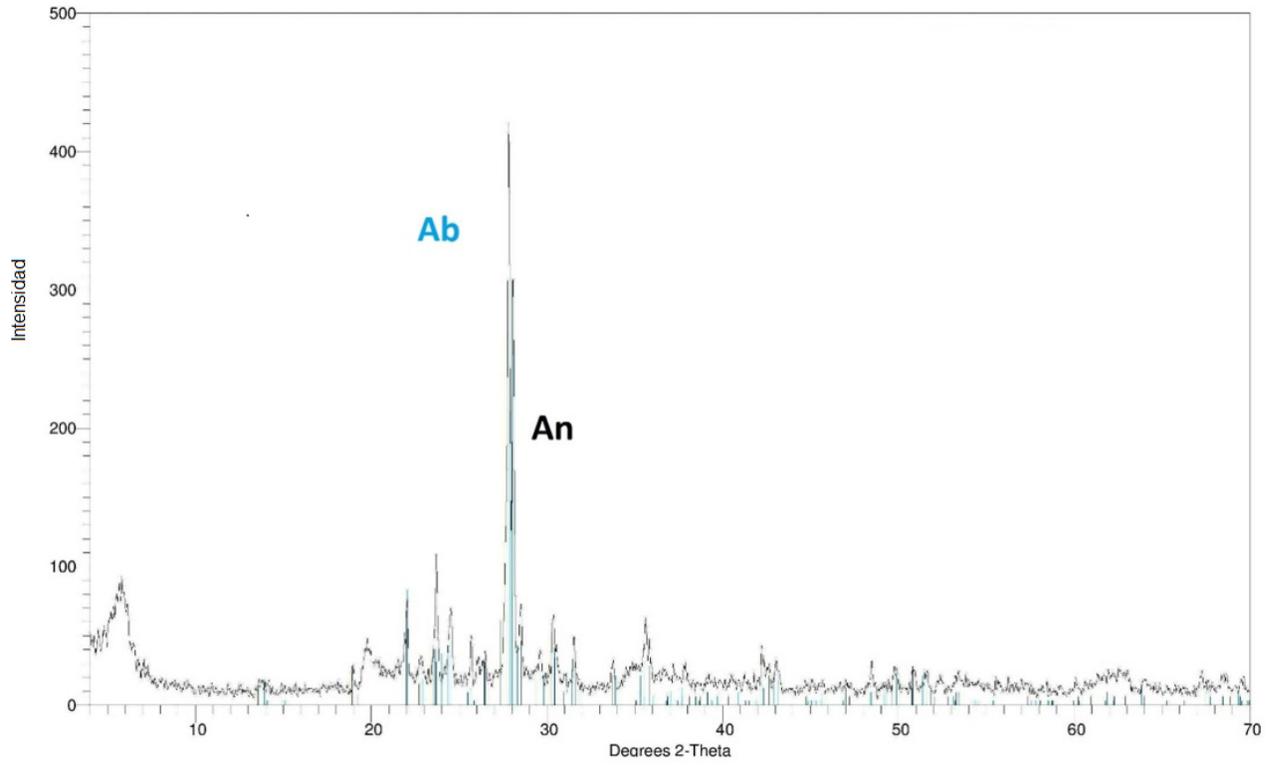


Figura 26. Difractograma de la muestra 841 m de profundidad. En éste se aprecian solamente picos para albita (Ab) y anortita (An).

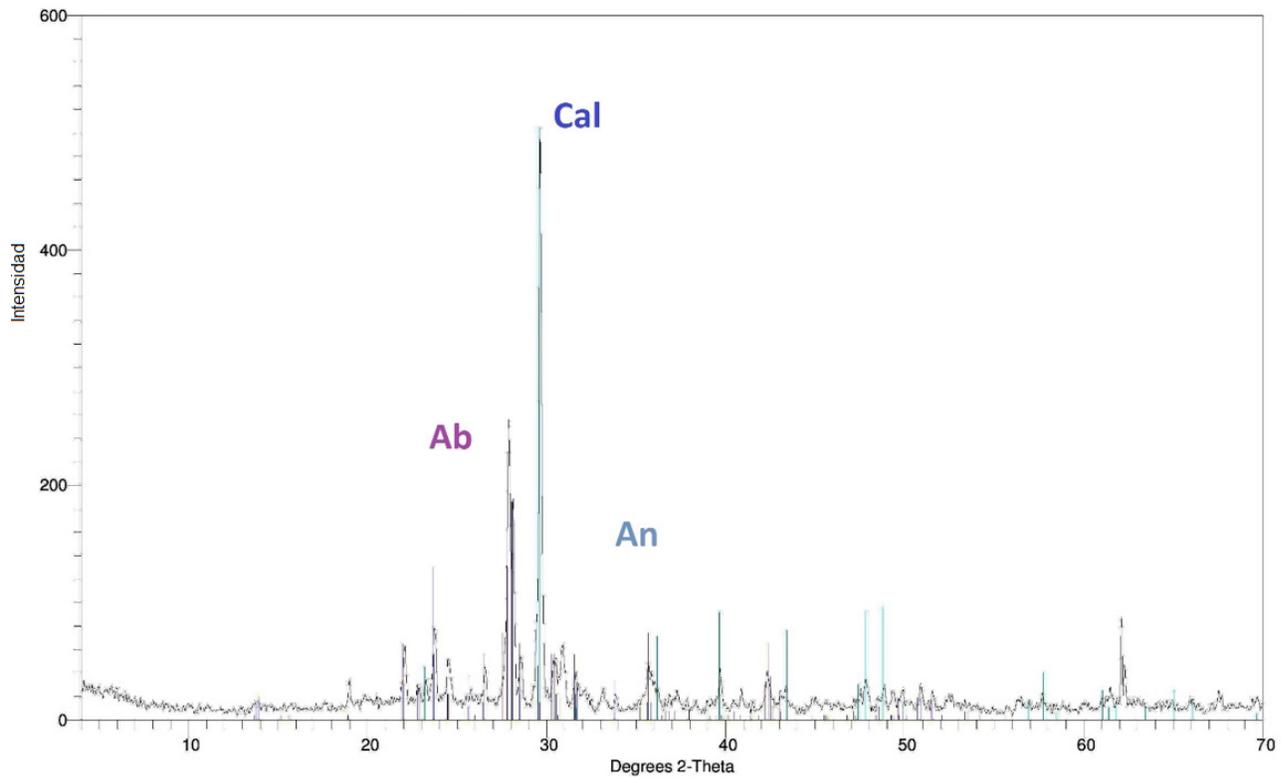


Figura 27. Difractograma de la muestra 908 m de profundidad. En éste se aprecian picos para albita (Ab), anortita (An) y calcita (Cal) en una cantidad importante.

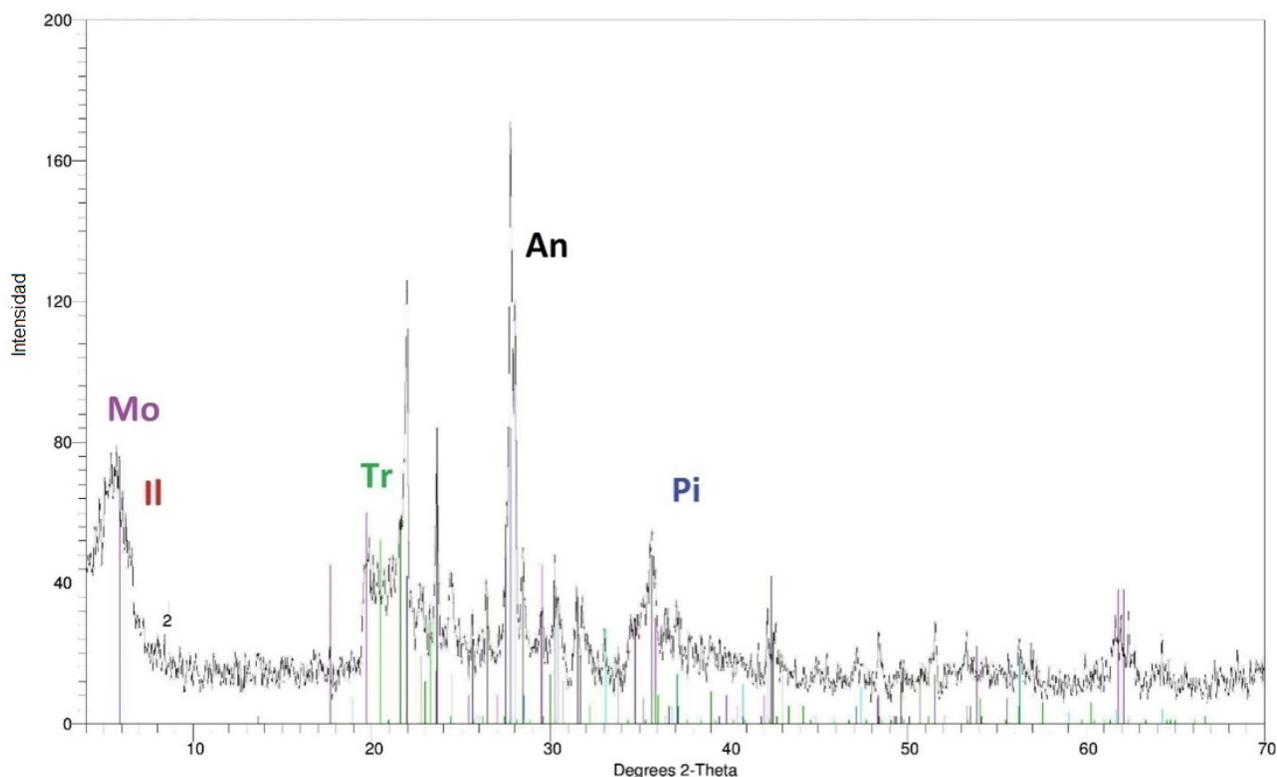


Figura 28. Diffractograma de la muestra 913 m de profundidad, una de las más alteradas. En éste se aprecian varios tipos de arcillas, anortita (An), tridimita (Tr), montmorillonita (Mo) e illita (Il). Todas ellas producidas por actividad hidrotermal. A pesar de que en las muestras anteriores también se observó pirita (Pi) diseminada, solamente en ésta se pudo observar un pico de este mineral.

Básicamente con esta herramienta lo que se pretende explicar es la composición de las diferentes coloraciones anómalas que presentan las rocas del pozo, ya que incluso en los núcleos se observan coloraciones amarillentas y en otras se aprecia un grado de alteración alto produciendo arcillas. Para estos análisis se seleccionaron los intervalos 841, 908 y 913 m de profundidad.

Para la muestra 841 solamente se alcanzó a identificar plagioclasas, tanto cálcicas (An - albita) como sódicas (Ab - anortita), con otros picos no definidos (Figura 26).

Para la muestra de 908 m de profundidad, se aprecia nuevamente la presencia de plagioclasas tanto cálcicas como sódicas, pero también de manera importante se encuentra calcita. En varias muestras del núcleo N2-AO2C (900 a 918 m) se observaron cavidades y vetas rellenas de calcita así como pirita diseminada. Esta es la razón por la cual en dicha muestra la señal de calcita es muy grande (Figura 27).

La muestra 913 es una de las más alteradas, ya que se observaron varios tipos de arcilla (Figura 28), aunque también se encuentran señales de la presencia de

plagioclasa (anortita). Todas las fases arcillosas presentes sugieren una actividad hidrotermal importante para poder alterar la roca. Por lo anterior, es claro que la roca original fue una roca volcánica con remanentes de plagioclasa.

### 3.3.4 Fechamientos

Se seleccionaron dos muestras de diferentes niveles, para llevar a cabo separación de circones y posteriormente con estos cristales realizar fechamientos por el método de U-Pb. Hasta el momento se han preparado las muestras para empezar la separación mecánica (con ayuda de un microscopio binocular). Este método de fechamientos tiene la ventaja de que aun tratándose de muestras alteradas es posible analizar los circones presentes en cada una. Las edades que se obtengan con este método ayudarán a establecer la estratigrafía de una manera más precisa y en el futuro apoyar en las correlaciones estratigráficas.

Para los fechamientos por Ar-Ar se seleccionaron muestras de lava sin importar la composición, siempre y cuando no presentaran alteración. Se tomaron siete muestras con dimensiones de aproximadamente 5 × 5 × 5

## Análisis de la estratigrafía de los pozos profundos Agrícola Oriental 2B y 2C

cm, las cuales fueron empacadas en bolsas de plástico y enviadas al Laboratorio de Geocronología, de la Universidad de Alaska, Fairbanks, E.U.A. Con este tipo de análisis se pretende obtener la edad absoluta de dichas muestras que serán de gran ayuda para correlaciones estratigráficas en el futuro.

Los fechamientos se llevarán a cabo por calentamiento a pasos por láser de la roca total (matriz de la muestra), siguiendo los procedimientos descritos en Layer (2000) y Layer *et al.* (2009a). Para monitorear el flujo de neutrón y calcular el parámetro de irradiación "J", para todas las muestras se utilizará el mineral MMhb-1T, con una edad de 523.5 Ma (Renne *et al.*, 2010). Los isótopos de argón medidos serán corregidos por un sistema de blancos y discriminación de masas, mientras que, para las muestras irradiadas, las reacciones de interferencia de Ca, K y Cl se determinarán siguiendo los procedimientos descritos en McDougall y Harrison (1999) y las edades serán calculadas usando las constantes de Renne *et al.* (2010).

### 3.4 MUESTRAS DE AGUA Y GAS

Con la terminación de los pozos en agosto, se inició la fase de limpieza para su posterior desarrollo y pruebas de

aforo, las cuales no pudieron ser realizadas debido a que:

- El pozo AO2B presentó una presión de desfogue no esperada el 26 de agosto, además de la presencia de gases cuya concentración era desconocida. Por este motivo el equipo de perforación (PEMEX) y la supervisión (SACMEX) acordaron no proceder a su limpieza y desarrollo hasta que las condiciones de seguridad estuvieran garantizadas.
- El nivel estático del pozo AO2C presentó cambios significativos, abatiéndose hasta los 340 m.

Tabla 3a. Resultados de la muestra de gas del pozo Agrícola Oriental 2B (en mmol/25 mL) en el primer muestreo.

N <sub>2</sub>	Ar	CH <sub>4</sub>	CO <sub>2</sub>
50.2	9.8	10.6	619.8

Tabla 3b. Resultados de la muestra de gas del pozo Agrícola Oriental 2B (en % peso) en el segundo muestreo.

N <sub>2</sub>	Ar	CH <sub>4</sub>	CO <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>
3.86 <sup>-01</sup>	1.26 <sup>-02</sup>	4.17 <sup>-02</sup>	9.96 <sup>+01</sup>	2.08 <sup>-03</sup>

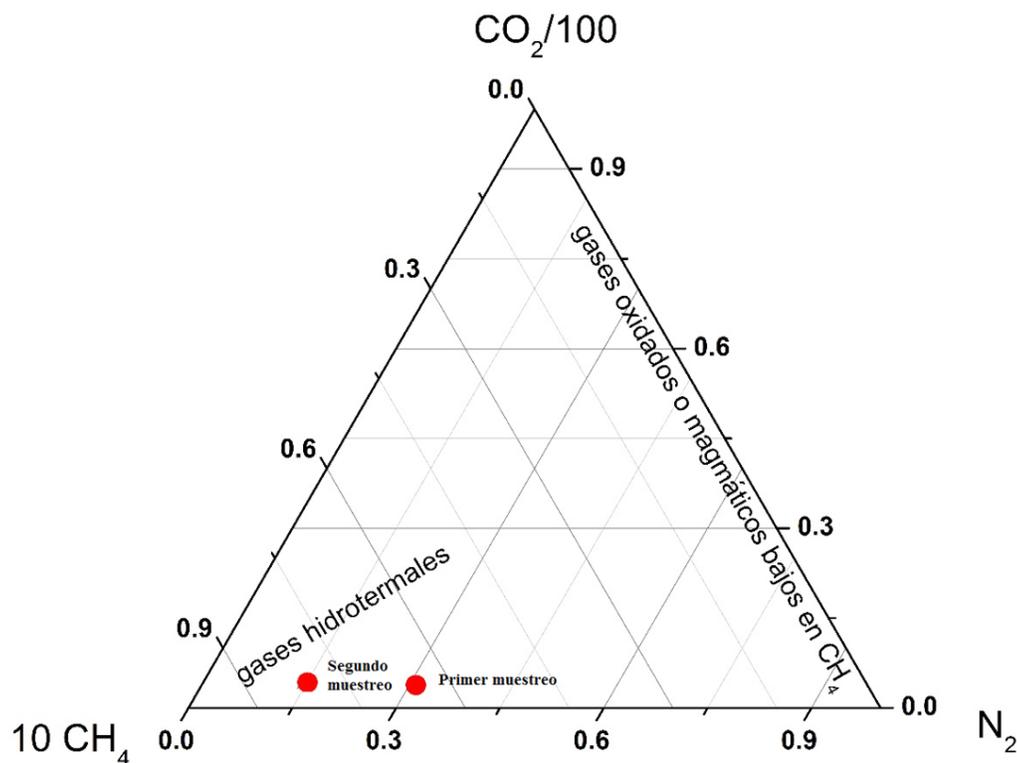


Figura 29. Diagrama ternario (Giggenbach *et al.*, 1990) para la muestra de gases provenientes del pozo Agrícola Oriental 2B.

## Análisis de la estratigrafía de los pozos profundos Agrícola Oriental 2B y 2C



Figura 30. Muestras de agua tomadas durante la apertura del pozo Agrícola Oriental 2B.

El IGL, en común acuerdo con el SACMEX, realizó varios muestreos de gas y agua en el desfogue de ambos pozos. Por distintas circunstancias, a la entrega de este reporte sólo se cuenta con un pequeño muestreo de agua (6 muestras de un litro cada una durante la apertura del pozo AO2B) y se han realizado tres campañas de muestreo de gases en ambos pozos.

Los resultados disponibles se exponen a continuación.

### 3.4.1 Muestras de gas

Los resultados del primer y segundo muestreos

Tabla 4. Resultado de las muestras de laboratorio para el primer muestreo de agua en el pozo AO2B.

Clave campo	AO2B	AO2B
	12:16 p. m.	11:12 a. m.
	pipa 3	Franctan (alberca)
Muestra laboratorio	EM1	EM2
Concentración (mg/L)		
Na <sup>+</sup>	1552.12	963.09
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	79.13	66.08
K <sup>+</sup>	415.42	267.38
Ca <sup>2+</sup>	303.16	346.54
Mg <sup>2+</sup>	35.32	34.1
F <sup>-</sup>	ND	---
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	3231.44	---
Cl <sup>-</sup>	1474.82	---
Br <sup>-</sup>	ND	---
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	ND	---
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	ND	---
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	1.71	---
Sólidos Totales Disueltos	7093.12	1677.19
(valor calculado)		

-- No se obtuvo  
ND: No determinado

## Análisis de la estratigrafía de los pozos profundos Agrícola Oriental 2B y 2C

realizados se presentan en las siguientes tablas.

Se puede concluir que los gases, en su mayoría  $\text{CO}_2$ , pueden provenir de un fluido con cierto grado de hidrotermalismo (Figura 29). La concentración de  $\text{CH}_4$ , en proporción con el  $\text{CO}_2$  es mucho menor.

Debido a que la concentración de  $\text{H}_2\text{S}$  en la mayoría de los sistemas es muy baja y a que la concentración de  $\text{CO}_2$  generalmente es mayor al 80% del total de gases, se necesita hacer un muestreo específico que permita

concentrar la muestra para determinar los gases que se encuentran en menor proporción.

### 3.4.2 Muestras de agua

Los Sólidos Disueltos Totales (SDT) son un indicador de la salinidad, pues miden el peso de todas las sustancias disueltas en el agua. En el Sistema Internacional de Unidades se acostumbra expresar el resultado en [mg/L]. Para el cálculo de los SDT únicamente se suma la concentración

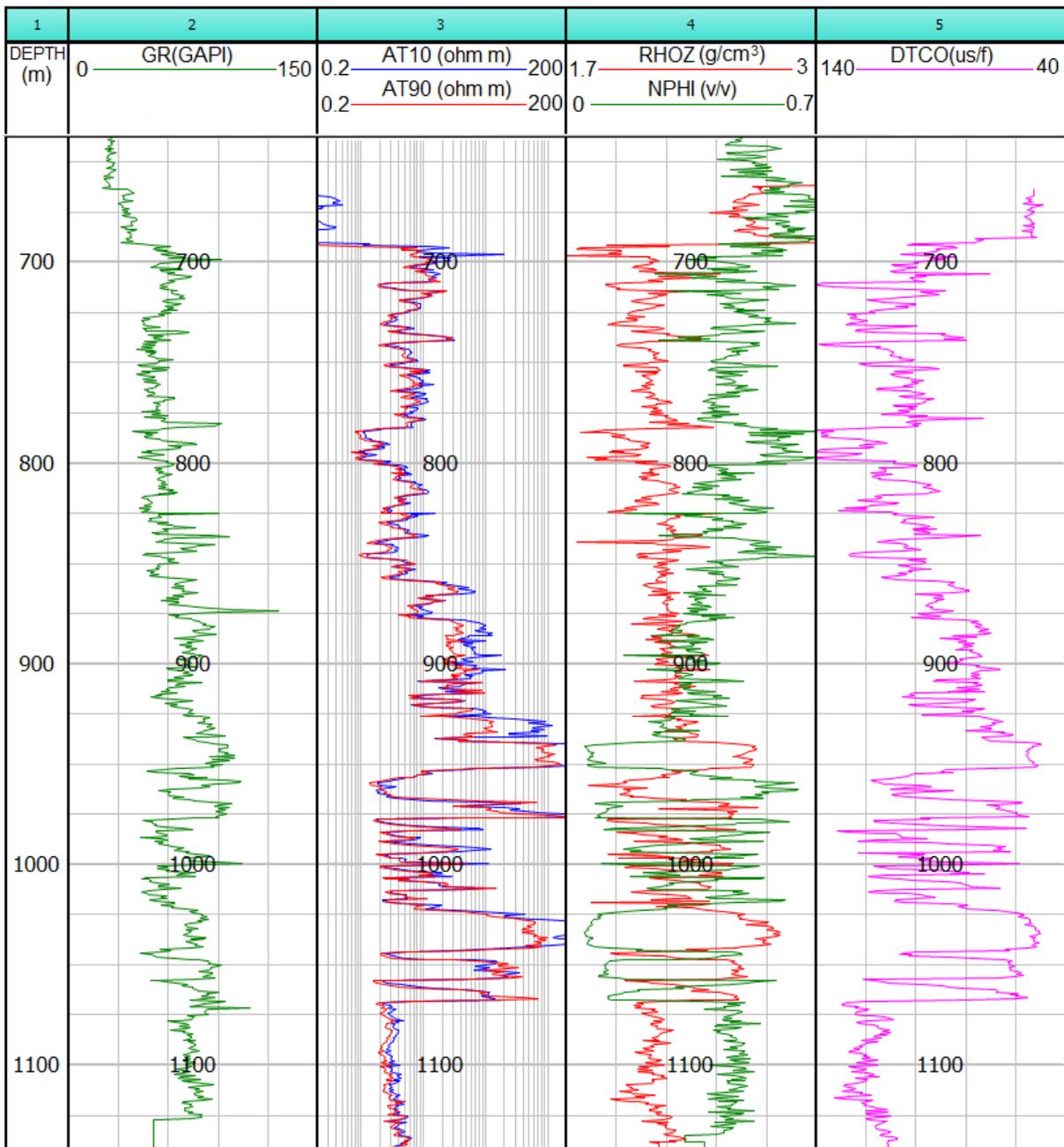


Figura 31. Curvas utilizadas para realizar la interpretación del pozo Agrícola Oriental 2B con base en las respuestas cualitativas de cada registro de 697 a 1151 m.

Análisis de la estratigrafía de los pozos profundos Agrícola Oriental 2B y 2C

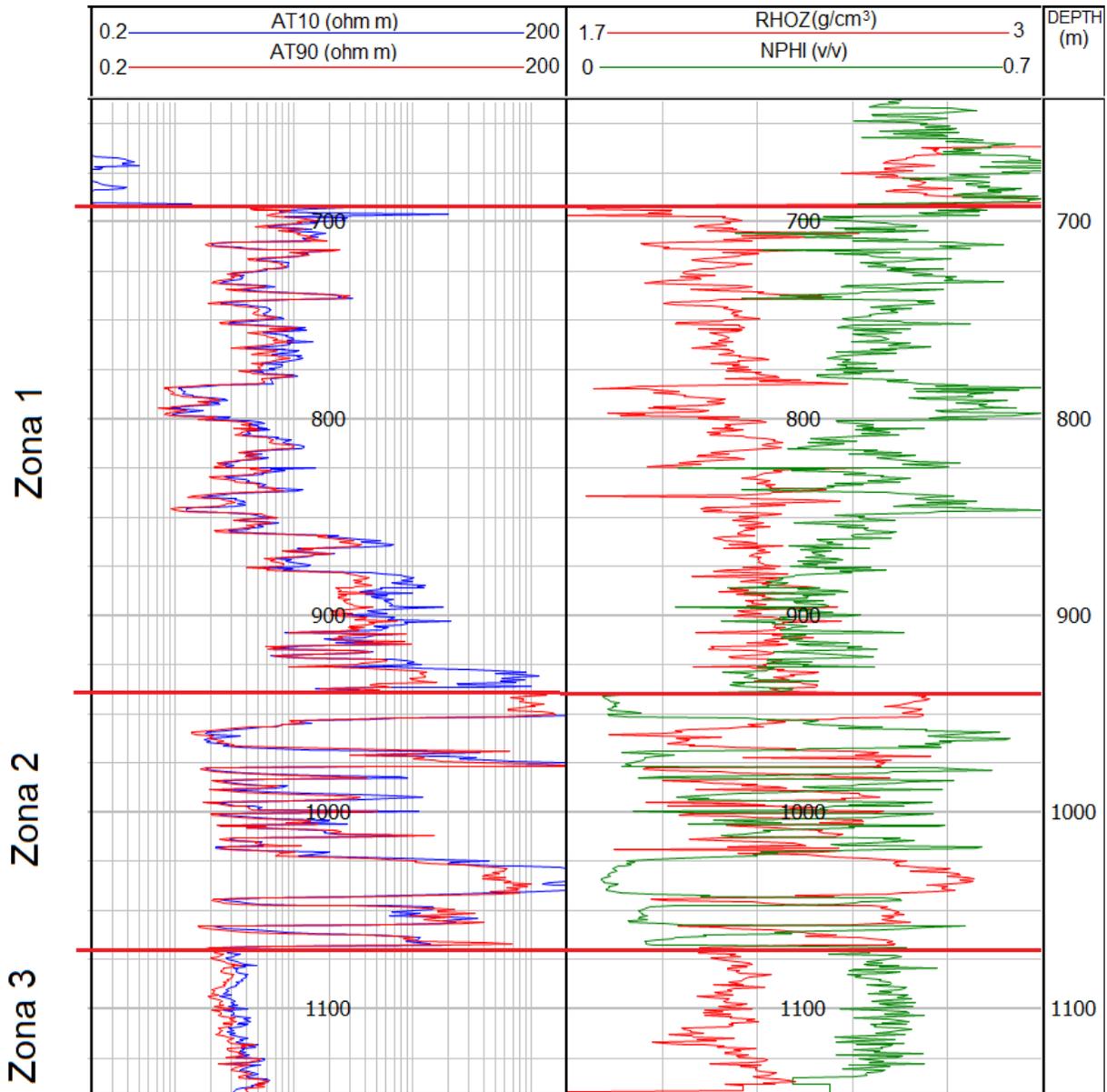


Figura 32. Zonas preliminares identificadas en los registros resistivos y Neutrón Densidad.

de iones en el agua y el resultado es considerado de SDT.

Se tomaron dos muestras del agua expulsada por el pozo AO2B (Figura 30) durante el tiempo en que se mantuvo abierto el 26 de agosto. Sin embargo, se considera que las muestras de agua pertenecen a la salmuera que aún se encontraba dentro del pozo y que fue expulsada por la presión generada en el mismo. Las muestras se remitieron al LANGEM del IGL. La primera muestra se tomó del agua desfogada almacenada en las pipas que estaban disponibles para el transporte de agua. La segunda muestra se tomó

directamente de la línea de desfogue a la alberca de contención.

Los análisis de estas muestras fueron hechos por cromatografía iónica, cuyos resultados se presentan en las Tabla 3.2.

Es importante esperar al desarrollo de ambos pozos para realizar un muestreo adecuado. Se ha estimado que el gas a presión en ambos pozos dificulta la aportación de agua de la formación hacia el desfogue. Actualmente se continúa a la espera de que el desarrollo pueda llevarse a cabo.

## Análisis de la estratigrafía de los pozos profundos Agrícola Oriental 2B y 2C

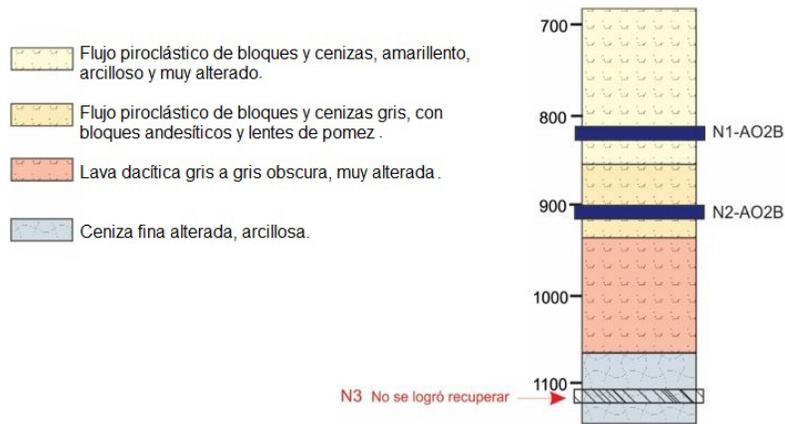


Figura 33. Interpretación cualitativa del primer registro geofísico de pozo.

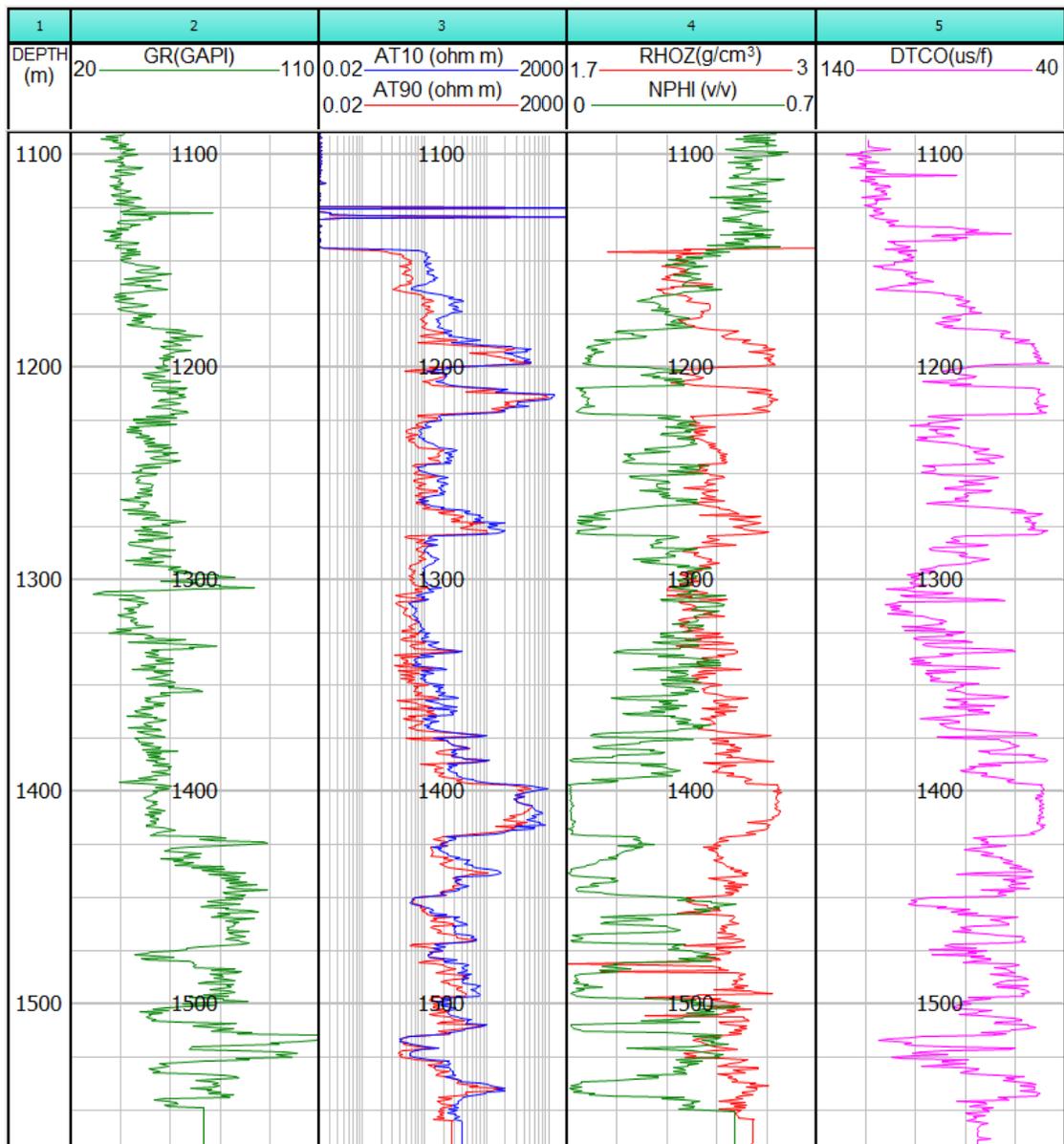


Figura 34. Curvas utilizadas para realizar la primera interpretación del pozo con base en las respuestas cualitativas de cada registro. Registro de la segunda etapa con un intervalo de los 1093 a los 1563 m de profundidad.

## Análisis de la estratigrafía de los pozos profundos Agrícola Oriental 2B y 2C

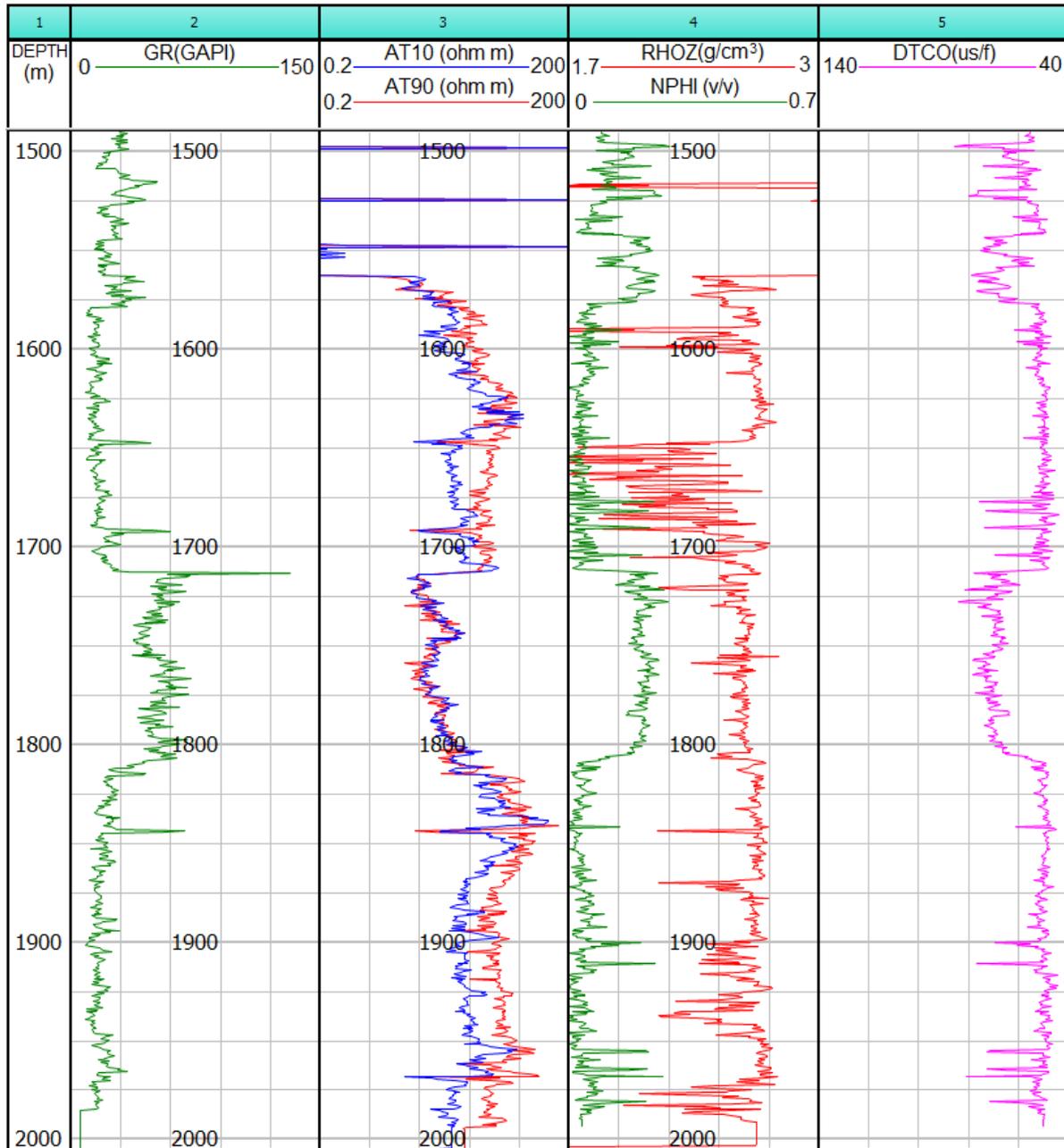


Figura 35. Curvas utilizadas para realizar la primera interpretación del pozo con base en las respuestas cualitativas de cada registro. Registro de la tercera etapa con un intervalo de los 1570 a los 2010 m de profundidad.

### 4. INTERPRETACIÓN DEL REGISTRO GEOFÍSICO DEL POZO PROPORCIONADO POR PEMEX

#### 4.1 INTERPRETACIÓN CUALITATIVA

Para realizar la interpretación cualitativa de la primera etapa del registro del pozo AO2B (697 a 1151 m), se hizo un análisis detallado de las curvas disponibles en cada registro para elegir un juego de curvas que brindaran la mayor información de los cambios litológicos y sus

características físicas. Las curvas seleccionadas fueron las curvas de resistividad profunda (AT90) y somera (AT10), GR, Sónico (DTCO), Densidad Neutrón (RHOZ) y porosidad neutrón (NPHI).

A través del registro eléctrico y CNL del pozo AO2B pueden delimitarse 3 zonas con características petrofísicas similares (Figura 32). La primera zona corresponde a una zona de baja resistividad, cuyo grado de compactación cambia con la profundidad, esto se observa en los cambios

Análisis de la estratigrafía de los pozos profundos Agrícola Oriental 2B y 2C

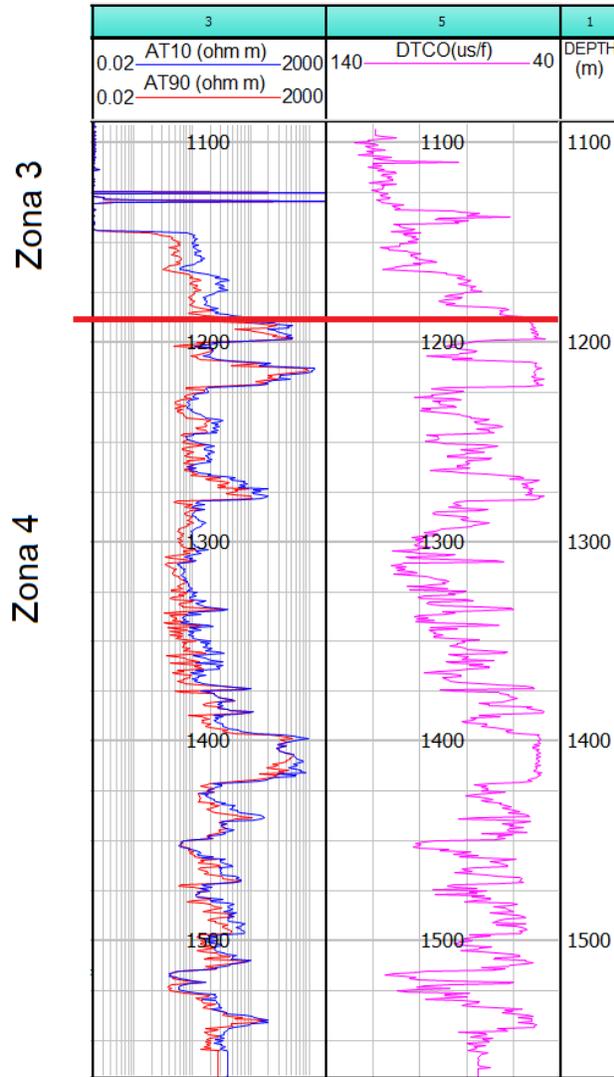


Figura 36. Zonas preliminares identificadas en los registros resistivos y Neutrón Densidad.

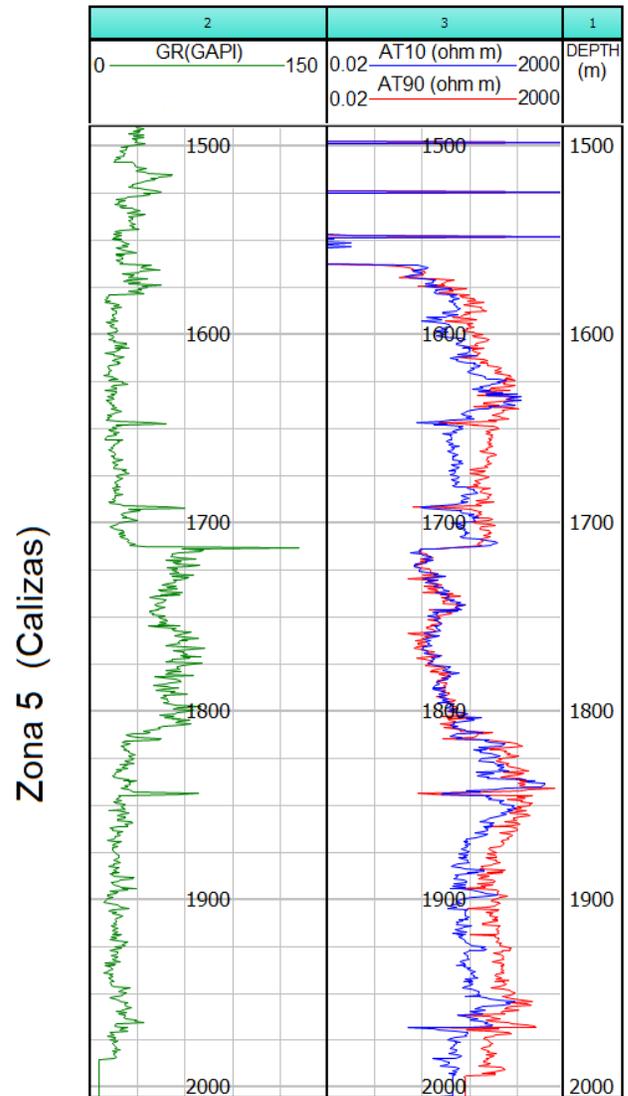


Figura 37. Zonas preliminares identificadas en los registros resistivos y Neutrón Compensado.

de la velocidad en el registro DTCO y en la disminución en la curva de NPHI. La zona 2 corresponde a una secuencia cuya respuesta es heterogénea, cambiando de valores bajos a altos en la resistividad y en los valores del registro RHOZ (Figura 32). Por último, la zona 3 se caracteriza por ser una zona más homogénea de acuerdo a la respuesta en cada una de las curvas utilizadas.

Con base en las muestras de canal y lo observado en los núcleos N1-AO2B y N2-AO2B fue posible ajustar la columna preliminar y nombrar las secuencias observadas en el registro. El resultado preliminar de la interpretación se muestra en la Figura 33.

Para realizar la interpretación cualitativa de la segunda etapa del registro de pozo (1093 a 1567 m), se hizo un análisis detallado de las curvas disponibles en cada registro

para elegir un juego de curvas que brindaran la mayor información de los cambios litológicos y sus características físicas. Las curvas seleccionadas fueron similares a las elegidas durante la primera etapa, en este caso las curvas de AT10, AT90, GR, RHOZ y DTCO (Figura 34 y 35).

La segunda etapa del registro geofísico muestra el final de la zona 3 descrita en el registro de la primera etapa. El cambio respecto a la etapa 4 se observa por el aumento en el registro de resistividad y disminución en los valores del registro DTCO. Esta zona de cambio se caracteriza por segmentos en los que se presentan elevados valores de resistividad y valores bajos en el registro DTCO. Además de cambios menos notorios en el registro de GR y RHOZ. Esta zona (la cuarta, Figura 36), por sus características heterogéneas se clasifica en una sola formación que va

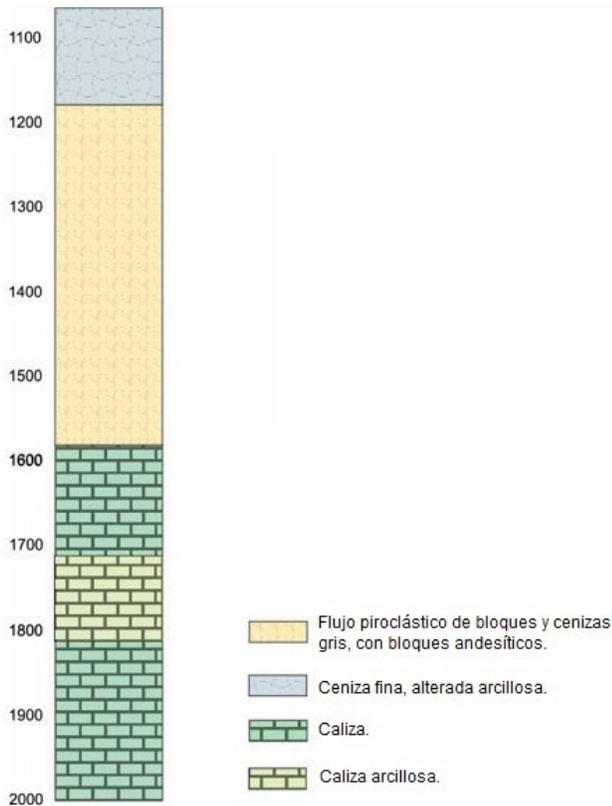


Figura 38. Interpretación cualitativa del registro geofísico del pozo AO2B.

desde 1190 m hasta el contacto con las calizas en los 1580 m. En este intervalo se observan cambios abruptos en los valores de resistividad a los 1190, 1215, 1270, 1400 y 1570 m que se correlaciona con bloques de lava que no se han definido en composición o si se tratan de algún otro cambio en la litología.

Por otra parte, la última etapa del registro incluye el contacto entre la última secuencia volcánica (zona 4) y las formaciones calcáreas. En este caso, la zona 5 se caracteriza por un aumento en los valores de resistividad y un cambio significativo y contrastante en el registro de GR (Figura 37). Puede observarse entre 1700 y 1800 m un cambio en los valores del registro GR, que se correlaciona con un contenido mayor de arcillas.

Con base en las muestras de canal y lo observado en los núcleos N1-AO2B y N2-AO2B, fue posible ajustar la columna preliminar y nombrar las secuencias observadas en el registro. El resultado preliminar de la interpretación se muestra en la Figura 38.

## 4.2 INTERPRETACIÓN CUANTITATIVA

Para la generación de los análisis de grupos de las 3 etapas de los pozos AO2B y AO2C, se utilizó el software Interactive Petrophysics y la metodología descrita en los informes parciales anteriores.

El resultado generado por el software consiste en agrupar unidades litológicas con características similares de acuerdo a las propiedades físicas leídas por cada herramienta. De esta manera se tiene como respuesta una clasificación preliminar de facies que debe ser cotejada posteriormente con las muestras de canal y los núcleos.

### 4.2.1 Primera etapa del pozo AO2B

Tal como se presentó en noviembre, a continuación, se muestran los análisis de grupos generados por cada una de las etapas de ambos pozos y un gráfico de clasificación preliminar de acuerdo a las propiedades físicas medidas considerando que las rocas son volcánicas. La metodología para la realización de los gráficos se muestra en el Anexo 7. La Figura 39 muestra el análisis de grupos de la primera etapa del pozo AO2B.

Se debe tomar en consideración que se realizaron los gráficos de dispersión de acuerdo a las curvas que fueron dadas por el SACMEX. Lo anterior con el objetivo de dar una clasificación preliminar de roca y de tipo de depósito encontrado en las muestras que se analizaron.

La relación que existe entre Rayos gamma y Resistividad total es un gráfico utilizado para clasificar a las rocas volcánicas de acuerdo al tipo de depósito. En la Figura 40 existen nubes de puntos que en principio cotejan que son rocas diferentes.

Un gráfico utilizado con frecuencia es N vs. M, el cual es una técnica que fue introducida para ayudar a interpretar formaciones con litologías complejas (Burke *et al.*, 1969). El método maneja información simultánea de los registros Neutrón, Densidad y Sónico de los que pueden obtenerse dos parámetros de porosidad independientes, M (porosidad de matriz normalizada por el registro de densidad) y N (porosidad total) mediante las siguientes ecuaciones:

$$M = \frac{\Delta t_f - \Delta t}{\rho_B - \rho_f} * 0.01$$

$$N = \frac{(\phi_N)_f - \phi_N}{\rho_B - \rho_f}$$

Análisis de la estratigrafía de los pozos profundos Agrícola Oriental 2B y 2C

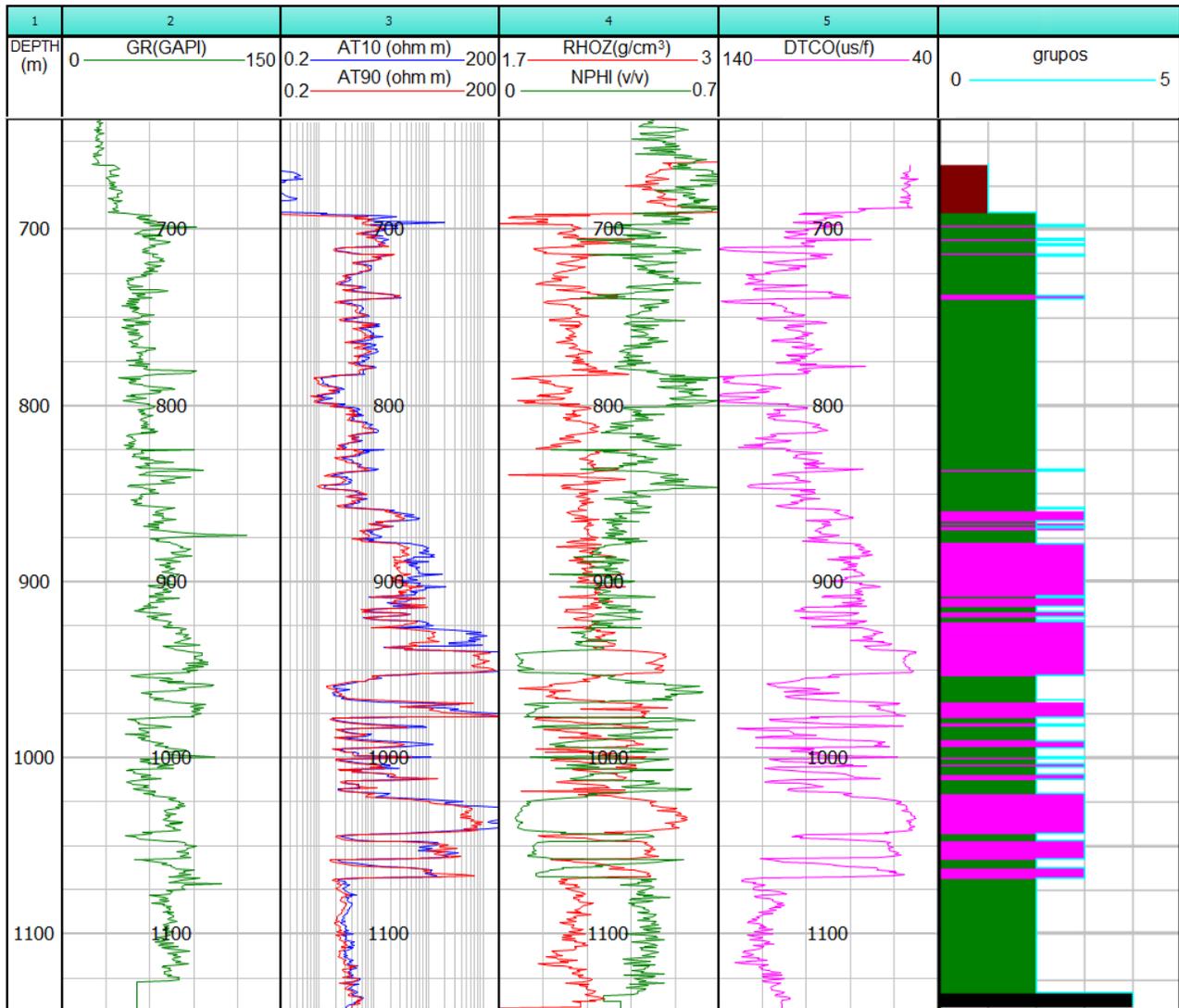


Figura 39. Curvas utilizadas para realizar la primera interpretación del pozo con base en las respuestas cualitativas de cada registro. Registro de la tercera etapa con un intervalo de los 1570 a los 2010 m de profundidad.

$\Delta t$ = Tiempo de tránsito medido por el registro sísmico.

$\Delta t_f$  = Tiempo de tránsito del fluido de perforación; constante utilizada de 189 US/Ft.

$\rho_b$ = Densidad medida por la herramienta.

$\rho_f$ = Densidad del fluido de perforación, el cual es de 1.12 g/cm<sup>3</sup>.

$\Phi_N$ = Porosidad Neutrón medida por la herramienta.

$(\Phi_N)_f$ = Se utiliza como constante el valor de 1 para el fluido de perforación.

Para este caso, N no es afectada por la presencia de porosidad secundaria, mientras que la ecuación para M aumentará en la medida que haya más porosidad

secundaria. El gráfico correspondiente se observa en la Figura 41. Cabe mencionar que aquí se encuentran todos los datos correspondientes al registro.

La relación que existe entre Porosidad Neutrón y Densidad ayuda a diferenciar a las rocas de acuerdo a sus propiedades petrofísicas.

La Figura 42 es un ejemplo del gráfico utilizado. Sin embargo, en este momento, asignarle una clasificación de acuerdo a estas propiedades resulta prematuro.

La relación entre el Registro Sísmico y la Densidad se ve en la Figura 43 y permitirá tener una idea de los parámetros petrofísicos de las rocas.

Análisis de la estratigrafía de los pozos profundos Agrícola Oriental 2B y 2C

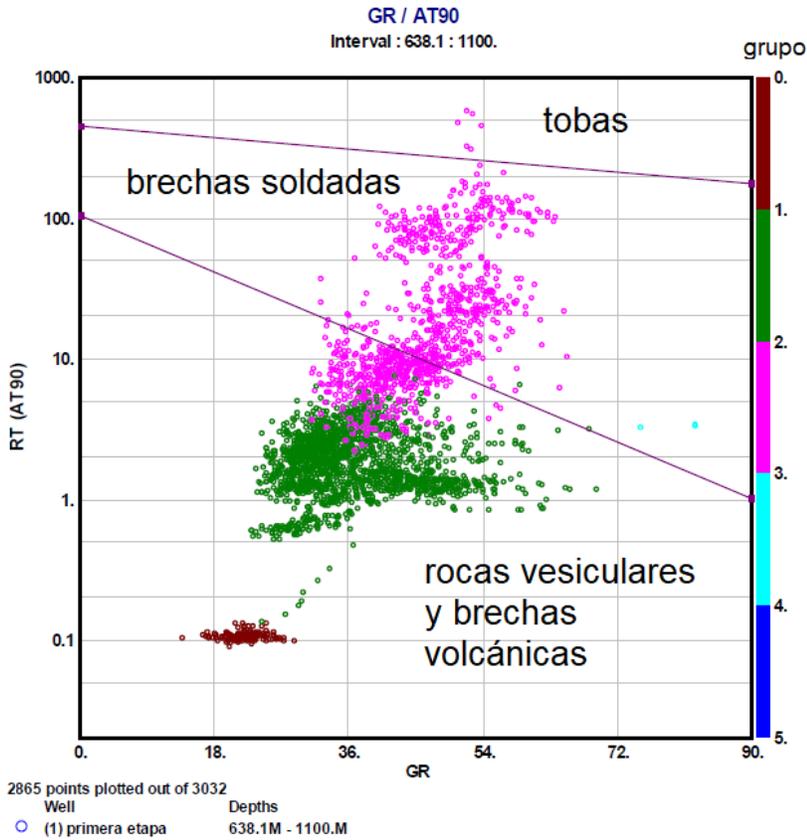


Figura 40. Gráfico donde se muestra la relación entre GR y AT90 (Rayos gamma y Resistividad total) en el intervalo de 638.1 a 1100 m de profundidad.

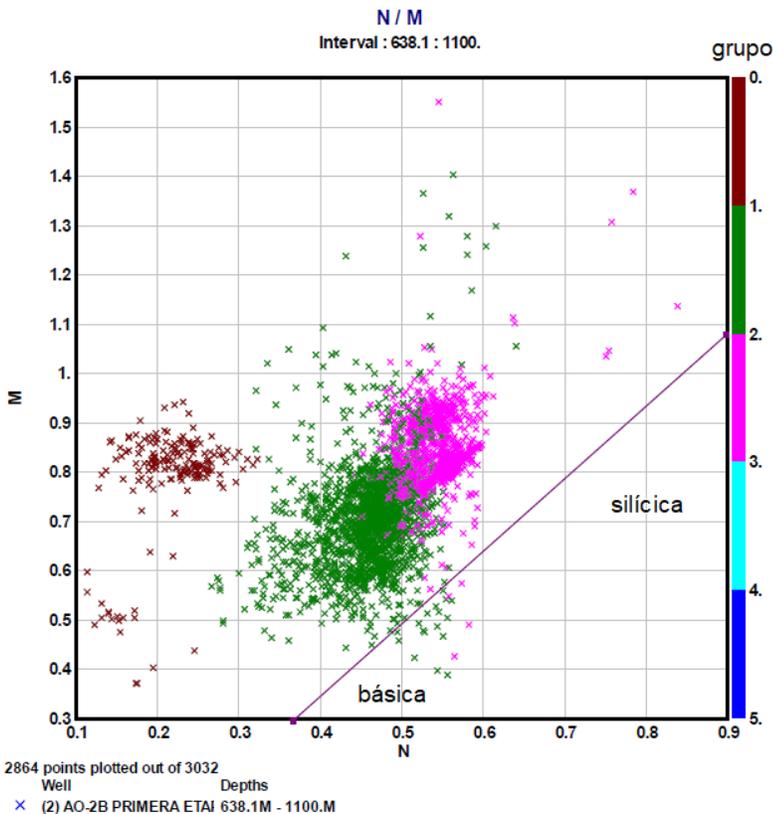


Figura 41. Gráfico donde se muestra la relación entre N y M en el intervalo de 638.1 a 1100 m de profundidad.

Análisis de la estratigrafía de los pozos profundos Agrícola Oriental 2B y 2C

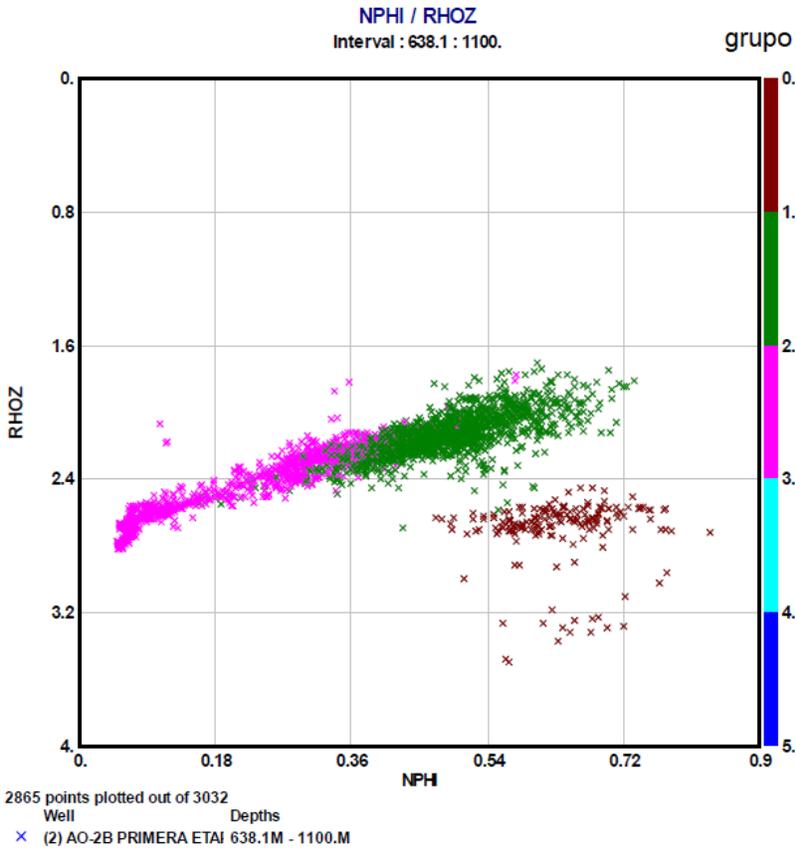


Figura 42. Gráfico donde se muestra la relación entre NPHI y RHOZ en un intervalo de 638.1 a 1143.46 m de profundidad.

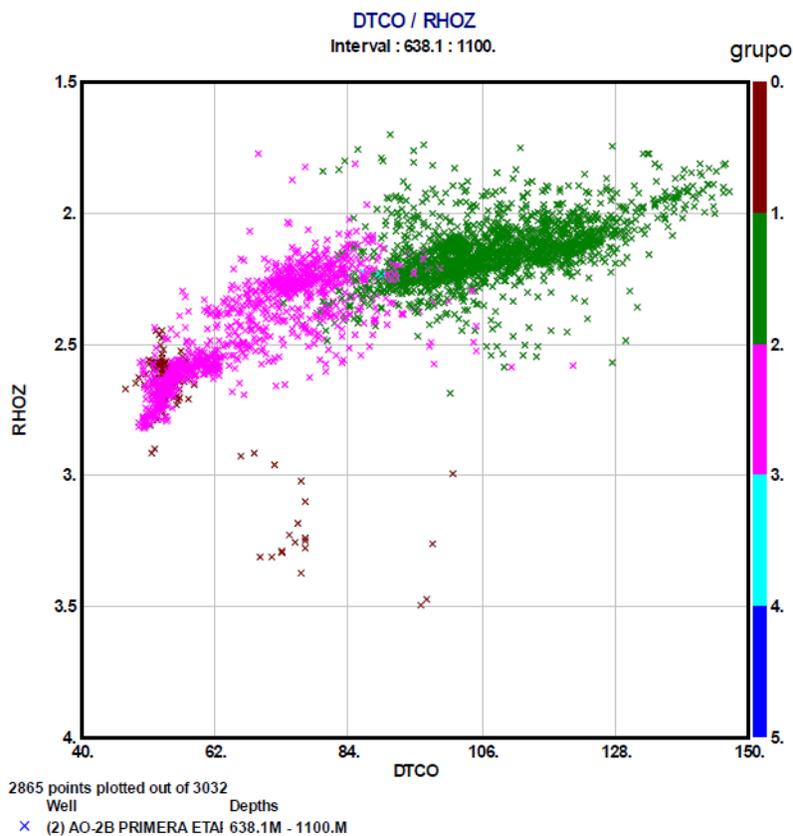


Figura 43. Gráfico donde se muestra la relación entre DTCO y RHOZ en el intervalo de 638.1 a 1100 m de profundidad.

## Análisis de la estratigrafía de los pozos profundos Agrícola Oriental 2B y 2C

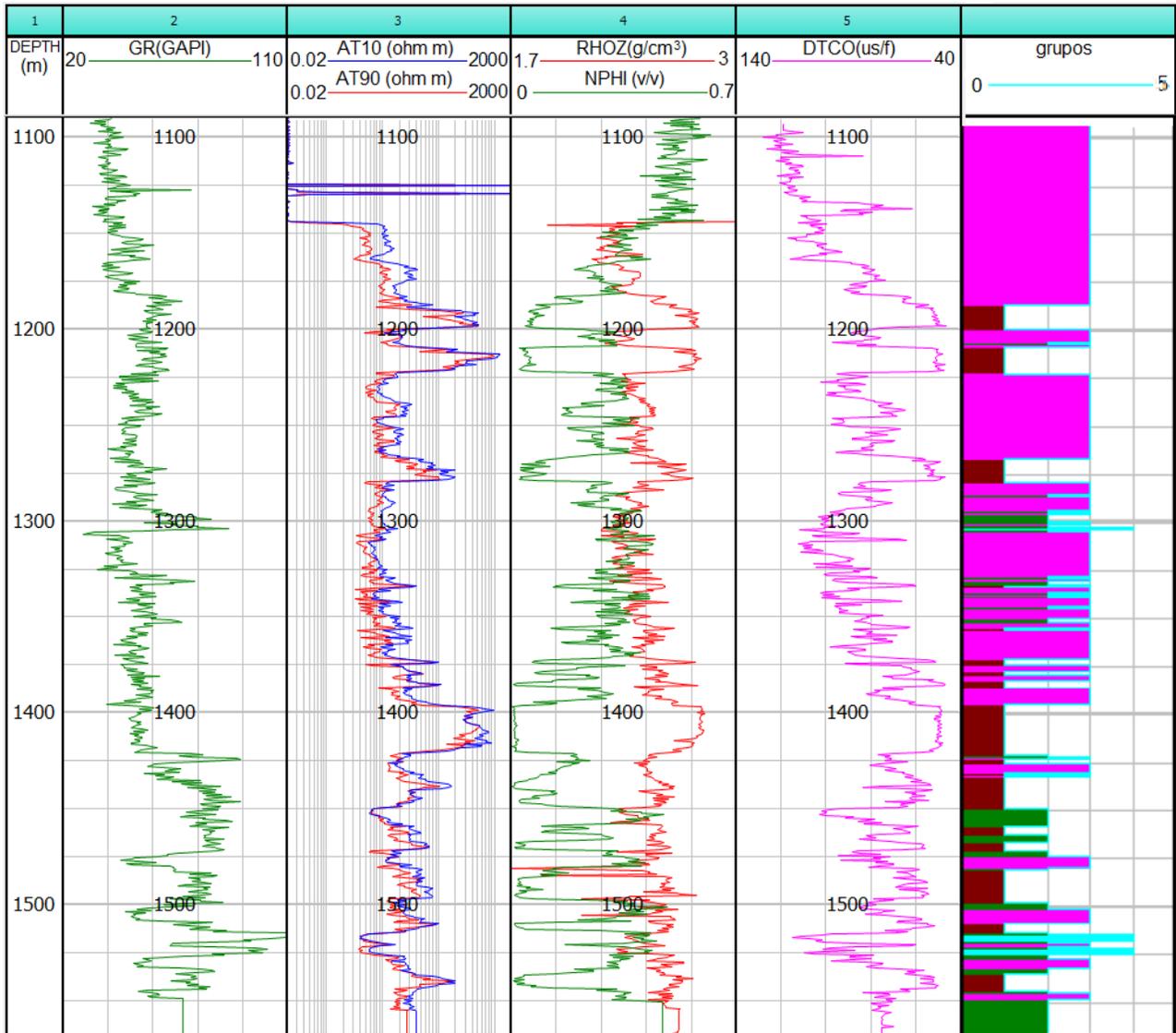


Figura 44. Análisis de grupos correspondiente a la segunda etapa de perforación.

### 4.2.2 Segunda etapa del pozo AO2B

La segunda etapa de perforación del pozo es muy importante, pues su profundidad corresponde con la del pozo AO2C. Por ello, mientras más datos se tengan, mejor será la correlación de la información obtenida entre ambos pozos.

En el reporte de noviembre se realizó una comparación entre las curvas GR y resistivas de los pozos a profundidades similares, con el objetivo de mostrar las zonas que no se pueden correlacionar. La espectroscopia de rayos gamma permitiría asegurar si estas anomalías son ocasionadas por un cambio en la composición química de la roca o si solo se debe a alteración de la misma. Sin embargo, el pozo AO2B no cuenta con el registro de espectroscopia, lo cual limita

una correlación precisa entre ambos pozos.

La Figura 44 muestra el análisis de grupos correspondiente a la segunda etapa del pozo AO2B que tiene un rango de profundidad que va de los 1100 a los 1560 m.

La relación que existe entre el registro GR y resistividad total se utiliza para clasificar el tipo de unidad de rocas volcánicas. La Figura 45 muestra nubes de puntos que en principio cotejan diferentes rocas volcánicas.

La relación N / M permite ver la correspondencia entre las porosidades y el tipo de roca que se está analizando. La Figura 46 se encuentra en una zona que corresponde a rocas volcánicas.

La relación que existe entre la porosidad y la densidad

Análisis de la estratigrafía de los pozos profundos Agrícola Oriental 2B y 2C

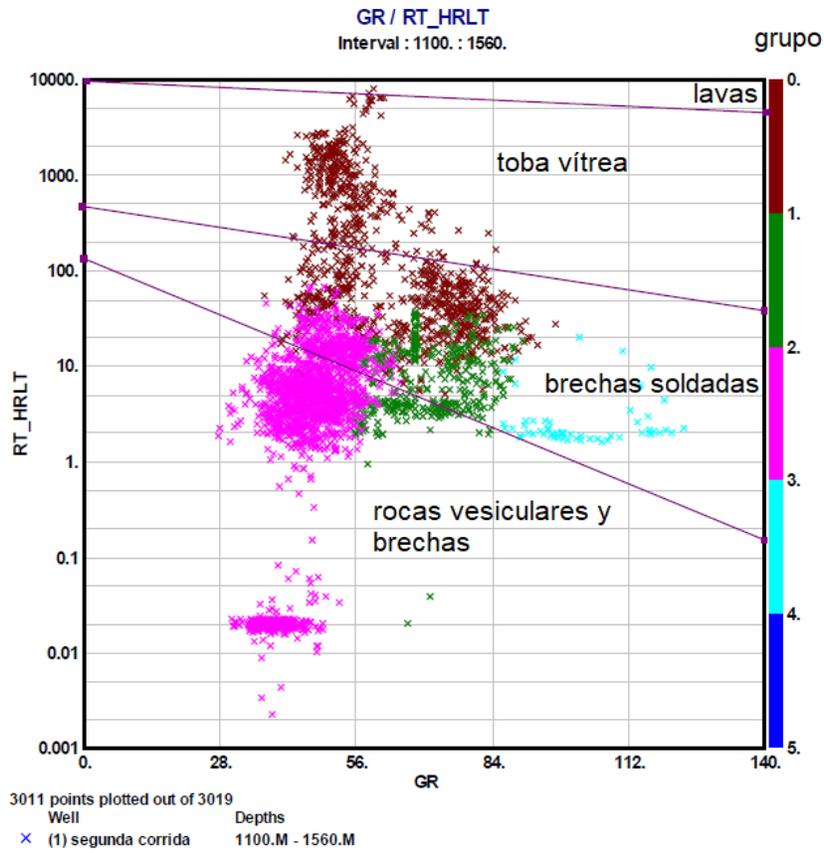


Figura 45. Gráfico donde se muestra la relación entre GR y RT (Rayos Gamma y Resistividad Total) en el intervalo de 1100 a 1560 m de profundidad.

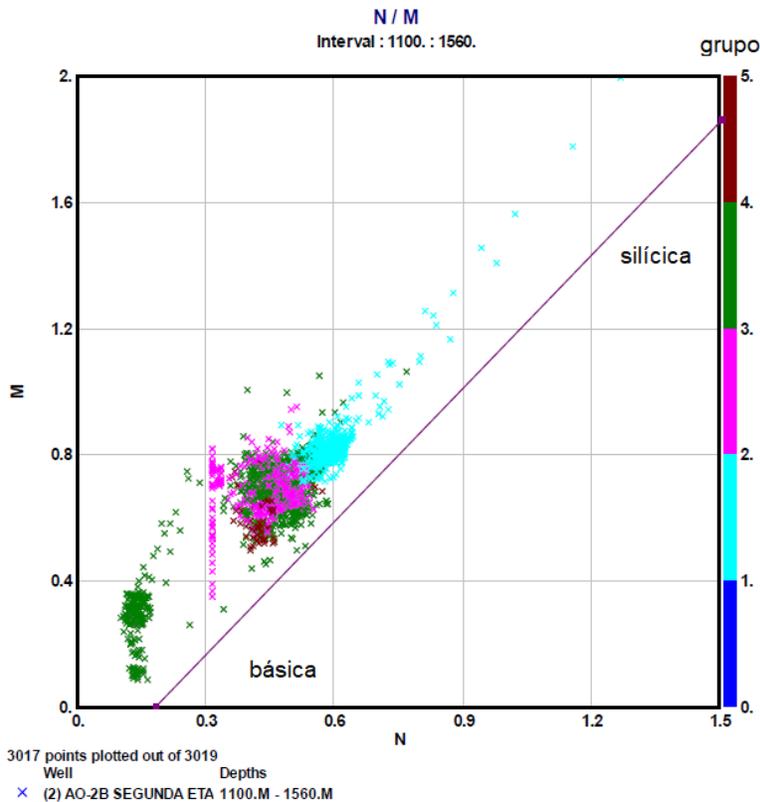


Figura 46. Gráfico donde se muestra la relación entre N y M en el intervalo de 1100 a 1560 m de profundidad.

Análisis de la estratigrafía de los pozos profundos Agrícola Oriental 2B y 2C

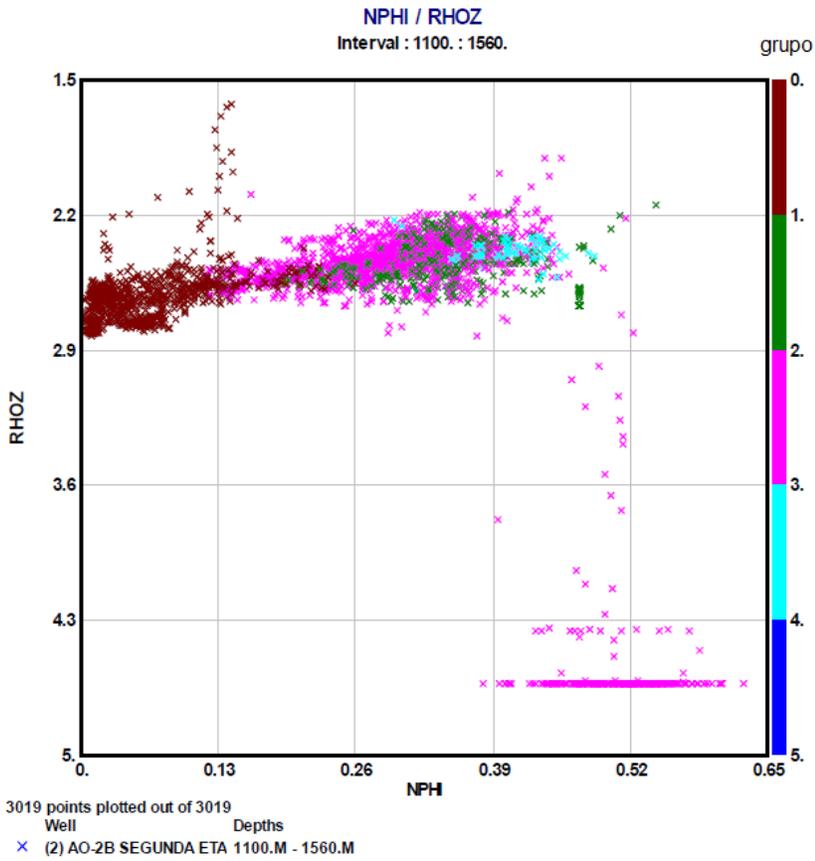


Figura 47. Gráfico donde se muestra la relación entre NPHI y RHOZ en el intervalo de 1100 a 1560 m de profundidad.

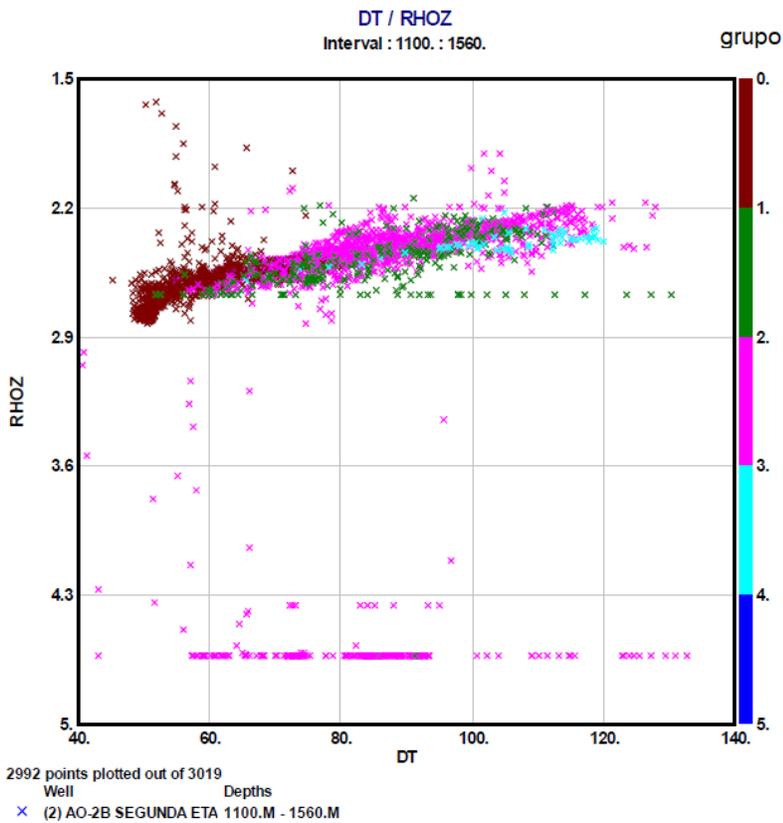


Figura 48. Gráfico donde se muestra la relación entre DTCO y RHOZ (Sónico Compresional y Densidad) en el intervalo de 1100 a 1560 m de profundidad.

## Análisis de la estratigrafía de los pozos profundos Agrícola Oriental 2B y 2C

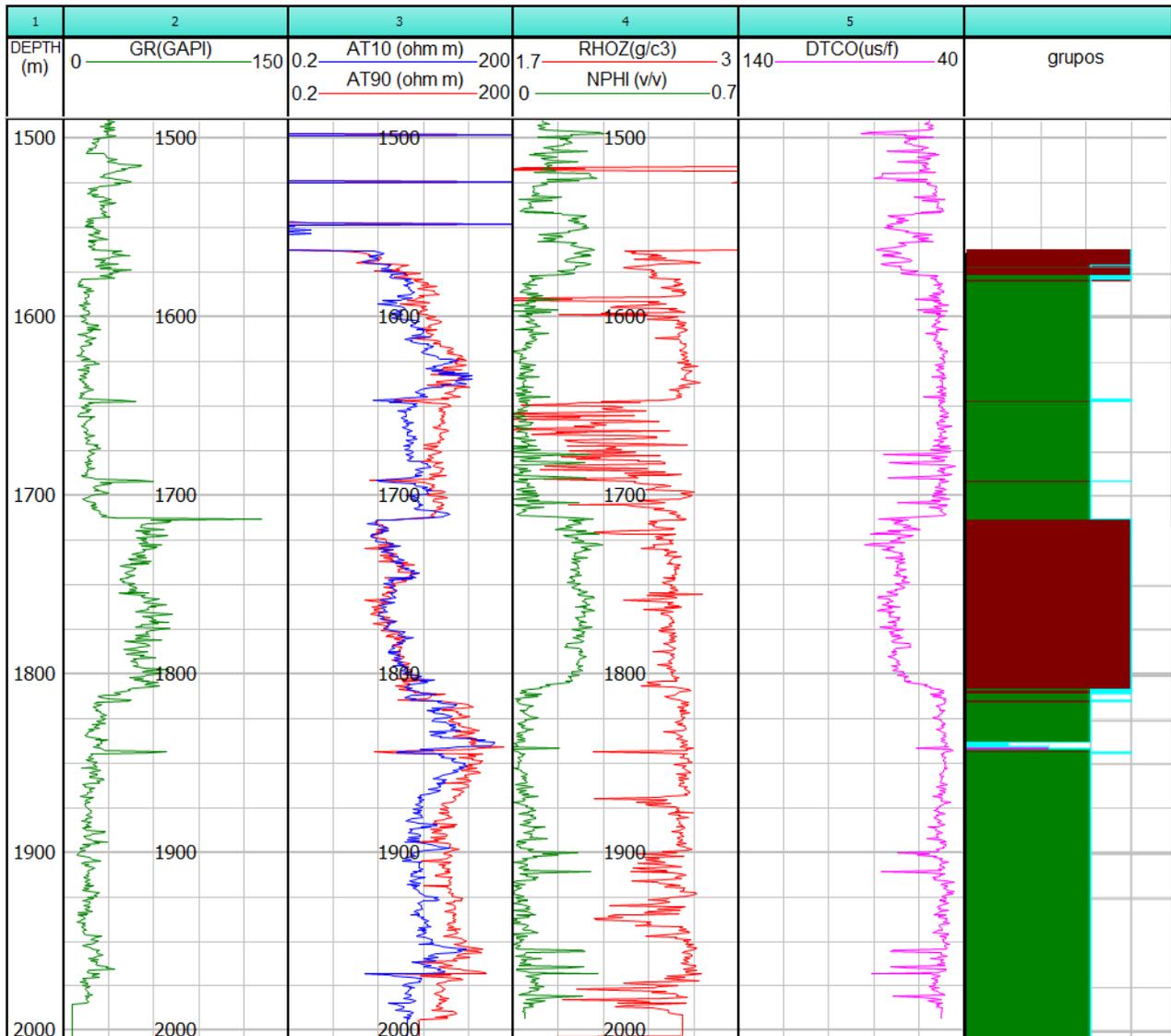


Figura 49. Análisis de grupos generado a partir del tercer tramo del pozo AO2B.

es otro método que ayuda a calificar a las rocas de acuerdo a sus propiedades petrofísicas. La Figura 47 es otro ejemplo del gráfico utilizado para la determinación del tipo de roca.

La relación entre el registro sísmico y la densidad se muestra en la Figura 48 y permitirá tener una idea de los parámetros petrofísicos de las rocas.

### 4.2.3 Tercera etapa del pozo AO2B

La tercera etapa del pozo AO2B corresponde a calizas y en la Figura 49 se muestra el análisis de grupos perteneciente al intervalo que de 1560 a 2004 m de profundidad.

La relación que existe entre Rayos gamma y Resistividad total permite diferenciar dos tipos de rocas de acuerdo a sus propiedades. Esto se observa en la Figura 50.

La relación que existe entre Porosidad Neutrón y Densidad es otro método que ayuda a diferenciar las rocas de acuerdo a sus propiedades petrofísicas. La Figura 51 es otro ejemplo del gráfico utilizado para la determinación del tipo de roca.

### 4.2.4 Pozo AO2C

El análisis de grupos que mejor se adaptó a las condiciones observadas en las muestras de canal se muestra en la Figura 52. Sin embargo, tanto las curvas como las pruebas para la generación del análisis de grupos se encuentra en el Anexo 8.

Existen algunos gráficos que permiten calificar las rocas volcánicas según la respuesta del registro de espectroscopia de rayos gamma. En el caso de las rocas sedimentarias,

Análisis de la estratigrafía de los pozos profundos Agrícola Oriental 2B y 2C

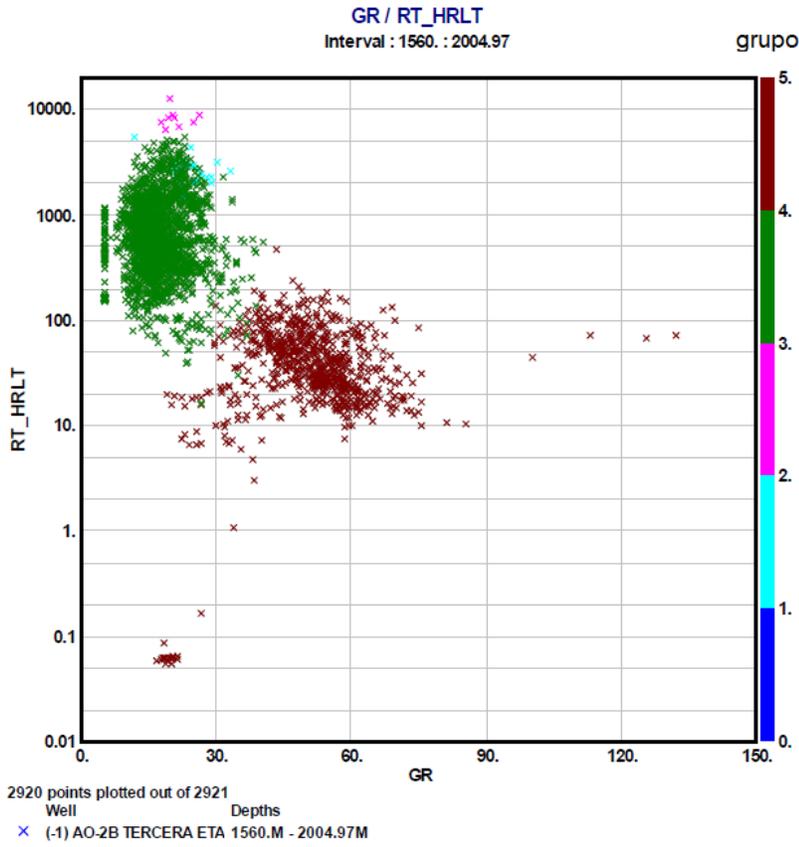


Figura 50. Gráfico donde se muestra la relación entre GR y RT (Rayos gamma y Resistividad total) a un intervalo de profundidad de 1560 a 2004.48 m.

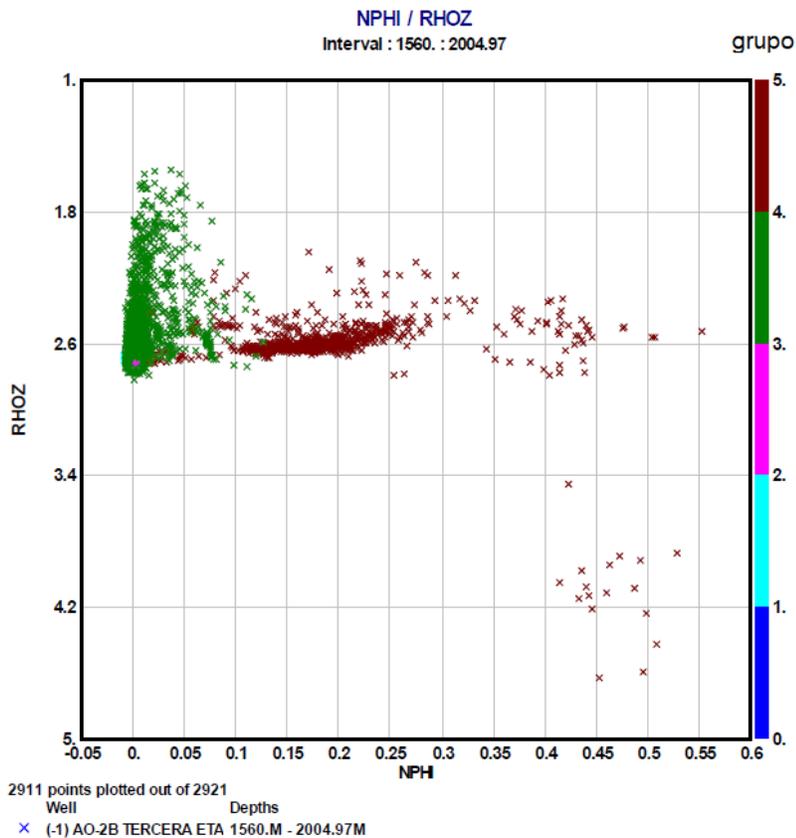


Figura 51. Gráfico donde se muestra la relación entre NPHI y RHOZ (Porosidad Neutrón y Densidad) en el intervalo de 1560 a 2004.97 m de profundidad.

## Análisis de la estratigrafía de los pozos profundos Agrícola Oriental 2B y 2C

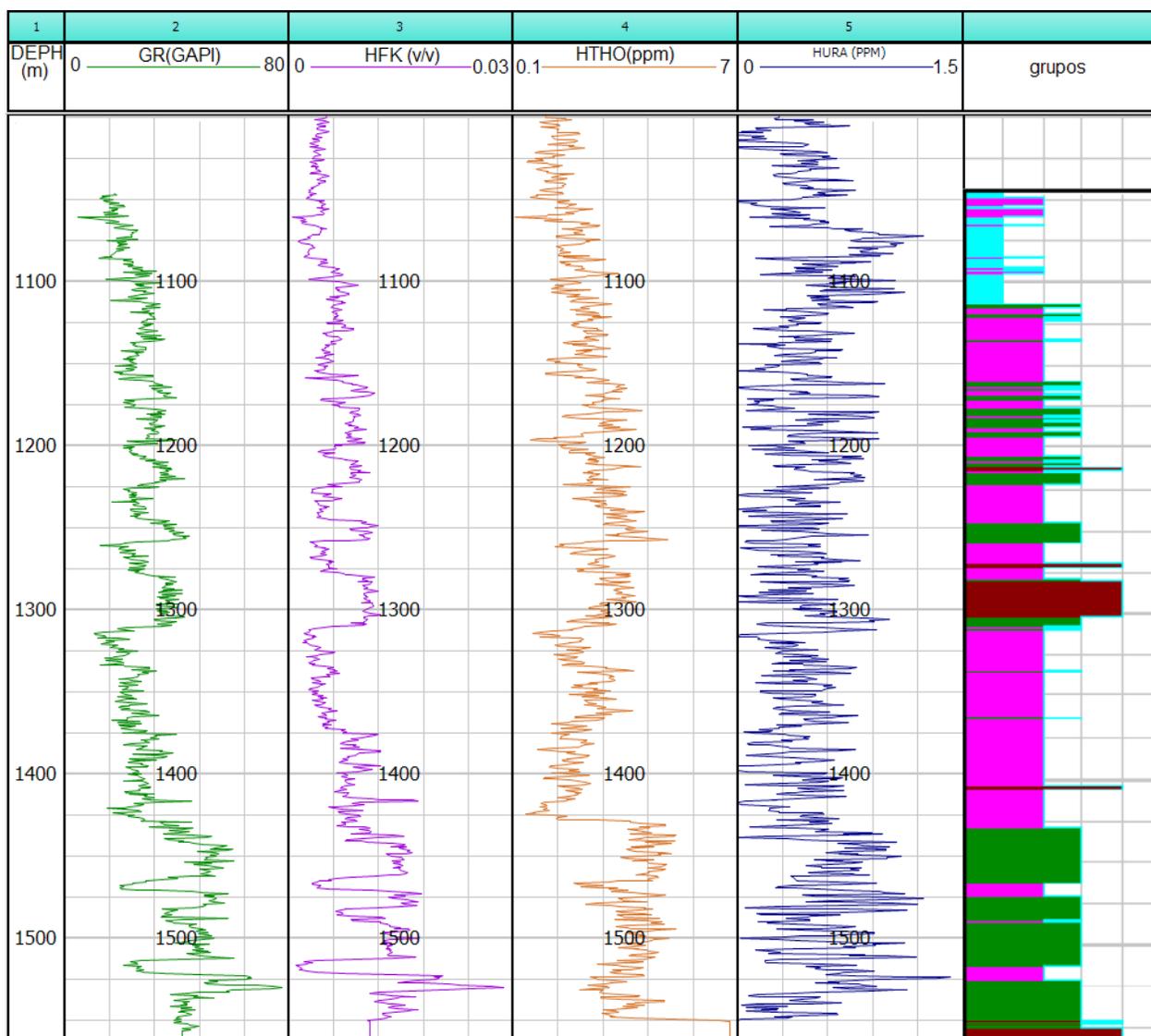


Figura 52. Configuración con mejores resultados (GR, HTHO, HURA y HTUR) para generar el análisis de grupos.

la espectroscopia de rayos gamma ayuda a identificar formaciones sucias con elementos radiactivos (Th y K) que tienden a concentrarse en arcillas y lutitas. Para las formaciones volcánicas los elementos contaminantes radiactivos presentes en cenizas o residuos de derrames pueden reflejar valores anómalos en las mediciones.

La mayor parte de la radiación por rayos gamma en la Tierra se origina por la desintegración de 3 isótopos radiactivos: Potasio 40 ( $K^{40}$ ), Uranio 238 ( $U^{238}$ ) y Torio 232 ( $Th^{232}$ ). Al desintegrarse, cada uno de estos elementos radiactivos lo hace con un nivel de energía constante y diferente entre sí, lo que permite ajustar ventanas de energía y determinar la concentración de cada uno de estos elementos (Bisbé, 2007). En la Figura 53 se muestra la relación que existe al graficar el contenido de K (HFK) vs.

concentración de Th.

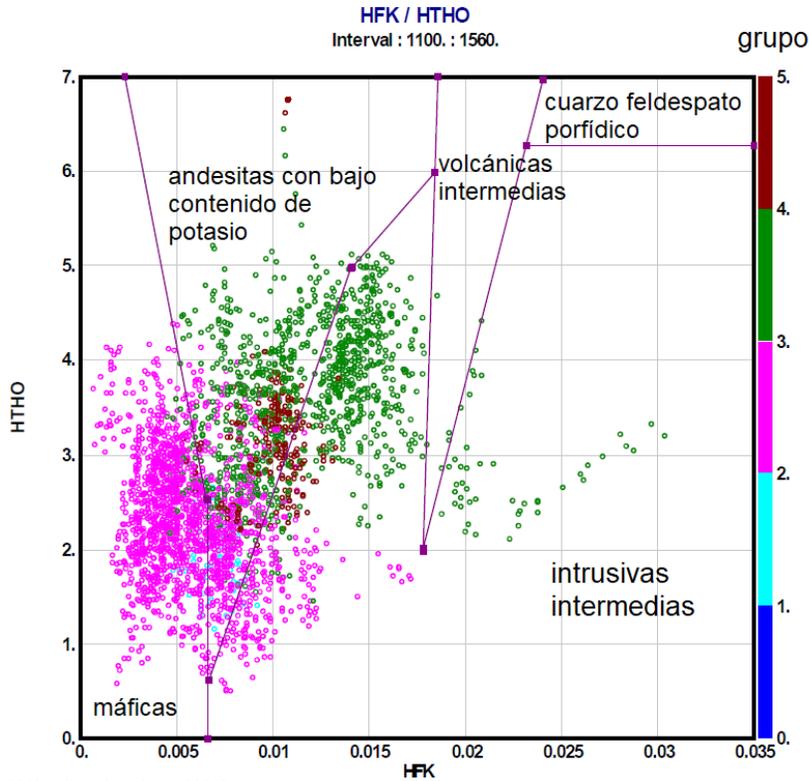
Con la espectroscopia de Rayos gamma se puede realizar el gráfico que se presenta en la Figura 54.

### 4.2.5 Correlación de los pozos AO2B y AO2C utilizando la metodología de agrupación de análisis de grupos

La correlación de los pozos AO2B y AO2C se realizó con la misma metodología de generación de análisis de grupos en el software IP. Las curvas comunes utilizadas entre ambos pozos son RT, RXO y GR (Resistividad Profunda, Resistividad Somera y Rayos gamma respectivamente). Este análisis se encuentra en el intervalo 1046.1 a 156.7 m de profundidad (Figura 55).

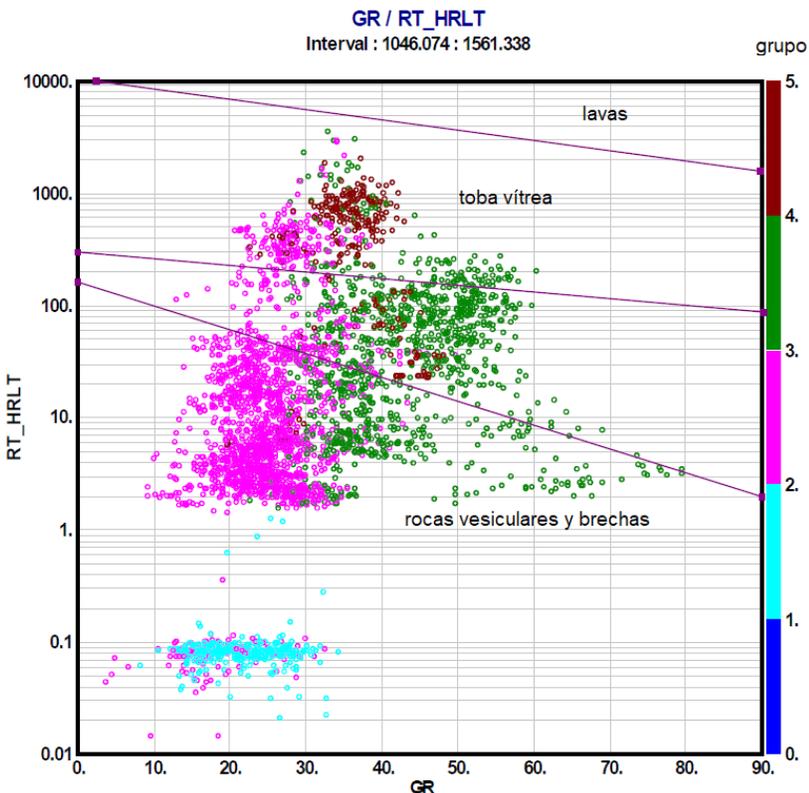
Las variaciones de la interpretación son debidas a que los registros de resistividad (somera y profunda) son

Análisis de la estratigrafía de los pozos profundos Agrícola Oriental 2B y 2C



3019 points plotted out of 3019  
Well: (2) AO-2C PRIMERA ETAI 1100.M - 1560.M  
Depths

Figura 53. Gráfico de K-Th para rocas ígneas del pozo AO2C, del intervalo de profundidad de 1046.0736 a 1561.338 m.



3374 points plotted out of 3382  
Well: (2) AO-2C PRIMERA ETAI 1046.07M - 1561.34M  
Depths

Figura 54. Gráfico en el que se muestra la relación de GR vs. RT para rocas ígneas del pozo AO2C en el intervalo de 1046 a 1561 m de profundidad.

## Análisis de la estratigrafía de los pozos profundos Agrícola Oriental 2B y 2C

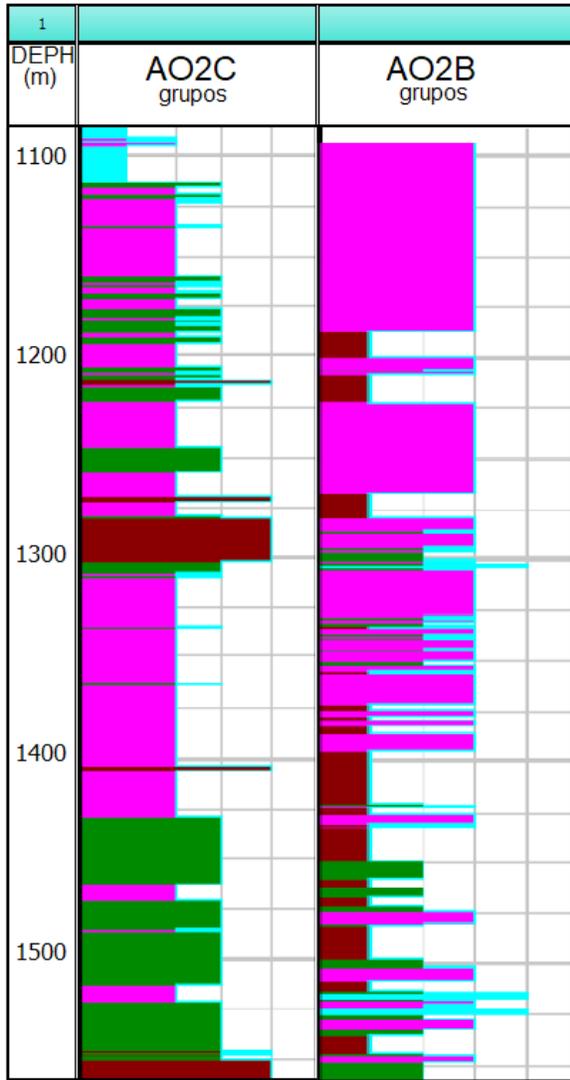


Figura 55. Variaciones de la interpretación entre los pozos AO2B y AO2C.

diferentes entre profundidades, pudiendo ser ocasionada por los accidentes y por la geología del subsuelo de la cuenca.

### 4.2.6 Comparativo de las curvas GR, TR y RXO entre los pozos AO2B y AO2C

Es evidente que la mayor parte de la interpretación generada entre ambas columnas no es concordante como se observa en la sección anterior. En las siguientes Figuras se hará un comparativo entre las curvas RT, RXO y GR.

Las curvas GR (Rayos gamma) muestran una diferencia evidente: en el pozo AO2B el intervalo de la respuesta se encuentra en un rango de 30 a 120 unidades GAPI; mientras que para el AO2C su rango se encuentra principalmente en el intervalo de 15 a 90 unidades API. Lo anterior únicamente permite hacer una correlación de acuerdo a la respuesta del registro como se ve en la Figura 56.

La respuesta correspondiente a las curvas de resistividad total posee anomalías que ocasionan que la correlación por análisis de grupos no sea del todo concordante, en la Figura 57 se nota que la respuesta del registro tiene valores en intervalos similares. Sin embargo, el perfil contiene rangos que no se corresponden entre uno y otro registro.

La respuesta de la resistividad somera se ve en la Figura 58, a esta profundidad se muestran anomalías en intervalos similares como se observó en el registro de Resistividad total.

En la Figura 59 se muestra el resultado del análisis cuantitativo en una sección completa del pozo, donde se buscó agrupar el resultado de la interpretación de las curvas

Este intervalo cuenta con una concordancia parcial entre ambos pozos.

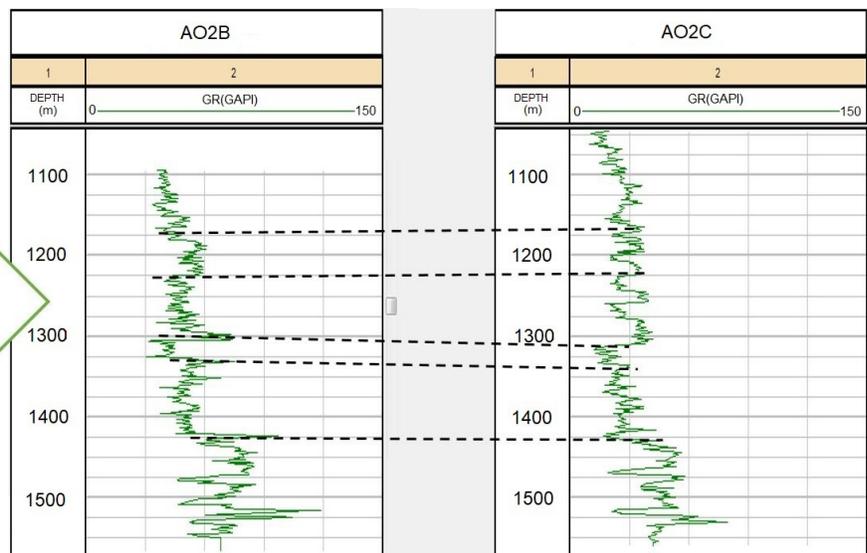


Figura 56. Correlación entre las curvas de Rayos gamma.

## Análisis de la estratigrafía de los pozos profundos Agrícola Oriental 2B y 2C

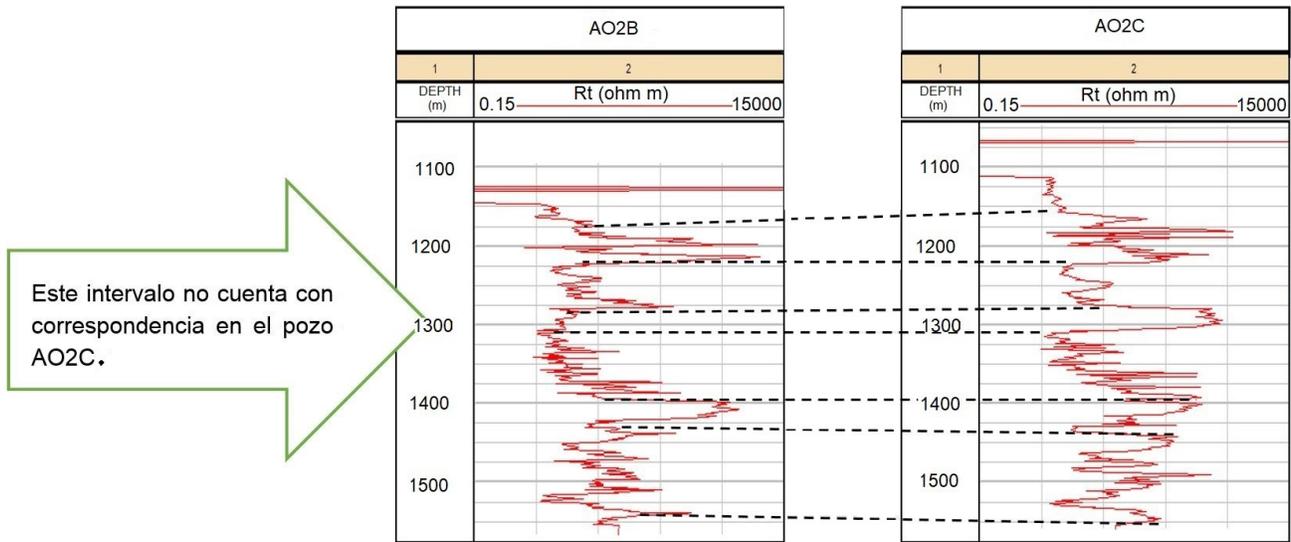


Figura 57. Correlación entre las curvas de Resistividad total (Rt).

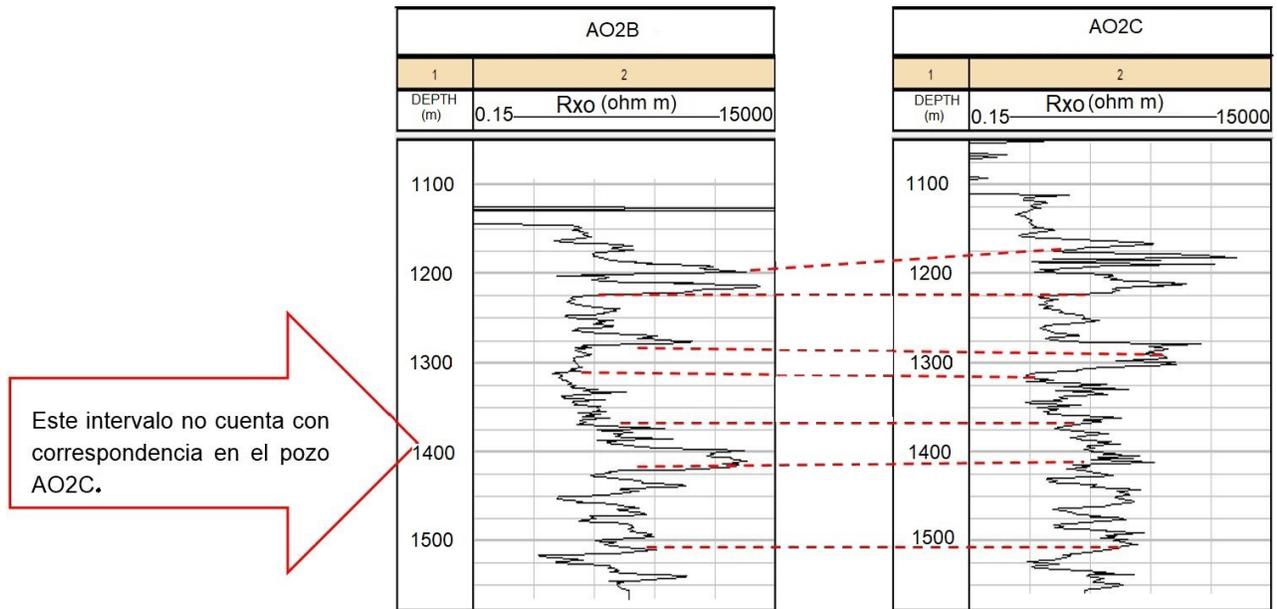


Figura 58. Correlación entre las curvas de Resistividad somera (Rxo).

del registro geofísico y correlacionarlas con los resultados obtenidos del análisis de las muestras de canal y los núcleos disponibles hasta la fecha.

Se puede observar que entre 750 y 850 m hay una secuencia de resistividades bajas, que corresponden a una secuencia de flujos piroclásticos de bloques y cenizas con un grado de alteración muy alto. Esta descripción es posible gracias a los resultados del análisis en el primer núcleo (N1-AO2B) y a las muestras de canal analizadas, confirmadas por en análisis cualitativo y cuantitativo del registro. Posteriormente se aprecia una disminución gradual en

la velocidad de la onda sónica, lo que es indicativo de una roca de características más compactas. El análisis del segundo núcleo (N2-AO2B) confirma el cambio de estas características, ya que se trata de un flujo piroclástico con un grado de alteración mucho menor al observado anteriormente.

Entre los 950 y 1070 m se observa un grupo heterogéneo con altos y bajos resistivos y cambios abruptos en el registro sísmico. Este grupo se correlaciona con un flujo piroclástico de bloques y cenizas, resultado del análisis de las muestras de canal.

Análisis de la estratigrafía de los pozos profundos Agrícola Oriental 2B y 2C

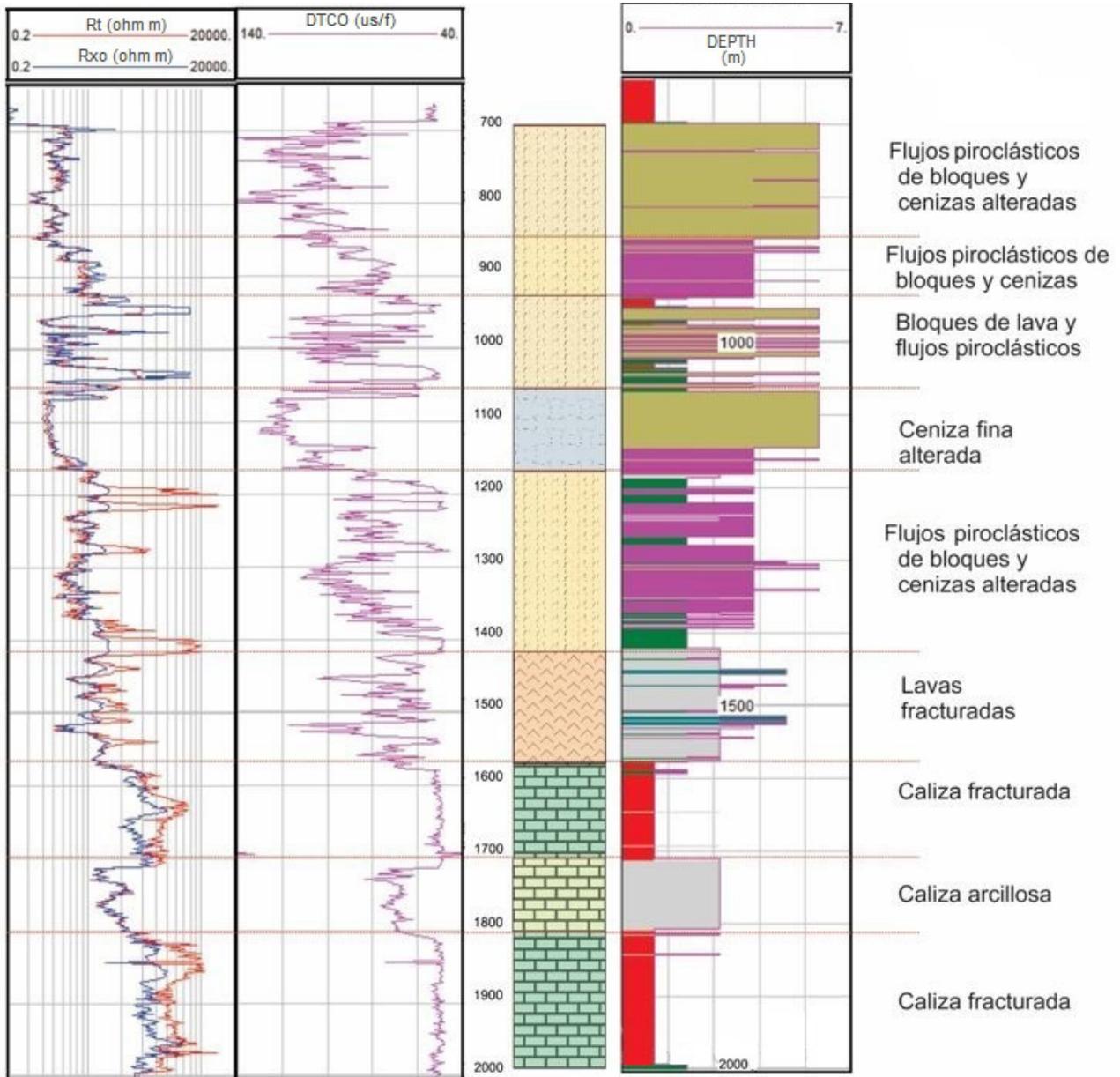


Figura 59. Interpretación cuantitativa de los registros geofísicos en el pozo Agrícola Oriental 2B.

La siguiente zona, entre 1070 y 1180 m, se cataloga como ceniza fina alterada a arcilla. Esta descripción fue obtenida gracias al núcleo N1-AO2C, a las muestras colectadas durante la perforación y a los reportes hechos durante la perforación, cuyo avance se vio obstaculizado a esta profundidad por la pérdida de circulación debida a un material arcilloso. El análisis cuantitativo del registro permitió una mejor delimitación de esta ceniza, ya que se encontró entre el final de la primera etapa de perforación e inicio de la segunda. A continuación, la subyace una

secuencia de flujos piroclásticos de bloque y cenizas con cierto grado de alteración. Esto se infiere por la respuesta del registro sónico que es parecida a la observada en el intervalo de 750 a 850 m. Sin embargo, esta zona se caracteriza por la presencia de secciones donde hay un aumento de la resistividad de la formación, obtenida por el registro eléctrico (curva Rt). Estos aumentos se correlacionan con bloques de lava observados en las muestras de canal y delineados por el análisis cualitativo.

Para la última zona volcánica, únicamente se cuenta

## Análisis de la estratigrafía de los pozos profundos Agrícola Oriental 2B y 2C

con los resultados de las muestras de canal, por lo que se infiere un bloque de lavas y flujos piroclásticos hasta el contacto con las calizas.

Entre los 1580 m y el fondo del pozo se reportan calizas, con la característica que, entre los 1700 y 1820 m se trata de una caliza con un mayor contenido de arcilla, inferido por el registro de GR, resistivo y DTCO además de lo observado durante la perforación. Gracias al análisis estadístico fue posible delimitar este intervalo. Finalmente, el fracturamiento fue establecido gracias al último núcleo obtenido en el pozo AO2B.

### 5. INTEGRACIÓN DE LA INFORMACIÓN

El proceso de integración de la información, producto de analizar las muestras de recorte, núcleos y registros, consistió en generar la columna geológica del sitio. Esta

columna integra la información de ambos pozos para configurar de la mejor manera la geología del sitio. Para ello se presenta el resultado dividido en cuatro secciones con base en los procesos de perforación y la adquisición de información, en específico la toma de registros.

#### 5.1 SECCIÓN DE 0 A 560 M DE PROFUNDIDAD

La primera sección corresponde a los primeros 560 m de profundidad. Esta sección corresponde a la primera etapa de perforación del pozo AO2B, en esta etapa no se corrió ningún registro geofísico y no se programó toma de núcleos en ambos pozos.

Los primeros 180 m de profundidad fueron reconstruidos con base en lo observado durante la perforación, las columnas estratigráficas de los pozos aledaños y una muestra de material arcilloso de origen lacustre que corresponde a una profundidad menor a los 100 m. El

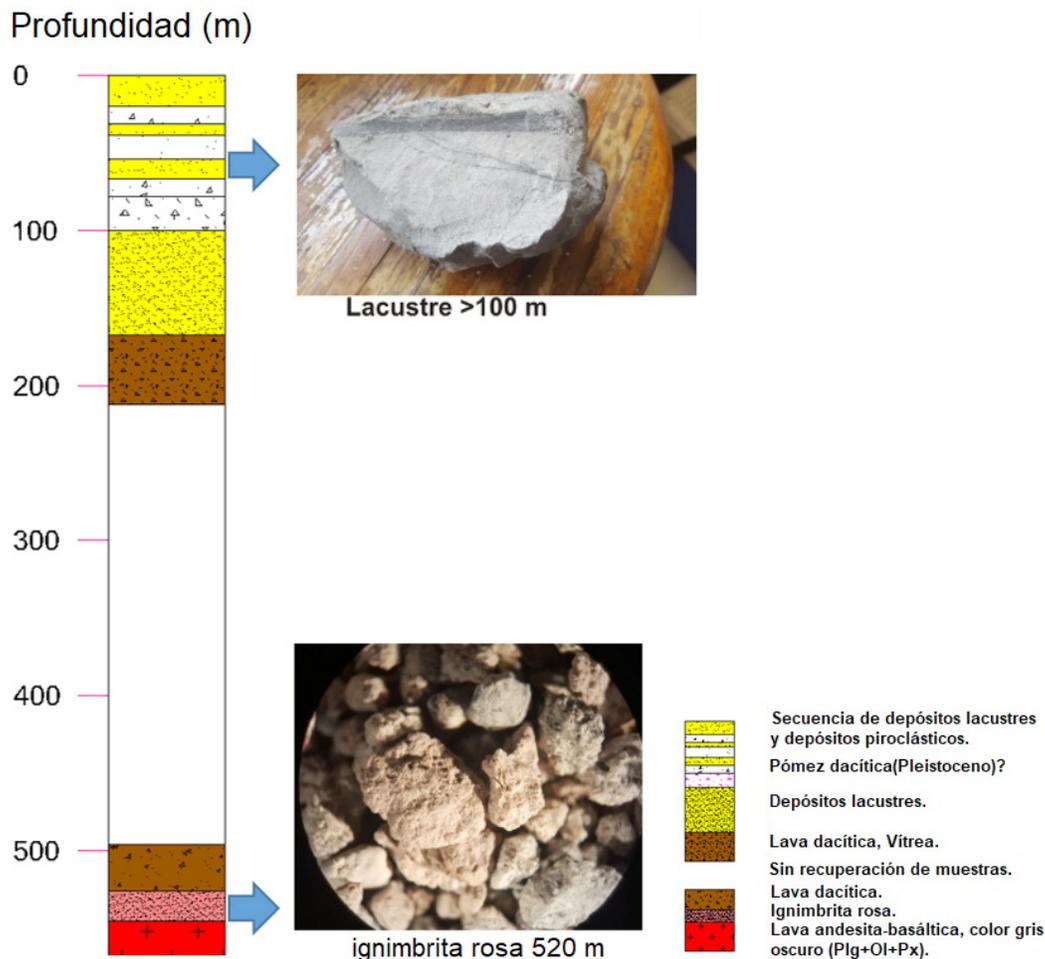


Figura 60. Construcción de la columna estratigráfica con base en los análisis a las muestras de canal en la sección de 0 a 560 m de profundidad (Plg: Plagioclasas, Ol: Oligoclasas, Px: Piroxenos).

Análisis de la estratigrafía de los pozos profundos Agrícola Oriental 2B y 2C

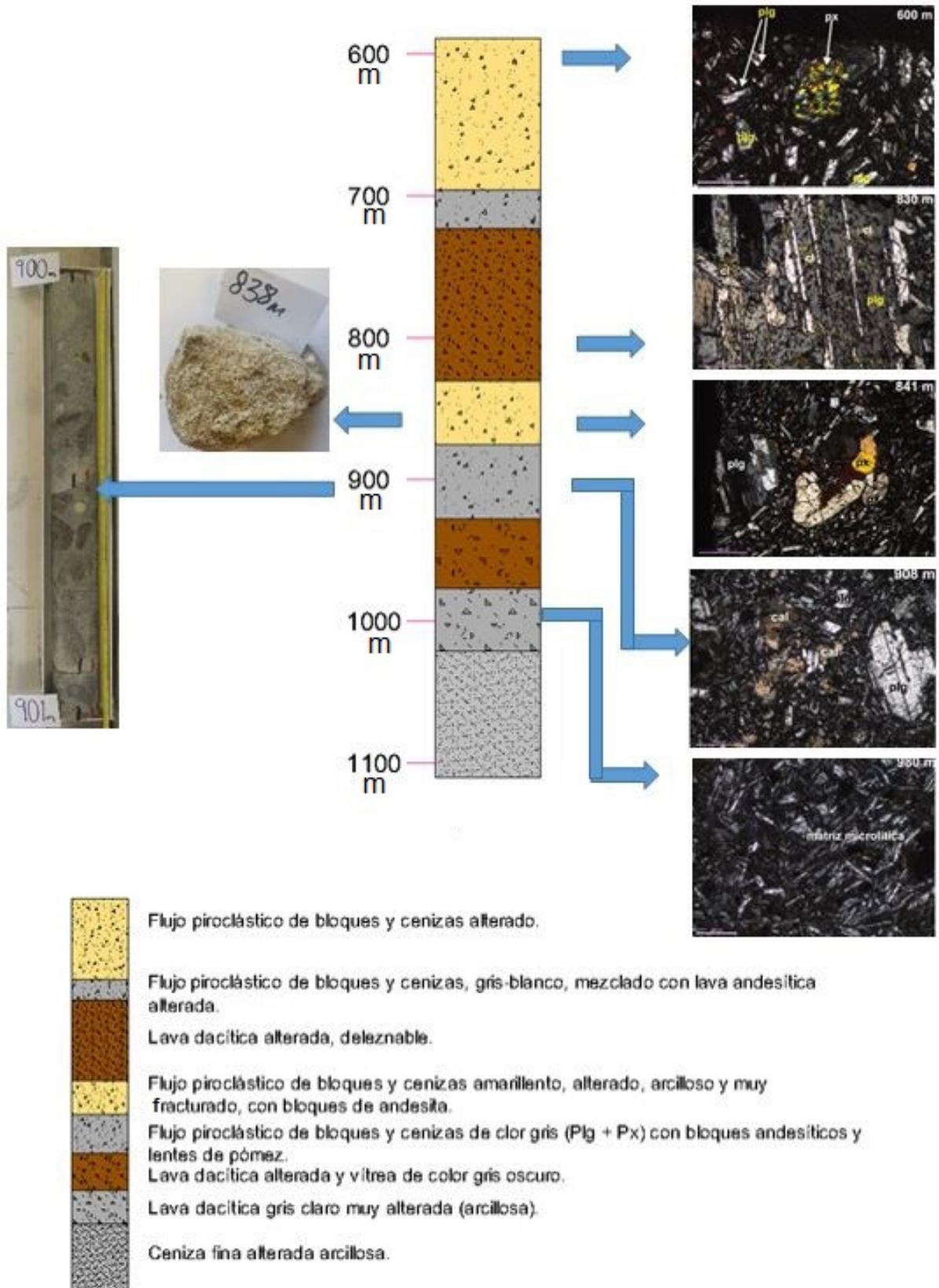


Figura 61. Construcción de la columna estratigráfica con base en los análisis a las muestras de canal en la sección de 580 a 1100 m de profundidad (Plg: Plagioclasas, Ol: Oligoclasas, Px: Piroxenos).

## Análisis de la estratigrafía de los pozos profundos Agrícola Oriental 2B y 2C

espesor lacustre fue calculado de acuerdo al registro de perforación de PEMEX donde se observó resistencia después de los 180 m, asociada a un cambio litológico.

Las lavas observadas a 200 y después de 540 m fueron caracterizadas a través de las muestras de canal. Un ejemplo de ello es la muestra correspondiente a la profundidad de 580 m (Anexo 6) que, de acuerdo a su asociación mineral, se clasificó como una lava andesítica.

Para los 520 m se caracterizó un estrato de ignimbrita de color rosa (en muestra de mano) gracias a los análisis de microscopio y a las muestras de recorte. Esta ignimbrita se asocia a un estrato que también fue observado en el pozo profu profundo San Lorenzo Tezonco.

Finalmente la lava andesítica basáltica se caracterizó a través de los fragmentos de recortes y la resistencia que se tuvo al llegar a esta profundidad.

En el intervalo entre los 210 y 500 m no fue posible recuperar muestras debido a la pérdida total de circulación que tuvo el pozo.

### 5.2 SECCIÓN DE 580 A 1100 M DE PROFUNDIDAD

A partir de esta sección se contó con la información de los registros geofísicos, cuyo resultado del análisis cualitativo y cuantitativo ayudó a definir los espesores de la columna. En su mayoría, esta sección se compone de flujos piroclásticos de bloques y cenizas. Esta descripción se realiza con base en las muestras de canal y los núcleos N1-AO2B y N2-AO2B. Estos flujos están presentes desde los 600 hasta los 1030 m de profundidad. A estas secuencias piroclásticas se intercalan lavas dacíticas.

Gracias al registro sísmico fue posible distinguir los grados de alteración de estas secuencias. Se observó que la velocidad de las ondas de compresión indicaba el aumento de competencia en las rocas debido a un menor grado de alteración. Esta conclusión fue posible gracias a los núcleos N1-AO2B y N2-AO2B donde se advirtió el cambio en el grado de alteración y cuyo análisis de laboratorio y geoquímico mostró la misma composición mineralógica. Sin embargo, en muestra de mano parecían de constitución diferente por el grado de alteración. Esta alteración se interpreta de origen hidrotermal debido a la cantidad de pirita y otros minerales que son indicadores de este fenómeno. Los análisis de difracción y geoquímica apoyan esta hipótesis.

El final de la sección corresponde a un estrato de ceniza alterada color gris. Esta clasificación es el resultado del análisis al núcleo N1-AO2C. Es importante mencionar

que este núcleo fue planeado a la profundidad de 1130 m debido a que en el pozo AO2B se observó una pérdida total de circulación correlacionada inicialmente con un depósito arcilloso (Figura 61).

Desde un punto de vista hidrológico, los depósitos volcánicos a partir de los 938 m de profundidad y hasta los 1067 m presentan características petrofísicas que permiten clasificarlo como una formación de aporte de agua. Esto se comprueba estudiando los intervalos donde se observa la separación de curvas en el registro eléctrico, los valores altos en el registro de Porosidad Neutrón y la disminución en la velocidad del registro sísmico. Esta formación se encuentra confinada entre las cenizas alteradas, observadas en la siguiente sección, y los depósitos volcánicos alterados, observados en el N1-AO2B.

### 5.3 SECCIÓN DE 1200 A 1600 M DE PROFUNDIDAD

Esta sección está marcada con el fin de la capa de ceniza fina alterada y la zona de contacto con una lava gris porfídica con pirita diseminada. En muestra de mano, en el núcleo N1-AO2C, es posible ver fragmentos de pómez y la alteración a arcilla. Este cambio es visible en todos los registros geofísicos, siendo más evidente en el registro de espectroscopia que dio inicio en este intervalo.

Posteriormente, en los 1280 m inicia una nueva secuencia de flujos piroclásticos, bloques y cenizas. Se clasifica como flujo piroclásticos debido a lo observado en las muestras de canal y los registros geofísicos. Existe un cambio evidente a los 1380 m de profundidad donde la secuencia se vuelve más heterogénea debido al cambio en el grado de alteración y la existencia de bloques de mayor espesor (observados en los registros de porosidad y densidad). Existe también un cambio muy importante en los elementos radiactivos de esta formación, destacando la presencia del K y Th característico de las arcillas, producto de la alteración de los flujos piroclásticos.

Al final de la sección (Figura 62) se caracterizó una lava andesítica con pirita diseminada de color gris claro. Esta secuencia de lavas continúa hacia el final de la sección. Sin embargo, existe un importante cambio hacia la profundidad de los 1520 m, ya que existe un cambio en las propiedades petrofísicas que indican una variación en la permeabilidad y porosidad de las lavas. Estos cambios se hicieron evidentes en el último núcleo (N2-AO2C) cuya descripción indicó que se trataba de lavas andesíticas pero con un grado de alteración mucho mayor debido al contacto con la secuencia calcárea. En esta secuencia se observan

Análisis de la estratigrafía de los pozos profundos Agrícola Oriental 2B y 2C

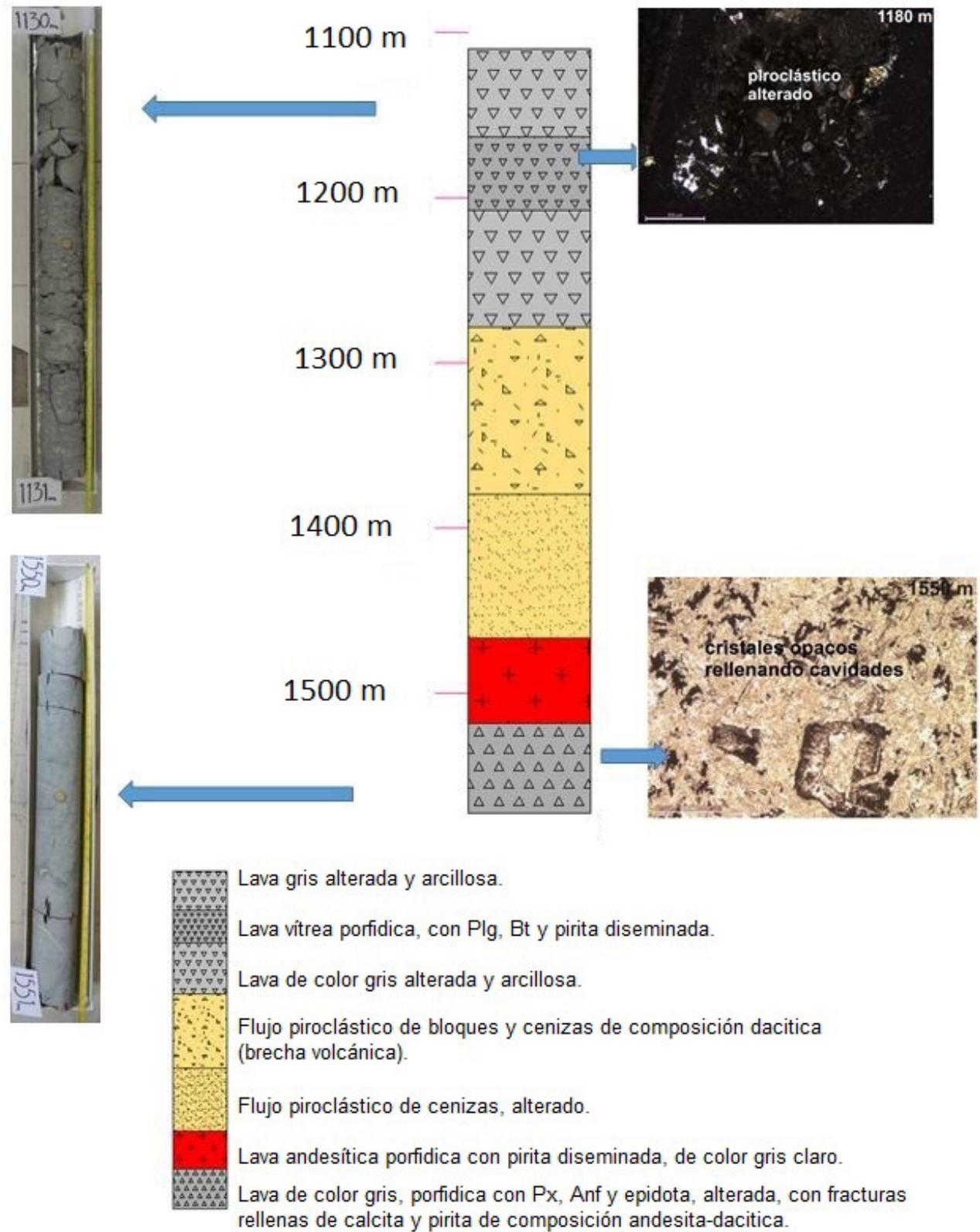


Figura 62. Construcción de la columna estratigráfica con base en los análisis a las muestras de canal en la sección de 1100 a 1580 m de profundidad (Plg: Plagioclasas, Anf: Anfiboles, Px: Piroxenos).

## Análisis de la estratigrafía de los pozos profundos Agrícola Oriental 2B y 2C

diferentes fracturas, planos asociados a fallamiento y cambios en la estructura física de las rocas debido a esfuerzos compresionales.

Durante la perforación, esta secuencia había sido confundida con las formaciones calcáreas. Sin embargo, el análisis detallado en el IGL demostró que se trataba de una secuencia de rocas volcánicas fuertemente alteradas y rellenas de calcita y minerales asociados a hidrotermalismo. El contacto de esta secuencia se definió a los 1580 m gracias a los registros geofísicos.

En esta sección el diseño del pozo AO2C contempló la zona de mayor aporte por lo que no se cementó de los 1112

a los 1550 m de profundidad. Esta decisión se tomó con base en las observaciones hechas en el pozo AO2B y lo observado en el registro geofísico. Los intervalos de aporte en esta sección se determinan por las formaciones que presentan mayor separación de curvas en el registro eléctrico y un cambio evidente en los valores de porosidad. Se puede observar (Figura 34) que no se trata de una formación definida, sino de horizontes permeables con horizontes de menor porosidad. Estos horizontes que permitirían el flujo de agua de la formación hacia el pozo se caracterizan por una disminución de la velocidad del registro sónico (lo que indica heterogeneidad o presencia de fracturas) y un

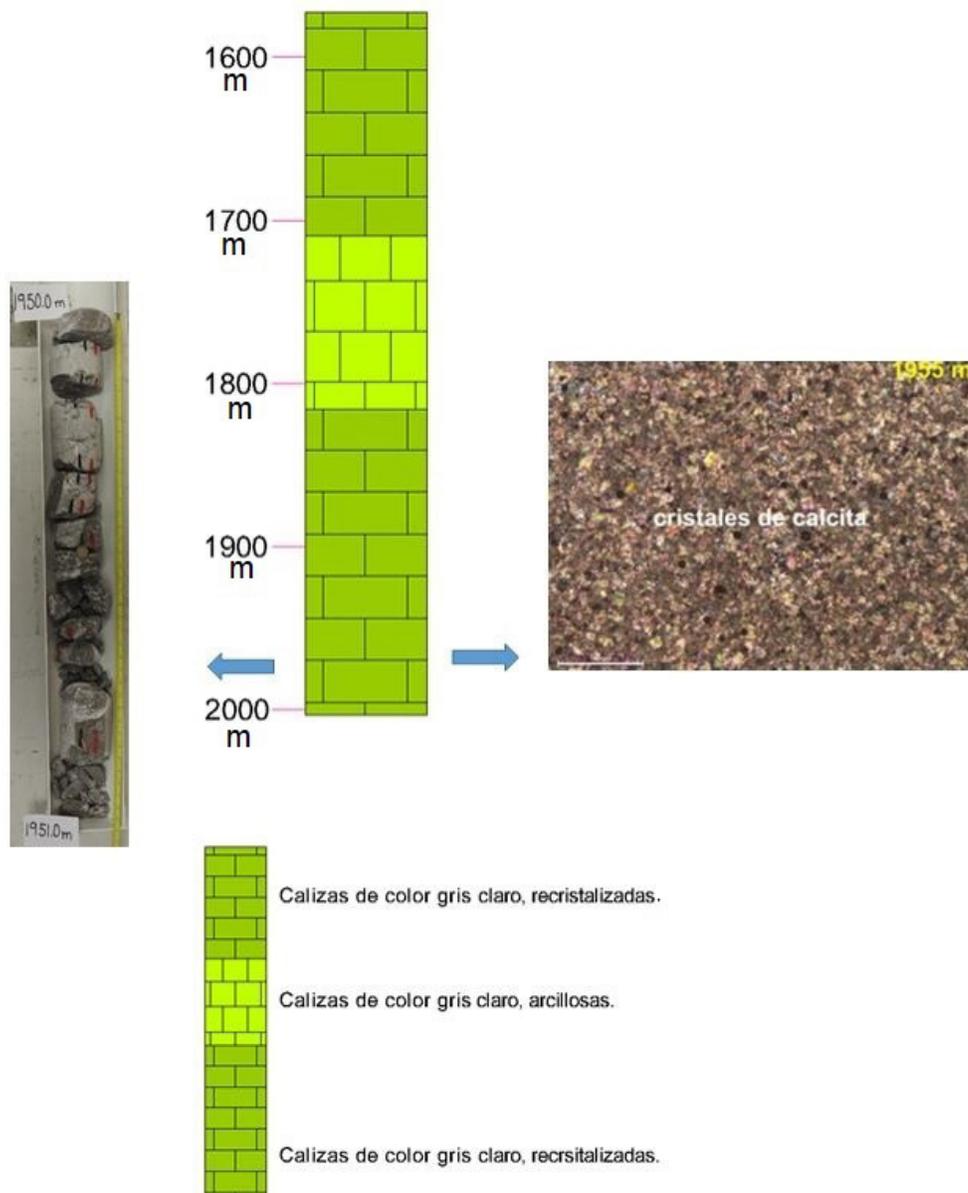


Figura 63. Construcción de la columna estratigráfica con base en los análisis a las muestras de canal en la sección de 1580 a 2000 m de profundidad.

Profundidad (m)

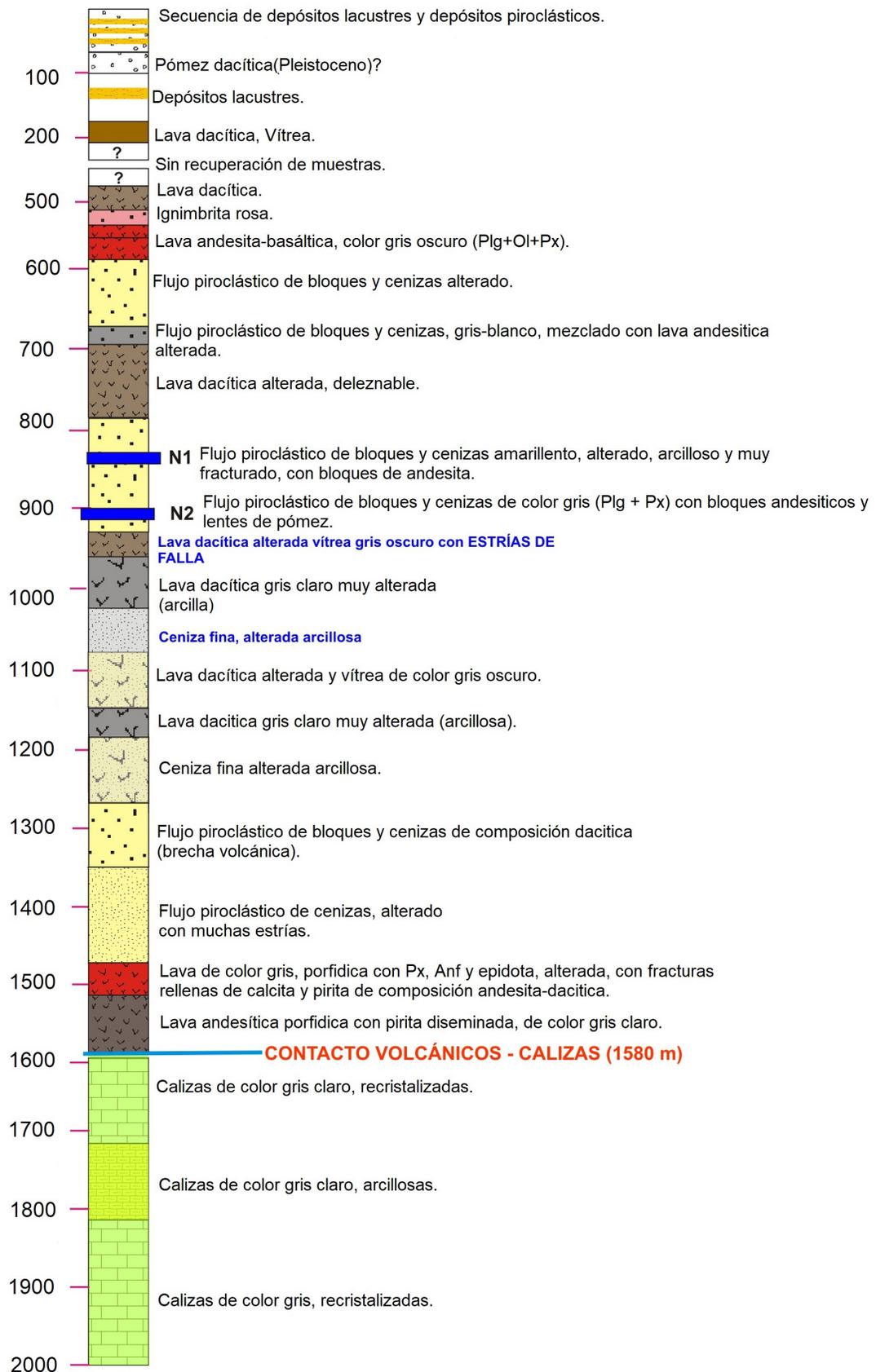


Figura 64. Columna estratigráfica del sitio de los pozos AO2B y AO2C.

## Análisis de la estratigrafía de los pozos profundos Agrícola Oriental 2B y 2C

aumento en los valores de porosidad junto una invasión mayor del lodo de perforación hacia la perforación. Por otra parte, las evidencias de fracturamiento asociadas a la falla vista en el núcleo N2-AO2C muestran que se trata de un intervalo con presencia de fracturas que permitirían el paso de fluido a través de ellas. Esto es coincidente con la interpretación del registro por lo que se puede concluir que se trata de una región de aporte.

Es importante mencionar que el flujo esperado en el pozo AO2C no fue el previsto. Lo anterior se debe a que el pozo no ha sido sometido a un proceso de limpieza adecuado o a que la falta de una terminación con tubería ranurada ha dificultado la circulación de fluido hacia el pozo. Al momento de redactar este informe el pozo AO2C se encuentra cerrado por cuestiones de seguridad.

### 5.4 SECCIÓN DE 1580 A 2000 M DE PROFUNDIDAD

Esta sección corresponde a las formaciones calcáreas (calizas). Esta secuencia comienza desde los 1580 m hasta el fondo del pozo. De los registros geofísicos se puede interpretar que se trata de una secuencia más homogénea. Entre los 1700 y 1800 m existe una secuencia que contrasta en su respuesta geofísica y en las muestras de recorte. Esta formación se clasificó como una secuencia de calizas con una mayor presencia arcillas debido a su respuesta en los registros radiactivos (GR y NPHI) y a lo observado durante la perforación. Este cambio no es tan evidente en las muestras de recorte limpias, ya que las arcillas fueron disueltas por el lodo de perforación y el restante en el proceso de lavado.

En el núcleo N3-AO2B se aprecia que la secuencia es homogénea pero se encuentra en un estado altamente fracturado (al menos así lo demuestra el núcleo al final del pozo).

En la Figura 64 se muestra la columna completa resultado de este análisis. El pozo AO2B contempló extraer agua de las formaciones calcáreas, por debajo de los 1600 m, mientras que el pozo AO2C buscaría caracterizar la posible independencia hidráulica entre las calizas y las formaciones volcánicas inferiores. Sin embargo, las complicaciones con el CO<sub>2</sub> a presiones altas no han permitido comprobar este aporte.

## 6. CONCLUSIONES

El seguimiento *in situ* de la perforación tuvo por objetivo conocer las condiciones que se presentaron durante el

desarrollo de la perforación para apoyar la interpretación de los datos que se recaben y proporcionan información cualitativa de las condiciones hidrogeológicas encontradas. Adicionalmente, este seguimiento puntual permitió que el personal del IGL participara de manera oportuna e informada en las reuniones técnicas que periódicamente organizó el SACMEX, tanto en el sitio de perforación como en las oficinas del SACMEX y la CONAGUA. Estas reuniones posibilitaron el ajuste periódico del plan de perforación de acuerdo a las condiciones que se presentaron.

Los resultados que arrojaron los análisis químicos de las muestras de canal y núcleos permitieron hacer una clasificación química de las rocas estudiadas. La composición de las rocas varió desde basalto hasta dacita, aunque la mayoría pertenecen al campo de las andesitas, de la serie magmática calcialcalina. Algunas muestras presentaron valores bajos de álcalis, probablemente como resultado del grado de alteración de las mismas.

En diagramas binarios de la composición química de roca fue posible observar tendencias claras para el K<sub>2</sub>O, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, CaO y Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Sin embargo, no son tendencias típicas de evolución magmática. Por lo tanto, esto podría indicar que las muestras analizadas no tienen relación genética o bien, que el grado de alteración enmascara esta relación. No es posible descartar ambas opciones sin antes contar con las edades de cada unidad analizada.

Los diagramas de tierras raras (REE) y multielementos mostraron patrones de rocas de arco, con claros enriquecimientos en tierras raras ligeras así como en elementos incompatibles, con anomalías ligeras en Eu así como bien marcadas en Nb y Ta. Por otro lado, se observaron anomalías positivas marcadas en Cs, Pb y K, que sugieren un ambiente de subducción.

Hasta el momento se han preparado las muestras y se ha iniciado el proceso de separación mecánica. A la fecha de elaboración de este informe los resultados de los fechamientos aún no están disponibles.

A partir de la interpretación cualitativa del registro geofísico con base en las curvas de resistividad, GR, DLIS y DTCO, se identificaron 5 zonas. Los resultados del análisis de grupos confirmaron, en lo general, las zonas delimitadas en el análisis cualitativo pero resaltaron la heterogeneidad de esas zonas. Esta respuesta será estudiada con mayor detalle en análisis posteriores.

Por su parte, los gráficos de correlación entre los registros geofísicos de espectroscopia y rayos gamma corroboraron la clasificación litológica obtenida a través de los análisis de laboratorio. Se advirtió la coincidencia

## Análisis de la estratigrafía de los pozos profundos Agrícola Oriental 2B y 2C

dentro de los rangos esperados para la mayoría de los intervalos. Sin embargo, se observó que es posible realizar una interpretación errónea si no se considera el grado de alteración a arcillas en algunos intervalos que modifican la respuesta esperada en el registro de rayos gamma, por ejemplo el intervalo arcilloso observado entre 1070 y 1180 m. Esto fue corroborado gracias a los análisis geoquímicos. Es necesario realizar más ensayos de los registros junto con análisis geoquímicos para encontrar una función que relacione el grado de alteración por hidrotermalismo y la respuesta de los registros de rayos gamma.

El resultado final del proceso de integración de la información, producto de analizar las muestras de recorte, núcleos y registros consistió en generar la columna geológica del sitio (presentada en la Figura 64). Esta columna integra la información de ambos pozos para configurar, de la mejor manera, la geología del sitio.

De 0 a 500 m de profundidad la caracterización es incompleta debido a que en esta etapa no se corrió ningún registro geofísico y no se recuperó muestra en un tramo de cerca de 300 m de espesor.

Para los 520 m se caracterizó un estrato de ignimbrita de color rosa (en muestra de mano) gracias a los análisis de microscopio y a las muestras de recorte. Esta ignimbrita se asocia a un estrato que también fue observado en el pozo profundo San Lorenzo Tezonco.

Para la profundidad de 580 a 1100 m, ya se contaba con la información de los registros geofísicos, cuyo resultado del análisis cualitativo y cuantitativo ayudó a definir los espesores de la columna. En su mayoría, esta sección se compone de flujos piroclásticos de bloques y cenizas (descripción apoyada por los núcleos N1-AO2B y N2-AO2B). Estos flujos están presentes desde los 600 hasta los 1030 m de profundidad. A estas secuencias piroclásticas se intercalan lavas dacíticas. El análisis del registro sísmico indicó que la velocidad de las ondas de compresión señalaba el aumento de competencia en las rocas debido a un menor grado de alteración. Esta observación fue corroborada con los núcleos N1-AO2B y N2-AO2B, donde se detectó el cambio en el grado de alteración. Esta alteración se interpreta de origen hidrotermal debido a la cantidad de pirita y otros minerales que son indicadores de este fenómeno. Los análisis de difracción y geoquímica de roca total apoyan esta hipótesis.

Entre 1070 y 1180 m se encontró un estrato de ceniza alterada color gris muy arcillosa (núcleo N1-AO2C). Por la litología, es posible que el comportamiento de esta unidad sea como acuitardo.

De 1200 a 1580 m de profundidad se observa una secuencia de lavas y flujos piroclásticos. Existe un cambio evidente a los 1380 m de profundidad donde la secuencia se vuelve más heterogénea debido al cambio en el grado de alteración y la existencia de bloques de mayor espesor (observados en los registros de porosidad y densidad). Existe también un cambio muy importante en los elementos radiactivos de esta formación, destacando la presencia del K y Th característicos de las arcillas producto de la alteración de los flujos piroclásticos. La secuencia de lavas continúa hacia el final de la sección, aumentando el grado de alteración a partir de los 1520 m donde se observan diferentes fracturas, planos asociados a fallamiento y cambios en la estructura física de las rocas debido a esfuerzos compresionales, además de un cambio en las propiedades petrofísicas que indican un cambio en la permeabilidad y porosidad de las lavas (N2-AO2C).

De 1580 a 2000 m de profundidad se localizan formaciones calcáreas (calizas). Esta secuencia comienza desde los 1580 m hasta el fondo del pozo. De los registros geofísicos se puede interpretar que se trata de una secuencia más homogénea hasta el final del pozo. En los 1700 y 1800 m existe una secuencia que contrasta en su respuesta geofísica y en las muestras de recorte. Esta formación se clasificó como una secuencia de calizas con una mayor presencia de arcillas debido a su respuesta en los registros radiactivos (Rayos gamma y porosidad) y a lo observado durante la perforación. Este cambio no es tan evidente en las muestras de recorte limpias, ya que las arcillas fueron disueltas por el lodo de perforación y el restante en el proceso de lavado. En el núcleo N3-AO2B se aprecia que la secuencia es homogénea pero se encuentra en un estado altamente fracturado (al menos así lo demuestra el núcleo al final del pozo).

Finalmente, el muestreo de gas indicó que los gases, en su mayoría  $\text{CO}_2$ , pueden provenir de un fluido con cierto grado de hidrotermalismo. La concentración de  $\text{CH}_4$ , en proporción con el  $\text{CO}_2$  es menor. La muestra contiene una cantidad pequeña de  $\text{H}_2$ , pero no se pudo determinar. Debido a que la concentración de  $\text{H}_2\text{S}$  en la mayoría de

## Análisis de la estratigrafía de los pozos profundos Agrícola Oriental 2B y 2C

los sistemas es muy baja y a que la concentración de CO<sub>2</sub> generalmente es mayor al 80% del total de gases, se necesita hacer un muestreo específico que permita concentrar la muestra para determinar los gases que se encuentran en menor proporción.

### Referencias

- ASTM E1675-04(2012), 2012, Standard Practice for Sampling Two-Phase Geothermal Fluid for Purposes of Chemical Analysis: West Conshohocken, Pennsylvania, ASTM International.
- Arce, J.L., Layer, P.W., Morales-Casique, E., Benowitz, J.A., Rangel, E., Escolero, O.A., 2013, New constraints on the subsurface geology of the Mexico City Basin: The San Lorenzo Tezonco deep well, on the basis of <sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar geochronology and whole-rock chemistry: *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 266, 34-49.
- Arce, J.L., Layer, P.W., Martínez, I., Salinas, J.I., Macías-Romo, M.C., Morales-Casique, E., Benowitz, J.A., Escolero, O., Lenhardt, N., 2015, Geología y estratigrafía del pozo profundo San Lorenzo Tezonco y de sus alrededores, sur de la Cuenca de México: *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 67(2), 123-143.
- Bisbé, E.M., 2007, Curso Básico de evaluación de formaciones para operadores de perforación y producción: Havana, Centro politécnico del petróleo, Unión Cuba-Petróleo, 46 p.
- Burke, J.A., Campbell, R.L.jr., Schmidt, A.W., 1969, The Litho Porosity Cross Plot: New Concept For Determining Porosity And Lithology From Logging Methods (resumen), *en* Society of Petrophysicist and Well-Log Analysts 10th Annual Logging Symposium: Houston, Texas, Society of Petrophysicists and Well-Log Analysts, Y1.
- Giggenbach, W.F., Garcia, N., Londoño, A., Rodriguez, L., Rojas, N., Calvache, M.L. 1990, The chemistry of fumarolic vapor and thermal-spring discharges from the Nevado del Ruiz volcanic-magmatic-hydrothermal system, Colombia: *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 42, 13-39.
- Layer, P.W., 2000, <sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar age of the El'gygytgyn impact event, Chukotka, Russia: *Meteoritic and Planetary Science*, 35, 591-599.
- Layer, P.W., Macias, J.L., Arce, J.L., García-Tenorio, F., 2009, Late Pleistocene-Holocene Volcanism of the Mexico Basin and Assessment of Volcanic Hazards in One of the World's Largest Cities (resumen), *en* American Geophysical Union, Fall Meeting: San Francisco, California, American Geophysical Union, V11B-1951.
- Le Bas, M.J., Le Maitre, R.W., Streckeisen, A., Zanettin, B., 1986, A chemical classification of volcanic rocks based on the total alkali-silica diagram: *Journal of Petrology*, 27, 745-750.
- Lezama-Campos, J.L., Morales-Casique, E., Castrejón-Pineda, R., Arce, J.L., Escolero, O.A., 2016, Interpretación del registro geofísico del pozo profundo San Lorenzo Tezonco y su correlación litológica en la cuenca de México: *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 33(2), 198-208.
- Lozano-Santacruz, R., Verma, S.P., Girón, P., Velasco, F., Morán-Zenteno, D., Viera, F., Chávez, G., 1995, Calibración preliminar de Fluorescencia de Rayos-X para análisis cuantitativo de elementos mayores en rocas ígneas: *Actas INAGEQ*, 1(1), 203-208.
- McDougall, I., Harrison, T.M., 1999. *Geochronology and Thermochronology by the <sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar method*: Oxford, Oxford University Press, 269 p.
- Morales-Casique, E., Escolero, O.A., Arce, J.L., 2014, Resultados del pozo San Lorenzo Tezonco y sus implicaciones en el entendimiento de la hidrogeología regional de la Cuenca de México: *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 31(1), 64-75.
- Morales-Casique, E., Escolero, O.A., Arce, J.L., 2015, Estimación de parámetros mediante inversión y análisis de las pérdidas hidráulicas lineales y no-lineales durante el desarrollo y aforo del pozo San Lorenzo Tezonco: *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 67(2), 203-214.
- Mori, L., Gómez-Tuena, A., Cai, Y., Goldstein, S.L., 2007, Effects of prolonged flat subduction on the Miocene magmatic record of the central Trans-Mexican Volcanic Belt: *Chemical Geology*, 244, 452-473.
- Peccerillo, A., Taylor, R., 1976, Geochemistry of Eocene calc-alkaline volcanic rocks from the Kastamonu area, Northern Turkey: *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 58, 63-81.
- Renne, P.R., Mundil, R., Balco, G., Min, K., Ludwig, K., 2010, Joint determination of <sup>40</sup>K decay constants and the <sup>40</sup>Ar\*/<sup>40</sup>K for the Fish Canyon sanidine standard, and improved accuracy for <sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar geochronology: *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 74, 5349-5367.
- Senergy, 2013, *Interactive Petrophysics*: New York, Senergy, CD-ROM.
- Sun, S.-s., McDonough, W., 1989, Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle compositions and processes, *en* Saunders, A.D., Norry, M.J., (eds.), *Magmatism in ocean basins*: Londres, Blackwell Scientific Publications, Geological Society Special Publication, 42, 313-345.
- Verma S. P., Lozano-Santa Cruz R., Girón P., Velasco F., 1996, Calibración preliminar de Fluorescencia de rayos X para análisis cuantitativo de elementos traza en rocas ígneas: *Actas INAGEQ*, 2, 231-242.

**Anexo 1. Seguimiento día a día de los trabajos de perforación.**

Tabla A1.1. Bitácora de perforación de mayo–junio.

Día	Comentarios generales	Observaciones
02-may-16	Perforación de 697 a 702 m con un diámetro de 8 1/2"	
03-may-16	Perforación de 702 a 830 m con un diámetro de 8 1/2"	Se observó resistencia en caída libre de la barrena a los 820 m
04-may-16	Se cortó el primer núcleo entre los 830 y 843 m	
05-may-16	Perforación de 830 a 900 m con un diámetro de 8 1/2"	
06-may-16	Se cortó el segundo núcleo entre los 900 y 918 m	
07-may-16	Perforación de 918 a 972 m con un diámetro de 8 1/2"	
08-may-16	Perforación de 972 a 1130 m con un diámetro de 8 1/2"	
09-may-16	Se intentó recuperar el tercer núcleo sin éxito	El barril extractor se recuperó sin muestra
10-may-16	Perforación de 1130 a 1143 m con un diámetro de 8 1/2"	
11-may-16	Perforación de 1144 a 1151 m con un diámetro de 8 1/2"	
12-may-16	Ampliación de 702 a 718 m con un diámetro de 17 1/2"	Se inició la ampliación del agujero con barrena de 17 1/2" a partir de los 702 m
13-may-16	Ampliación de 718 a 963 m con un diámetro de 17 1/2"	
14-may-16	Ampliación de 963 a 1030 m con un diámetro de 17 1/2"	
15-may-16	Ampliación de 1030 a 1065 m con un diámetro de 17 1/2"	
16-may-16	Ampliación de 1066 a 1129 m con un diámetro de 17 1/2"	
17-may-16	Ampliación de 1129 a 1151 m con un diámetro de 17 1/2"	
18-may-16	Cementación	
19-may-16	Cementación	
20-may-16	Perforación de 1151 a 1220 m con un diámetro de 12 1/4"	
21-may-16	Perforación de 1220 a 1223 m con un diámetro de 12 1/4"	
22-may-16	Perforación de 1223 a 1282 m con un diámetro de 12 1/4"	
23-may-16	Perforación de 1282 a 1413 m con un diámetro de 12 1/4"	
24-may-16	Perforación de 1413 a 1452 m con un diámetro de 12 1/4"	
25-may-16	Perforación de 1452 a 1570 m con un diámetro de 12 1/4"	
26-may-16	Perforación detenida por pérdida de circulación	
27-may-16	Perforación de 1571 a 1572 m con un diámetro de 12 1/4"	
28-may-16	Perforación detenida por pérdida de circulación	Se realizó una junta extraordinaria para delimitar el contacto entre las unidades volcánicas y las calizas.
29-may-16	Perforación de 1572 a 1611 m con un diámetro de 8 1/2"	
30-may-16	Perforación de 1611 a 1770 m con un diámetro de 8 1/2"	
31-may-16	Perforación de 1770 a 1950 m con un diámetro de 8 1/2"	
01-jun-16	Corte del último núcleo entre los 1950 y 1954 m	
02-jun-16	Corte del último núcleo entre los 1954 y 1955 m	Pérdida de circulación
03-jun-16	Se cortó el primer núcleo entre los 830 y 843 m	
04-jun-16	Perforación de 1955 a 2010 m con un diámetro de 8 1/2"	
05-jun-16	Operaciones para bajar tubería ranurada	Se discutió el tipo de tubería ranurada a usarse
06-jun-16	Operaciones para bajar tubería ranurada	
08 al 30 jun- 16	Movimiento y mantenimiento del equipo de perforación	Durante las maniobras de desmonte, traslado y mantenimiento del equipo de perforación, el equipo de campo del IGL disminuyó las actividades de seguimiento en el sitio por cuestiones de seguridad. Recomendación hecha por el equipo de perforación de PEMEX.

Análisis de la estratigrafía de los pozos profundos Agrícola Oriental 2B y 2C

Tabla A1.1. Bitácora de perforación de julio–agosto. Continuación.

Día	Comentarios generales	Observaciones
01-jul-16	Operación suspendida	Fallas mecánicas
02 al 05 jul-16	Operación suspendida	
06-jul-16	Perforación a 183 m con un diámetro de 26"	Comenzó la perforación del pozo AO2C
07-jul-16	Perforación a 223 m con un diámetro de 26"	
08-jul-16	Perforación a 522 m con un diámetro de 26"	
09-jul-16	Perforación a 617 m con un diámetro de 26"	
10-jul-16	Perforación a 650 m con un diámetro de 26"	
11-jul-16	Perforación a 729 m con un diámetro de 8 1/2"	Pérdida parcial de circulación a 682 y 729 m
12-jul-16	Perforación a 835 m con un diámetro de 8 1/2"	Pérdida parcial y total de circulación a partir de 800 m
13-jul-16	Perforación a 897 m con un diámetro de 8 1/2"	Pérdida parcial de circulación
14-jul-16	Perforación a 933 m con un diámetro de 8 1/2"	Pérdida parcial de circulación
15-jul-16	Perforación a 939 m con un diámetro de 8 1/2"	Atasco de herramienta
16 al 18 jul-16	Maniobras de recuperación de herramienta	
19-jul-16	Maniobras de recuperación de herramienta	Recuperación de muestras en canastilla
20-jul-16	Perforación a 970 m con un diámetro de 8 1/2"	
21-jul-16	Perforación a 998 m con un diámetro de 8 1/2"	
22-jul-16	Perforación a 1016 m con un diámetro de 8 1/2"	Resistencia a 613 m al repasar la barrena
23-jul-16	Perforación a 1046 m con un diámetro de 8 1/2"	Falla de avance de la perforación a los 1043 m
24-jul-16	Perforación a 1130 m con un diámetro de 8 1/2"	
25-jul-16	Toma de núcleo. Perforación a 1142 m con un diámetro de 8 1/2"	Núcleo de 1130 a 1139 m
26-jul-16	Maniobras para la toma de registro geofísico	Se observa resistencia al bajar la herramienta de registros a 526 m. No se toma el registro.
27-jul-16	Maniobras para la toma de registro geofísico	Se observa resistencia al bajar la herramienta de registros a 652 m. No se toma el registro.
28-jul-16	Inicio de obras de cementación	
29 al 05 jul-16	Maniobras de cementación	
06-ago-16	Perforación a 1230 m con un diámetro de 8 1/2"	
07-ago-16	Perforación a 1290 m con un diámetro de 8 1/2"	
08-ago-16	Perforación a 1400 m con un diámetro de 8 1/2"	
09-ago-16	Perforación a 1490 m con un diámetro de 8 1/2"	
10-ago-16	Perforación a 1550 m con un diámetro de 8 1/2"	
11-ago-16	Corte de núcleo 1550-1559 m	
12-ago-16	Toma de registros	
13-ago-16	Perforación a 1560 m con un diámetro de 8 1/2"	
14-ago-16	Maniobras para meter tubería ranurada a 1550 m	
15-ago-16	Maniobras para meter tubería ranurada a 1550 m	
16-ago-16	Maniobras para meter tubería ranurada a 1550 m	
17 al 18 ago-16	Maniobras para finalizar el pozo	
19 al 23 ago-16	Maniobras para desmantelar equipo	
24 al 25 ago-16	Maniobras para limpiar el pozo AO-2B	
26-ago-16	Apertura del pozo AO2B	El pozo presentó manifestaciones de presión a 400 PSI. El pozo desaloja gas y vapor de agua.
27-ago-16	Maniobras para limpiar el pozo AO2C	Se realizó una junta extraordinaria para conocer las condiciones del pozo AO2B debido a la presencia de gas

Análisis de la estratigrafía de los pozos profundos Agrícola Oriental 2B y 2C

Tabla A1.1. Bitácora de perforación de agosto–septiembre. Continuación.

<b>Día</b>	<b>Comentarios generales</b>	<b>Observaciones</b>
28-ago-16	Maniobras para limpiar el pozo AO2C	
29-ago-16	Maniobras para limpiar el pozo AO2C y maniobras de control para el pozo AO2B	
30 al 31 ago-16	Maniobras para limpiar el pozo AO2C	Pozo AO2B cerrado
01-sep-16	Pozo AO2B cerrado con manómetro instalado	Presión registrada 450 PSI
02-sep-16	Pozo AO2B cerrado con manómetro instalado.	Presión registrada 850 PSI
	Presión controlada.	3 muestras de gas en viales de 25 ml con tapón de caucho y sello de aluminio, para el análisis de gases
	Se tomaron muestras de gas por parte del IGL	
03-sep-16	Pozo AO2B cerrado con manómetro instalado.	Presión registrada 0 PSI
	Presión controlada.	
04-sep-16	Pozo AO2B cerrado con manómetro instalado.	Presión registrada 0 PSI
	Presión controlada.	
05-sep-16	Pozo AO2B cerrado con manómetro instalado	Presión registrada 450 PSI
06-sep-16	Pozo AO2B cerrado con manómetro instalado	Presión registrada 500 PSI
07-sep-16	Pozo AO2B cerrado con manómetro instalado	Presión registrada 680 PSI
08-sep-16	Pozo AO2B cerrado con manómetro instalado	Presión registrada 610 PSI
09-sep-16	Pozo AO2B cerrado con manómetro instalado.	Presión registrada 620 PSI
	Movimiento de equipo al sitio del pozo Santa Catarina 3.	
10-sep-16	Pozo AO2B cerrado con manómetro instalado	Presión registrada 700 PSI
11-sep-16	Pozo AO2B cerrado con manómetro instalado	Presión controlada
12-sep-16	Pozo AO2B cerrado con manómetro instalado	Presión controlada (sin medición)
13-sep-16	Pozo AO2B abierto	Presión 700 PSI
14 al 30 sep-16	Pozo AO2B cerrado con manómetro instalado	Presión controlada (sin medición)

**Anexo 2. Relación de muestras de canal de los pozos AO2B y AO2C.**

Tabla A2.1. Lista de muestras de recorte del pozo AO2B.

<b>N. de Muestra</b>	<b>Profundidad (m)</b>	<b>Fecha</b>	<b>Hora</b>
1	500	24/04/2016	08:09
2	520	25/04/2016	02:06
3	540	25/04/2016	04:16
4	560	25/04/2016	06:39
5	580	25/04/2016	08:23
6	600	25/04/2016	10:00
7	620	25/04/2016	17:35
8	640	25/04/2016	22:15
9	660	26/04/2016	02:00
10	680	26/04/2016	04:25
11	700	02/05/2016	02:59
12	720	02/05/2016	21:00
13	740	02/05/2016	22:27
14	760	02/05/2016	23:29
15	780	03/05/2016	00:28
16	800	03/05/2016	01:30
17	820	03-may	01:30
18	820-840	<b>Núcleo</b>	
19	860	04/05/2016	21:20
20	880	04/05/2016	22:02
21	900	04/05/2016	23:47
22	920	07/05/2016	19:49
23	940	07/05/2016	20:45
24	960	07/05/2016	22:24
25	980	08/05/2016	00:15
26	1000	08/05/2016	01:41
27	1020	08/05/2016	03:25
28	1040	08/05/2016	05:54
29	1060	08/05/2016	11:10
30	1080	08/05/2026	13:06
31	1100	08/05/2026	12:14
32	1120	08/05/2016	14:23
33	1140	10/05/2016	22:48
33*	1140	17/05/2016	22:48
34	1160	20/05/2016	03:40
35	1180	20/05/2016	05:25
36	1200	20/05/2016	14:11
37	1220	20/05/2016	23:04
38	1240	22/05/2016	04:08
39	1260	22/05/2016	05:32
40	1280	22/05/2016	12:10

Análisis de la estratigrafía de los pozos profundos Agrícola Oriental 2B y 2C

Tabla A2.1. Lista de muestras de recorte del pozo AO2B. Continuación.

N. de Muestra	Profundidad (m)	Fecha	Hora
41	1300	23/05/2016	02:10
42	1320	23/05/2016	03:14
43	1340	23/05/2016	04:02
44	1360	23/05/2016	05:24
45	1380	23/05/2016	06:56
46	1400	23/05/2016	09:53
47	1420	24/05/2016	20:11
48	1440	24/05/2016	22:58
49	1460	25/05/2016	00:39
50	1480	25/05/2016	02:12
51	1500	25/05/2016	04:45
52	1520	25/05/2016	
53	1540	25/05/2016	13:21
54	1560	25/05/2016	19:50
55	1580	29/05/2016	20:39
56	1600	29/05/2016	22:09
57 **	1620	30/05/2016	00:39
58 **	1640	30/05/2016	03:02
59 **	1660	30/05/2016	05:20
60 **	1680	30/05/2016	09:08
61 **	1700	30/05/2016	11:22
62 **	1720	30/05/2016	13:32
63 **	1740	30/05/2016	15:24
64 **	1760	31/05/2016	00:07
65 **	1780	31/05/2016	01:24
66 **	1800	31/05/2016	03:58
67 **	1820	31/05/2016	08:45
68 **	1840	31/05/2016	10:40
69 **	1860	31/05/2016	12:30
70 **	1880	31/05/2016	13:53
71 **	1900	31/05/2016	15:44
72 **	1920	31/05/2016	17:46
73 **	1940	31/05/2016	19:30
74 **	1960	03/06/2016	09:54
75 **	1980	03/06/2016	10:26
76 **	2000	03/06/2016	11:25

\*\* Recorte de caliza.

Análisis de la estratigrafía de los pozos profundos Agrícola Oriental 2B y 2C

Tabla A2.2. Lista de muestras de recorte del pozo AO2C.

N. de Muestra	Profundidad (m)	Fecha	Hora
1	240	07/07/2016	05:52
2	260	07/07/2016	07:04
3	280	07/07/2016	08:12
4	300	07/07/2016	12:10
5	320	07/07/2016	15:55
6	340	07/07/2016	19:14
7	360	07/07/2016	23:07
8	380	07/07/2016	01:38
9	400	08/07/2016	03:45
10	420	08/07/2016	07:42
11	440	08/07/2016	10:37
12	460	08/07/2016	19:28
13	480	08/07/2016	18:22
14	500	08/07/2016	23:12
15	520	09/07/2016	01:08
16	540	09/07/2016	03:49
17	560	09/07/2016	11:23
18	580	09/07/2016	13:53
19	600	09/07/2016	19:17
20	620	09/07/2016	03:11
21	640	10/07/2016	12:19
22	660	11/07/2016	08:36
23	680	11/07/2016	19:04
24	700	11/07/2016	22:43
25	720	12/07/2016	01:20
26	740	12/07/2016	03:25
27	760	12/07/2016	04:58
28	780	12/07/2016	06:00
29 - 34**			
35	920	14/07/2016	09:47
36	930	14/07/2016	17:44
37	940	20/07/2016	05:10
38	950	20/07/2016	07:16
39	960	20/07/2016	12:31
40	970	20/07/2016	16:23
41*	980	21/07/2016	20:37
42	990	22/07/2016	06:29

Análisis de la estratigrafía de los pozos profundos Agrícola Oriental 2B y 2C

Tabla A2.2. Lista de muestras de recorte del pozo AO2C. Continuación.

<b>N. de Muestra</b>	<b>Profundidad (m)</b>	<b>Fecha</b>	<b>Hora</b>
43	1000	22/07/2016	01:45
44	1010	22/07/2016	02:54
45	1020	22/07/2016	06:56
46	1030	23/07/2016	04:13
47	1040	23/07/2016	10:33
48	1050	24/07/2016	02:45
49	1060	24/07/2016	07:31
50	1070	24/07/2016	09:53
51	1080	24/07/2016	11:16
52	1090	24/07/2016	12:31
53	1100	24/07/2016	13:15
54	1110	24/07/2016	14:29
55	1120	24/07/2016	15:14
56	1130	24/07/2016	15:52
57	1140	25/07/2016	20:30
58	1150	06/08/2016	10:19
59	1160	06/08/2016	11:19
60	1170	06/08/2016	12:46
61	1180	06/08/2016	13:50
62	1190	06/08/2016	15:23
63	1200	06/08/2016	04:02
64	1210	06/08/2016	05:25
65	1220	06/08/2016	11:22
66	1230	06/08/2016	11:56
67	1240	07/08/2016	01:22
68	1250	07/08/2016	02:21
69	1260	07/08/2016	03:21
70	1270	07/08/2016	04:09
71	1280	07/08/2016	07:44
72	1290	07/08/2016	23:29
73	1300	08/08/2016	03:51
74	1310	08/08/2016	05:04
75	1320	08/08/2016	06:03
76	1330	08/08/2016	07:32
77	1340	08/08/2016	08:34
78	1350	08/08/2016	09:35
79	1360	08/08/2016	10:45

Análisis de la estratigrafía de los pozos profundos Agrícola Oriental 2B y 2C

Tabla A2.2. Lista de muestras de recorte del pozo AO2C. Continuación.

N. de Muestra	Profundidad (m)	Fecha	Hora
80	1370	08/08/2016	13:29
81	1380	08/08/2016	15:00
82	1390	08/08/2016	17:46
83	1400	08/08/2016	21:43
84	1410	09/08/2016	02:12
85	1420	09/08/2016	03:53
86	1430	09/08/2016	05:43
87	1440	09/08/2016	07:14
88	1450	09/08/2016	10:25
89	1460	09/08/2016	13:10
90	1470	09/08/2016	14:47
91	1480	09/08/2016	17:34
92	1490	09/08/2016	16:35
93	1500	10/08/2016	01:11
94	1510	10/08/2016	10:04
95	1520	10/08/2016	07:31
96	1530	10/08/2016	12:41
97	1540	10/08/2016	17:04
98	1550	10/08/2016	19:45
99	1560	12/08/2016	04:38

\* Muestra complementaria.

\*\* Sin recuperación de muestra o incompletas por pérdida de circulación, evitando así su recolección.

**Anexo 3. Relación de curvas y registros tomados en los pozos AO2B y AO2C.**

Tabla A3.1. Registro inductivo (ATI) tomado en la primera etapa del pozo AO2B.

Primera etapa Registro ATI			
Registro	Tipo	Curva	Unidades
Rayos gamma	Rayos gamma	GR	ohm m
AF	Resistivo	AF10, AF20, AF30, AF60 y AF90	ohm m
AFCO	Inductivo	AFCO10, AFCO20, AFCO30, AFCO60, AFCO90	mm/m
AT	Resistivo	AT10, AT20, AT30, AT60, AT90	ohm m
ATCO	Inductivo	ATCO10 , ATCO20, ATCO30, ATCO60, ATCO90	mm/m
A0	Resistivo	A010, A020, A030, A060, A090	ohm m
AOCO	Inductivo	AOCO10, AOCO20, AOCO30, AOCO60, AOCO90	mm/m

Tabla A3.2. Registro neutrón densidad (CNL\_LDL) tomado en la primera etapa del pozo AO2B.

Primera etapa Registro CNL_LDL			
Registro	Tipo	Curva	Unidades
Corrección del conteo largo	Neutrón	CFTC	z
Corrección del conteo corto	Neutrón	CNTC	hz
Resolución de densidad y porosidad	Neutrón	DPHZ	v/v
Rayos gamma	Rayos gamma	GR	api
Caliper	Densidad	HCAL	v/v
Densidad Corregida	Densidad	HDRA	in
Porosidad Neutrón	Neutrón	NPHI	v/v
Densidad	Densidad	RHOZ	g/c3
Factor Fotoeléctrico	Densidad	PEFZ	b/e

Tabla A3.3. Registro sísmico dipolar (DSI) tomado en la primera etapa del pozo AO2B.

Primera Etapa Registro DSI			
Registro	Tipo	Curva	Unidades
Delta/T Compresional	Sónico Compensado	DTCO	us/f
Delta/t Cizalla	Sónico Dipolar	DTSM	us/f
Delta/T Stoneley	Acústico	DTST	us/f
Rayos gamma	Rayos gamma	GR	api
Tiempo de Tránsito Integrado	Sónico Dipolar	ITT	s
Coefficiente de Poisson	Acústico	PR	
Sónico Digital	Sónico Dipolar	SPHI	v/v
Cizallamiento de Compresión	Acústico	VPVS	

Análisis de la estratigrafía de los pozos profundos Agrícola Oriental 2B y 2C

Tabla A3.4. Registro geometría de pozo (BGL/GPIT) tomado en la primera etapa del pozo AO2B.

Primera etapa Registro BGL			
Registro	Tipo	Curva	Unidades
Direccional	Geometría del pozo	ED	m
Agujero Azimut	Geometría del pozo	HAZIM	deg
Direccional	Geometría del pozo	HDAR	in
Direccionales	Geometría del pozo	ND	m
RD_PPC1	Geometría del pozo	RD1_PPC1, RD_PPC1, RD3_PPC1, RD4_PPC1	in
HD_PPC1	Geometría del pozo	HD1_PPC1, HD2_PPC1	in
Agujero Azimut	Geometría del pozo	SDEV	deg
Direccional	Geometría del pozo	TVDE	m
Agujero Azimut	Geometría del pozo	RB	deg

Tabla A3.5. Registro geometría de pozo (BGL/GPIT) tomado en la segunda etapa del pozo AO2B.

Registros BGL/GPIT Segunda Etapa			
Registro	Tipo	Curva	Unidades
Profundidad	Pozo	DEPTH	m
Agujero Azimut	Geometría del pozo	HAZI	deg
Agujero Azimut	Geometría del pozo	SDEV	deg
Direccional	Geometría del pozo	ED	deg
Direccional	Geometría del pozo	ND	m
Direccional	Geometría del pozo	TVDE	m
Direccional	Diámetro del agujero	HD1_PPC1	in
Direccional	Diámetro del agujero	HD2_PPC1	in

Tabla A3.6. Registro resistivo (DLL) tomado en la segunda etapa del pozo AO2B.

Registro DLL Segunda Etapa			
Registro	Tipo	Curva	Unidades
Profundidad	Pozo	DEPTH	m
Rayos gamma	Rayos gamma	GR	gapi
RT	Resistivo	RT_HRLT	ohmm
RXO	Resistivo	RXO_HRLT	ohmm
RLA	Resistivo	RLA0, RLA1, RLA2, RLA3, RLA4 y RLA5	ohmm
RM_HRLT	Resistivo	RM	ohmm
RLA	Resistivo	RLA0_UNCORR,	

Análisis de la estratigrafía de los pozos profundos Agrícola Oriental 2B y 2C

Tabla A3.7. Registro sísmico dipolar (DSI) tomado en la segunda etapa del pozo AO2B.

<b>Registro DSI Segunda Etapa</b>			
<b>Registro</b>	<b>Tipo</b>	<b>Curva</b>	<b>Unidades</b>
Profundidad	Pozo	DEPTH	m
Delta/T compresional	Acústico	DTCO	us/f
Delta/T cizalla	Acústico	DTSM	us/f
Delta/T stoneley	Acústico	DTST	us/f
Rayos gamma	Rayos gamma	GR	gapi
Tiempo de Tránsito Integrado	Sónico	ITT	s
Coefficiente de Poisson	Acústico	PR	
Porosidad sísmica	Sónico	SPHI	v/v
Compresión de cizallamiento con relación a velocidad	Acústico	VPVS	

Tabla A3.8. Registro neutrón densidad (LDL/CNL) tomado en la segunda etapa del pozo AO2B.

<b>Registro LDL/CNL Segunda Etapa</b>			
<b>Registro</b>	<b>Tipo</b>	<b>Curva</b>	<b>Unidades</b>
Profundidad	Pozo	DEPTH	m
Corrección del conteo largo	Neutrón	CFTC	hz
Corrección del conteo corto	Neutrón	CNTC	hz
Resolución de densidad y porosidad	Neutrón	DPHZ	v/v
Rayos gamma	Rayos gamma	GR	api
Caliper	Densidad	HCAL	v/v
Densidad Corregida	Densidad	HDRA	in
Porosidad Neutrón	Neutrón	NPHI	v/v
Densidad	Densidad	RHOZ	g/c3
Factor Fotoeléctrico	Densidad	PEFZ	b/e

Análisis de la estratigrafía de los pozos profundos Agrícola Oriental 2B y 2C

Tabla A3.9. Registro resistivo (DLL) tomado en la tercera etapa del pozo AO2B.

<b>Registro Tercera etapa DLL</b>			
<b>Registro</b>	<b>Tipo</b>	<b>Curva</b>	<b>Unidades</b>
Resistividad verdadera	Resistivo	RT_HRTL	ohm m
Resistividad de la zona invadida	Resistivo	RXO_HRTL	ohm m
Indicador de calidad para Rt	Resistivo	QC_RT_HRTL	ohm m
Indicador de calidad para Rxo	Resistivo	QC_RXO_HRTL	ohm m
Corrección por agujero	Resistivo	RLA0, RLA1, RLA2, RLA3, RLA4, RLA5	ohm m
Corrección por lodo	Resistivo	RM_HRTL	ohm m
Curva no corregida	Resistivo	RLA0_UNICORR, RLA1_UNICORR, RLA2_UNICORR, RLA3_UNICORR, RLA4_UNICORR, RLA5_UNICORR	ohm m

Tabla A3.10. Registro neutrón densidad (LDL / CNL) tomado en la tercera etapa del pozo AO2B.

<b>Registro Tercera etapa LDL / CNL</b>			
<b>Registro</b>	<b>Tipo</b>	<b>Curva</b>	<b>Unidades</b>
Corrección del conteo largo	Neutrón	CFTC	hz
Corrección del conteo corto	Neutrón	CNTC	hz
Resolución de densidad y porosidad	Neutrón	DPHZ	v/v
Rayos gamma	Rayos gamma	GR	gapi
Caliper	Geometría del pozo	HCAL	in
Corrección para la densidad	Densidad	HDRA	g/c3
Porosidad neutrón	Neutrón	NPHI	v/v
Densidad	Densidad	RHOZ	g/c3
Factor fotoeléctrico	Densidad	PEFZ	

Tabla A3.11. Registro de espectroscopia (HNGS) tomado del pozo AO2C.

<b>Registro HNGS</b>			
<b>Registro</b>	<b>Tipo</b>	<b>Curva</b>	<b>Unidades</b>
Rayos gamma	Rayos gamma	HCGR	gapi
Rayos gamma estándar	Rayos gamma	HSGR	gapi
Razón torio/potasio	Rayos gamma	HTPR	gapi
Razón torio/uranio	Rayos gamma	HTUR	gapi
Razón uranio/potasio	Rayos gamma	HUPR	gapi
Torio	Rayos gamma	HTHO	ppm
Uranio	Rayos gamma	HURA	ppm
Potasio	Rayos gamma	HFK	v/v

Análisis de la estratigrafía de los pozos profundos Agrícola Oriental 2B y 2C

Tabla A3.12.Registro de geometría del pozo (BGL / GPIT) tomado del pozo AO2C.

<b>Registro BGL/GPIT</b>			
<b>Registro</b>	<b>Tipo</b>	<b>Curva</b>	<b>Unidades</b>
Direccional	Geometría del pozo	ED	M
Agujero Azimut	Geometría del pozo	HAZIM	DEG
Direccional	Geometría del agujero	HDAR	IN
Direccional	Geometría del agujero	HDMX	in
Direccional	Geometría del pozo	ND	m
Direccional	Geometría del agujero	RD1	in
Direccional	Geometría del agujero	RD2	in
Direccional	Geometría del agujero	RD3	in
Direccional	Geometría del agujero	RD4	in
Direccional	Geometría del agujero	RD5	in
Direccional	Geometría del agujero	RD6	in
Agujero Azimut	Geometría del pozo	SDEVM	deg
Direccional	Geometría del pzozo	TVDE	m

Tabla A3.13. Registro inductivo (ATI) tomado del pozo AO2C.

<b>Registro AIT</b>			
<b>Registro</b>	<b>Tipo</b>	<b>Curva</b>	<b>Unidades</b>
Rayos gamma	Rayos gamma	GR	ohm m
AF	Resistivo	AF10, AF20, AF30, AF60, AF90	ohm m
AFCO	Inductivo	AFCO10, AFCO20, AFCO30, AFCO60, AFCO90	mm/m
AT	Resistivo	AT10, AT20, AT30, AT60, AT90	ohm m
ATCO	Inductivo	ATCO10, ATCO20, ATCO30, ATCO60, ATCO90	mm/m
A0	Resistivo	AO10, AO20, AO30, AO60, AO90	ohm m
AOCO	Inductivo	AOCO10, AOCO20, AOCO30, AOCO60, AOCO90	mm/m

#### Anexo 4. Metodología utilizada para procesar las muestras de recorte de perforación

Material:

- Vaso de precipitado de 500 ml
- Agua
- Cuchara
- Horno
- Mortero de cerámica
- Plumón y etiquetas
- Frascos de 250 ml
- Bolsas

Procedimiento:

1. Una vez arribadas las muestras al IGL (Figura A4.1), éstas son colocadas en orden ascendente de acuerdo al número de muestra con la finalidad de tener un orden y control de las mismas (Anexo 2).
2. Una vez ordenadas, se toma la bolsa que contiene el material producto de la perforación (agua, lodo de perforación y recorte) y se coloca una fracción de muestra en el vaso de precipitado (debido al volumen, no fue posible secar toda la muestra en una sola sesión) como se muestra en la Figura A4.2.
3. Se vierte agua en el vaso de precipitado y con la cuchara se agita el fluido para que poco a poco se vaya separando el lodo de perforación del recorte

(Figuras A4.3 y A4.4). Esto se repite en varias ocasiones hasta que el agua se vuelve clara (Figura A6) y no se tengan rastros de cáscara de nuez o arroz (dichas cáscaras se utilizan como aditivos del lodo de perforación, ver Figura A4.5).

4. Posteriormente, la muestra se deposita en el mortero de cerámica, previamente etiquetado con el número de muestra, profundidad y las siglas del pozo al que corresponde (Figura A4.7 y A4.8).
5. Una vez etiquetada, la muestra se coloca en el horno de secado a 80°C y se dimita durante aproximadamente 18 horas para su secado (Figura A4.9).
6. Una vez seca la muestra, se retira del horno y se deja enfriar un par de minutos para colocarla en un frasco etiquetado, en el que se colocan los clastos más grandes y representativos (Figura A4.10). La muestra restante (en caso de existir) se coloca en bolsas de cierre hermético.

Nota: Los frascos y las bolsas son etiquetados con los datos correspondientes a la bolsa que contenía la muestra original.



Figura A4.1. Ejemplo de las muestras que llegan al laboratorio.



Figura A4.2. Ejemplo de las muestras que llegan al laboratorio.



Figura A4.3. Se vierte agua en el vaso que contiene la muestra para ser lavada.

Análisis de la estratigrafía de los pozos profundos Agrícola Oriental 2B y 2C



Figura A4.4. Después de verter el agua, la muestra se mueve con ayuda de la cuchara. Posteriormente se espera a que el sedimento se asiente.



Figura A4.5. Mediante el lavado de la muestra es posible retirar la presencia de lodo de perforación, así como la cáscara de nuez y arroz.



Figura A4.6. Se sabe que el lavado de la muestra ha finalizado cuando al verter el agua en el recipiente ésta es traslúcida y la presencia de las cáscaras es nula.



Figura A4.7. Antes de colocar la muestra ya lavada en el mortero, éste es etiquetado con los datos principales para llevar un control de secado.

Análisis de la estratigrafía de los pozos profundos Agrícola Oriental 2B y 2C



Figura A4.8. Al finalizar el lavado de la muestra ésta se vierte en un mortero para posteriormente meterla al horno.



Figura A4.9. La muestra es colocada en el horno a 80°C por 18 horas aproximadamente para su secado.

Análisis de la estratigrafía de los pozos profundos Agrícola Oriental 2B y 2C

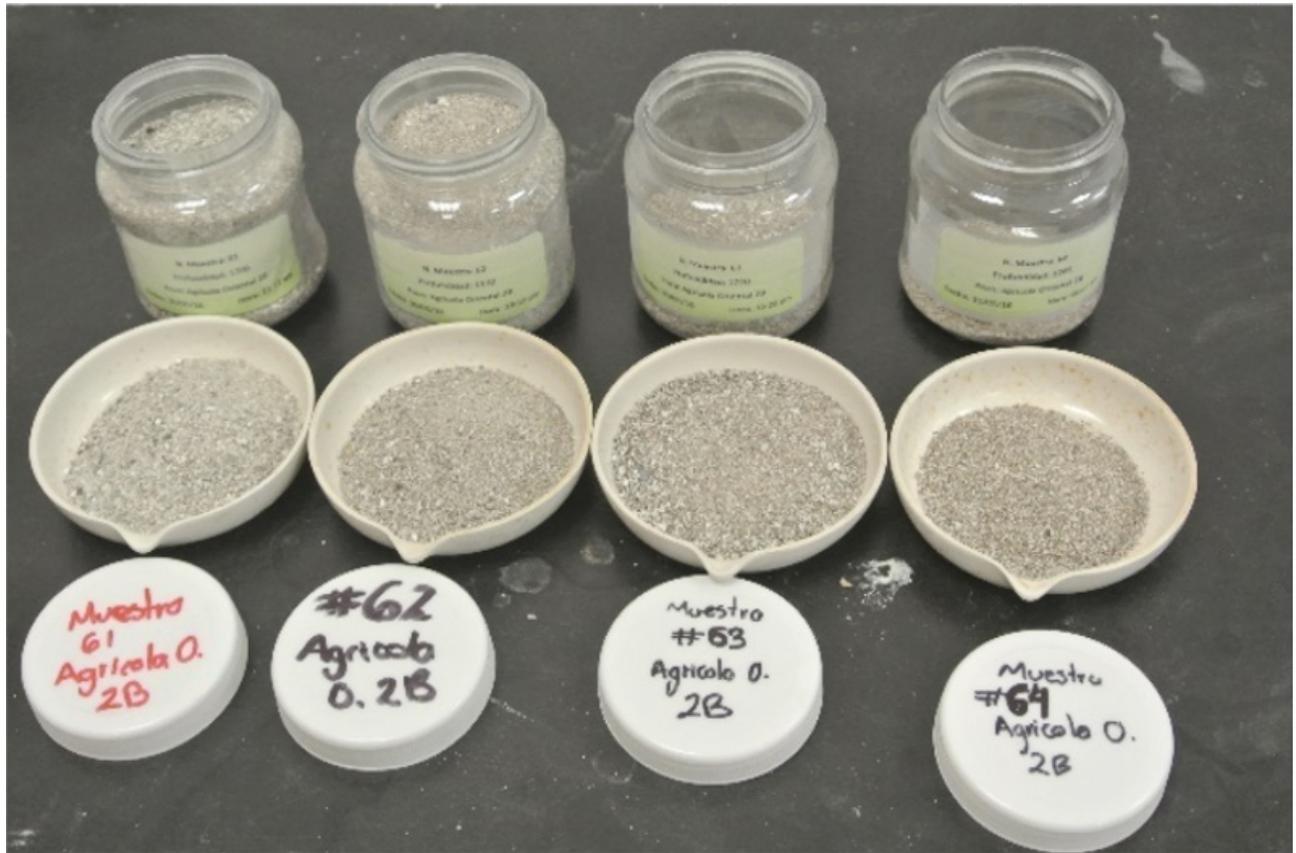


Figura A4.10. Una vez seca la muestra ésta se deposita en frascos previamente etiquetados.

**Anexo 5. Descripción de los núcleos extraídos de los pozos AO2B y AO2C.**

**Núcleo N1-AO2B.**

En este núcleo no se realizó una descripción detallada pues las condiciones de alteración lo impidieron, por

ello, únicamente se presentan fotos que permiten ver las características del mismo.

Abreviatura	Palabra
Plg	Plagioclasas
BAF	Flujo de bloques y cenizas
Amph	Anfíboles
Px	Piroxeno
Qz	Cuarzo
Ol	Olivino
Cpx	Clinopiroxeno
Bt	Biotita
C	Ceniza
B	Bloque



Figura A5.1. Secciones del núcleo N1-AO2B entre las profundidades 830 y 833.2 m.

Análisis de la estratigrafía de los pozos profundos Agrícola Oriental 2B y 2C



Figura A5.2. Secciones del núcleo N1-AO2B entre las profundidades 833.2 y 836.4 m.



Figura A5.3. Secciones del núcleo N1-AO2B entre las profundidades 836.4 y 839.6 m.

Análisis de la estratigrafía de los pozos profundos Agrícola Oriental 2B y 2C

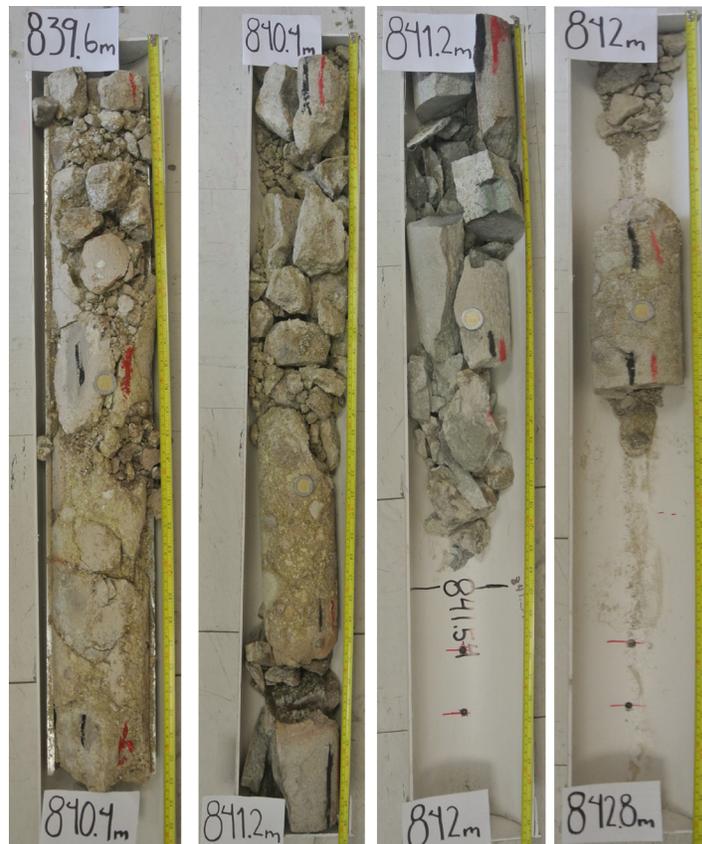


Figura A5.4. Secciones del núcleo N1-AO2B entre las profundidades 839.6 y 842.8 m.



Figura A5.5. Núcleo N1-AO2B entre las profundidades 843.6 y 844.15 m.

**Núcleo N2-AO2B**



Material gris verdoso, masivo, constituido por clastos. 6-7 cm hasta 40 cm (lapilli y bloques), inmersos en matriz de ceniza, abundan fragmentos sub-angulosos, la matriz tiene coloración verdosa corresponde a alteración hidrotermal (epidota). Los fragmentos son de color gris oscuro, gris claro, rojizo de textura porfídica con fenocristales de Plg y Px (andesita).

Deposito F.B Cenizas



Material gris verdoso, masivo, constituido por clastos. 6-7 cm hasta 40 cm (lapilli y bloques), inmersos en matriz de ceniza, abundan fragmentos sub-angulosos, la matriz tiene coloración verdosa corresponde a alteración hidrotermal (epidota). Los fragmentos son de color gris oscuro, gris claro, rojizo de textura porfídica con fenocristales de Plg y Px (andesita).

Deposito F.B Cenizas

Figura A5.6. Descripción del núcleo N2-AO2B entre los 900 y 901 m.

Figura A5.7. Descripción del núcleo N2-AO2B entre los 901 y 902 m.



Material color gris claro, masivo con clastos de pómez ~2 cm color blanco de textura afanítica con pequeños cristales oscuros y fragmentos desechos de color gris oscuro, gris claro y rojizo de textura porfídica con fenocristales de Plg, Px (Cpx) (andesita).



Este tramo se caracteriza por contener 30-40% de pómez.

La pómez se presenta redondeada y los líticos tienen formas sub-angulosas.

Depósito de FB cenizas con pómez.

Figura A5.8. Descripción del núcleo N2-AO2B entre los 902 y 903 m.

Figura A5.9. Descripción del núcleo N2-AO2B entre los 903 y 904 m.

Análisis de la estratigrafía de los pozos profundos Agrícola Oriental 2B y 2C



Material color gris claro, masivo con clastos de pómez ~2 cm color blanco de textura afanítica con pequeños cristales oscuros y fragmentos desechos de color gris oscuro, gris claro y rojizo de textura porfídica con fenocristales de Plg, Px (Cpx) (andesita).



Material gris claro, masivo, constituido por clastos de lava y en menor cantidad pómez. <10% de pómez. Lítico de textura porfídica con fenocristales de Plg, Px y epidota. Composición andesítica. Clastos subredondeados y pómez redondeada. Flujo Piroclástico de Bloques y cenizas con poca pómez.

Figura A5.10. Descripción del núcleo N2-AO2B entre los 904 y 905 m.

Figura A5.11. Descripción del núcleo N2-AO2B entre los 905 y 906 m.



Material gris claro, masivo, con algunos enclaves. Textura porfídica con fenocristales de Plg, con pirita. Composición andesítica. Presenta vetillas



Material gris claro, masivo, con algunos enclaves. Textura porfídica con fenocristales de Plg, con pirita. Composición andesítica. Presenta vetillas

Figura A5.12. Descripción del núcleo N2-AO2B entre los 906 y 907 m.

Figura A5.13. Descripción del núcleo N2-AO2B entre los 907 y 908 m.

Análisis de la estratigrafía de los pozos profundos Agrícola Oriental 2B y 2C



Figura A5.14. Descripción del núcleo N2-AO2B entre los 908 y 909 m.



Figura A5.15. Descripción del núcleo N2-AO2B entre los 909 y 910 m.

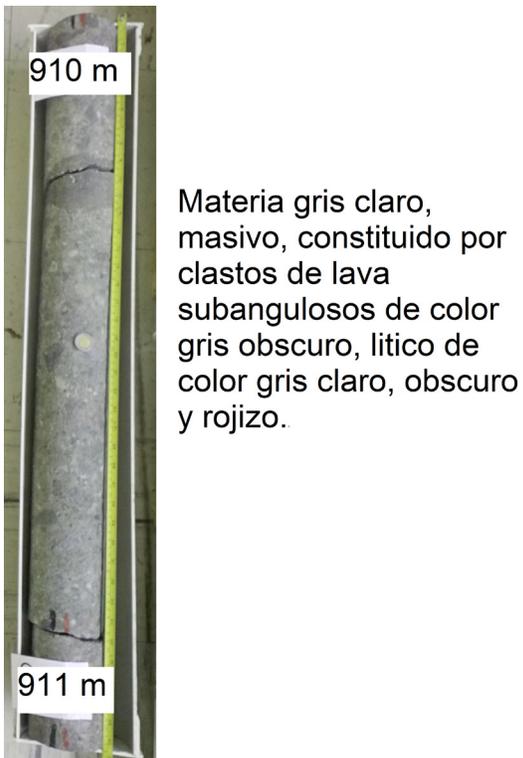


Figura A5.16. Descripción del núcleo N2-AO2B entre los 910 y 911 m.



Figura A5.17. Descripción del núcleo N2-AO2B entre los 911 y 912 m.

Análisis de la estratigrafía de los pozos profundos Agrícola Oriental 2B y 2C



Figura A5.18. Descripción del núcleo N2-AO2B entre los 912 y 913 m.

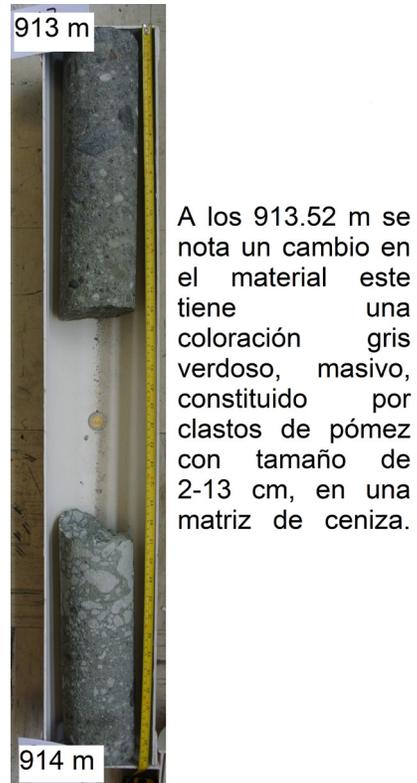


Figura A5.19. Descripción del núcleo N2-AO2B entre los 913 y 914 m.



Figura A5.20. Descripción del núcleo N2-AO2B entre los 914 y 915 m.

**Núcleo N3-AO2B**



Figura A5.21. Secciones del núcleo N3-AO2B entre las profundidades 1950 y 1954 m.

**Núcleo N1-AO2C**

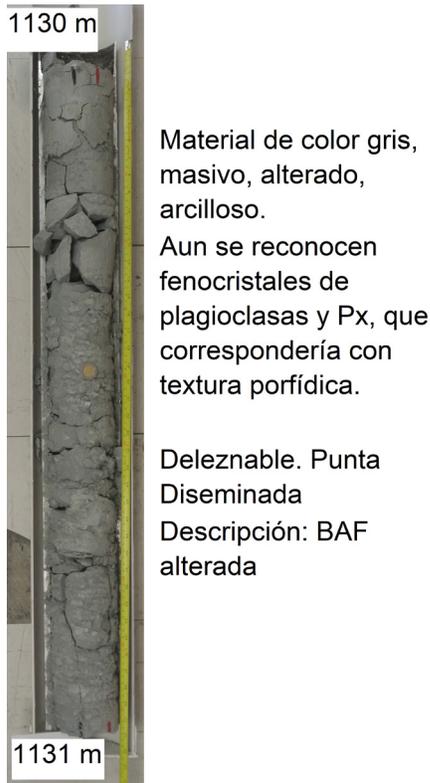


Figura A5.22. Descripción del núcleo N1-AO2C entre los 1130 y 1131 m.



Figura A5.23. Descripción del núcleo N1-AO2C entre los 1133 y 1134 m.



Figura A5.24. Descripción del núcleo N1-AO2C entre los 1134 y 1135 m.



Figura A5.25. Descripción del núcleo N1-AO2C entre los 1135 y 1136 m.

Análisis de la estratigrafía de los pozos profundos Agrícola Oriental 2B y 2C



Material masivo,  
color gris con  
fragmentos  
líticos.



Material masivo,  
color gris con  
fragmentos líticos.

Figura A5.26. Descripción del núcleo N1-AO2C entre los 1136 y 1137 m.

Figura A5.27. Descripción del núcleo N1-AO2C entre los 1137 y 1138 m.



Fragmentos de  
1.5, 1.6 cm o 3  
cm. Inmersos en  
matriz de ceniza.  
Descripción: BAF



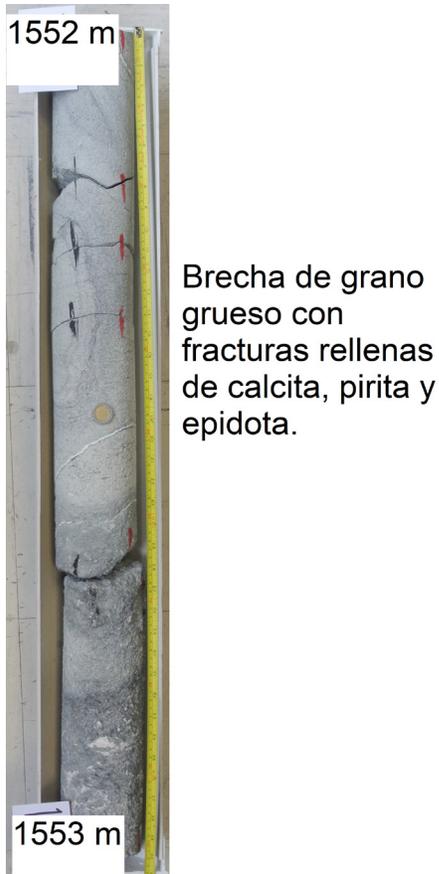
Lava color gris claro,  
homogenea masivo  
con fracturas rellenas  
de pitita, epidota y  
calcita. Textura  
porfidica con  
fenocristales de Px y  
Amph Epidota y pirita  
diseminada.

Andesita

Figura A5.28. Descripción del núcleo N1-AO2C entre los 1138 y 1139 m.

Figura A5.29. Descripción del núcleo N2-AO2C entre los 1550 y 1551 m.

Análisis de la estratigrafía de los pozos profundos Agrícola Oriental 2B y 2C



Brecha de grano grueso con fracturas rellenas de calcita, pirita y epidota.

Figura A5.30. Descripción del núcleo N2-AO2C entre los 1552 y 1553 m.



Lava gris claro-medio con fenocristales abundantes de Plg, Qz y pirita diseminada.

Figura A5.31. Descripción del núcleo N2-AO2C entre los 1553 y 1554 m.



Lava gris claro-medio con fenocristales abundantes de Plg, Qz y pirita diseminada.

Figura A5.32. Descripción del núcleo N2-AO2C entre los 1554 y 1555 m.



Lava gris claro-medio con fenocristales abundantes de Plg, Qz y pirita diseminada.

Aumenta grado de alteración y grado de fracturamiento.

Figura A5.33. Descripción del núcleo N2-AO2C entre los 1555 y 1556 m.

Análisis de la estratigrafía de los pozos profundos Agrícola Oriental 2B y 2C



Figura A5.34. Descripción del núcleo N2-AO2C entre los 1556 y 1557 m.

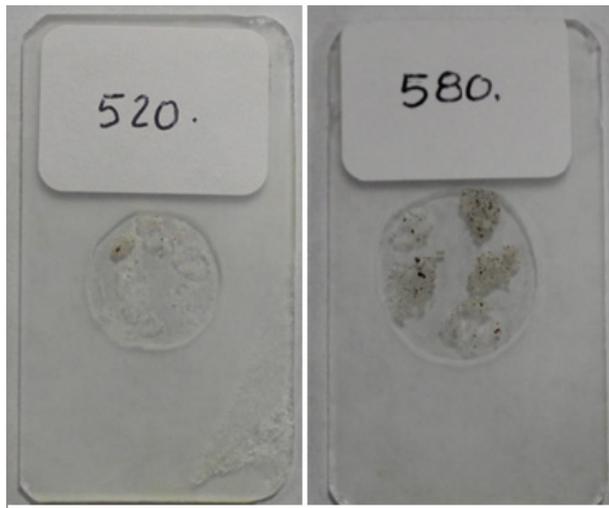


Figura A5.35. Descripción del núcleo N2-AO2C entre los 1557 y 1558 m.



Figura A5.36. Descripción del núcleo N2-AO2C entre los 1558 y 1559 m.

Anexo 6. Láminas delgadas y microfotografías correspondientes a muestras de los Pozos AO2B y AO2C.



a)

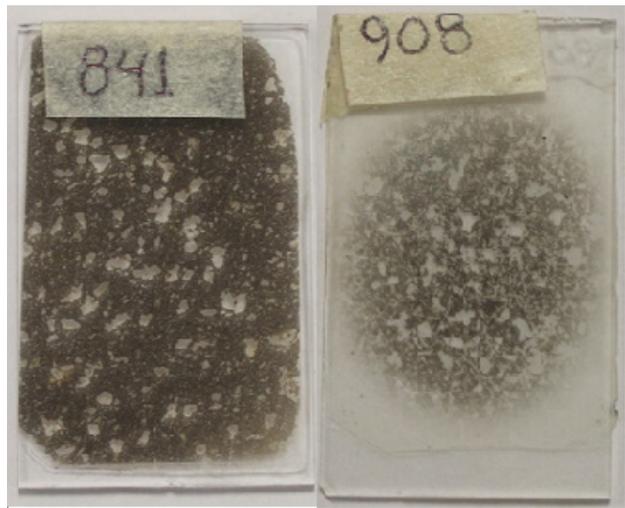
b)



c)

d)

Figura A6.1. Láminas pulida de la muestras de canal de las profundidades: a) 520 m, b) 580 m, c) 600 m y d) 830 m.



a)

b)

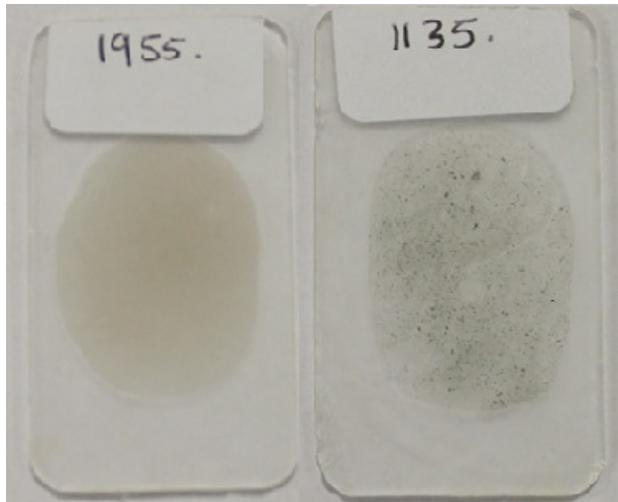


c)

d)

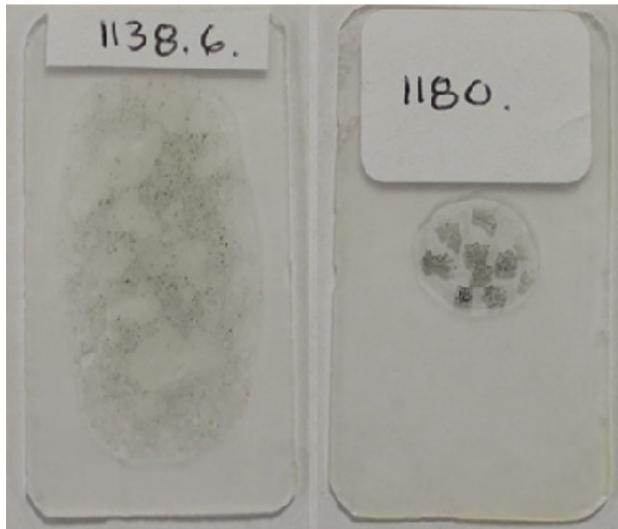
Figura A6.2. Láminas pulida de la muestras de canal de las profundidades: a) 841 m, b) 908 m, c) 980 m y d) 913 m.

Análisis de la estratigrafía de los pozos profundos Agrícola Oriental 2B y 2C



a)

b)



c)

d)



a)



b)



c)

Figura A6.3. Láminas pulidas de la muestras de canal de las profundidades: a) 1955 m, b) 1135 m, c) 1138.6 m y d) 1180 m.

Figura A6.4. Láminas pulidas de la muestras del núcleo N2AO2C: a) 1550 m, b) 1555 y c) 1558 m.

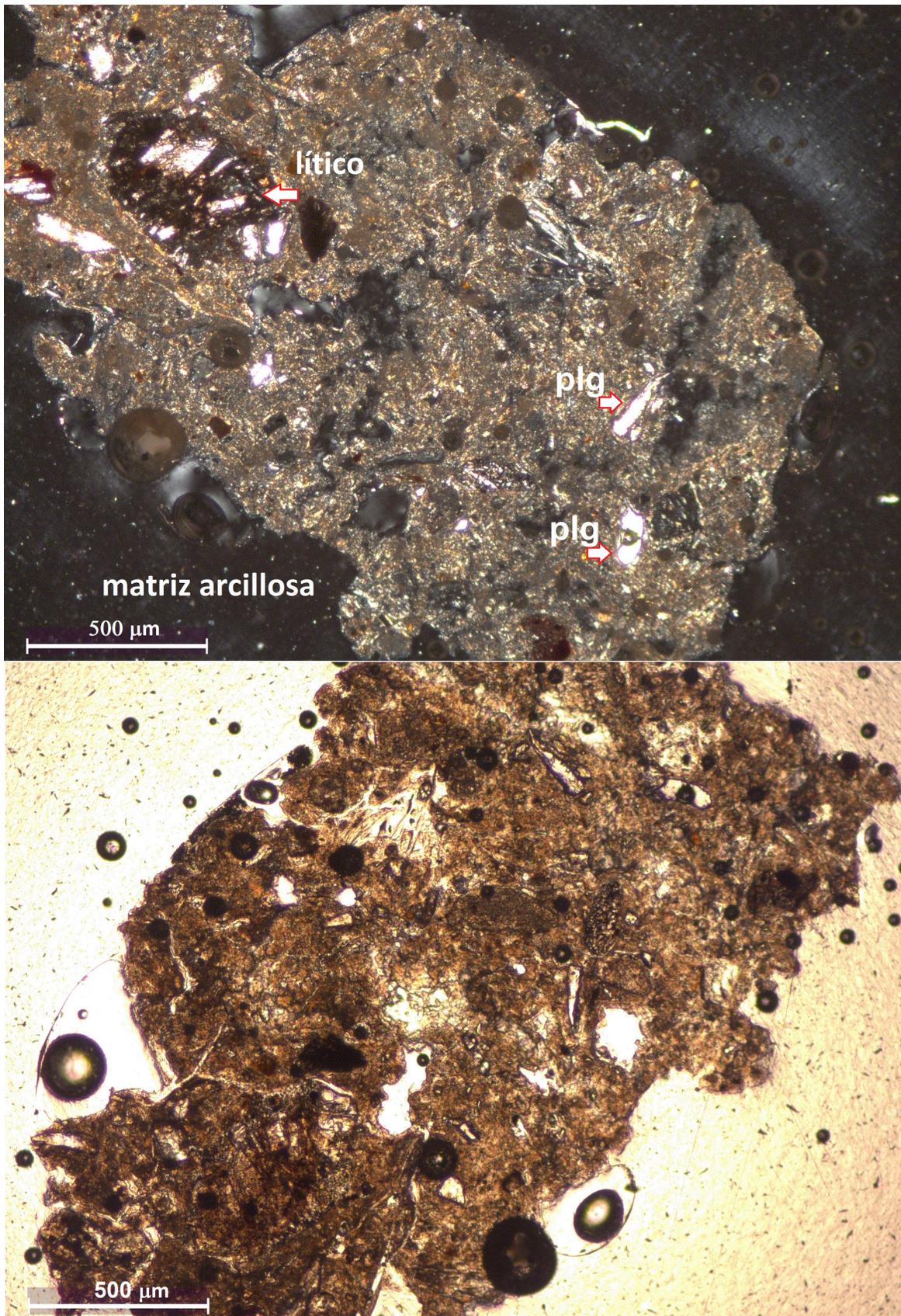


Figura A6.5. Microfotografías del depósito de ignimbrita ubicado a 520 m de profundidad (plg = plagioclasa).

Análisis de la estratigrafía de los pozos profundos Agrícola Oriental 2B y 2C

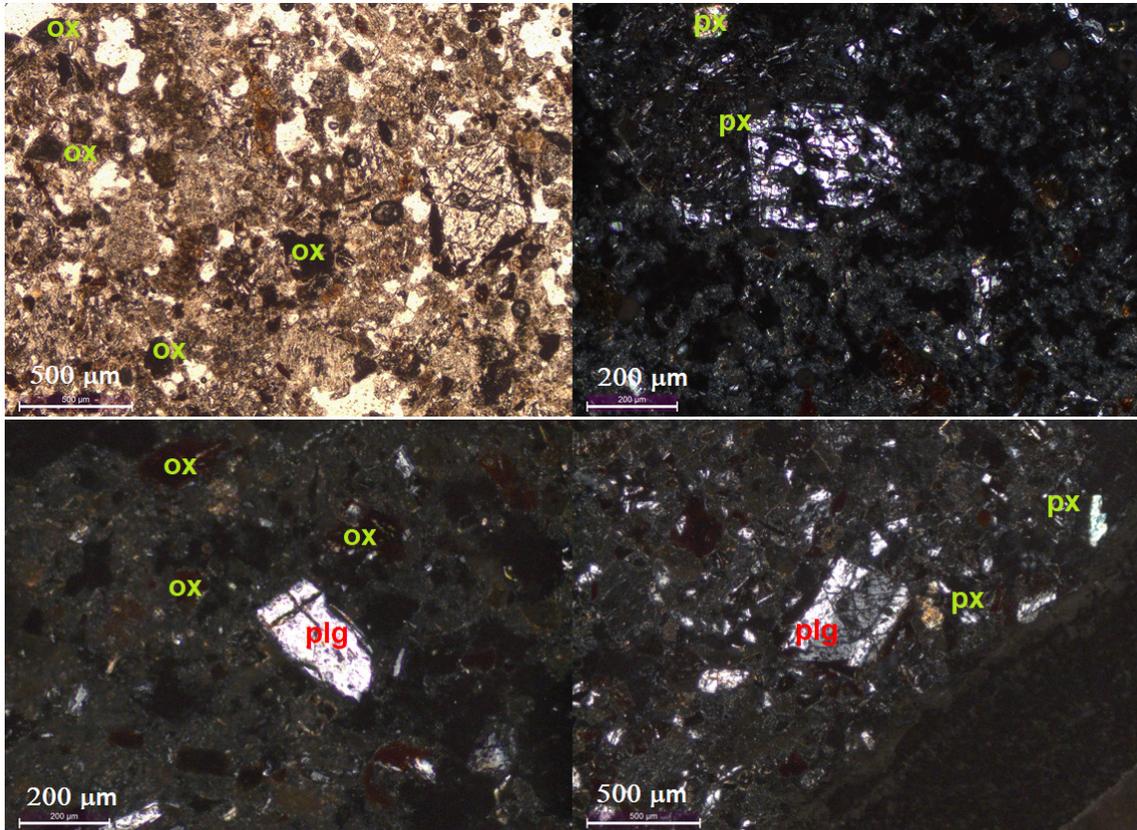


Figura A6.6. Microfotografías de una lava andesítica ubicada a 580 m de profundidad (Plg = plagioclasa; px = piroxeno; ox = óxidos de Fe y Ti).

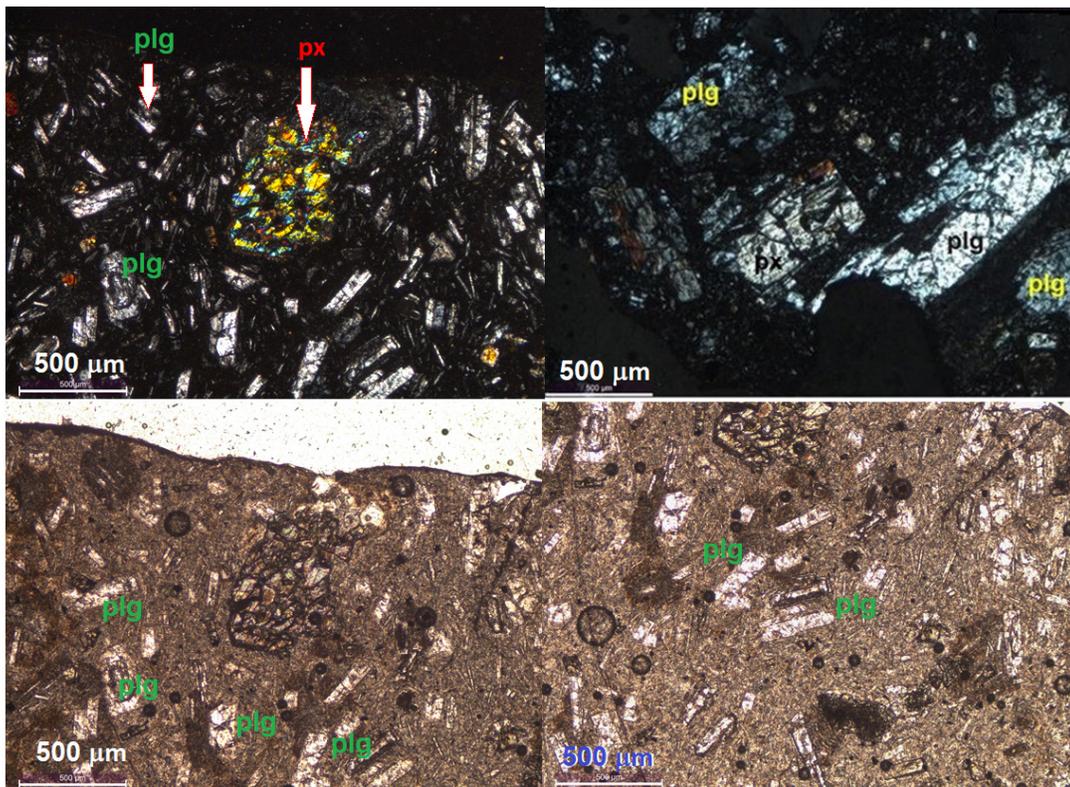


Figura A6.7. Microfotografías de una lava andesítica ubicada a 600 m de profundidad (plg = plagioclasa; px = piroxeno).

Análisis de la estratigrafía de los pozos profundos Agrícola Oriental 2B y 2C

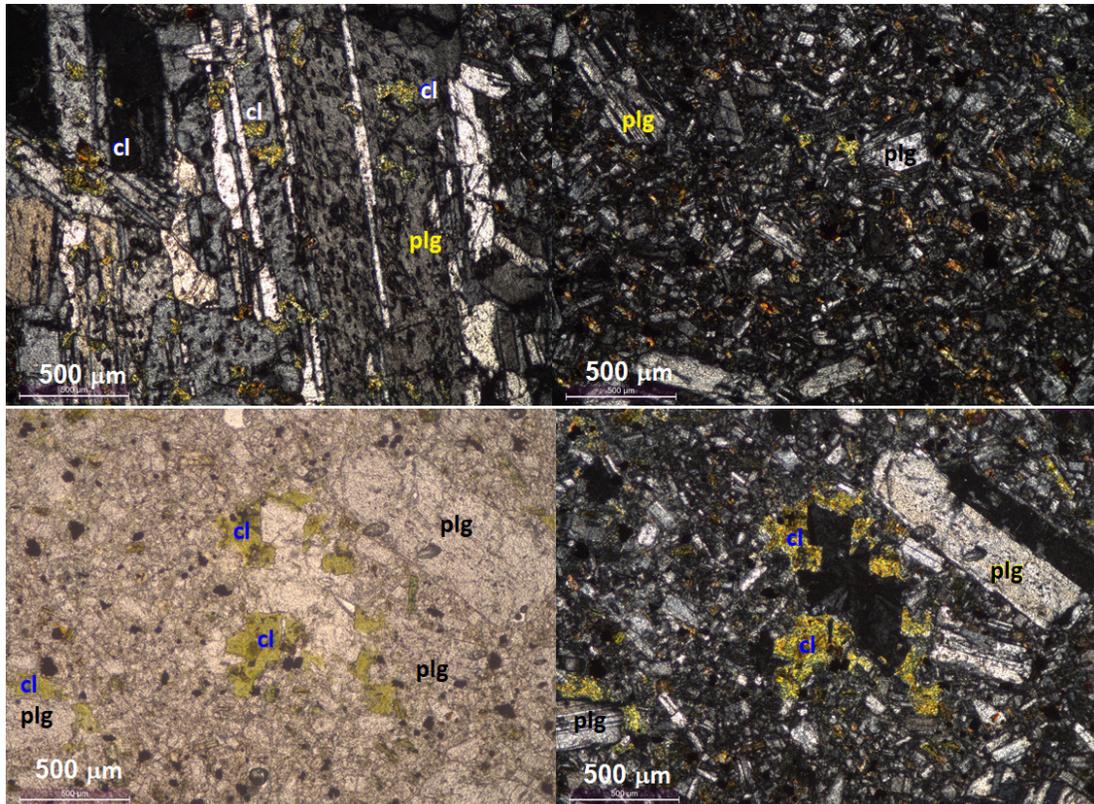


Figura A6.8. Microfotografías de un bloque de lava de composición andesítica, ubicado a 830 m de profundidad, con signos alteración hidrotermal (plg = plagioclasa; px = piroxeno; cl = clorita).

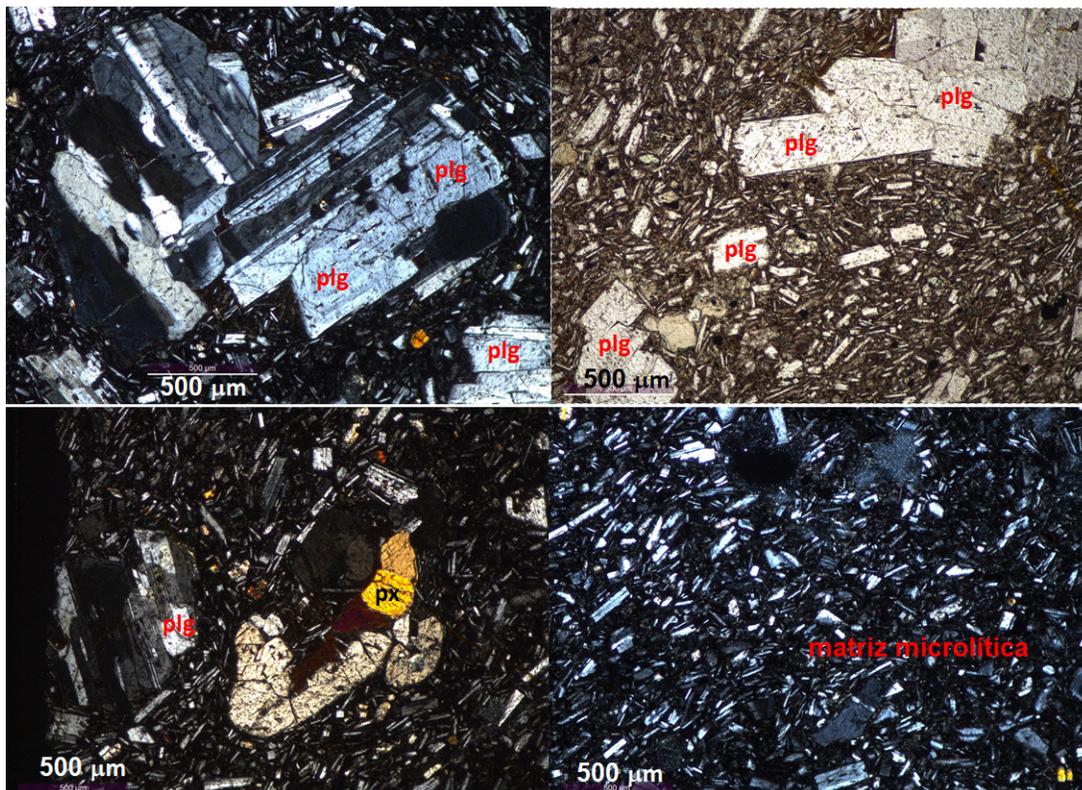


Figura A6.9. Microfotografías de un bloque de lava de composición andesítica, ubicado a 841 m de profundidad (plg = plagioclasa; px = piroxeno).

Análisis de la estratigrafía de los pozos profundos Agrícola Oriental 2B y 2C

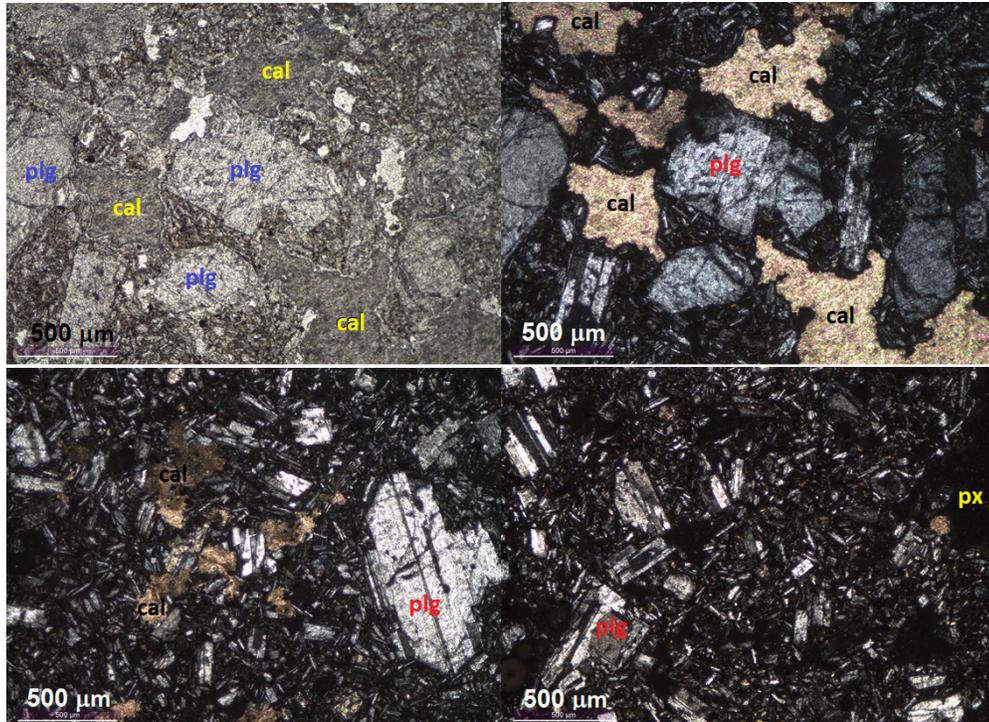


Figura A6.10. Microfotografías de un bloque de lava de composición andesítica ubicado a 908 m de profundidad (plg = plagioclasa; px = piroxeno; cal = calcita).

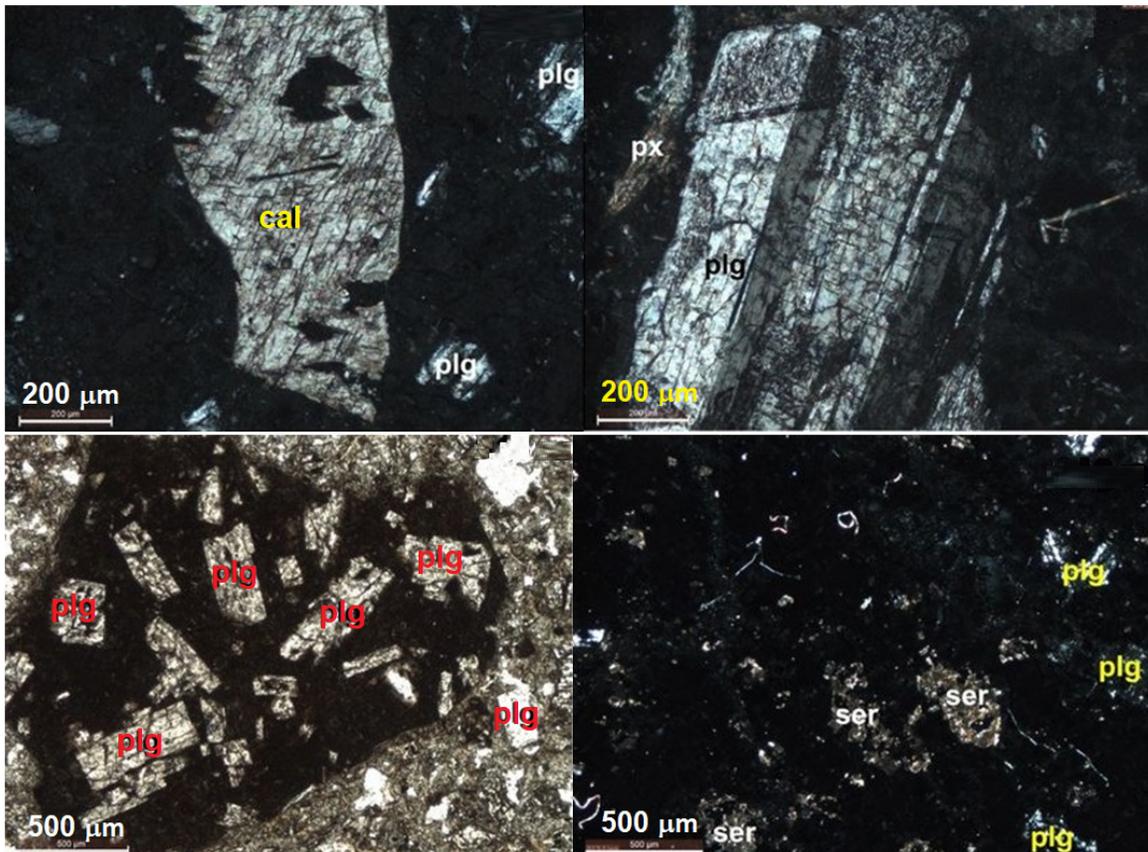


Figura A6.11. Microfotografías de un depósito de de flujo piroclástico muy alterado a arcillas, ubicado a 913 m de profundidad (plg = plagioclasa; cal = calcita; ser = sericita).

Análisis de la estratigrafía de los pozos profundos Agrícola Oriental 2B y 2C

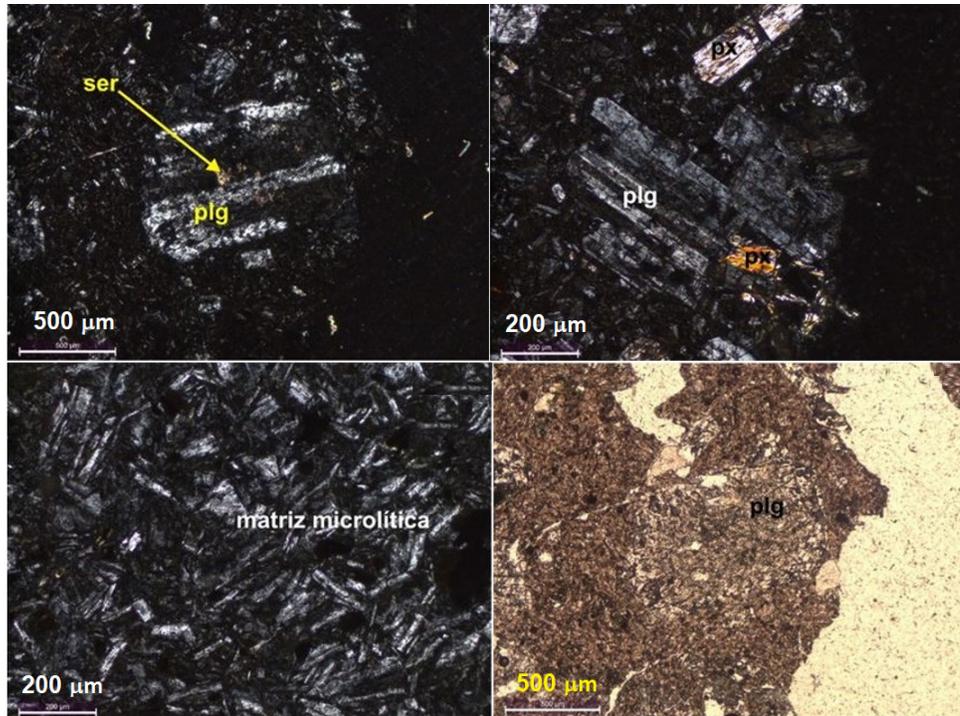


Figura A6.12. Microfotografías de un bloque de lava de composición andesítica ubicado a 980 m de profundidad (plg = plagioclasa; px = piroxeno; ser = sericita).

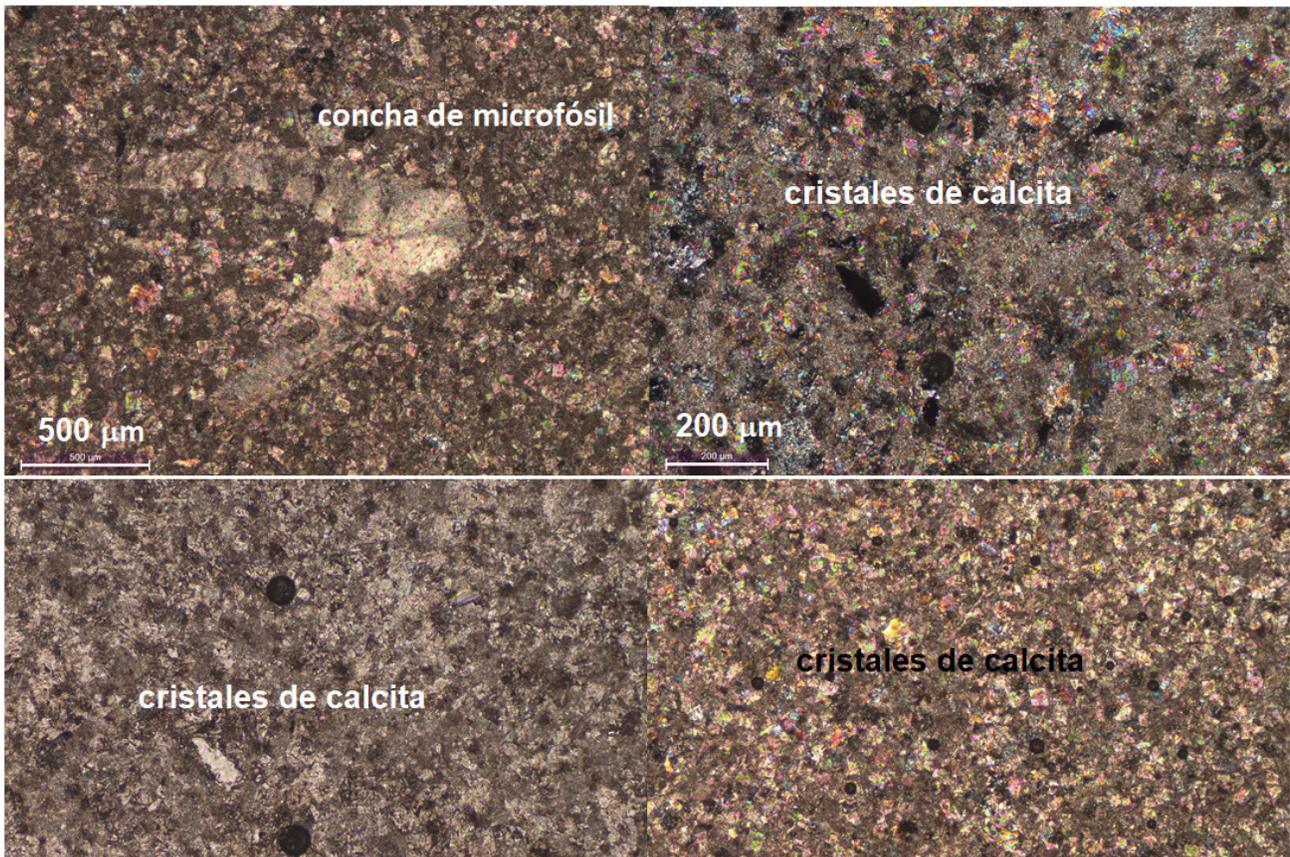


Figura A6.13. Microfotografías de una muestra de caliza, ubicada a 1955 m de profundidad, constituida principalmente de cristales de calcita, con algunas conchas de microfósiles.

**Anexo 7. Metodología para la realización de gráficos de propiedades petrofísicas.**

Para realizar los gráficos de dispersión mostrados en la sección 4.2 se debe considerar que, una vez generado el análisis de grupos, el software crea una nueva curva LFacies: LFacies(), la cual es la separación entre grupos que se calculó con el método de agrupación seleccionado. La curva generada se observa en la Figura A7.1.

A lo largo de la profundidad, le es asignado una clasificación correspondiente de acuerdo a la agrupación de sus propiedades físicas (análisis de grupos).

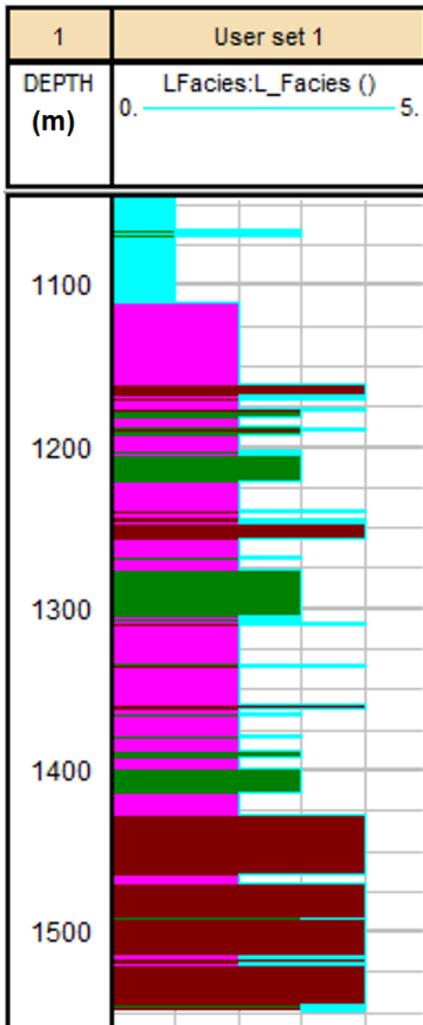


Figura A7.1. Curva generada con el análisis de grupos.

Una vez generada esta clasificación se procede a ir a la pestaña VIEW del menú principal y a la opción Crossplot (Figura A7.2). Esto direccionará hacia un nuevo menú que permitirá asignar los campos correspondientes.

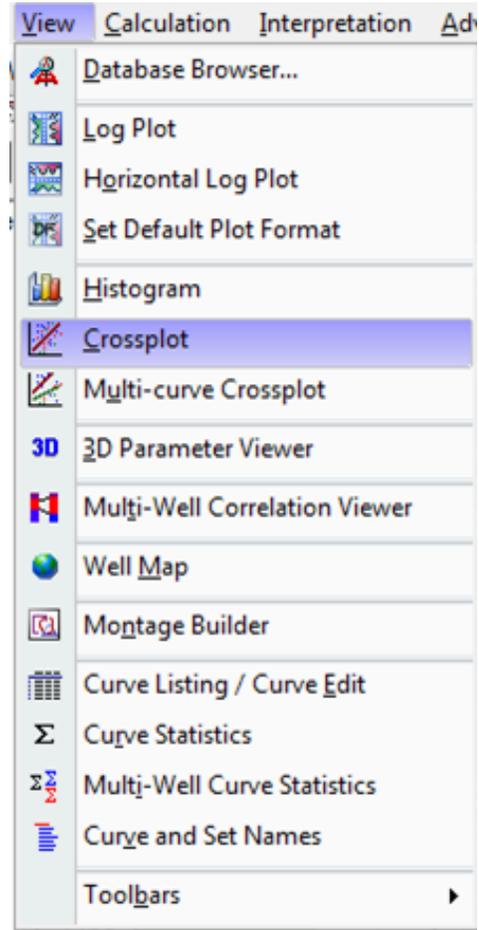


Figura A7.2. Primeros pasos para a la generación del Crossplot.

La Figura A7.3 muestra los campos que deben ser utilizados. Para este caso se usará HKF y HTO. Se deben agregar límites a los ejes coordenados (marcados de color rojo). Esto permitirá una mejor visualización de los datos. En la sección correspondiente al intervalo de profundidad se colocará el intervalo de datos que se desee visualizar (marcado de color naranja). Una vez colocados estos datos, se procede a presionar el botón OK lo cual generará un gráfico como el de la Figura A7.4.

Para asignar la clasificación generada a partir del análisis de grupos se debe ir a la opción editar formato, la cual se encuentra en la parte superior izquierda de la Figura A7.4 y se marca de color verde. Una vez hecho esto, se debe editar la opción de Z1 y asignar el análisis de grupos, así como el número de grupos que se generó. Esto se observa en la Figura A7.5 y se marca de color azul. El gráfico final se muestra en la Figura A7.6.

Análisis de la estratigrafía de los pozos profundos Agrícola Oriental 2B y 2C

Crossplot - AGRICOLA ORIENTAL 2C

Scales Discriminators Z axis Colors Options

Axis	Curve Name	Scale	Scale	Log	Number
X	HFK	Left 0.	Right 0.035	<input type="checkbox"/> Vert. Lines	5
Y	HTHO	Bottom 0.	Top 7.	<input type="checkbox"/> Hori. Lines	5
Z1		Min	Max	<input type="checkbox"/> Colors	10
Z2		Min	Max	<input type="checkbox"/> Symbols	10

Point Symbol  Point Size

OverLay Lines

Multi well crossplot

**Cross Plot Options**

Expand Array Curves  Frequency Crossplot  Pressure Gradients

Standalone Pickett Crossplot

Interval Depths Top  Bottom

Zonal Depths Parameter set  Active zone

Figura A7.3. Parámetros utilizados para la generación de un gráfico de dispersión.

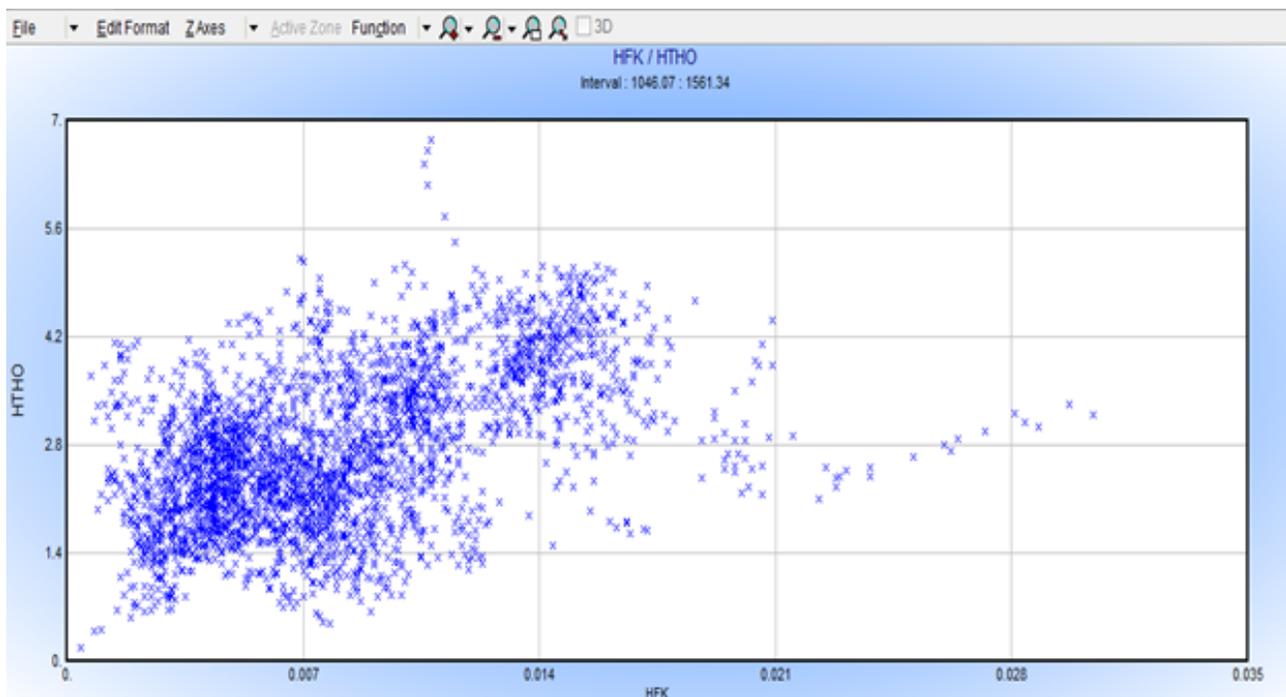


Figura A7.4. Gráfico de dispersión de HFK/HTHO.

Análisis de la estratigrafía de los pozos profundos Agrícola Oriental 2B y 2C

Crossplot - AGRICOLA ORIENTAL 2C

Scales Discriminators Z axis Colors Options

Axis	Curve Name	Scale	Scale	Log	Number
X	HFK	Left 0.	Right 0.035	<input type="checkbox"/> Vert. Lines	7
Y	HTHO	Bottom 0.	Top 7.	<input type="checkbox"/> Hori. Lines	7
Z1	LFacies:L_Facies	Min 0.	Max 5.	<input type="checkbox"/> Colors	5
Z2		Min	Max	<input type="checkbox"/> Symbols	10

Point Symbol    Point Size 1

OverLay Lines

Multi well crossplot Select Wells and Curves

**Cross Plot Options**

Expand Array Curves  Frequency Crossplot  Pressure Gradients

Standalone Pickett Crossplot

Interval Depths Top 1100. Bottom 1560.

Zonal Depths Parameter set Active zone

SM OK Apply Load Format Clear Close Help

Figura A7.5. Campos asignados que permiten asignarle grupos a los datos.

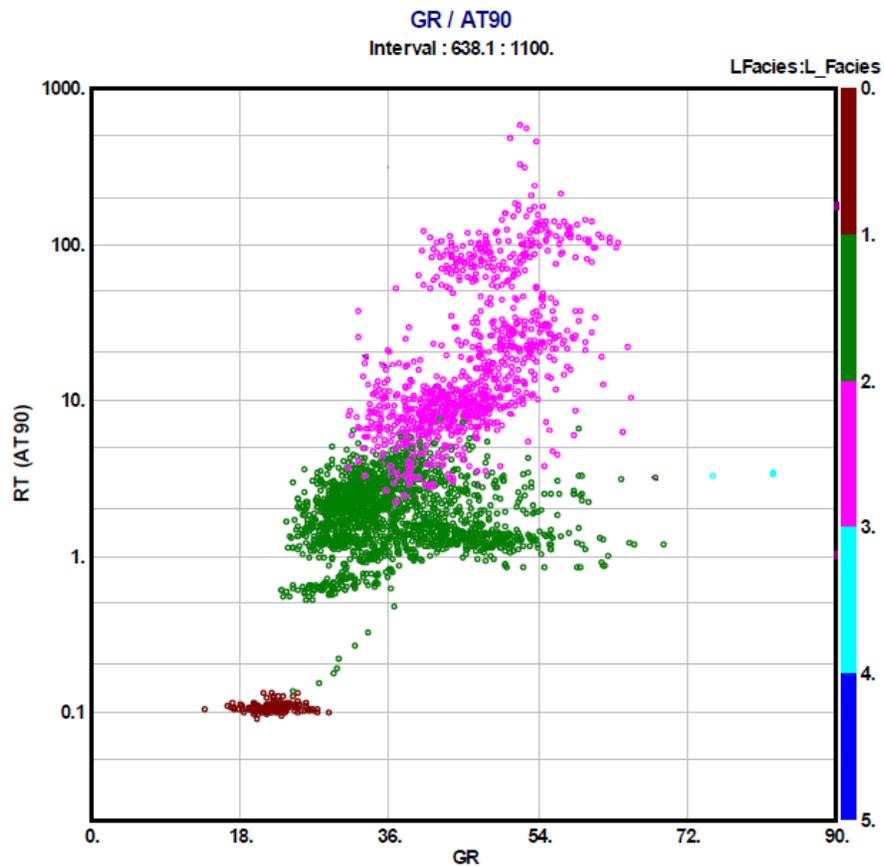


Figura A7.6. Gráfico final generado a partir del análisis de grupos y del gráfico de dispersión.

Anexo 8. Curvas utilizadas en las pruebas de los análisis de grupos generados para el pozo AO2C.

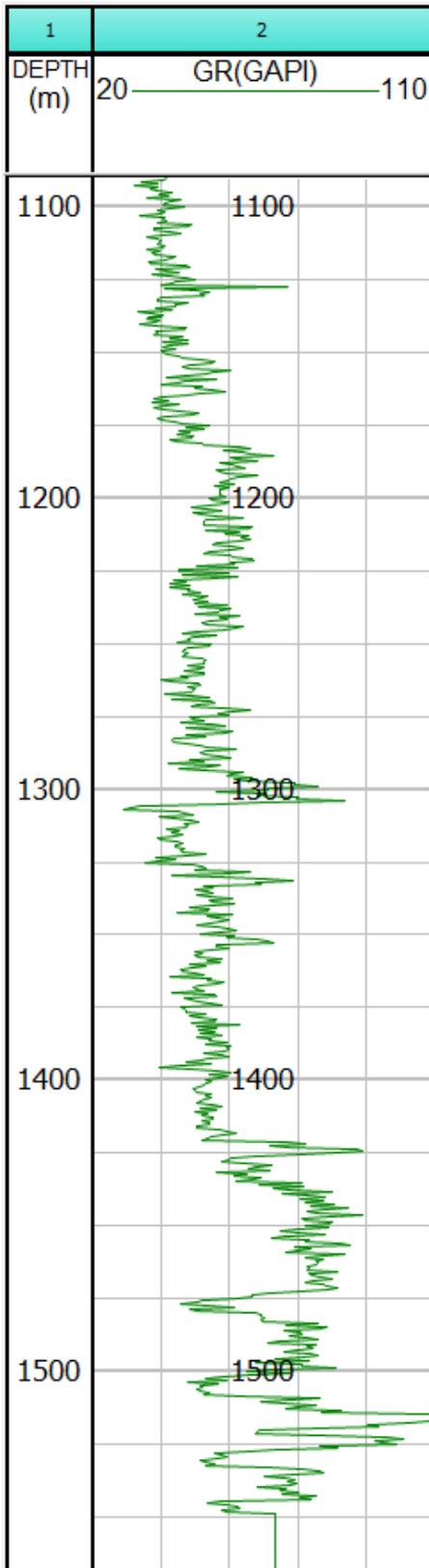


Figura A8.1. Se muestra la curva de tipo rayos gamma (GR).

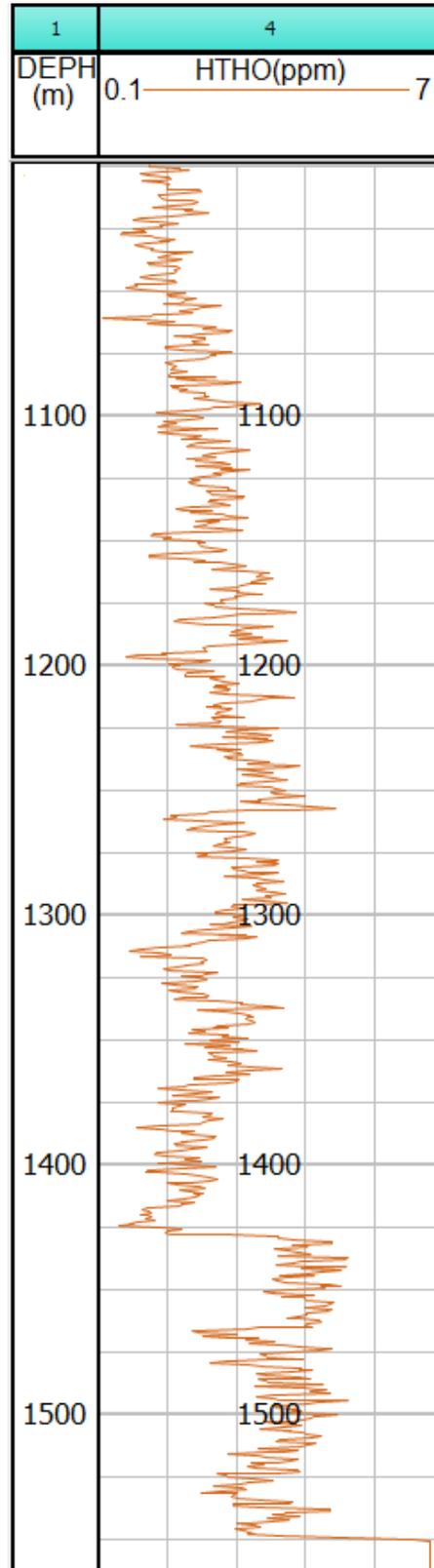


Figura A8.2. Se muestra la curva de tipo de espectroscopia para el contenido de torio.

Análisis de la estratigrafía de los pozos profundos Agrícola Oriental 2B y 2C

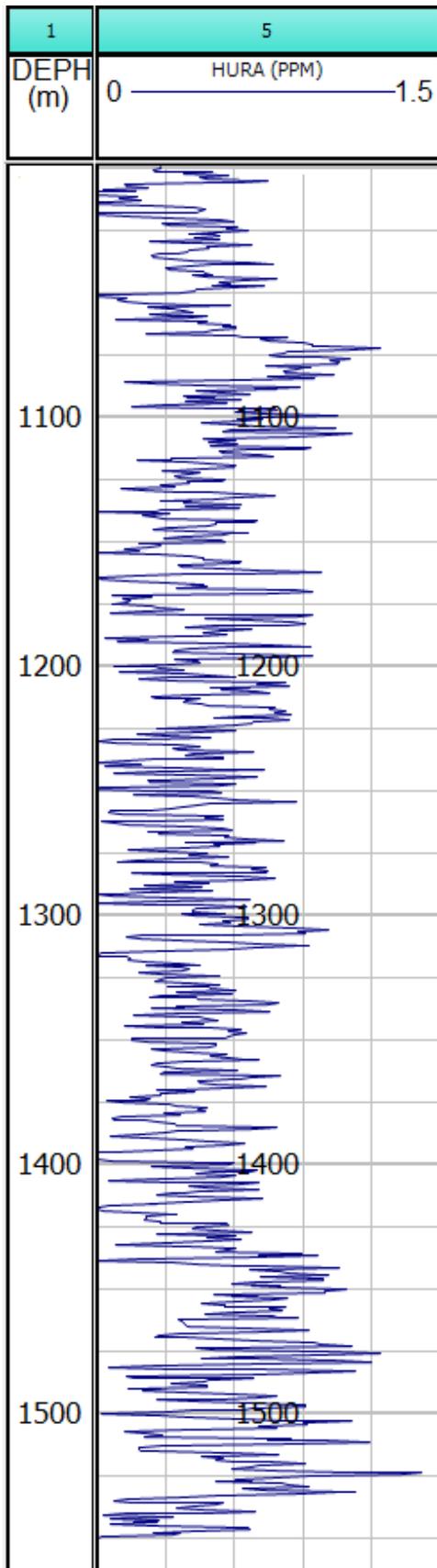


Figura A8.3. Se muestra la curva de tipo de espectroscopia para el contenido de uranio.

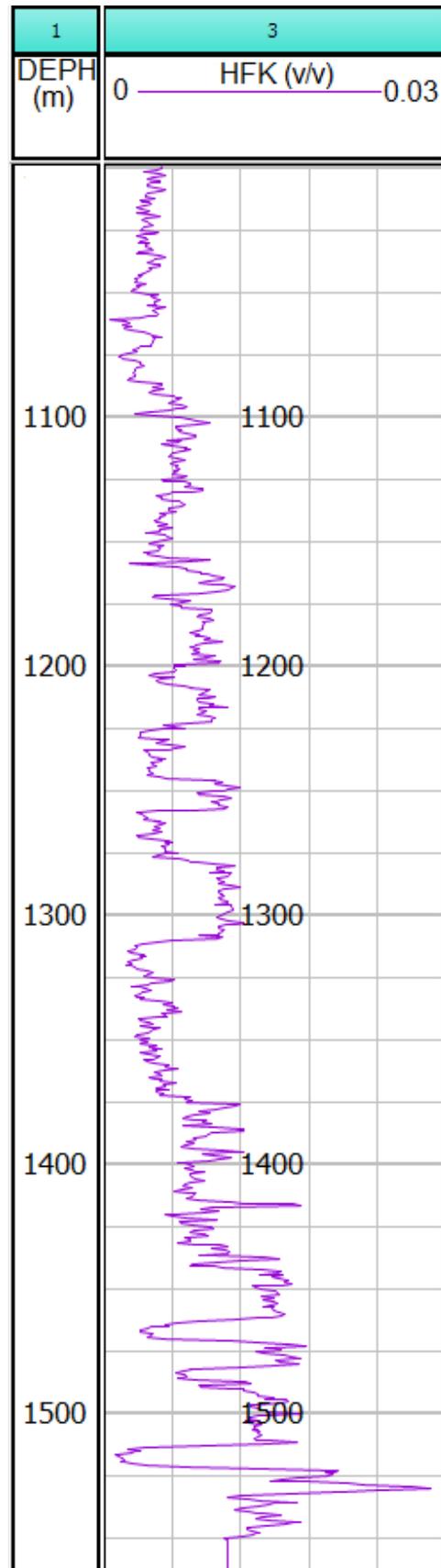


Figura A8.4. Se muestra la curva de tipo de espectroscopia para el contenido de potasio.

Análisis de la estratigrafía de los pozos profundos Agrícola Oriental 2B y 2C

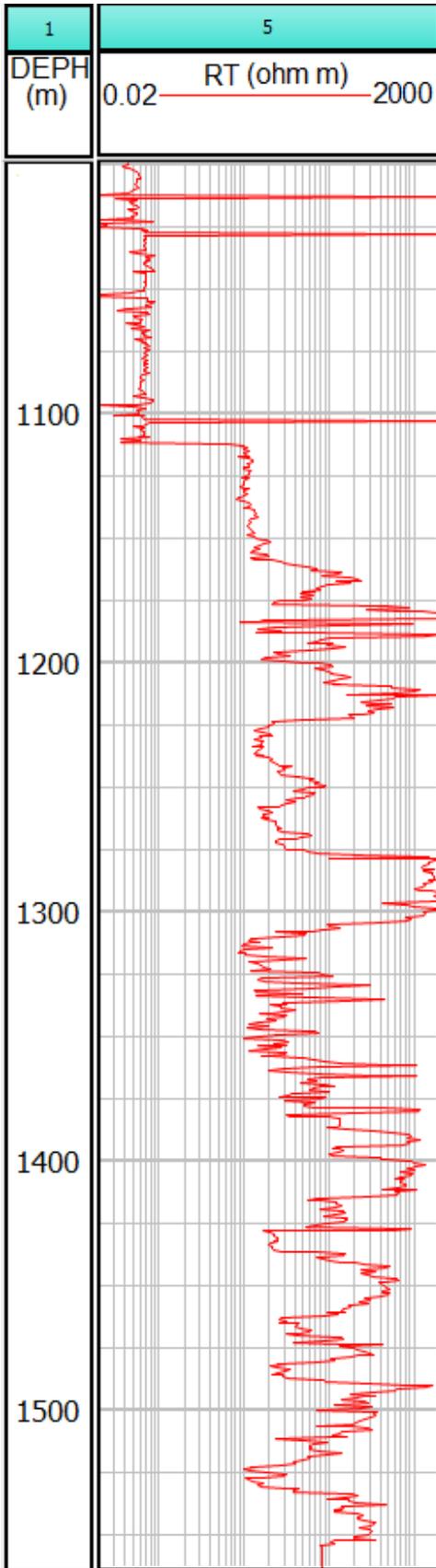


Figura A8.5. Se muestra la curva de tipo resistivo Rt.

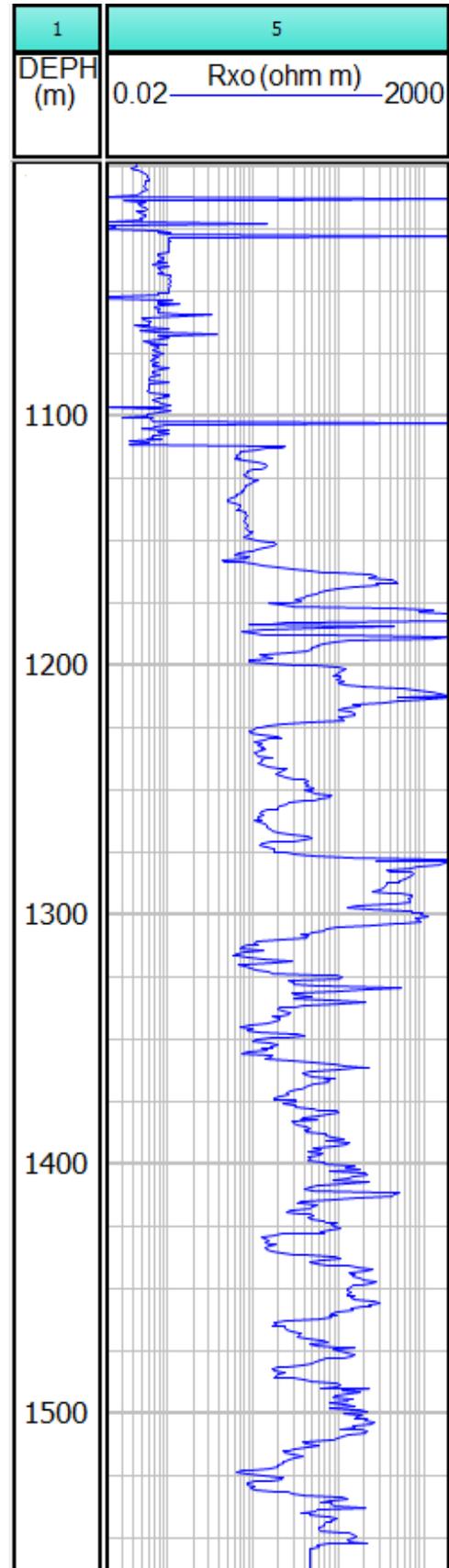


Figura A8.6. Se muestra la curva de tipo resistivo (Rxo).

Análisis de la estratigrafía de los pozos profundos Agrícola Oriental 2B y 2C

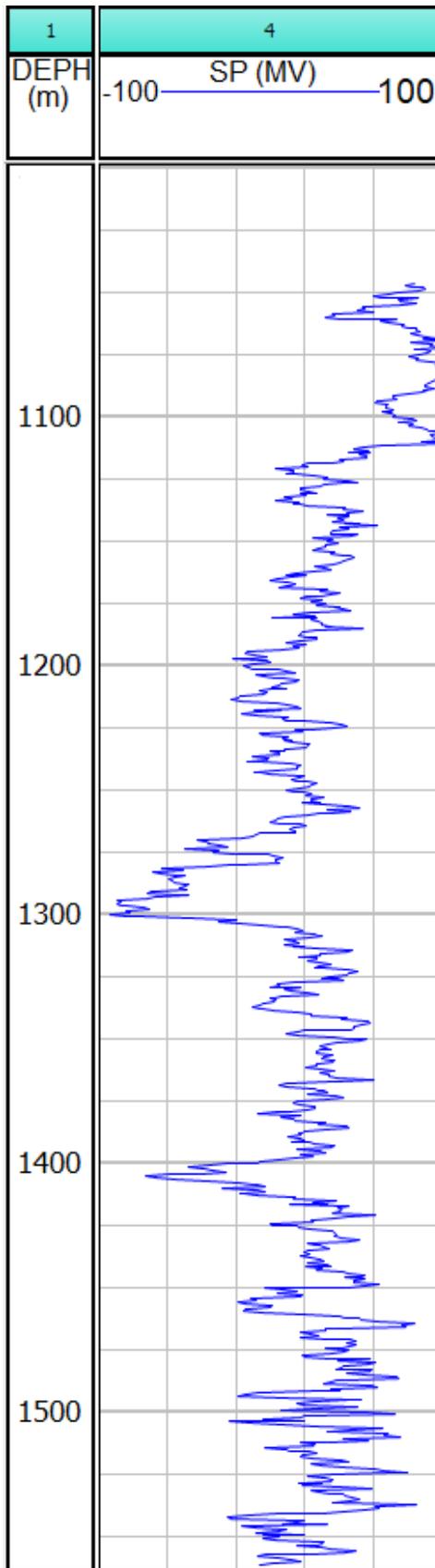


Figura A8.7. Se muestra el Potencial Espontáneo (SP).