



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

CONSTRUCCIÓN Y CORRELACIÓN DE
COLUMNAS GEOLÓGICAS DE LOS POZOS
PROFUNDOS DEL VALLE DE MÉXICO

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO GEÓLOGO

PRESENTA:

UNDA LÓPEZ JOSÉ ANTONIO

DIRECTOR DE TESIS DR. GUILLERMO PÉREZ CRUZ



CIUDAD UNIVERSITARIA

ENERO 2016

ÍNDICE

Contenido	pág.
RESUMEN	- 1 -
ABSTRACT	- 3 -
CAPÍTULO 1	
1. GENERALIDADES.....	- 5 -
1.1. Introducción	- 7 -
1.2. Objetivos.....	- 8 -
1.2.1. General.....	- 9 -
1.2.2. Específicos.....	- 9 -
1.3. Antecedentes	- 9 -
1.4. Información	- 11 -
1.5. Localización.	- 12 -
CAPÍTULO 2	
2. MARCO GEOLÓGICO.....	- 14 -
2.1. Geología regional	- 16 -
2.1.1. Estratigrafía.....	- 17 -
2.1.2. Geología estructural	- 23 -
CAPÍTULO 3	
3. COLUMNAS LITOLÓGICAS DE LOS POZOS PROFUNDOS DEL VALLE DE MÉXICO.....	- 27 -
3.1 Elaboración de las columnas litológicas	- 27 -
3.1.1 Columnas basadas en descripción de muestras de canal.....	- 29 -
3.1.2 Calibración con muestras de núcleo	- 38 -
3.2 Análisis de los registros geofísicos de pozo	- 41 -
3.2.1 Correcciones y ajustes a los registros.....	- 41 -
3.2.2 Calibración de las columnas con los registros geofísicos de pozo ...	- 42 -
3.2.3 Construcción de columnas litológicas finales	- 48 -

CAPÍTULO 4	
4. DEFINICIÓN DE UNIDADES ESTRATIGRÁFICAS.....	- 54 -
4.1 Incorporación de edades radiométricas	- 56 -
4.2 Selección de tablas estratigráficas.....	- 63 -
4.3 Definición de unidades estratigráficas y límites.....	- 67 -
CAPÍTULO 5	
5. CORRELACIÓN	- 70 -
5.1 Correlación de unidades litoestratigráficas entre pozos	- 71 -
5.2 Correlación con apoyo de secciones sísmicas	- 74 -
CAPÍTULO 6	
6. CONCLUSIONES.....	- 80 -
6.1. Recomendaciones	- 82 -
BIBLIOGRAFÍA.....	- 86 -

LISTA DE LAS IMÁGENES Y TABLAS CONTENIDAS EN LA TESIS

Figura 1.1. La imagen muestra todos los lagos de la cuenca del valle de México

Figura 1.2. Diagrama de flujo que muestra el desarrollo del trabajo.

Figura 1.3. Ubicación de la cuenca del Valle de México.

Figura 2.1. Ubicación del Eje Neovolcánico Transmexicano.

Figura 2.2. Esquema hipotético que muestra los tipos litológicos principales y sus relaciones fisiográficas.

Tabla 2.1. Unidades litoestratigráficas.

Figura 2.3. Perspectiva de la morfología del valle de México desde el sur.

Figura 3.1. Parte del reporte litológico de las muestras de canal del pozo Mixhuca-1.

Figura 3.2. Fragmento del expediente de exploración.

Figura 3.3. Columna litológica del pozo Copilco-1.

Figura 3.4. Columna litológica del pozo Mixhuca-1.

Figura 3.5. Columna litológica del pozo Roma-1.

Figura 3.6. Columna litológica del pozo Tulyehualco-1.

Figura 3.7. Imagen correspondiente al pozo Mixhuca-1, en la que se observa la calibración que se hizo con los núcleos.

Figura 3.8. Imagen correspondiente al pozo Copilco-1, en la que se observa la calibración que se hizo con los núcleos.

Figura 3.9. Imagen correspondiente al pozo Tulyehualco-1, en la que se observa la calibración que se hizo con los núcleos.

Figura 3.10. Fragmento del expediente de exploración del pozo Roma -1.

Figura 3.11. Imagen correspondiente al pozo Copilco-1, donde se muestra la calibración de la columna litológica con la respuesta de los registros de densidad y velocidad.

Figura 3.12. Imagen correspondiente al pozo Mixhuca-1, donde se muestra la calibración de la columna litológica con la respuesta de los registros de densidad y velocidad.

Figura 3.13. Imagen correspondiente al pozo Roma-1, donde se muestra la calibración de la columna litológica con la respuesta de los registros de densidad y velocidad.

Figura 3.14. Imagen correspondiente al pozo Tulyehualco-1, donde se muestra la calibración de la columna litológica con la respuesta de los registros de densidad y velocidad.

Figura 3.15. La imagen corresponde al encabezado del expediente de registros de hidrocarburos.

Figura 3.16. La grafica del registro de hidrocarburos nos muestra que la velocidad de perforación.

Figura 3.17. Columna litológica final del pozo Copilco-1.

Figura 3.18. Columna litológica final del pozo Mixhuca-1.

Figura 3.19. Columna litológica final del pozo Roma-1.

Figura 3.20. Columna litológica final del pozo Tulyehualco-1.

Tabla 4.1.1. Muestra la profundidad del núcleo fechado, su profundidad, método radiométrico, y el responsable de cada fechamiento correspondiente al pozo Copilco-1.

Tabla 4.1.2. Muestra la profundidad del núcleo fechado, su profundidad, método radiométrico, y el responsable de cada fechamiento correspondiente al pozo Mixhuca-1.

Tabla 4.1.3. Muestra la profundidad del núcleo fechado, su profundidad, método radiométrico, y el responsable de cada fechamiento correspondiente al pozo Roma-1.

Tabla 4.1.4. Muestra la profundidad del núcleo fechado, su profundidad, método radiométrico, y el responsable de cada fechamiento correspondiente al pozo Tulyehualco-1.

Tabla 4.2.1. Correlación Estratigráfica Vázquez-Sánchez y Jaimes-Palomera, 1989.

Tabla 4.2.2. Nomenclatura estratigráfica para la cuenca de México De la Vega, 1992.

Figura 4.1. Esta imagen nos muestra los nuevos límites de formaciones.

Figura 5.1. La imagen muestra la ubicación de los cinco pozos profundos en el valle de México.

Tabla 5.1.0. Esta tabla muestra las formaciones que describen Vázquez y James en los cuatro pozos profundos del valle de México.

Figura 5.2. Correlación litológica.

Figura 5.3. Muestra el tendido de la maya sísmica lo largo de todo el valle de México y la ubicación de los pozos profundos.

Figura 5.4. Correlación cronoestratigráfica.

Figura 5.5. Muestra los recuadros de las secciones sísmicas para su correlación.

Figura 5.6. Muestra la correlación cronoestratigráfica en la sección sísmica A-A'.

Figura 5.7. Muestra la correlación cronoestratigráfica en la sección sísmica B-B'.

Figura 5.8. Muestra la correlación cronoestratigráfica en la sección sísmica C-C'.

ANEXOS

ANEXO 1; Correlación cronoestratigráfica en líneas sísmicas de los pozos Copilco-1, Roma-1 y Mixhuca-1.

ANEXO 2; Correlación cronoestratigráfica en líneas sísmicas de los pozos Copilco-1 y Tulyehualco-1.

ANEXO 3; Correlación cronoestratigráfica en líneas sísmicas de los pozos Mixhuca-1 y Tulyehualco-1.

ANEXO 4; Columna geológica del pozo Copilco-1.

ANEXO 5; Columna geológica del pozo Mixhuca-1.

ANEXO 6; Columna geológica del pozo Roma-1.

ANEXO 7; Columna geológica del pozo Tulyehualco-1.

RESUMEN

Con la finalidad de disponer de información litológica y estratigráfica más confiable y de mayor resolución del subsuelo profundo del Valle de México, se realizó una actualización de las columnas de los pozos perforados por Pemex en 1986: Copilco-1, Roma-1, Mixhuca-1 y Tulyehualco-1.

Los datos con los que se trabajó fueron principalmente: reportes litológicos de muestras de canal y núcleos, fechamientos radiométricos y registros geofísicos de los pozos. También fueron importantes, la descripción litológica y el registro de velocidad de penetración incluidos en el registro hidrocarburos de cada pozo.

Se lograron definir unidades litológicas desde tres hasta varios cientos de metros de espesor que corresponde con la respuesta de los registros, asociadas a unidades basáltico-andesíticas, brechas, conglomerados, tobas, arcillas lacustres, andesitas y calizas. Se realizó una correlación lito-estratigráfica entre los pozos basada en las unidades estratigráficas definidas por Vázquez et al, 1989 y De la Vega, 1992, donde se redefinieron los límites de acuerdo a las nuevas unidades litológicas identificados en este trabajo.

Además, se hizo una correlación crono-estratigráfica con base en los fechamientos radiométricos realizados por el IMP, 1989, y Ferrari, 2003 para los pozos Copilco-1, Roma-1, Mixhuca-1 y Tulyehualco-1, así como en los realizados por Arce et al, 2013 en el pozo San Lorenzo Tezonco, proyectados al pozo Mixhuca-1. Los horizontes correlacionados fueron: cima de Cretácico, y los denominados: 15.0 ma, 5.0 ma, 1.7 ma, 0.24 ma y base del acuitardo. Estos horizontes forman los límites superiores de las unidades crono-estratigráficas definidas como: unidad de calizas, unidad volcánica 5, unidad volcánica 4, unidad volcánica 3 y unidad volcánica 2, respectivamente.

Como resultado de la actualización de las columnas se concluye que los primeros depósitos volcánicos de la cuenca del valle de México, cuando menos en la zona oriental donde se encuentran los pozos Mixhuca y Tulyehualco, ocurrieron a partir del Mioceno Inferior (19.6 Ma) (Ferrari, 2003), y no del Oligoceno Superior (29 Ma) (IMP, 1989), como se ha establecido en trabajos previos; permitiendo una mejor calibración y precisión, así como ordenamiento, sugiriendo en general, un rejuvenecimiento y ordenamiento de la columna volcano-sedimentaria de la cuenca del valle de México.

La interpretación de tres secciones sísmicas de reflexión compuestas permitió esbozar variaciones en relieve y espesor de las unidades estratigráficas identificadas en los pozos, así como los rasgos estructurales que las afectan a lo largo y ancho de la cuenca.

La sección A-A' en su segmento norte sur, entre los pozos Copilco-1 y Roma-1, muestra variación de "espesor" de todas las unidades con engrosamiento generalizado hacia el sur. Se interpreta una estructura anticlinal que involucra a las unidades de calizas y las unidades volcánicas 4 y 5, afectada en su parte alta por un sistema de fallas normales que conforman un graben denominado Alto Mixcoac. En su segmento este-oeste, entre los pozos Roma-1 y Mixhuca-1, se observa adelgazamiento hacia el oriente de las unidades volcánicas 5, 4 y 3, así como engrosamiento de las unidades volcánicas 1 y 2. El rasgo estructural más importante es una falla normal de alto ángulo con caída al poniente que corta a la unidad de calizas y a las unidades volcánicas 5 y 4. A esta gran falla se le ha nombrado falla Mixhuca. Otro rasgo estructural observado en este tramo es un graben que afecta a las unidades volcánicas 1, 2 y 3, el cual fue descrito con anterioridad como Graben Tenochtitlan.

La sección B-B' entre los pozos Copilco-1 y Tulyehualco-1 muestra variaciones laterales en relieve y espesor, y adelgazamiento generalizado de las unidades volcánicas hacia el oriente. El rasgo estructural más importante es la falla normal de alto ángulo que afecta a la unidad de calizas y a las unidades volcánicas, considerada como la extensión hacia el sur de la falla Mixhuca. Son también notables las numerosas fallas menores que afectan a las unidades volcánicas.

En la sección C-C' que conecta los pozos Mixhuca-1 y Tulyehualco-1 se observa también variación significativa del relieve y de espesor de las unidades volcánicas. La unidad volcánica 5 tiende a engrosarse hacia el sur, mientras que las unidades volcánicas 4 y 3 se adelgazan en esa dirección.

Se recomienda obtener sísmica de reflexión con mayor cobertura superficial para tener una mayor cantidad de información que reduzca la incertidumbre y enriquezca el conocimiento del subsuelo.

La integración de pozos profundos que vayan siendo perforados por las varias instancias del gobierno a los modelos de subsuelo es indispensable para estudios geotécnicos y geohidrológicos más robustos del valle de México.

ABSTRACT

In order to have more reliable lithologic and stratigraphic information and higher resolution of the Valley of Mexico deep subsurface, an update of the geologic columns of the wells drilled by Pemex in 1986 was held: Copilco-1, Roma-1, Mixhuca-1 and Tulyehualco-1.

The data used to work were mainly: lithological reports of drill cuttings and cores, radiometric datings and well logs. The lithological description and drilling velocity included in well logs.

It was possible to define lithological units from three to several hundred meters thick which corresponds to the well logs response related to basaltic-andesitic units, breccias, conglomerates, tuffs, lacustrine clays, limestones and andesites. A litho-stratigraphic correlation between wells was performed, based on the stratigraphic units defined by Vazquez et al, 1989 and De la Vega, 1992, where the lithological boundaries were redefined according to new lithological units identified.

In addition, a chrono-stratigraphic correlation was made based on radiometric datings, done for Copilco-1, Roma-1-1 and Tulyehualco Mixhuca-1 wells by the IMP in 1989 and Ferrari in 2003, as well as those made by Arce et al in 2013 for San Lorenzo Tezonco well, and projected to Mixhuca-1 well. Correlated horizons were: top of Cretaceous, 15.0 m, 5.0 m, 1.7 m, 0.24 m and base of the aquitard. These horizons are the upper limits of the chrono-stratigraphic units defined as a unit of limestone, volcanic unit 5, volcanic unit 4, volcanic unit 3 and volcanic unit 2, respectively.

As a result of the columns updated is concluded that the first volcanic deposits in the basin of the Mexico Valley, at least in the east where the Mixhuca and Tulyehualco wells, occurred from the Early Miocene (19.6 Ma) (Ferrari, 2003), not in the Upper Oligocene (29 Ma) (IMP, 1989), as it is established in previous studies; suggesting overall rejuvenation and ordering the volcano-sedimentary column in the Mexico Basin.

The interpretation of three composite reflection seismic sections allowed detect variations in topography and stratigraphic thickness of the units identified in the wells, as well the structural features that affect the length and width of the basin.

The north-south segment of the A-A 'section, between Rome-1 and Copilco-1 wells, shows "thickness" variation of all units with generalized thickening southward. An anticlinal structure involving the limestone unit and volcanic units 4 and 5 is observed, affected in its upper part by a system of normal faults that form a graben called Alto Mixcoac. In the east-west segment of A-A 'section,

between Roma-1 and Mixhuca-1 wells, thinning is observed to the east of the volcanic units 5, 4 and 3; as well as thickening of the volcanic units 1 and 2. The most important structural feature is a high angle normal fault with a fall to the west cutting the limestone unit and volcanic units 5 and 4. This great fault has been named Mixhuca Fault. Another structural feature observed in this section is a graben that affects the volcanic units 1, 2 and 3, which was previously described as Tenochtitlan Graben.

Seismic section B-B', between Copilco-1 wells Tulyehualco, shows lateral variations in topography and thickness, and generalized thinning of the volcanic units to the east. The most important structural feature is the high angle normal fault affecting the limestone unit and the volcanic units, considered to be the southern extension of the Mixhuca Fault. Numerous minor faults affecting the volcanic units are also notable.

In seismic section C-C', that connects Tulyehualco-1 well and Mixhuca-1 well, a significant variation of topography and thickness of the volcanic units is also observed. The volcanic unit 5 tends to thicken towards the south while the volcanic units 4 and 3 are thinner in that direction.

It is recommended to obtain seismic reflection with more surface coverage for a greater amount of information, in order to reduce uncertainty and enrich the knowledge of the subsurface.

The integration of deep wells that will be drilled by the various levels of government to improve the Mexico Valley subsurface models is essential for more robust geotechnical and geohidrological studies.

CAPÍTULO 1

1. GENERALIDADES

Una cuenca sedimentaria es un sector de la corteza terrestre que durante un intervalo de tiempo ha estado sometido a subsidencia y se ha rellenado por acumulación de grandes espesores de sedimentos. Los límites de la cuenca son la expresión de sectores subsidentes, y áreas marginales donde no hubo subsidencia o pudo haber levantamiento (Vera, 1994).

A la cuenca del valle de México también se le conoce como valle del Anáhuac, se le denominaba así por los lagos que antiguamente se localizaban en esa zona. *Anáhuac del náhuatl ā[tl] ‘agua’, y nāhuac ‘cerca de’, en otras palabras “Cerca del agua”.*

El valle del Anáhuac se segmentaba en cinco lagos principalmente; al norte Zumpango y Xaltocan, en el centro el lago de Texcoco y en el sur el lago de Xochimilco y Chalco (*Figura 1.1*).

Durante la temporada seca seguramente los lagos del norte estaban completamente separados del lago Texcoco, y en épocas de lluvia se convertían en un solo espejo de agua.

Según los trabajos realizados por Linné en la Interpretación del Mapa de la Universidad de Uppsala, Suecia, se considera que en 1861 la profundidad del lago de Chalco era de 2.4 m. La profundidad del lago de Xochimilco 3 m y la de los demás entre 0.5 m a 1 m. El fango de las laderas arrastrado por las aguas los ha hecho menos profundos de lo que eran en tiempos prehispánicos.

Después de una larga peregrinación de más de 200 años desde su lugar de origen, ubicado al norte de Mesoamérica, los mexicas llegaron a esta región que estaba densamente ocupada por diversos grupos humanos con desarrollos culturales complejos y florecientes. Esos grupos aprovechaban la gran cantidad de recursos naturales a su alcance: animales y plantas para la caza y recolección en bosques y lagos; piedras en las montañas como basalto, tezontle y pedernal;

obsidiana en los derrames volcánicos; madera de los bosques, carrizos de los lagos y sal que obtenían en las costas. Hacia el año 1325 de nuestra era, se establecieron en un islote ubicado en la parte occidental del lago de Texcoco a cambio de pagar tributo a los tepanecas de Azcapotzalco, quienes eran dueños de esa parte del lago. De acuerdo con su historia, el lugar de la fundación les fue indicado mediante una señal por su dios tribal, Huitzilopochtli, quien se comunicaba con ellos a través de su sacerdote. El grupo errante estableció su ciudad en el lugar donde vieron dicha señal, la cual consistía en un águila parada sobre un nopal, y la llamó México-Tenochtitlan.

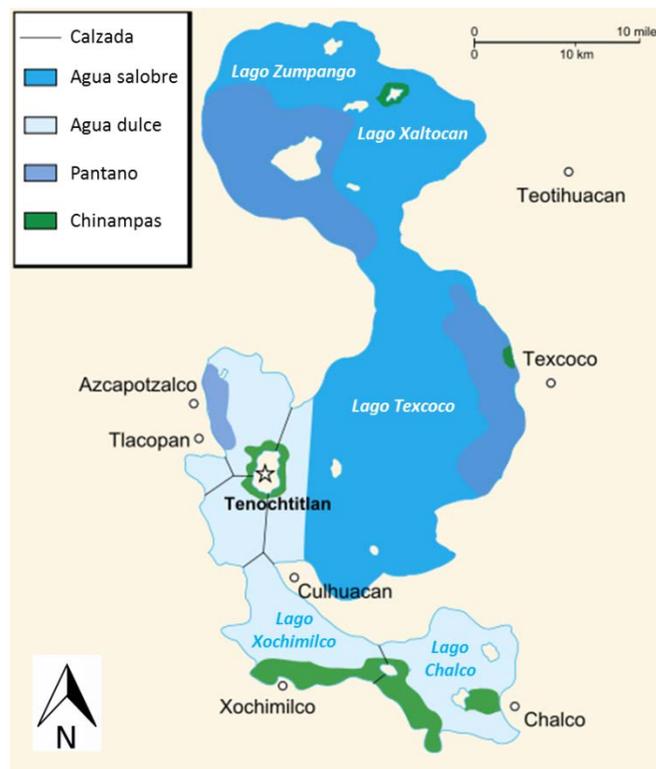


Figura 1.1. La imagen muestra todos los lagos de la cuenca del valle de México (Imagen editada de <http://laberintodepiedra.blogspot.mx/2012/02/lagos-del-valle-de-mexico.html>).

En ese lugar que llamaron Tenochtitlan construyeron un templo a su dios Huitzilopochtli, el cual se constituiría en el centro de su mundo. A partir de este sitio, dividieron el terreno en cuatro grandes secciones y construyeron largas calzadas orientadas hacia los rumbos del universo para comunicar la isla con

tierra firme; esta distribución resultó en un diseño reticular de la urbe, semejante al de Teotihuacán. Las parcialidades recibieron los nombres de Moyotlan, Teopan, Atzacualco y Cuepopan, en cuanto a las calzadas, al norte se encontraba la del Tepeyac, al sur la de Iztapalapa y al poniente la que comunicaba con Tacuba. A partir de estos elementos la ciudad comenzó a crecer rápidamente, hasta convertirse en una de las más grandes y pobladas de su tiempo.

1.1. Introducción

En este trabajo se propone un modelo geológico del subsuelo de la cuenca del valle de México en términos de estratigrafía a partir de la construcción de columnas litológicas de los pozos profundos del valle de México. Los pozos elaborados durante el desarrollo de este proyecto son; Copilco-1, Roma-1, Mixhuca-1 y Tulyehualco-1.

Las columnas litológicas se crearon a partir de diversas fuentes de información, en una primera etapa se construyó una columna litológica basándose fundamentalmente en las muestras de canal, seguido por la descripción de los núcleos obtenidos durante la perforación. En una segunda etapa se editaron y corrigieron los registros geofísicos de los pozos, algunos registros faltantes fueron generados a partir de relaciones empíricas entre las propiedades físicas tales como densidad y tiempo de tránsito, esto se hizo para completar los registros de manera gráfica para compararlos y ajustarlos a la columna litológica obtenida en la primera etapa. Considerando principalmente la respuesta del registro de densidad (RHOB) y auxiliado por el de tiempo de tránsito (P-sónico), en esta segunda etapa se incorporó también una tabla estratigráfica para cada pozo que incluye las edades absolutas de muestras de roca establecidas por el IMP, 1986 y Ferrari, 2003. Las unidades litoestratigráficas definidas por Vázquez-Sánchez y Jaimes-Palomera, 1989, Enciso De la Vega, 1992, entre otros. Se propuso una subdivisión de las unidades mayores atendiendo a características litológicas específicas. En una tercera etapa, se tomó en cuenta la información obtenida en los registros de hidrocarburos, en los cuales se muestra gráficamente el tiempo de perforación de cada pozo. El ajuste final de las columnas se hizo en base a la

velocidad de perforación auxiliado por las observaciones litológicas hechas en el sitio.

Del mismo modo se construyeron secciones de correlación estratigráfica entre los pozos profundos identificando cambios laterales significativos de espesor y facies. Finalmente, se establece una correlación de las unidades definidas en el subsuelo con las aflorantes en las márgenes de la cuenca.

La siguiente imagen muestra de manera general los pasos realizados en el desarrollo de este trabajo.

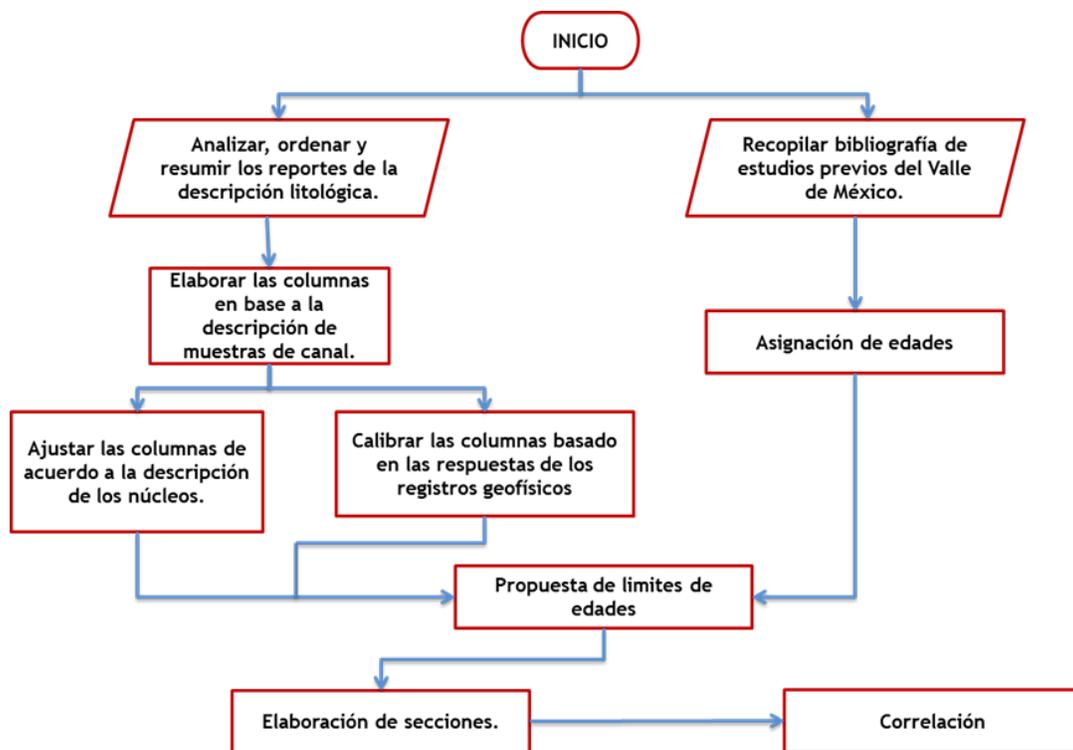


Figura 1.2. Diagrama de flujo que muestra el desarrollo del trabajo.

1.2. Objetivos

El objetivo de este trabajo de tesis es la construcción de las columnas litológicas de los pozos de la cuenca de México y su correlación.

1.2.1. General

El objetivo general de esta tesis es la construcción y correlación de columnas geológicas de los pozos profundos del valle de México, elaboradas a partir de reportes litológicos, nuevos datos radiométricos y análisis de registros geofísicos de pozo que permitan actualizar los modelos geológicos y de propiedades físicas del subsuelo profundo.

1.2.2. Específicos

- Definir las características litológicas y estratigráficas a partir de la descripción de las muestras de canal obtenidas de los expedientes de exploración proporcionados por PEMEX.
- Ajustar la litología de las columnas considerando la descripción de núcleos contenida en los expedientes de exploración.
- Calibrar las columnas litológicas a partir de las respuestas de los registros de RHOB y P-sónico.
- Correlacionar las columnas litológicas elaboradas en secciones sísmicas regionales.

1.3. Antecedentes

En relación con las diferentes áreas, existe relativamente poca bibliografía relacionada con la geología y la estratigrafía del valle de México. Al parecer una de las primeras exploraciones geológicas la hizo Diego de Ordaz en 1548, quién fue un soldado de Cortés que exploró el Popocatepetl en busca de azufre (Álvarez. 1978).

Existen antecedentes históricos de que Alexander von Humboldt, 1808, visitó la Ciudad de México y sus alrededores entre 1803 y 1804. Duport, 1843, hizo una descripción geológica regional muy breve del valle de México. Del Castillo, 1879, hizo referencia sobre algunos datos geológicos y paleontológicos de la cuenca de México, probablemente el primer mapa geológico petrográfico de la cuenca haya sido elaborado por él mismo y por Ordoñez, 1893, éste último estudió las rocas

volcánicas del sureste del valle. Marin y Zamacona, 1937, realizaron importantes trabajos sobre hidrología, descripciones geográficas y de obras hidráulicas del desagüe de la cuenca del valle de México.

El estudio geológico mejor documentado es el de Cserna y colaboradores, 1987, que junto con Schlaepfer, 1968, y Mooser, 1956a, 1956b, 1956c, 1961, 1967, 1968, 1972, 1975, 1986, 1988, son fuentes obligadas de información geológico-estratigráfico, incluyendo de igual manera a Nairn y Negendank, 1974. Duport, 1843, hizo una de las primeras descripciones de algunos tipos de rocas clásticas del valle de México. Aguilera y Ordoñez, 1895, en su expedición al Popocatepetl estudiaron petrográficamente tres etapas diferentes sobre el magma que denominaron; *lávico*, *brechógeno* y *cinerógeno*. Fue García-Cubas, 1906, quien definió detalladamente los límites geográficos del valle de México y el Distrito Federal. Existe una investigación sobre diatomeas fósiles del subsuelo del lago de Texcoco y del cerro de Saltepec en sedimentos postpliocénicos realizado por Diaz-Lozano, 1917, quien ha sido ignorado casi por completo, así mismo en sus otros trabajos de investigación detectó la presencia de ostrácodos y oolitas en sedimentos lacustres del valle de México. Salazar-Salinas, 1922, hizo un estudio sobre el perfil geológico entre la Ciudad de México y las grutas de Cacahuamilpa, preparado por Teodoro Flores.

En tiempos más recientes De la O-Carreño, 1954, elaboró un croquis geológico petrográfico de la cuenca del valle de México. Negendank, 1972, estudió la petrografía de las rocas volcánicas del valle de México. Cantagrel y colaboradores, 1984, estudiaron la actividad volcánica del Popocatepetl. Pérez Cruz, 1988, presentó en su proyecto de tesis para obtener el grado de maestría un modelo geológico del subsuelo de la cuenca de México en términos de su constitución litológica, stratigráfica y estructura. Vázquez-Sánchez y Jaimes-Palomera, 1989, con base en los análisis stratigráficos, estructurales y petroquímicos propusieron la evolución geológica de la cuenca del valle de México desde el Cretácico. Enciso De la Vega, 1992, hizo una propuesta sobre la nomenclatura stratigráfica para la cuenca de México.

Lugo-Hubp, 1984, y Galindo y Morales, 1987, geomorfológicamente hablando, aportaron datos fisiográficos y urbanos sobre las partes meridional y occidental de la cuenca. El volumen 28 de Geofísica internacional contiene en su totalidad trabajos de geología, geofísica y geohidrología de la cuenca del valle de México efectuados hasta esos momentos.

En el transcurso de los últimos años diversos autores han publicado múltiples trabajos sobre diferentes temas relacionados con la cuenca del valle de México, esto implica que con el paso del tiempo vamos obteniendo cada vez más información sobre el valle más densamente poblado de la república mexicana.

1.4. Información

La Ciudad de México ubicada en la cuenca geológica de México sufrió el 19 de septiembre de 1985 las consecuencias de un sismo que causó serios daños y destrucciones en las edificaciones urbanas, cimentadas en suelos y rocas de diferentes propiedades petrofísicas. Con el fin de obtener una mejor información sobre la geología del subsuelo para modificar y establecer nuevas normas, técnicas y procedimientos de construcción dentro de la ciudad, se propuso la perforación de cuatro pozos de proyecto especial, los cuales son; Tulyehualco-1, Copilco-1, Mixhuca-1, y Roma-1, que fueron perforados por PEMEX.

Los datos obtenidos para la realización de este trabajo fueron proporcionados por PEMEX a través del Dr. Guillermo Pérez Cruz con el único fin de proporcionarle a los estudiantes material para elaborar proyectos de carácter exclusivamente académicos.

La información proporcionada para cada pozo consiste en: expedientes de exploración de la descripción de las muestras de canal, registros de hidrocarburos, registros geofísicos (rayos gama, potencial espontáneo, resistividad, temperatura, neutrón, densidad y sónico de porosidad, entre otros).

Fuentes bibliográficas de distintos autores que hacen referencia a la geología del valle de México, como son; Vázquez, et al., 1989, Enciso De la Vega, 1992, Fries, 1960, Schlaepfer, 1968, entre otros.

Otro tipo de información que se recabo fueron los fechamientos radiométricos que se han realizado en los pozos profundos perforados en la cuenca del valle de México.

1.5. Localización.

El valle se localiza entre los paralelos $19^{\circ}01'18''$ y $20^{\circ}09'12''$ de latitud Norte y entre los meridianos $98^{\circ}31'58''$ y $99^{\circ}30'52''$ de longitud Oeste de Greenwich, el cual tiene una elevación promedio de 2 240 metros sobre el nivel del mar y una superficie de 9 560 km², que abarca gran parte del Estado de México, el sur del Estado de Hidalgo, el sureste de Tlaxcala y casi todo el Distrito Federal (Figura 1.3). Esta cuenca presenta valles intermontañosos, mesetas y cañadas, así como terrenos semiplanos, en lo que alguna vez fueron los lagos de Texcoco, Xochimilco y Chalco. Asimismo podemos encontrar importantes relieves topográficos como el Cerro Gordo, Cerro del Chiquihuite, el Ajusco, el volcán Tláloc, la Sierra de Guadalupe y, todavía más alejados, se ubican el Iztaccíhuatl, el volcán Popocatepetl, el Telapón, entre otros.

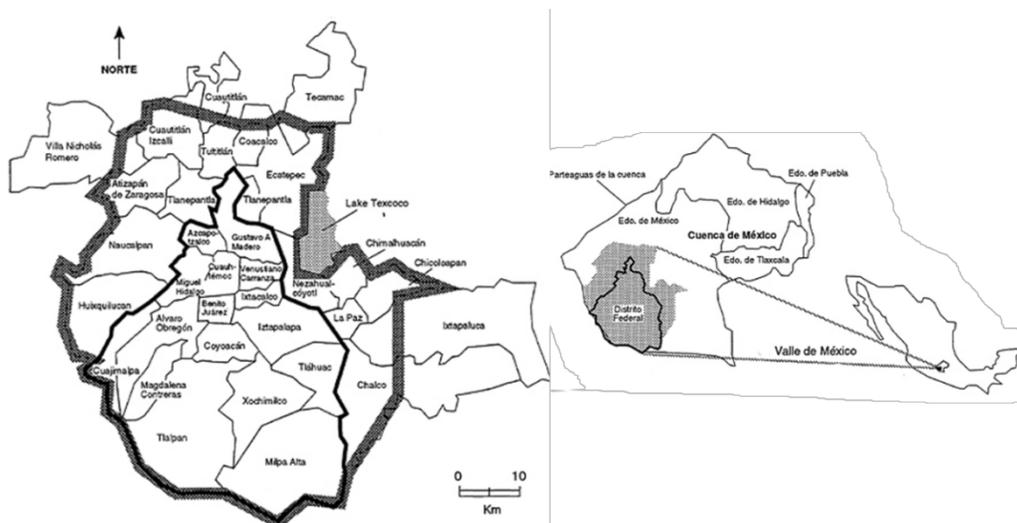


Figura 1.3. Ubicación de la cuenca del Valle de México (Tomado de <http://www.datuopinion.com/zona-metropolitana-del-valle-de-mexico>).

Geográficamente la cuenca del valle de México se encuentra rodeada por sierras, por tal motivo se considera que es una cuenca cerrada o endorreica, es decir, aquellas en que los ríos y arroyos que escurren desde las partes altas de dichas sierras hasta las llanuras lacustres dando lugar a una serie de ciénagas que antiguamente se localizaban en dicha zona.

La Cuenca de México, está delimitada en la parte norte por las sierras de Tezontlalpan, Tepotzotlán y Pachuca, que son identificadas por tener una baja elevación, cuentan con una altura máxima de 3 000 m. Al sur de la cuenca se levantan las sierra del Ajusco y de Chichinautzin, que alcanzan una elevación de 3 930 a 3 490 m, respectivamente. En el oriente, el límite está constituido por la Sierra Nevada, en donde sobresalen por su altitud los picos nevados del Popocatepetl y del Iztaccíhuatl con 5 426 y 5 230 m de altura, respectivamente. Por último, hacia el poniente se localizan las sierras de las Cruces, Monte Alto y Monte Bajo, de hasta 3 600 m. Todas estas sierras tienen en común su origen volcánico.

CAPÍTULO 2

2. MARCO GEOLÓGICO.

La cuenca del Valle de México se encuentra ubicada en el límite meridional de la altiplanicie mexicana, dentro del Eje Neovolcánico Transmexicano (ENT), Faja Volcánica Transmexicana (FVTM) o Cinturón Volcánico Transmexicano (CVTM), es considerado un arco volcánico continental, con una edad del Mioceno al reciente (Ferrari et al., 2000; García-Palomo et al, 2000; Gómez-Tuena y Carrasco-Núñez, 2000; García-Palomo 2002). Su longitud es de aproximadamente 1000 km y su ancho varía de 50 a 250 km. El relieve de la FVTM consiste en una serie de planicies escalonadas que se extienden desde las costas del Pacífico en el estado de Nayarit, hasta las costas del Golfo de México en el estado de Veracruz. El origen de la FVTM está relacionado con la subducción de la placa de Cocos y la de Rivera debajo de la placa de Norteamérica (Ponce et al., 1992; Pardo y Suárez, 1993), (*Figura 2.1*). Morfotectónicamente hablando, se pueden identificar tres regiones principales (occidental, central y oriental), en las que se puede manifestar el predominio de un sistema estructural, respecto a otro. Las direcciones principales convergen en la placa de Cocos y Norteamericana. La FVTM presenta numerosos estratovolcanes poligenéticos, volcanes monogenéticos, conos cineríticos complejos de calderas y cráteres de explosión, con lavas y productos piroclásticos.

Las unidades volcánicas plio-cuaternarias de la FVTM están conformadas principalmente por basaltos, andesitas, dacitas y riolitas que descansan generalmente sobre un sustrato constituido por una unidad magmática cenozoica compuesta por lava riolíticas, andesíticas, dacíticas y coberturas ignimbríticas.

La cuenca de México se formó como resultado de la obstrucción del antiguo Valle de México por actividad volcánica cuaternaria, que edificó la Sierra del Chichinautzin, al sur de la cuenca.

La limitación del drenaje hacia el Sur de la cuenca de México, es debido a la presencia de los productos de la Sierra del Chichinautzin que modificó

drásticamente su morfología en los últimos 700 000 años (Vázquez-Sánchez y Jaimes-Palomera, 1989).

Debido a las condiciones morfológicas, geográficas, geológicas y climáticas del Valle de México, tuvo lugar la formación y depositación de material volcánico, aluvial y lacustre, que varía de espesor según la zona y el aporte de material en el área.

La cuenca endorreica del valle de México es una cuenca de carácter lacustre. Estas áreas lacustres son producto de lagos que existieron al final de la época glacial. Al cerrarse la cuenca, en el Cuaternario Superior, las aguas pluviales quedaron encajonadas, formando un conjunto de lagos someros. Estos depósitos ya consolidados, junto con las rocas más antiguas, han experimentado intenso fracturamiento debido a los esfuerzos de carácter extensional y transtensional asociado al régimen tectónico.

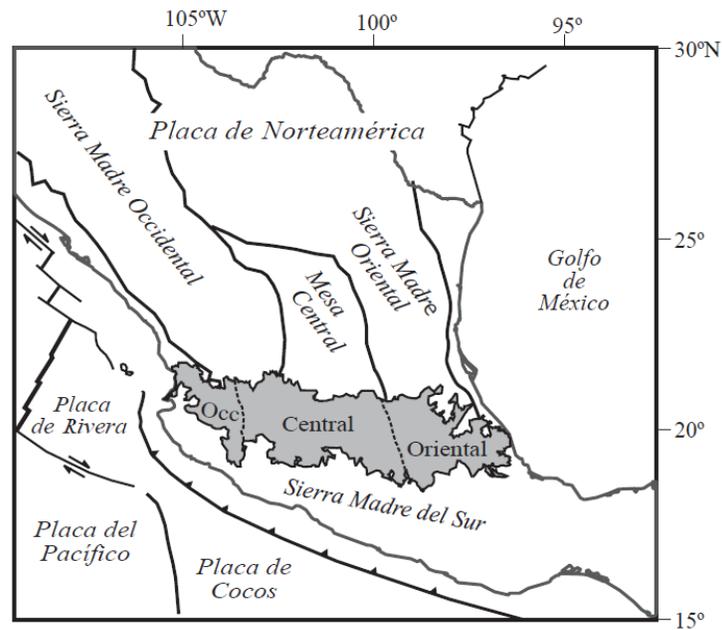


Figura 2.1. Ubicación del Eje Neovolcánico Transmexicano representado en color gris y de las placas tectónicas, así como las Sierras Madre del país. (Tomado del Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, 2005).

2.1. Geología regional

A lo largo de la cuenca se han identificado aproximadamente cerca de 200 volcanes monogenéticos del Cuaternario. Estos volcanes no están distribuidos de manera uniforme en todo el valle, sino que están repartidos en tres áreas principales (Cserna et al., 1987).

- La primera localizada entre el límite meridional de la Ciudad de México y la latitud de la ciudad de Cuernavaca corresponde al campo volcánico Chichinautzin.
- La segunda está hacia el nororiente de Teotihuacán, y oriente-nororiente de Tízayuca, y denominada campo volcánico Tezontepec.
- La tercera comprende los volcanes de las partes meridionales del área del vaso de la Cuenca.

El contenido litológico de la cuenca del Valle de México se caracteriza por estar conformado en su parte basal, por calizas del Cretácico seguidas en la parte superior por rocas del Mioceno al Cuaternario tales como: derrames volcánicos intercalados con tobas, tobas arcillosas, brechas volcánicas, arcillas y arenas tobáceas, en su parte somera existen depósitos de arcillas, conglomerados, tobas arenosas, estos depósitos aluviales están cubiertos en la parte central del valle, por arcillas lacustres.

Cabe mencionar que la geología histórica de la cuenca del Valle de México comprende sucesos tectónicos, emplazamiento lávicos y actividad volcánica que probablemente se iniciaron con el depósito de molasas continentales durante el Paleoceno-Eoceno (Vázquez, et al., 1989). Se ha registrado actividad volcánica del Oligoceno al Mioceno temprano, así como depósitos piroclásticos y derrames lávicos del Mioceno medio-tardío al Plioceno-Cuaternario (Vázquez, et al., 1989). Los eventos ocurridos principalmente durante el Plioceno-Cuaternario provienen de volcanes prominentes y sus productos; los eventos cuaternarios se componen primordialmente de depósitos lacustres y actividad volcánica de composición andesítico-basáltica, así como actividad neotectónica del presente.

La *figura 2.2* muestra un segmento de los principales eventos geológicos que han sido reconocidos y que han afectado a la cuenca, así como la complejidad de las rocas que la componen.

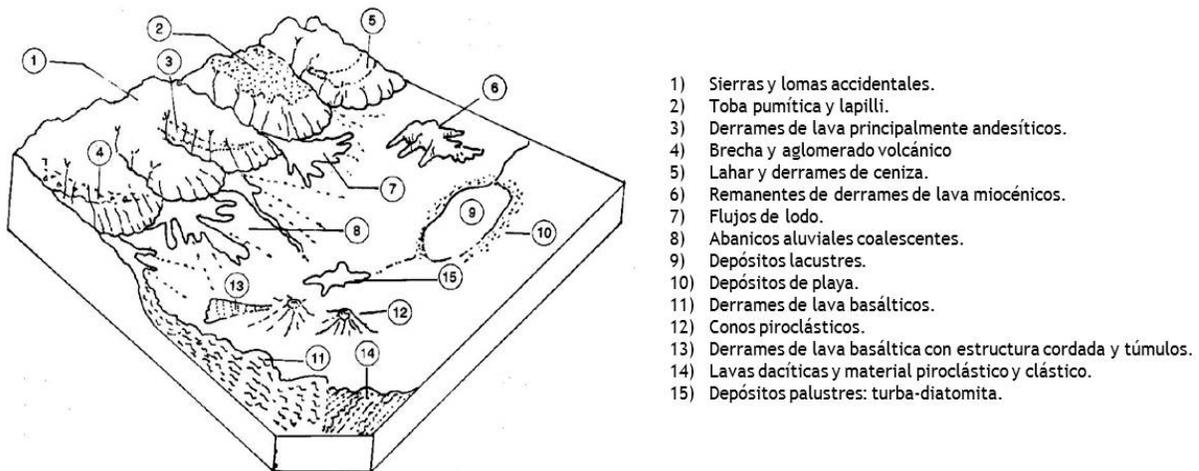


Figura 2.2. Esquema hipotético que muestra los tipos litológicos principales y sus relaciones fisiográficas desde una vista hacia el noroeste (Tomado de Enciso-De la Vega, 1992).

2.1.1. Estratigrafía

Al parecer la zona menos complicada litológicamente hablando corresponde a la porción meridional del Valle de México formada por el campo volcánico-basáltico de la Sierra del Chichinautzin. Probablemente uno de los primeros intentos serios para establecer una secuencia estratigráfica formal para el Cuaternario, haya sido Arellano, 1953, quien separó seis unidades en su tabla estratigráfica. A su vez, y con base en estudios de diferentes autores como; Silva-Bárceñas y López-Ramos, 1979, elaboraron una división estratigráfica del Cuaternario que establece ocho unidades. Por otra parte, De la O-Carreño, 1954, en su bosquejo geológico de la cuenca de México, incluye trece unidades y en una de ellas congrega tobas y suelos.

Otro intento para establecer una separación estratigráfica del material litológico del Valle de México fue realizado por Schlaepfer, 1968, quien en su tabla de correlación incluyó quince unidades y dieciséis en su carta geológica, tomando en cuenta las Formaciones Cuautla y Mexcala. Schlaepfer también presentó un

cuadro estratigráfico del Cuaternario que contiene cinco unidades litológicas que no fueron cartografiadas. Ya para 1987 Cserna y colaboradores sintetizaron la más sobresaliente información estratigráfica elaborada hasta esos momentos sobre la cuenca del Valle de México y elaboran un mapa geológico tectónico, donde abarcan de norte a sur desde Pachuca, en el Estado de Hidalgo, hasta los alrededores de Cuautla, en el Estado de Morelos. Cartografiaron ocho unidades separadas en cinco categorías: 1) depósitos mesozoicos, 2) depósitos clásticos continentales del Terciario, 3) rocas volcánicas terciarias, 4) depósitos pliocénico-cuaternarios y 5) depósitos cuaternarios.

Mooser, 1988, articuló la sucesión estratigráfica de la cuenca en más de treinta unidades, algunas de ellas combinadas. Más recientemente Vázquez-Sánchez y Jaimes-Palomera, 1989, en un nuevo intento para establecer la estratigrafía de la cuenca, separaron en su mapa geológico veinticinco unidades litoestratigráficas y veintisiete en su tabla de correlación estratigráfica (*Tabla 2.1*).

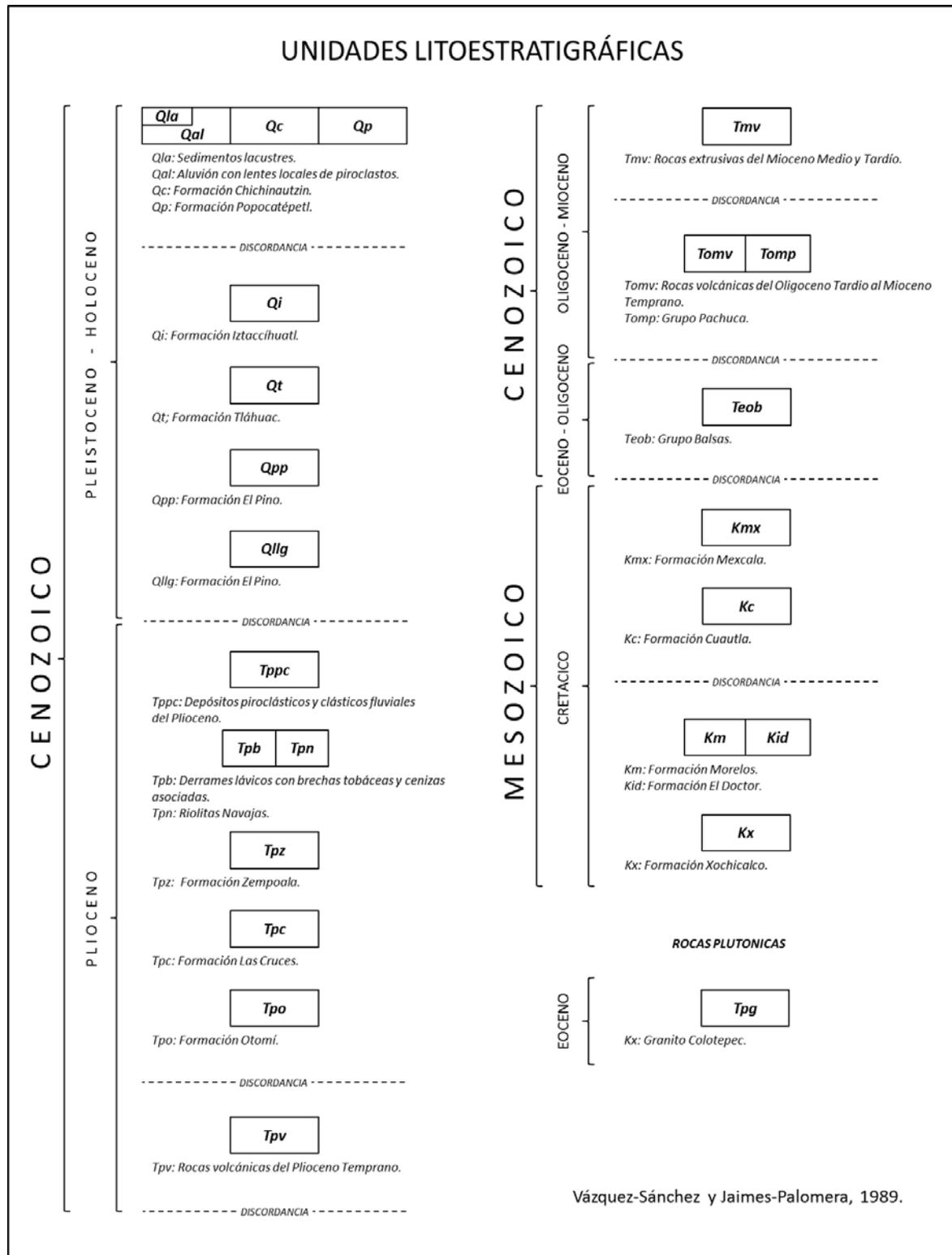


Tabla 2.1. Unidades litoestratigráficas para la cuenca del valle de México propuestas por Vázquez-Sánchez y Jaimes-Palomera, 1989.

Con base en las perforaciones profundas realizadas en la cuenca de México, existen diversos fechamientos radiométricos, donde la edad isotópica más antigua es de 31 Ma que corresponde a una unidad de basaltos perforados aproximadamente a unos 1400 m de profundidad en el pozo Texcoco-1 (SHCP, 1969), y aparentemente el fechamiento más joven realizado es de 450 años correspondiente a una sucesión de pómez del flanco oriental del Popocatepetl (Heide y Heide-Weise, 1973). Otros derrames de lava andesítica del subsuelo de la cuenca han sido definidos en los pozos Mixhuca-1, Roma-1, Copilco.1 y Tulyehualco-1, que perforó PEMEX en 1988. El fechamiento más antiguo de esos pozos es reconocido en el pozo Mixhuca-1 a una profundidad de 1281 m con una edad de 29.0 Ma, y la andesita encontrada en el pozo Texcoco-1 de 24.1 Ma, a 950 m de profundidad. El pozo Tulyehualco-1, en el intervalo de 1122 a 1897 m de profundidad cortó una andesita miocénica de 15.0 Ma; en el pozo Roma-1 a los 1704 m, se cortó una andesita que fue datada en 8.7 Ma.

A lo largo de la cuenca se ha reconocido la gran actividad volcánica de tipo basáltico. Los basaltos más antiguos fueron los registrados en los pozos, Roma-1 y Copilco-1, 25.0 Ma a una profundidad de 2200 m y 23.3 Ma a una profundidad de 2254 m, respectivamente. La unidad basáltica más joven de estos tres pozos fue encontrada en el pozo Mixhuca-1 a una profundidad de 1125 m con 21.7 Ma de antigüedad, datado con el método K-Ar. Estratigráficamente estos basaltos yacen bajo otros flujos basálticos que fueron reconocidos a profundidades más someras en otras tres perforaciones como en el pozo Texcoco-1 a los 837 m con 15.8 Ma, en el pozo Tulyehualco-1 con 11.8 Ma, y en el pozo Copilco-1 a los 1700 m de profundidad con 12.3 Ma. Esta actividad basáltica podría pertenecer al Mioceno Superior, a diferencia de los cortados en los pozos Roma-1, Copilco-1 y Mixhuca-1, que corresponden según esas dataciones al Oligoceno-Mioceno (Enciso De la Vega, 1992).

De la Vega hizo su propuesta estratigráfica para la cuenca de México, con el fin de ordenar y adecuar una nomenclatura estratigráfica para ser utilizada en futuras cartografías geológicas en la cuenca. La propuesta de Enciso De la Vega la hizo basándose en la aplicación del Código Estratigráfico Norteamericano, 1983 (Comisión Norteamericana de Nomenclatura Estratigráfica, 1984).

En la cuenca del valle de México las rocas basales registradas en las perforaciones de pozos de PEMEX corresponden a rocas mesozoicas de las Formaciones Morelos, Cuautla y Mexcala; unidades que fueron inicialmente descritas por Fries en 1960 y corresponden a depósitos de tipo marinos.

La Formación Morelos definida por Fries, ha sido reconocida en los pozos Mixuhca-1 y Tulyehualco-1, la unidad se definió con base en la presencia de *Nummoloculina heimi* y *Dicyclina schlumbergeri*. En esas perforaciones se registraron espesores de hasta 600 m, en la Formación Morelos a profundidades de 2000 m; ésta es la unidad más antigua (Albiano Medio-Cenomaniano Temprano). Se ha podido identificar también la existencia de un componente evaporítico, como puede ser, yeso y/o anhidrita, con pocos estudios.

La Formación Cuautla definida (Fries, 1960), ha sido reconocida al sur de la sierra de Tepoztlán y al norte de Zumpango (Vázquez-Sánchez y Jaimes-Palomera, 1989); esta Formación corresponde al Cenomaniano Tardío-Turoniano Tardío. En los sondeos de PEMEX, la Formación Cuautla fue reconocida a 1575 m de profundidad en el pozo Mixhuca-1 y a 2100 m de profundidad en el pozo Tulyehualco-1. La litología descrita para esta Formación consta de calizas gris en estratos medianos a gruesos con desarrollo local de rudistas y caliza arrecifal.

Así como las Formaciones anteriores, la Formación Mexcala descrita por Fries, 1960, también ha sido inicialmente descrita fuera del área de la cuenca del valle de México. Su perfil rítmico, así como contenido faunístico la hacen distinguible del resto de la sucesión mesozoica. Se reconoció esta Formación en el pozo Mixhuca-1 en un intervalo de profundidad de entre 1720 y 1850 m, en esos espesores se identificaron los foraminíferos *Marginotruncaca sp.* y *Archeoglobigerin sp.*, estos microfósiles han sido considerados del Turoniano-Maastrichtiano. La Formación Mexcala representa las rocas más jóvenes del basamento de la cuenca del valle de México, su espesor máximo fuera de la cuenca es de 1000 m.

El Grupo Balsas es un grupo de rocas clásticas con una gran variedad de tipos litológico; Fries indicó que puede ser dividido en varias decenas de formaciones distintas. A lo largo de la cuenca no se conoce afloramiento de este grupo, en el

subsuelo se ha reconocido conglomerado de calizas en el pozo Texcoco-1, con un fechamiento anterior a 31.0 Ma, correspondiente con la edad radiométrica de los basaltos que yacen encima.

El Grupo Pachuca propuesto por Segerstrom, 1961, y Geyne y colaboradores, 1963, describieron este grupo de rocas volcánicas, el cual se compone de ocho formaciones. Simons y Mapes, 1956 definieron la Formación Espinas, la cual es equivalente en posición estratigráfica con el Grupo Pachuca.

Enciso-De la Vega, 1992, propone el término del Supergrupo Pachuca para elevar el rango al Grupo Pachuca, con el objeto de designar todas las rocas volcánicas y volcanoclásticas que yacen concordante o discordantemente sobre los depósitos clásticos continentales del Terciario Inferior; o discordantemente sobre rocas más antiguas; están bajo rocas pliocénicas volcánicas y clásticas continentales. Los límites y espesores para el Supergrupo Pachuca corresponden a los descritos para el Grupo Pachuca por Segerstrom en 1961.

El Grupo Anáhuac, propuesto por Enciso-De la Vega, 1992, agrupa todas las rocas lávicas y piroclásticas que estratigráficamente reposan sobre las rocas del Supergrupo Pachuca y que son cronológicamente anteriores al Grupo Taranguense. La propuesta de este grupo según De la Vega tiene como finalidad clasificar y facilitar la futura terminología para designar a estas rocas. El Grupo Anáhuac agrupa las Formaciones Las Cruces, Ajusco y Zempoala, definidos por Schaefer en 1968. También quedarían incorporadas dentro de este grupo las siguientes unidades (*Tpv*) depósitos volcánicos del Plioceno Temprano, (*Tpo*) Formación Otomí y (*Tpb*) rocas máficas del Plioceno Tardío, descritas y cartografiadas por Vázquez-Sánchez y Jaimes-Palomeras, 1989.

De la Vega también propone el Grupo Taranguense y lo utiliza para designar a todas las rocas posteriores en edad al Grupo Anáhuac, y anteriores a los Grupos Popocatepetl y Chichinautzin, y al Alogrupo Tenochtitlan. Uno de los propósitos de Enciso De la Vega al crear el Grupo Taranguense fue el de evitar la proliferación de nombres para designar a las mismas unidades, este grupo se incluyen las formaciones Llano Grande y El Pino, de Vázquez-Sánchez y Jaimes-

Palomera, 1989, y las formaciones Tláloc e Iztaccíhuatl, de Schlaepfer, 1968; también para incluye la riodacita y la Formación Tarango, de Bryan, 1948.

El Grupo Popocatepetl, propuesto por Enciso-De la Vega, 1992, agrupa todas las rocas provenientes del volcán Popocatepetl, que cubren discordantemente a la Formación Iztaccíhuatl, y que probablemente se interdigitan con las rocas del Grupo Chichinautzin, así como con depósitos clásticos de origen fluvial. Las litologías de este grupo fueron descritas por Fries, 1960, como riodacita Popocatepetl y fue Schlaepfer, 1968, quien restringió este nombre a los productos volcánicos más recientes que forman el cráter de este volcán.

Fries en 1960 utilizó el nombre de Grupo Chichinautzin para las corrientes lávicas y los estratos de toba y brecha, así como de materiales clásticos interestratificados depositados por agua, que sobreyacen en discordancia a depósitos clásticos y volcánicos del Terciario y del Plioceno-Cuaternario. Las rocas del Grupo Chichinautzin se intercalan con rocas del Grupo Popocatepetl y del Alogrupo Tenochtitlan, y su cima es generalmente una superficie de erosión que forma un campo volcánico probablemente monogenético.

Otra propuesta de Enciso-De la Vega es la del Alogrupo Tenochtitlan, que se agrupa formalmente a todas las unidades cuaternarias posteriores al Grupo Taranguense, que formal o informalmente han sido nombradas y utilizadas para reconstruir la estratigrafía de la planicie y los bordes de la cuenca del valle de México. Estas unidades sobreyacen concordante o discordantemente a rocas pertenecientes al Grupo Taranguense.

2.1.2. Geología estructural

Durante el Maestrichtiano-Eoceno Temprano se produjeron una serie de pliegues en rocas del Cretácico, Fries, 1960; Segerstrom, 1961, estos pliegues son simétricos y reclinados al oriente y poniente, los ejes de los pliegues son sinuosos y mayormente orientados al nor-noroeste, las charnelas suben y bajan irregularmente. La mayoría de los pliegues son relativamente cortos, van de 2 a 3 km de longitud, pero el anticlinal de Ticumán (parte norte del Estado de Morelos) tiene más de 40 km de longitud, Fries, 1960. Los pliegues de la región pertenecen

a la provincia tectónica de rocas jurásicas y cretácicas plegadas que componen la Sierra Madre Oriental. Basándose en la dirección preferencial de los pliegues, Fries, 1960, propuso hipotéticamente fuerzas compresivas que orientaron dicho plegamiento, con direcciones este-noreste y oeste-sureste, también les asignó una edad comprendida entre el Maestrichtiano y el Eoceno Temprano, lo cual hace una gran coincidencia con el intervalo de tiempo de la orogenia Laramide, Damon et al., op cit, Coney, 1976.

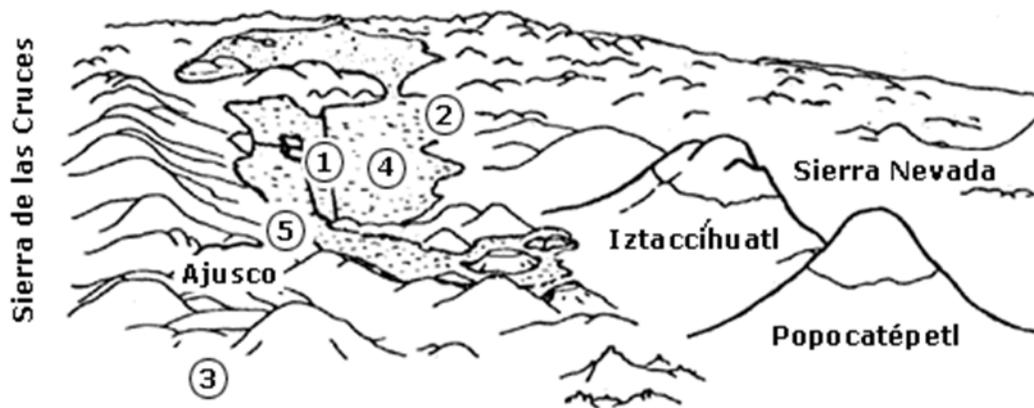


Figura 2.3. Perspectiva de la morfología del valle de México desde el sur. 1) México-Tenochtitlan, 2) Texcoco, 3) Sierra de Chichinautzin, 4) lago de Texcoco, 5) volcán Xitle, último activo en el valle (Tomado de http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen2/ciencia3/086/htm/sec_6.htm).

Los pozos Mixhuca-1 y Tulyehualco-1 en el Valle de México atravesaron la cima de las rocas del Cretácico a profundidades de 1 570 y 2 200 m bajo la superficie del terreno, respectivamente. Se infiere, por la repetición de las columnas cortadas, que existen en el subsuelo del valle de México, estructuras similares a las observadas en afloramientos al norte y sur del valle, en los estados de Hidalgo y Morelos, afectadas por eventos tectónicos posteriores del Mioceno al reciente que propiciaron fallas normales y de corrimiento lateral.

Hay un grupo de fallas del Eoceno-Oligoceno Temprano pertenecientes a Jojutla y Cañón de Lobos, que se localizan en la porción centro meridional, son un grupo de fallas normales con desplazamiento lateral derecho, Fries, 1960. Existen

algunas fallas sobresalientes, la primera tiene un rumbo noreste por una distancia de más de 35 km, se encuentra sepultada por el aluvión y por capas del Grupo Balsas, la segunda falla ubicada al suroeste de Yautepec, Morelos, mantiene un rumbo hacia el noroeste por una distancia cuando menos de 15 km, siguiendo por esta misma dirección y por una distancia desconocida por debajo de las rocas terciarias, su extremo noroccidental se ramifica en varias fallas normales divergentes, existe una falla normal en rocas cretácicas ubicada al sureste de Yautepec, Morelos y se considera contemporánea a la de Jojutla y Cañón de Lobos (Fries, op, cit.).

Existe una gran diferencia de altitud en la cima de las rocas cretácicas que se manifiesta en los pozos Mixhuca-1 y Roma-1, la cual sugiere la presencia de una falla normal con bloque hundido hacia el poniente con desplazamiento vertical del orden de 1500 m, esta falla ha sido inferida con rumbo N15°W cuando menos por 25 km de longitud, mediante las interpretaciones sísmicas de reflexión y gravimétrica, Pérez-Cruz, op, cit.

Otro conjunto de fallas se dio en el Oligoceno Tardío-Eoceno Temprano, este sistema de fallas se considera no más antiguo que el terciario medio, debido a que disloca al Grupo Balsas, Fries, 1960. Este grupo de fallas se han podido reconocer únicamente en la zona más meridional, en donde aflora el Grupo Balsas.

En las sierras occidentales y orientales de la porción meridional de la cuenca de México, en las sierras de Guadalupe, Tepoztlán y en el cerro del Chichinautzin, se identifica otro sistema de fallas normales que pertenecen al Plio-Cuaternario, y que cortan las formaciones volcánicas del Mioceno, Plioceno y Cuaternario. Las fallas tienen una longitud promedio de 4 km y desplazamientos de unos cuantos cm a varias decenas e inclusive cientos de metros, buzan en direcciones indefinidas y tienen un ángulo y echado significativo, que varía de 60° y 80°, algunas fallas forman pequeños grabens, su rumbo es preferentemente este-oeste, aunque se observan fallas dirigidas tanto al noroeste como al noreste, Vázquez-Sánchez y Jaimes-Palomera, 1989.

Se deducen otras fallas normales sepultadas, con base en claros alineamientos de conos cineríticos monogenéticos de las formaciones cuaternarias Chichinautzin y El Pino, tomando en cuenta que este tipo de conos volcánicos es indicador de zonas tensionales (Nakamura, 1977). Los conos cineríticos alineados más evidentes son los conos de escoria de los cerros de La Estrella, Peñón del Marqués y Chimalhuacán, los cuales se alinean en superficie con la falla inferida Contreras, y los de Sierra Santa Catarina con el volcán El Pino. La dirección de este sistema de fallas normales sepultadas se hizo correlacionando la geología superficial y tomando en cuenta el bajo gravimétrico orientado oeste-este a lo largo de la planicie de Chalco (SHCP, op, cit.).

CAPÍTULO 3

3. COLUMNAS LITOLÓGICAS DE LOS POZOS PROFUNDOS DEL VALLE DE MÉXICO

Una columna litológica es la representación gráfica de las variaciones de los cuerpos rocosos del subsuelo en sentido vertical y horizontal, con acepción cronológica. Dependiendo de la evolución geológica de la zona tendrá un sentido reconstructivo, y se construirá tomando como base la descripción detallada de las facies que lo constituyen.

La descripción del marco geológico del valle de México muestra la complejidad litológica asociada a la intercalación de depósitos vulcanoclásticos con sedimentarios, es así que, la construcción de las columnas de cuatro de los pozos profundos, permitirá comprender la variación lateral de las unidades y su origen.

En este capítulo se desarrolla la parte del flujo de trabajo que corresponde con la construcción de las columnas litológicas, y se describen los criterios utilizados para integrar y calibrar la información.

Es importante señalar que para este trabajo de tesis los elementos base que se consideraron para la construcción de las columnas fueron:

- Composición litológica, obtenida de la descripción de muestras de canal.
- Descripción litológica detallada de las muestras de núcleos.
- Respuesta de los registros geofísicos de pozos.
- Contenido fósil.

3.1 Elaboración de las columnas litológicas

Las descripciones litológicas de muestras de canal y de núcleo están contenidas en reportes de perforación de 1986 elaborados por PEMEX.

El primer paso para la construcción de las columnas fue analizar las descripciones de las muestras de canal, por lo que fue necesario revisar todos los documentos y tratar de uniformizar el formato de las descripciones, debido a que cada reporte fue elaborado con distinto criterio e inclusive se cuenta con documentos elaborados a mano donde se presentaban secciones difíciles de entender tanto por la caligrafía como por la mala calidad del archivo, principalmente en las partes profundas del pozo Mixhuca-1 (Figura 3.1).

PETROLEOS MEXICANOS
SUPTCIA. GRAL. DTOS. DE EXPLORACION ZONA POZA RICA
SUPTCIA. DE OPERACIONES GEOLOGICAS
DEPARTAMENTO DE PALEONT. Y PETROS.

Gerencia de Exploración
REGION NORTE
Archivo Técnico 196

Determinó *Enl. G. Sepúlveda de L.*
Revisó: _____

Poza Rica, Ver., E. L. de 1957 de 19 56.

POZO	INTERVALO	FORMACION	CIENA	EDAD	OBSERVACIONES
Mixhuca #1	2100 m	—	—	5157D	Moluscos con conchas retámpas
	2110 m	—	—	5157E	Moluscos con fauna
	2120 m	—	—	5157U	Moluscos con conchas retámpas mal preservadas y pocas de gran tamaño
	2130 m	—	—	"	"
	2140 m	—	—	"	"
	2150 m	—	—	"	Moluscos con fragmentos de conchas retámpas Paleontología Retámpas

Figura 3.1. Parte del reporte litológico de las muestras de canal del pozo Mixhuca-1, correspondiente con el intervalo de 2100 m a 2150 m, nótese la letra escrita a mano y la calidad de la imagen (PEMEX, 1986).

Los pozos Roma-1 y Tulyehualco-1 tienen una descripción incompleta, en el documento se presentan segmentos donde las descripciones litológicas correspondientes no existen. Los pozos que contienen mayor información y pueden considerarse más completos son Copilco-1 y Mixhuca-1. Cabe señalar que el pozo Roma-1 además de contener la descripción general de las muestras de canal, cuenta con una descripción resumida, que se tomó en cuenta para la realización de la columna.

Posteriormente, para los cuatro pozos, se tuvieron que ordenar las descripciones de las muestras, ya que no se presentaban consistentes con la perforación, además los intervalos de profundidad detallados no eran constantes, el archivo

presenta una intercalación de descripciones de niveles profundos con someros, sin sentido.

Al paralelo del análisis de los informes litológicos se fueron editando los archivos *.las de los registros geofísicos de los pozos debido a que algunos presentaban inconsistencias en los valores de lectura.

La parte final fue cargar los archivos construidos en un proyecto en el software Petrel, para poder visualizar los gráficos.

3.1.1 Columnas basadas en descripción de muestras de canal

Una vez analizados los reportes litológicos se sintetizó la información extrayendo los datos más significativos con la finalidad de armar paquetes litológicos, que estuvieran definidos a partir de cualquier cambio en la composición que se describiera, en algunos casos el reducido espesor de las unidades y su alternancia permitió agrupar paquetes o definir intercalaciones (Figura 3.2).

INTERVALO DE	EN MTS. A	DESCRIPCION LITOLOGICA	FORMACION
2000	2005	90% Toba verde olivo y café claro, semicomacta, 10% Basalto café rojizo por alteración.	
2005	2008	80% Basalto gris oscuro, en partes café rojizo por alteración, de estructura maciza, 20% Toba verde olivo y café semicomacta.	
2008	2020	70% Toba verde olivo y café claro, semicomacta, 30% Basalto café rojizo por alteración, denso.	

Figura 3.2. Fragmento del expediente de exploración donde se describen las muestras de canal del pozo Copilco-1, (PEMEX, 1986).

Se decidió hacer una base de apoyo para la integración de los datos, el formato, la escala y la incorporación de los nuevos elementos que se fueron encontrando, y unificados todos los aspectos a considerar se comenzó con la digitalización en Power Point. A continuación se muestran las primeras columnas que se elaboraron en este proyecto.

Copilco -1

El pozo Copilco-1 tiene una profundidad total de 2258 m. Su columna se muestra en la *Figura 3.3*.

Su parte inferior (de 2258 m a 1589 m) está constituida por las siguientes unidades:

- A) Intercalaciones de basalto con toba (en algunas partes, el basalto se presenta alterado con una composición andesítica). Espesor 267 m
- B) Toba café rojizo y verde olivo, con basalto, trazas de pómez y brechas volcánicas con fragmentos angulosos de composición tobácea. Espesor 162 m.
- C) Brecha volcánica de toba con fragmentos de basalto. Espesor 240 m.

Su parte media (de 1589 m a 520 m) comprende las siguientes unidades:

- D) Arcillas café claro con tobas y basaltos. Espesor 560 m
- E) Toba café rojizo y verde olivo, con basalto, trazas de pómez y brechas volcánicas con fragmentos angulosos de composición tobácea. Espesor 346 m
- F) Basalto con algunas partes alteradas. Espesor 163 m

Su parte superior (de 520 m a 0 m) contiene las siguientes unidades:

- G) Arcillas café claro con tobas y basaltos. Espesor 155 m
- H) Toba café rojizo y verde olivo, con basalto, trazas de pómez y brechas volcánicas con fragmentos angulosos de composición tobácea. Espesor 310 m
- I) Brechas volcánicas de fragmentos de toba con trazas de basalto. Espesor 32 m
- J) Basalto con algunas partes alteradas. Espesor 23 m

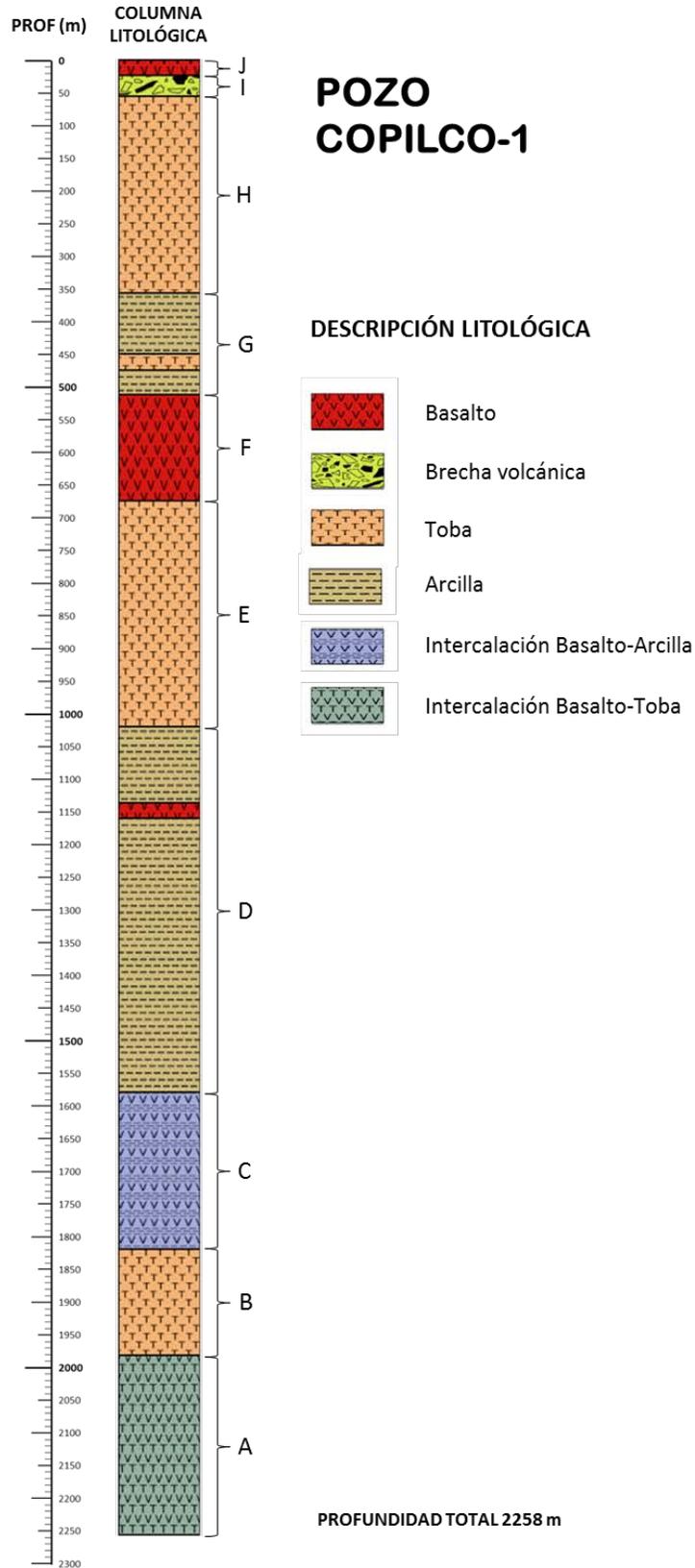


Figura 3.3. Columna litológica del pozo Copilco-1, elaborada a partir de la descripción de muestras de canal.

Mixhuca-1

El pozo Mixhuca-1 tiene una profundidad total de 2452 m. Su columna se muestra en la *Figura 3.4*.

Su parte inferior (de 2452 m a 1573 m) está constituida por la siguiente unidad:

- A) Mudstone con fracturas delgadas rellenas por bentonita, pirita y calcita, mudstone arcilloso, con abundantes fracturas verticales y horizontales, y por caliza wackstone con fragmentos de conchas y placas de equinodermos. Espesor 879 m.

Su parte media (de 1573 m a 693 m) comprende las siguientes unidades:

- B) Toba gris claro, verde esmeralda, basalto café rojizo, presenta oxidación alrededor de los cristales de olivino. Espesor 284 m.
- C) Basalto café y gris oscuro de estructura compacta, trazas de toba arenosa gris claro deleznable. Espesor 110 m.
- D) Toba gris verdoso claro, suave y plástica de aspecto arenoso. Espesor 114 m.
- E) Intercalaciones de basalto y toba. Espesor 174 m.
- F) Toba café claro y café rojizo con trazas de basalto gris. Espesor 146 m.
- G) Basalto gris oscuro y gris claro, toba color crema suave. Espesor 52 m.

Su parte superior (de 693 m a 0 m) contiene las siguientes unidades:

- H) Brecha volcánica con fragmentos de basalto gris. Espesor 94 m.
- I) Intercalación de tobas y conglomerados volcánicos con fragmentos de basalto gris oscuro. Espesor 205 m.
- J) Intercalación de tobas, basaltos y arcillas color café claro suave y plástica. Espesor 139 m.
- K) Intercalación de tobas y conglomerados volcánicos. Espesor 105 m.
- L) No hay descripción.

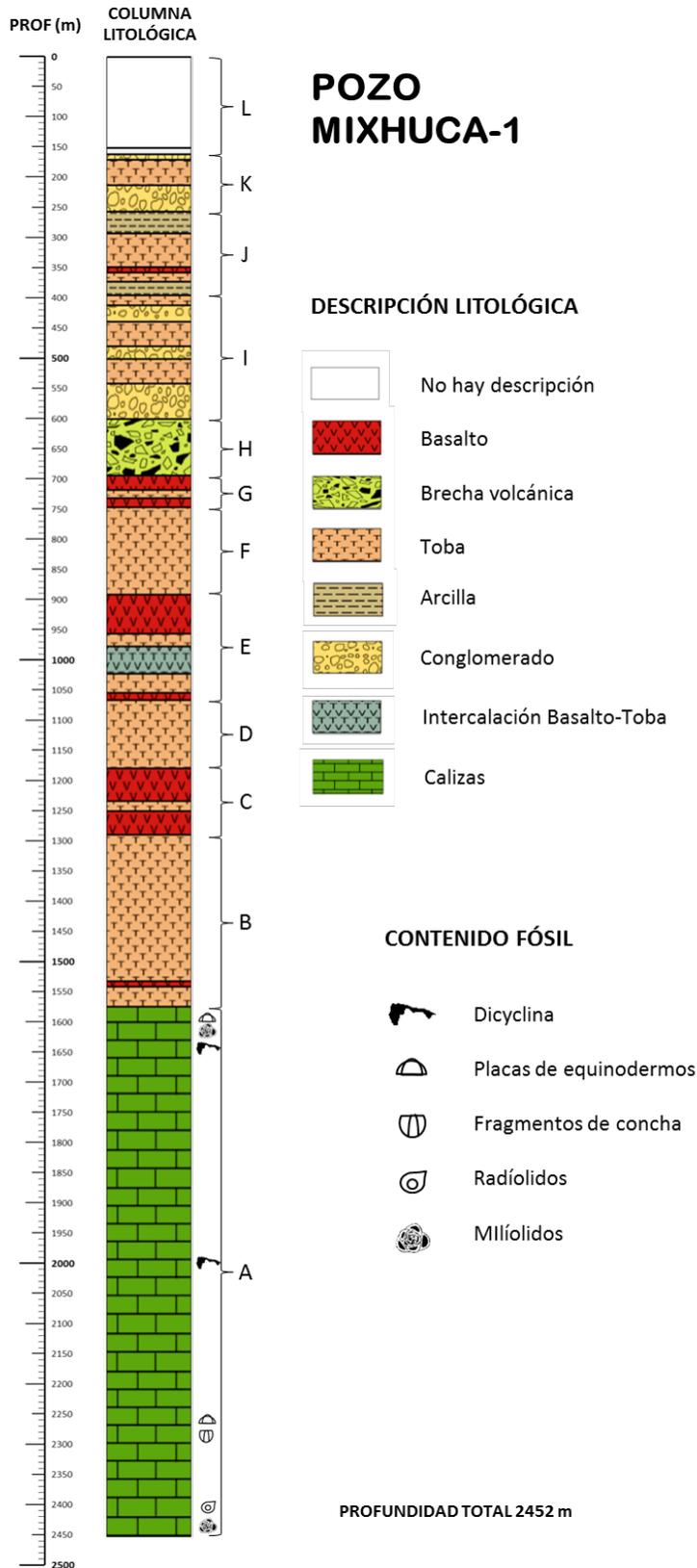


Figura 3.4. Columna litológica del pozo Mixhuca-1, elaborada a partir de la descripción de muestras de canal.

Roma-1

El pozo Roma-1 tiene una profundidad total de 3200 m. Su columna se muestra en la *Figura 3.5*.

Su parte inferior (de 3200 m a 2334 m) está constituida por las siguientes unidades:

- A) Tobas color gris claro, gris oscuro y gris verdoso, semicompacta. Espesor 384 m.
- B) Brecha calcárea constituida por fragmentos de mudstone café claro. Espesor 86 m.
- C) Toba gris verdosa y basalto gris y café rojizo. Espesor 396 m.

Su parte media (de 2334 m a 908 m) comprende las siguientes unidades:

- D) Basalto y toba, el basalto gris oscuro compacto con fracturas rellenas de toba gris verdoso y bentonita verde oscuro. Espesor 469 m.
- E) Toba gris verdosa y café semicompacta, basalto gris oscuro y café rojizo. Espesor 266 m.
- F) Basalto gris oscuro con fracturas selladas por tobas verde y bentonita gris claro. Brecha volcánica constituida por basalto café rojizo en una matriz tobácea café claro. Espesor 507 m.
- G) Tobas riolíticas. Espesor 184 m.

Su parte superior (de 908 m a 0 m) contiene las siguientes unidades:

- H) Brechas andesíticas y basaltos. Espesor 68 m.
- I) Tobas y limolitas. Espesor 108 m.
- J) Brechas, andesitas, basaltos y tobas. Espesor 176 m.
- K) Tobas y conglomerados volcánicos. Espesor 507 m.
- L) Sedimentos lacustres. Espesor 41 m.
- M) No hay descripción. Espesor 8 m.

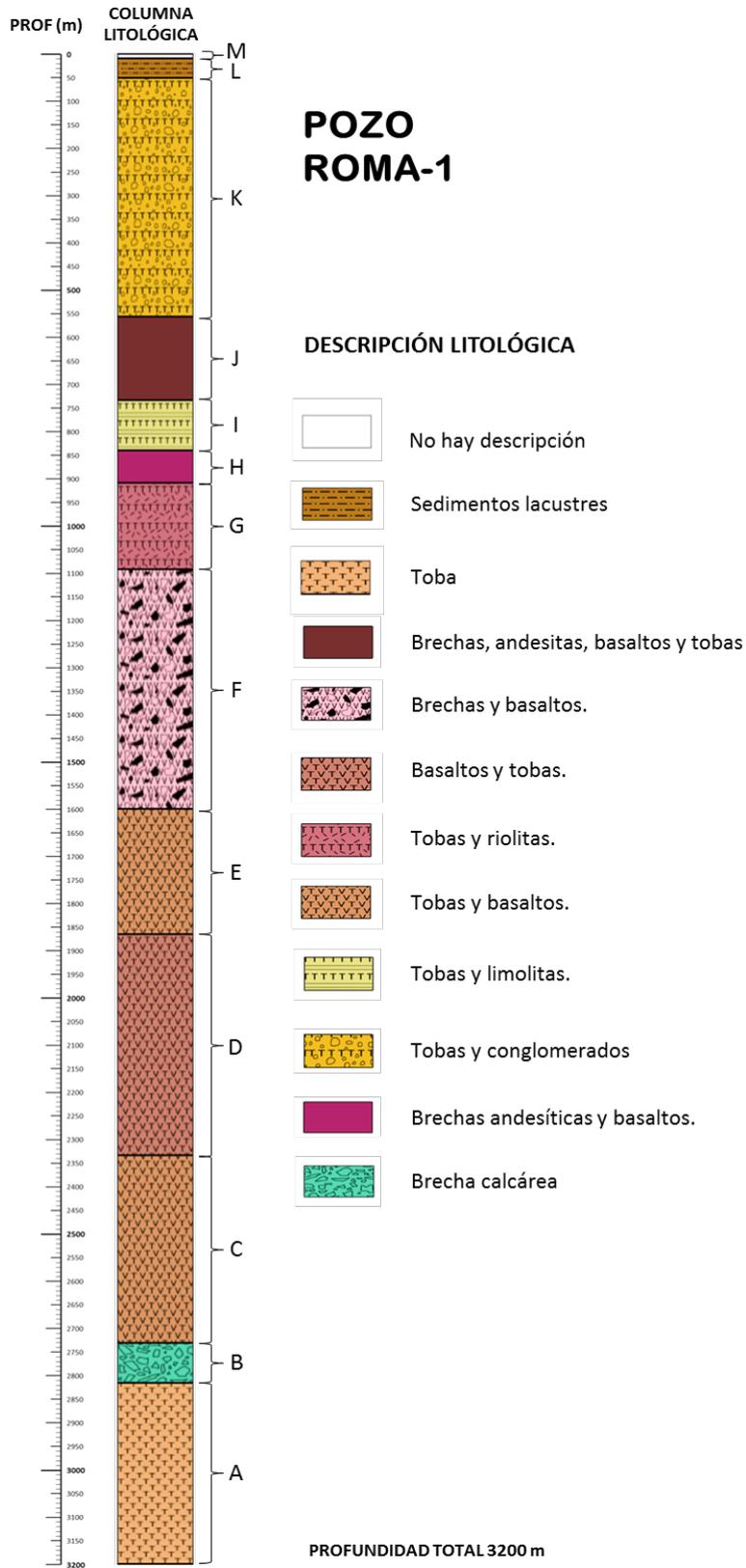


Figura 3.5. Columna litológica del pozo Roma-1, elaborada a partir de la descripción de muestras de canal.

Tulyahualco-1

El pozo Tulyehualco-1 tiene una profundidad total de 3000 m. Su columna se muestra en la *Figura 3.6*.

Su parte inferior (de 3000 m a 2107 m) está constituida por la siguiente unidad:

- A) Mudstone con fracturas delgadas rellenas por bentonita, pirita y calcita mudstone con abundantes fracturas verticales y horizontales, wackstone con fragmentos de conchas y placas de equinodermos. Espesor 893 m.

Su parte media (de 2107 m a 853 m) comprende las siguientes unidades:

- B) Basalto gris claro, gris oscuro y café oscuro. Espesor 135 m.
- C) Intercalación de basaltos con tobas. Espesor 215 m.
- D) Brecha volcánica constituida por fragmentos de basalto gris oscuro y toba café rojizo Espesor 71 m.
- E) Toba gris verdoso y café claro de aspecto vítreo. Espesor 88 m.
- F) Brecha volcánica constituida por fragmentos de basalto gris oscuro y toba gris verdoso. Espesor 66 m.
- G) Basalto gris oscuro, gris verdoso y café rojizo por alteración de estructura maciza. Espesor 679 m.

Su parte superior (de 853 m a 0 m) contiene las siguientes unidades:

- H) Toba gris claro, arenosa y dura. Espesor 222 m.
- I) Arcillas y arenas tobáceas. Espesor 494 m.
- J) Basaltos, arcillas y tobas. Espesor 50 m.
- K) Sedimentos lacustres. Espesor 87 m.

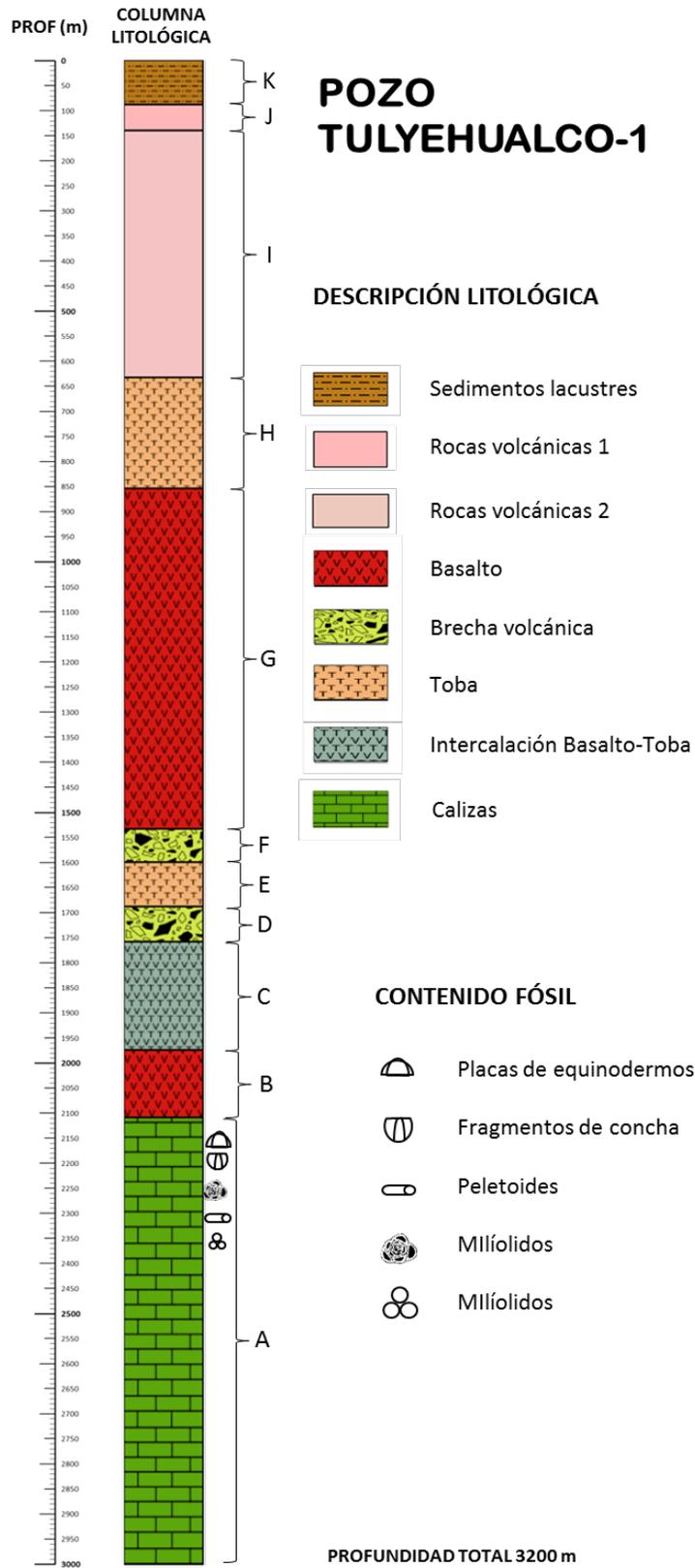


Figura 3.6. Columna litológica del pozo Tulyehualco-1, elaborada a partir de la descripción de muestras de canal.

3.1.2 Calibración con muestras de núcleo

Posterior a la construcción de las primeras columnas litológicas, se prosiguió a calibrar las columnas con la descripción detallada de las muestras de los núcleos.

Cada muestra de núcleo en promedio medía nueve metros, aunque en algunos casos sólo se recuperaron pocos metros.

Para realizar esta segunda fase en la construcción de las columnas litológicas, se tuvo que cambiar el software a Sketch up, para una mejor definición y mejora de la imagen, se cambió el tono y se afinó la simbología.

Cada pozo tiene diferente número de núcleos. El pozo Copilco-1 cuenta con nueve núcleos, el Roma-1 con diez, el Tulyehualco-1 con catorce y el Mixhuca-1 es el pozo con mayor cantidad de núcleos, diecisiete.

Las columnas litológicas previamente establecidas se ajustaron con base en los datos proporcionados por la descripción detallada de los núcleos.

En las *figuras 3.7, 3.8 y 3.9*, se ilustra el proceso de calibración y ajuste de las columnas con la descripción de los núcleos de intervalos selectos de los pozos Mixhuca-1, Copilco-1 y Tulyehualco, así como la incorporación de los nuevos cuerpos rocosos. Nótese que los ajustes no solamente modifican la litología misma, sino también a los espesores de las unidades litológicas.

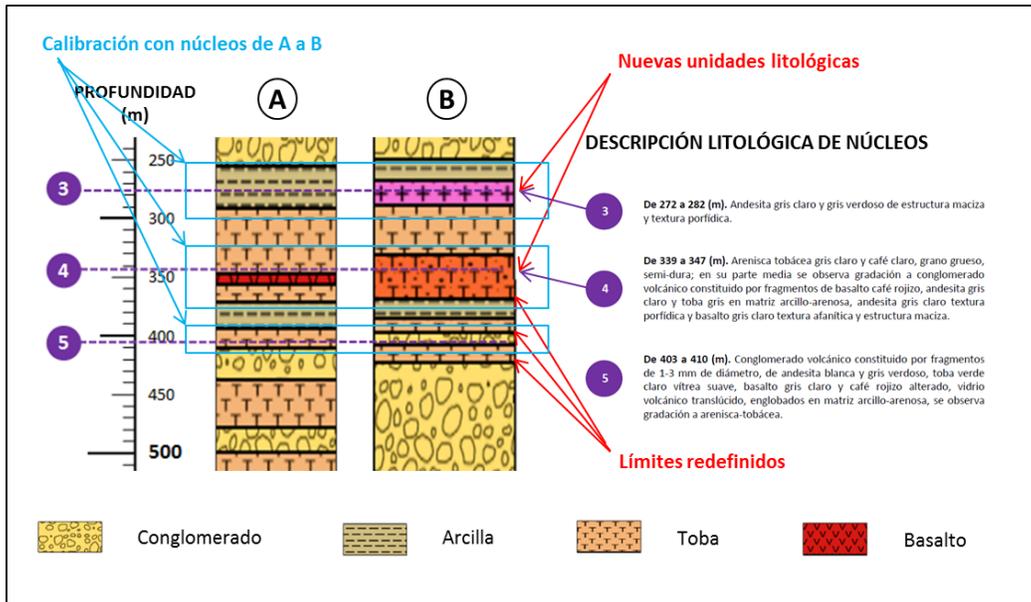


Figura 3.7. Imagen correspondiente al pozo Mixhuca-1, en la que se observa la calibración que se hizo con los núcleos. La columna “A”, representa la columna basada en el muestreo de canal, y la “B” representa la nueva columna litológica calibrada con la descripción de los núcleos.

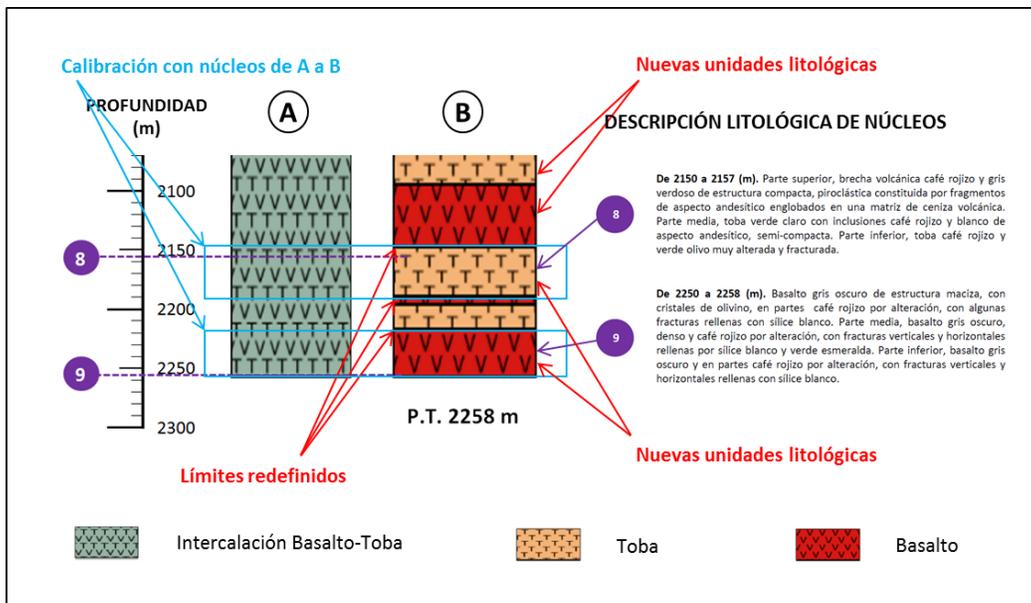


Figura 3.8. Imagen correspondiente al pozo Copilco-1, en la que se observa la calibración que se hizo con los núcleos. La columna “A”, representa la columna basada en el muestreo de canal, y la “B” representa la nueva columna litológica calibrada con la descripción de los núcleos.

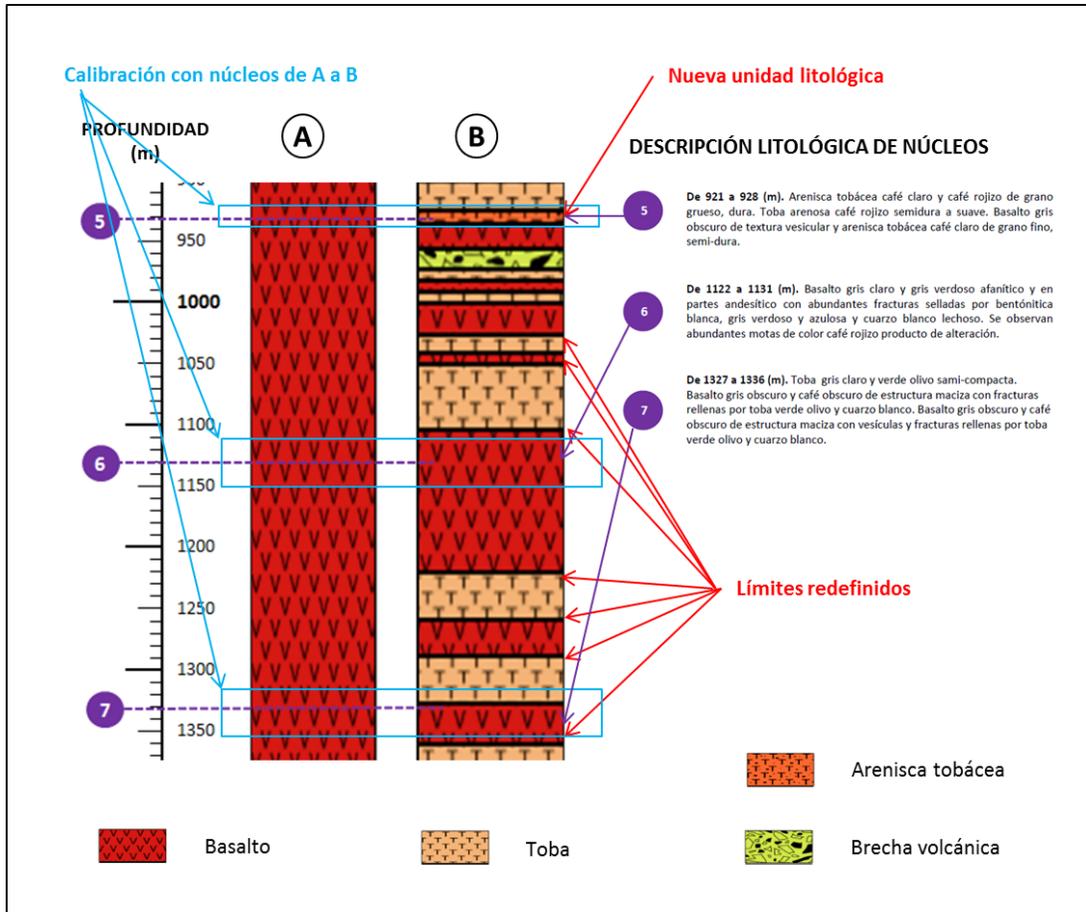


Figura 3.9. Imagen correspondiente al pozo Tulyehualco-1, en la que se observa la calibración que se hizo con los núcleos. La columna "A", representa la columna basada en el muestreo de canal, y la "B" representa la nueva columna litológica calibrada con la descripción de los núcleos.

La descripción de las muestras de núcleos siempre se ha considerado como el dato más duro y significativo en la realización de este proyecto, es preciso acentuar que el muestreo de canal no es totalmente confiable, ya que, existen variables que pudieran tener cierto grado de incertidumbre, debido al proceso de recuperación de las muestras de canal, es por eso, que, en el proceso de calibración con núcleos se hace un afianzamiento certero en la construcción de la secuencia litológica de las columnas.

La incorporación de los núcleos ha sido de suma importancia para la construcción de las columnas, ya que permite anclar todo tipo de dato geológico.

16	1263.0	70% brecha volcanica constituida por fragmentos de basalto. 20% de toba gris claro y verde claro. 10% basalto gris obscuro.	1.06 x 69 1263.0m	Se perforó hasta circulo y sacó tubería armó corona Christensen de 214mm (8 7/16"), barril muestrero de 30' y con la misma TP bajó a 1263.0m circulo y prepara para cortar núcleo No.8
17	1272.0	NUCLEO No.8 Int.1263-1272.0m RECUP:9.0m(100%) Edo.Muestra:Bueno. Porosidad:Regular, secundaria con fracturas (primaria Intergranular) Impregnación:Nula, PS=7.0m Basalto gris oscuro con fracturas selladas por tobas verde y bentonita gris claro. PI=2.0m Brecha volcanica constituida por basalto café rojizo en una matriz tobacea café claro	1.04 x 60 de 1263-1272.0m	Cortó núcleo No.8 de 1263-1272.0m, sacó tubería recuperando 9.0m(100%). Armó barrena de 242mm(9 1/2") y con la misma TP bajó a 1263.0m, circulo y amplió tramo nucleado.

Figura 3.10. Fragmento del expediente de exploración del pozo Roma -1 donde se describen las muestras de canal y la descripción del núcleo 8 de pozo Roma-1.(PEMEX, 1986).

3.2 Análisis de los registros geofísicos de pozo

En la tercera etapa de construcción de las columnas se incorporaron nuevas unidades litológicas interpretadas a partir de la respuesta de los registros geofísicos. Cada pozo cuenta con siete registros geofísicos, que son; densidad, sísmico, resistividad, rayos gamma, temperatura, neutrón y potencial natural (SP).

3.2.1 Correcciones y ajustes a los registros

Los registros geofísicos de los pozos corresponden con archivos *.las en los que se almacenan los valores numéricos para las distintas profundidades; existieron algunos aspectos a considerar en esta etapa, uno de los cuales fue el que los registros geofísicos no eran los mismos para todos los pozos, y además los archivos *.las se encontraban seccionados, por tal motivo fue necesario editarlos manualmente, utilizando el programa Excel, para realizar un archivo continuo con la profundidad total. Sin embargo en las diferentes secciones de los registros, algunos presentaban inconsistencias en los valores de lectura, y profundidades repetidas con diferente valor de respuesta, así que se decidió que se unificaría el

registro con aquellos valores que fueran consistentes con las respuestas numéricas de las profundidades adyacentes.

Cabe mencionar que esta decisión se consultó con un experto Petrofísico que comentó que esta variación en la respuesta pudo deberse al método de adquisición del registro, y que podía construirse el nuevo archivo a partir del criterio elegido.

Los archivos corregidos se cargaron en un proyecto en el software Petrel en el cual posteriormente se incorporó información sísmica.

3.2.2 Calibración de las columnas con los registros geofísicos de pozo

Para calibrar las columnas se decidió utilizar los registros sísmicos y de densidad, los demás registros sólo se utilizaron para comparar y ajustar las unidades litológicas incorporadas.

Las razones por las que se decidió calibrar las columnas con los registros geofísicos de densidad y sísmico son: 1) Ambos registros responden muy bien a los cambios de litologías del valle de México. 2) Son el tipo de registros más completos en la información proporcionada por Pemex, 3) existen relaciones empíricas simples y probadas para convertir valores de densidad a tiempo de tránsito y viceversa en aquellos intervalos donde no se dispone alguno de los registros.

- *Registro de densidad:* Este método es utilizado principalmente para determinar la porosidad de la formación. La medición de la densidad se aplica en la identificación de minerales, detección de gas, evaluación de arenas arcillosas y litologías complejas, y en la determinación de arcillas petrolíferas, (Villegas, 2005).
- *Registro de velocidad:* Se basa en la transmisión y recepción de señal de forma senoidal emitidos por transductores sonoros de alta frecuencia. Con

lo cual por medio de cálculos del tiempo de tránsito del sonido, entre el transmisor y el receptor, proporciona datos de grado de porosidad, (Jiménez, 2011).

El primer paso en esta etapa fue la edición de los archivos que presentaba inconsistencias para cargar los archivos en un proyecto, en el software Petrel, para visualizar los gráficos y poder trabajar con ellos.

Ya obtenidas las representaciones gráficas de las respuestas de los registros de densidad y sónico, se procedió a compararlas con las columnas obtenidas a partir de la calibración por núcleos, para de esa manera hacer los ajustes necesarios.

Hay que tomar en cuenta que los valores de densidad o tiempo de tránsito para una misma litología pueden variar en función de la profundidad de sepultamiento, porosidad, contenido de fluidos y otras condiciones locales.

En el pozo Copilco-1, por ejemplo, se añadieron dos unidades definidas como “Arcilla tobácea” y “Arcillas y arenas tobáceas” porque en el registro de densidad los valores eran muy bajos y no representaban los correspondientes a tobas y basaltos ya que estos dos últimos tenían una tendencia de densidad más alta. La nueva unidad se sustentó también en los dos procesos anteriores de reconstrucción de la columna. En el pozo Mixhuca-1 se incorporó la unidad de “Caliza arcillosa”, debido a la respuesta del registro de densidad. En el pozo Roma-1 y Tulyehualco-1 no se incorporaron nuevas unidades.

En las siguientes imágenes se muestran algunos fragmentos de las columnas donde se realizó la calibración con los registros.

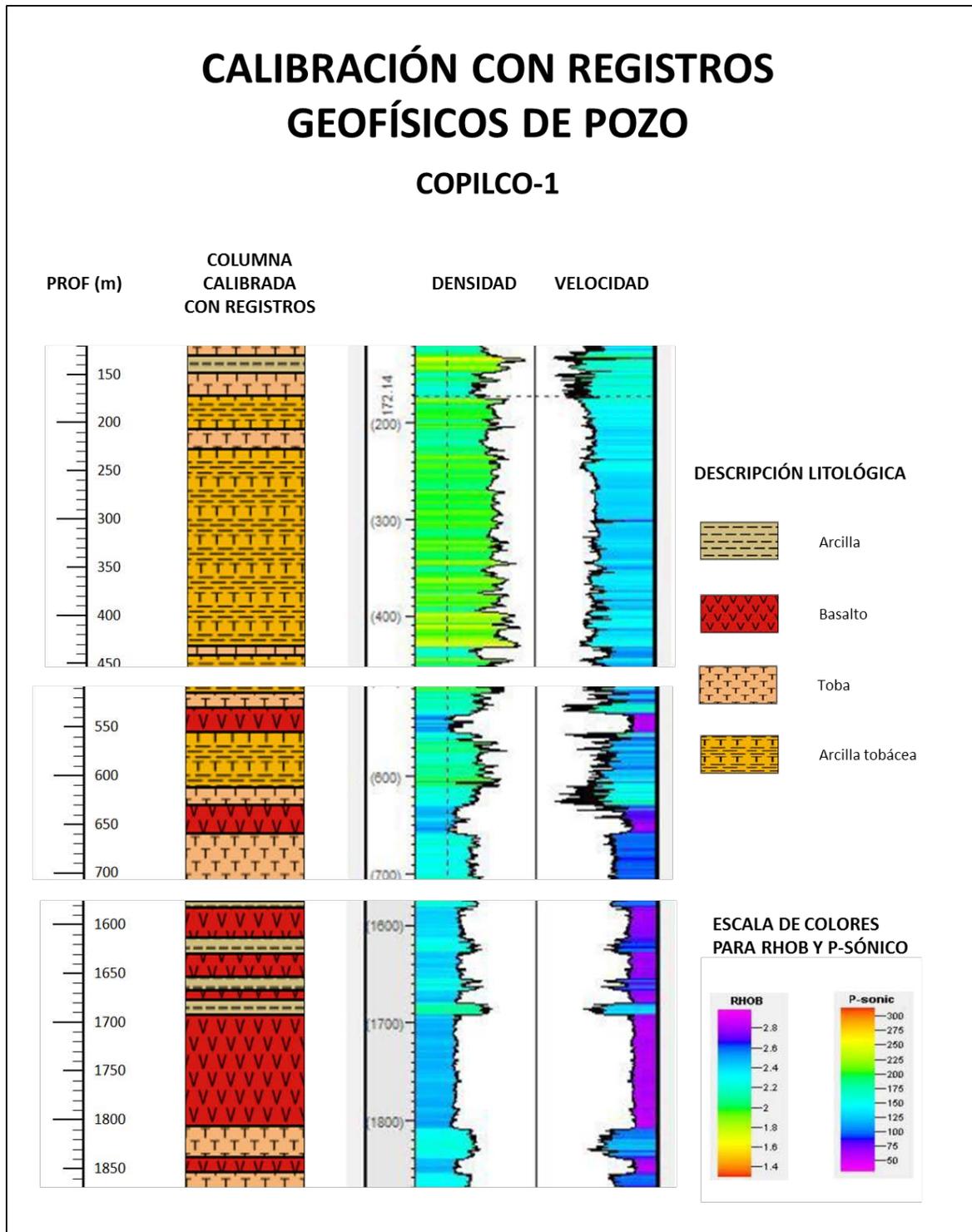


Figura 3.11. Imagen correspondiente al pozo Copilco-1, donde se muestra la calibración de la columna litológica con la respuesta de los registros de densidad y velocidad.

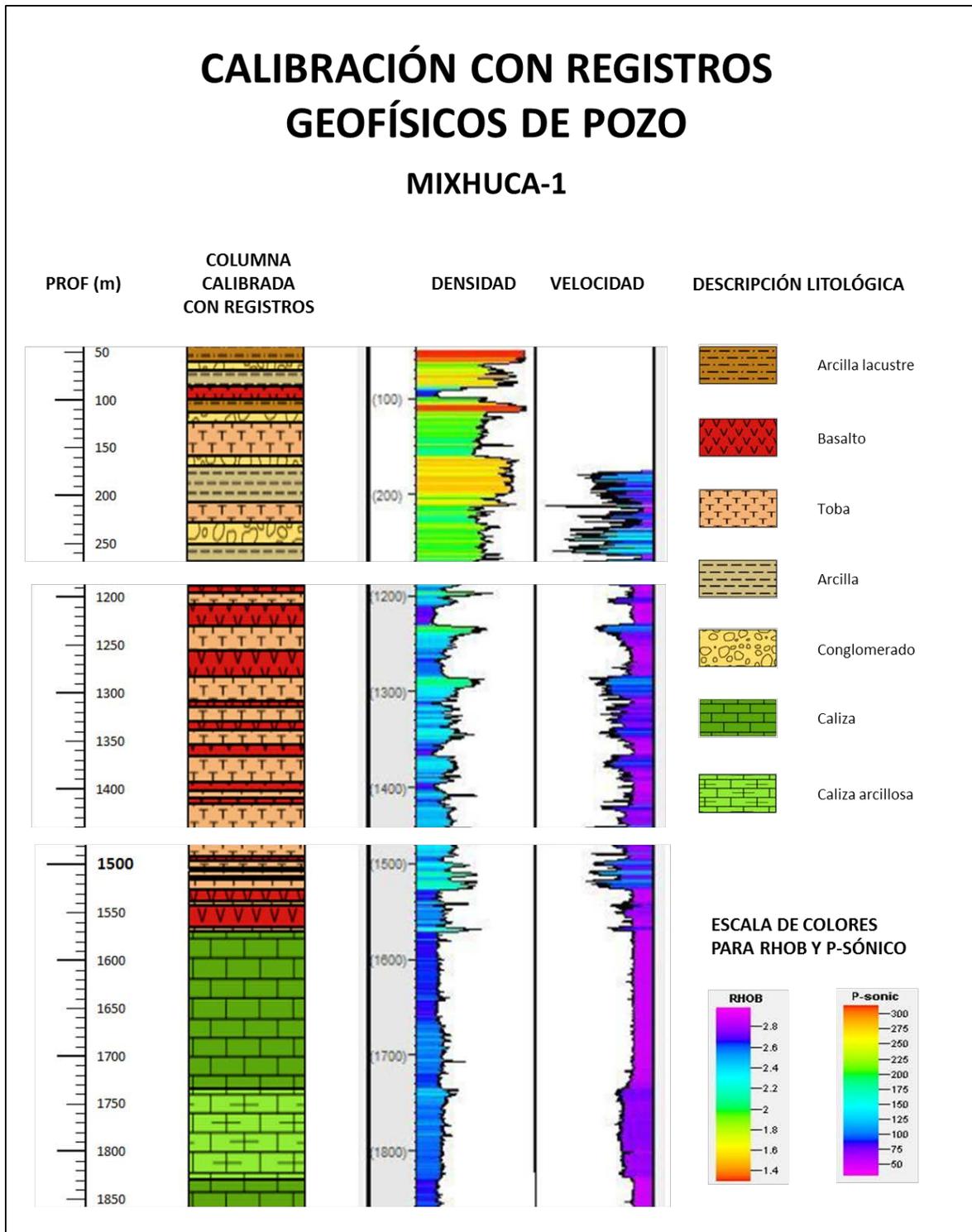


Figura 3.12. Imagen correspondiente al pozo Mixhuca-1, donde se muestra la calibración de la columna litológica con la respuesta de los registros de densidad y velocidad.

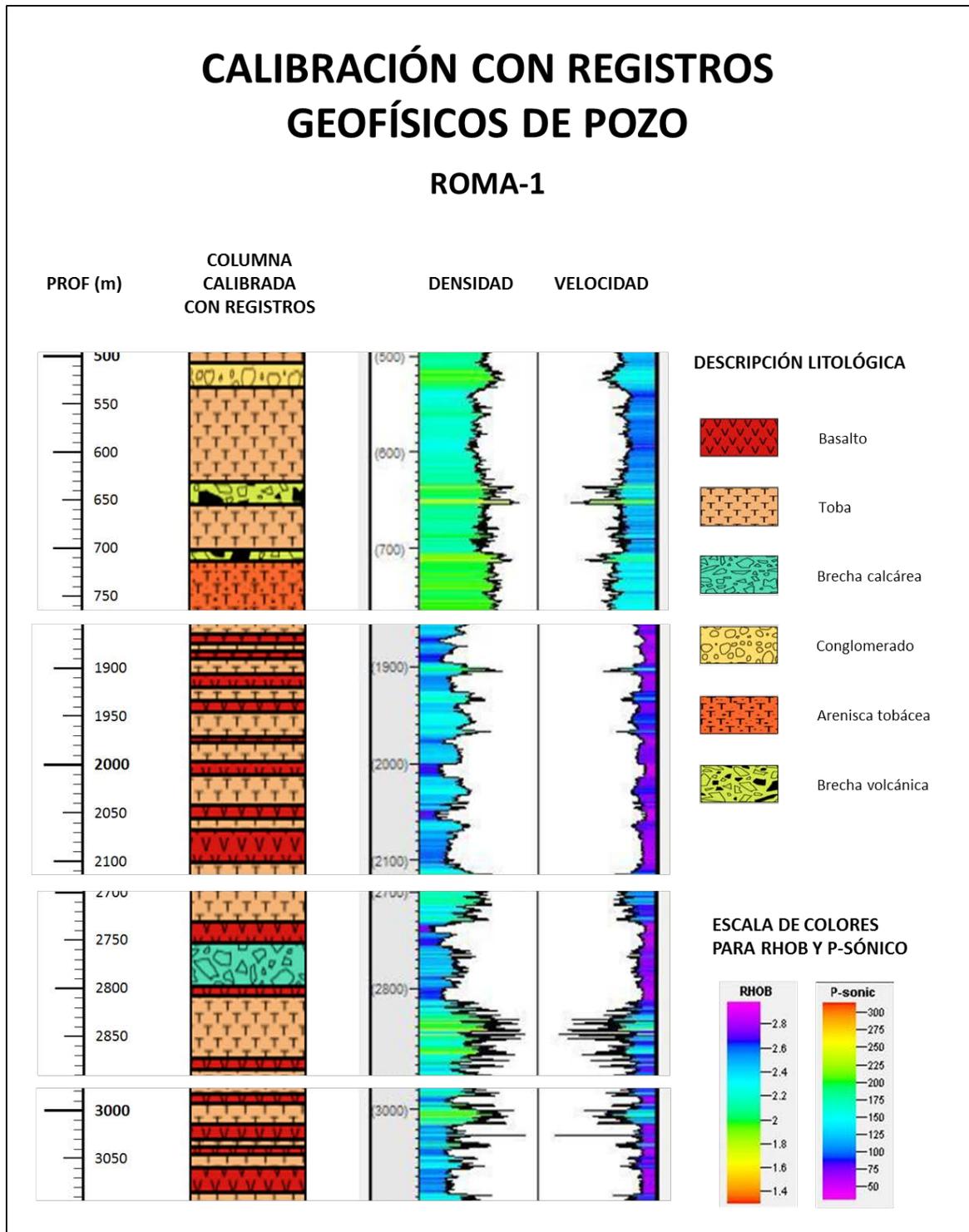


Figura 3.13. Imagen correspondiente al pozo Roma-1, donde se muestra la calibración de la columna litológica con la respuesta de los registros de densidad y velocidad.

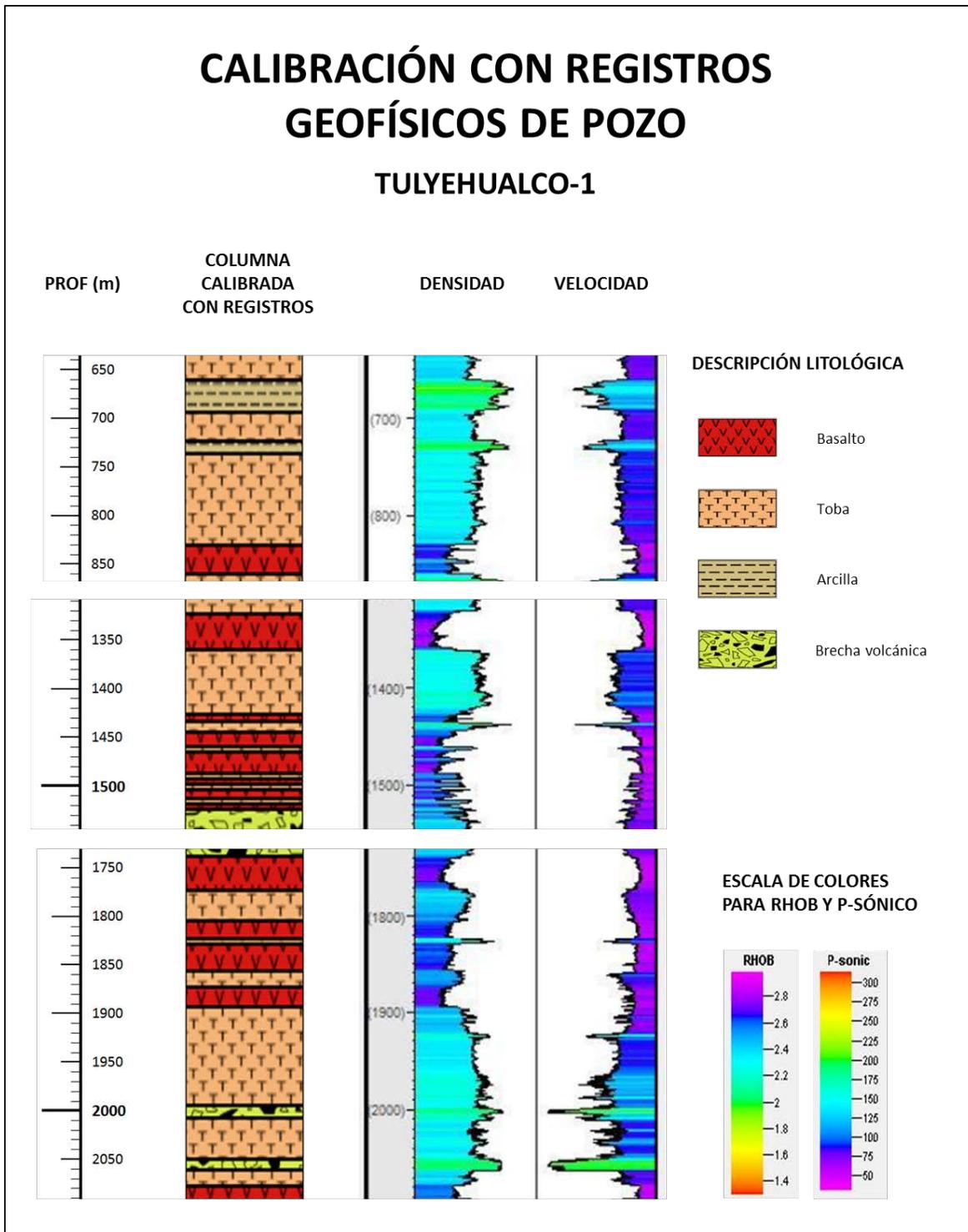


Figura 3.14. Imagen correspondiente al pozo Tulyehualco-1, donde se muestra la calibración de la columna litológica con la respuesta de los registros de densidad y velocidad.

3.2.3 Construcción de columnas litológicas finales

Para concluir con la construcción de las columnas, se dio a la tarea de revisar todos los expedientes de exploración y perforación de los cuatro pozos. En esta última revisión de expedientes, se retomaron documentos elaborados por ROTENCO S.A., que contienen el Registro de Hidrocarburos y la velocidad de perforación, tipos de lodo de perforación, profundidad de los núcleos y algunas observaciones y características litológicas hechas durante la perforación de los pozos, (Figura 3.15).

La manera en que se incorporó este nuevo parámetro a las columnas fue comparar la litología de la última columna realizada hasta ese momento con la velocidad de perforación y las observaciones litológicas,



Figura 3.15. La imagen corresponde al encabezado del expediente de registros de hidrocarburos y muestra las características de perforación, (PEMEX, 1986).

Se revisó detalladamente la variación de velocidad de perforación con la litología y a la vez se iban verificando si tenían coincidencia las observaciones litológicas con la columna, se corrigieron algunos límites superiores e inferiores de los

paquetes de roca, aunque cabe señalar que fueron mínimas las correcciones. Una vez concluido ese proceso se continuó con la revisión de todos los elementos con los que se construyó la columna litológica.

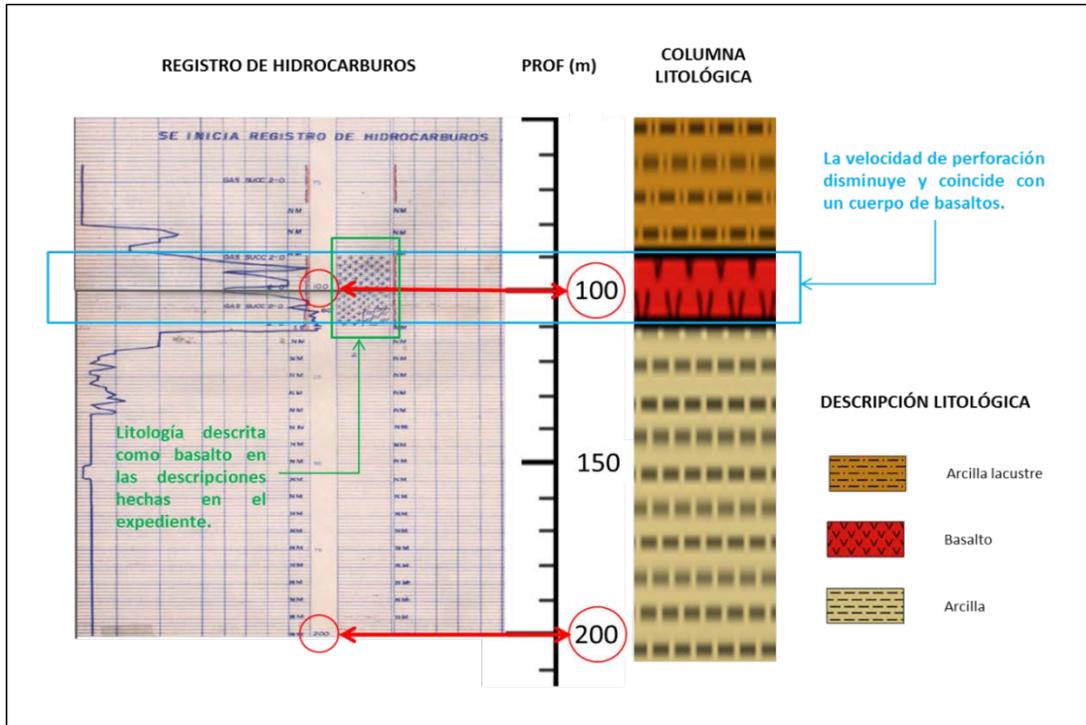


Figura 3.16. La grafica del registro de hidrocarburos nos muestra que la velocidad de perforación disminuye al encontrar un cuerpo rocoso con mayor densidad, en este caso basalto, el cual coincide con la profundidad y litología de la columna litológica.

A continuación se muestran las siguientes imágenes 3.17, 3.18, 3.19 y 3.20 donde se representan las columnas litológicas en su fase final, elaboradas con muestras de canal, calibradas con núcleos, calibradas con la respuesta de los registros geofísicos de pozo, y con los datos de registros de hidrocarburos. Aquí vale la pena hacer una descripción de la representación de las columnas, es decir, en la parte izquierda de la gráfica se muestra la columna litológica final, los registros sísmico y de densidad referidos a la profundidad con respecto a la mesa rotaria con indicaciones en círculos morados de la ubicación de los núcleos. En la parte derecha de la gráfica se muestra la leyenda, descripción de núcleos, descripción de las unidades rocosas y las escalas de valores de los registros geofísicos.

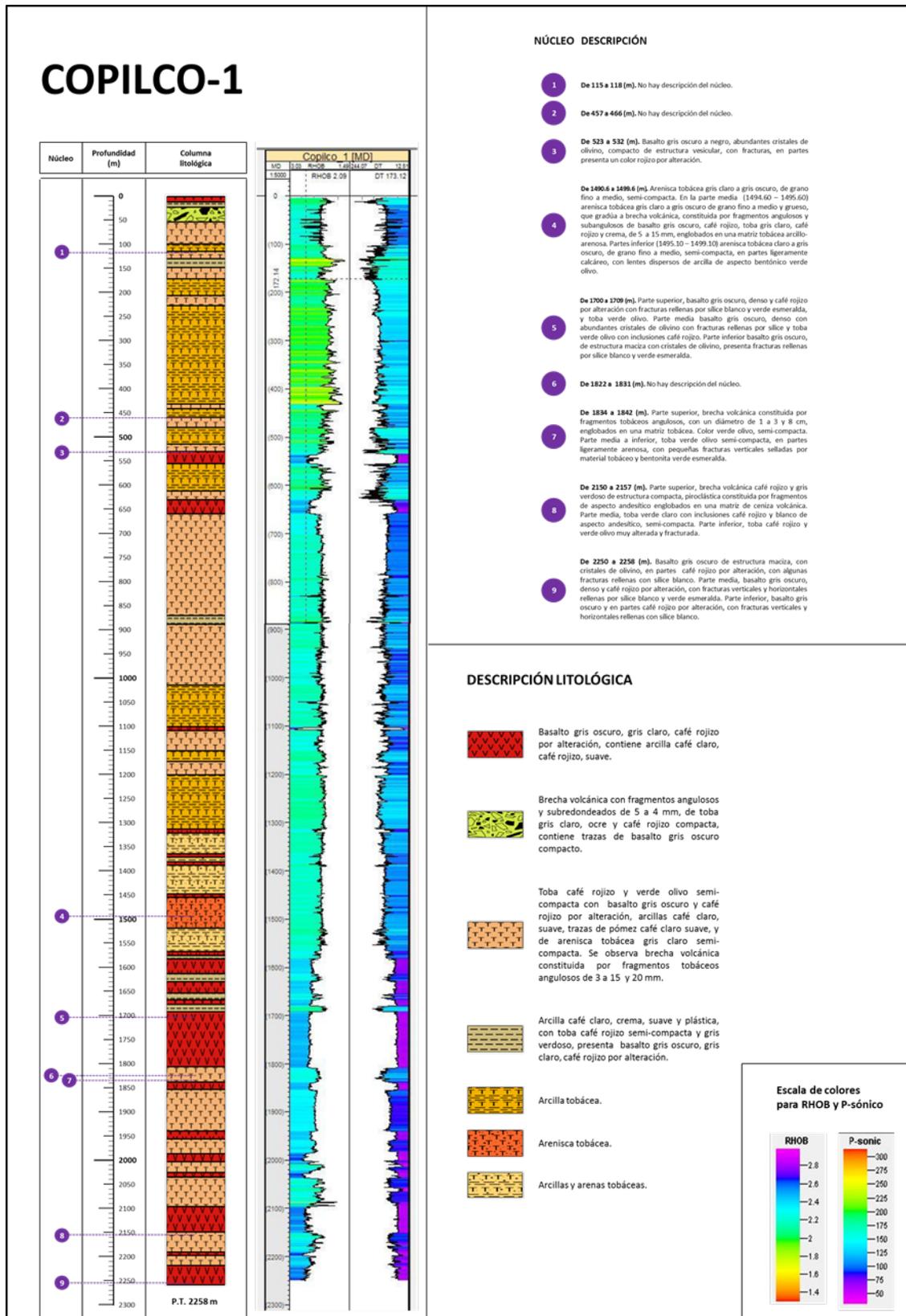


Figura 3.17. Columna litológica final del pozo Copilco-1.

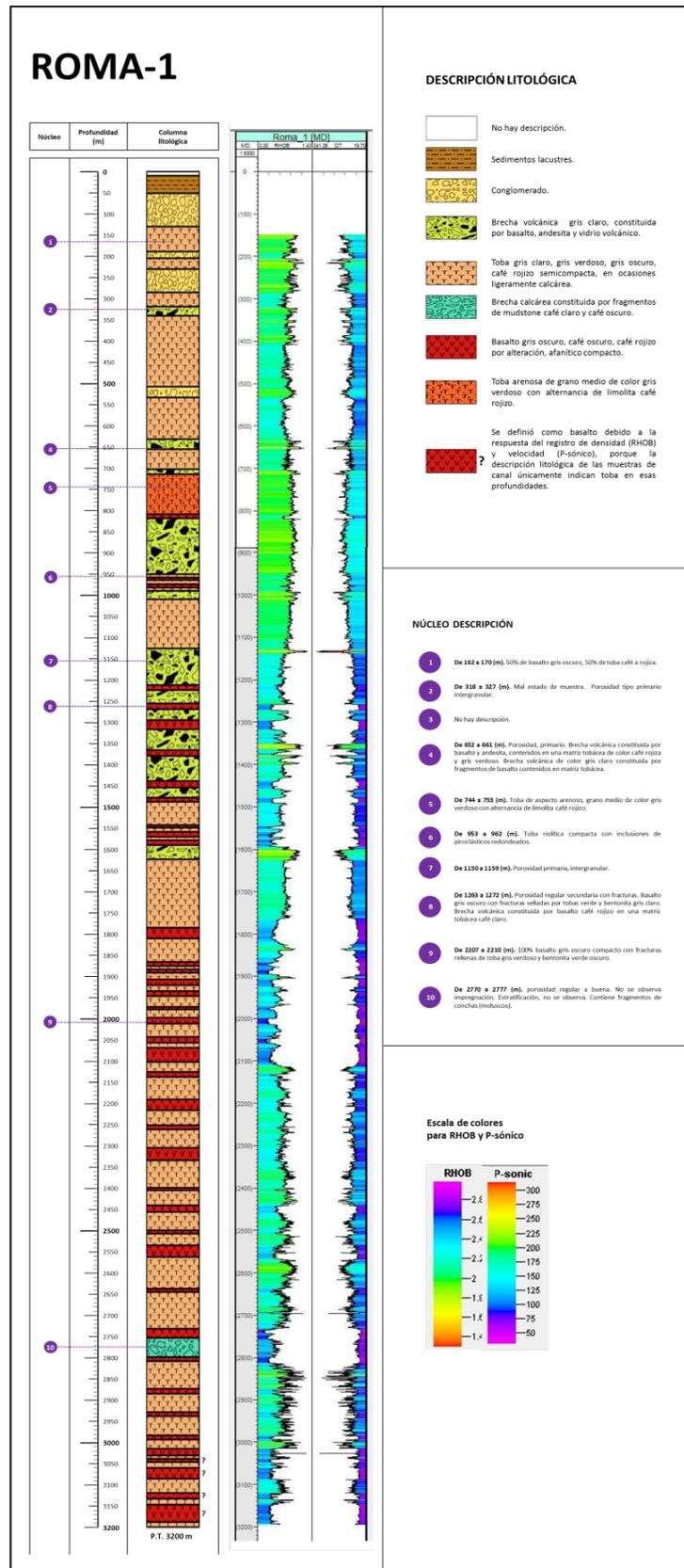


Figura 3.19. Columna litológica final del pozo Roma-1.

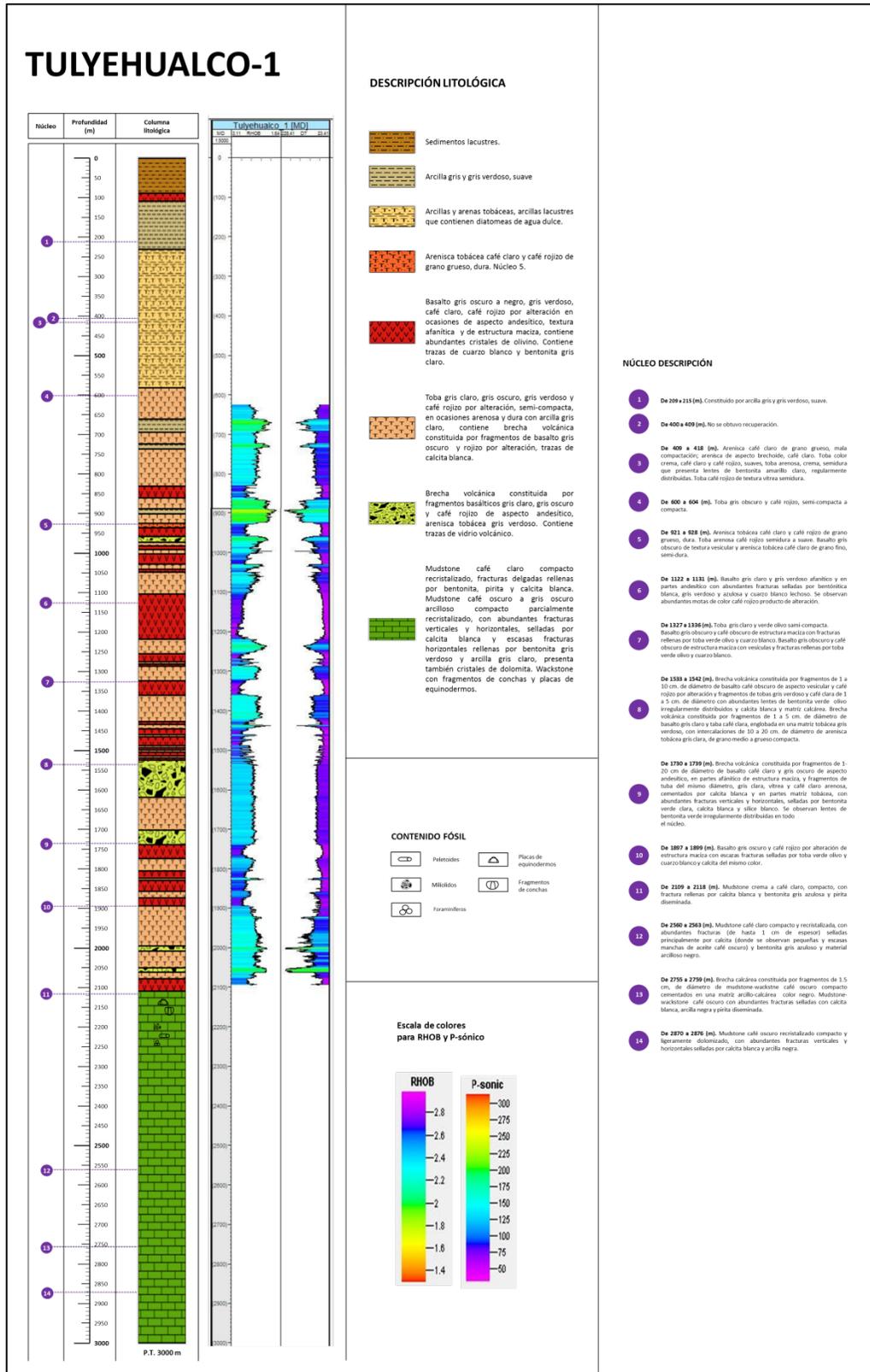


Figura 3.20. Columna litológica final del pozo Tulyehualco-1.

CAPÍTULO 4

4. DEFINICIÓN DE UNIDADES ESTRATIGRÁFICAS

Una unidad estratigráfica es un conjunto de estratos adyacentes que se distinguen por una o varias de las muchas propiedades que las rocas poseen (ISSC1976, tomada de Código Estratigráfico Norteamericano1983, 1984.).

Las propiedades más importantes son:

- Composición
- Textura
- Fósiles incluidos
- Huella magnética
- Radiactividad
- Velocidad sísmica
- Edad
- Estructuras sedimentarias
- Espesor
- Área

Su identificación o reconocimiento se basa en el contenido o en los límites físicos y las categorías relacionadas con la edad (Código Estratigráfico Norteamericano 2010).

Unidad litoestratigráfica

Se define como una unidad litoestratigráfica a un conjunto de estratos compuestos predominantemente por un cierto tipo litológico o por una combinación de tipos litológicos, o por poseer otras características litológicas importantes en común, que sirvan para agrupar los estratos (GEI, 1980).

Se le considera una unidad litoestratigráfica a un cuerpo que es distinto y diferenciable de los que lo rodean, una de las características más indispensables

para definirla es la homogeneidad en su composición y que sus límites sean más claramente identificables en relación a las otras unidades.

Unidades litoestratigráficas formales e informales

La nomenclatura estratigráfica prevé la utilización de estas unidades con carácter formal e informal. Con carácter formal se aplica la definición de acuerdo con unas normas (CNE, 1961; GEI, 1980; NASC, 1983) establecidas por organismos internacionales.

Entonces se definen unidades formales a las unidades estratigráficas que cumplen las especificaciones establecidas por los códigos y guías, por otro lado, se les nombran unidades informales a las unidades estratigráficas establecidas formadas provisionalmente y de carácter local, sin llegar a cumplir los códigos y normas establecidas.

Jerarquía de las unidades litoestratigráficas formales

El Código Estratigráfico Norteamericano jerarquiza las unidades litoestratigráficas de la siguiente manera

Formación: es la unidad fundamental en la clasificación litoestratigráfica. Es un cuerpo de roca que se identifica por sus características y por su posición estratigráfica; generalmente, aunque no necesariamente, es tabular y se puede catalogar en la superficie de la Tierra o seguirse en el subsuelo.

Miembro: es una unidad litoestratigráfica de rango inmediatamente inferior al de formación y es siempre parte de una formación. Se reconoce como una entidad con nombre dentro de una formación porque posee características que la distinguen de las partes adyacentes de la misma.

Estrato: estrato, o conjunto de estratos, es la unidad litoestratigráfica formal más pequeña de las rocas sedimentarias.

Derrame: es la unidad litoestratigráfica formal más pequeña de rocas de derrames volcánicos. Un derrame es un cuerpo de roca volcánica diferenciable, extrusivo, que se distingue por su textura, composición, orden de superposición, paleomagnetismo u otros criterios objetivos.

Grupo: es la unidad litoestratigráfica de rango inmediatamente superior al de formación. Un grupo puede estar completamente constituido por formaciones nombradas, o puede estarlo parcialmente por formaciones no nombradas.

Supergrupo: es una asociación formal de grupos relacionados o superpuestos, o de grupos y formaciones.

Carácter Compuesto: es el nombre formal de una unidad litoestratigráfica, consiste en un nombre geográfico combinado con un término lítico descriptivo o con el término correspondiente al rango, o ambos.

4.1 Incorporación de edades radiométricas

El conocimiento de la edad de una formación constituye un elemento fundamental para saber el proceso evolutivo de la zona de estudio y los acontecimientos tectónicos que pudieron afectar las formaciones a lo largo de su historia geológica. La aplicación económica principal se relaciona con la formación y distribución de los recursos naturales explotables (agua, gas, aceite, yacimientos minerales, etc.).

Existen dos tipos de dataciones;

- La datación relativa.
- La datación absoluta.

Los *métodos de datación relativa* ordenan los materiales o acontecimientos en el tiempo utilizando los principios fundamentales de la Estratigrafía, sin embargo no se les asigna una fecha concreta.

Dentro de los principios más utilizados son el de superposición, sucesión faunística, corte y truncamiento, etc.; así si en una secuencia de estratos que no se ve afectada por algún evento tectónico se puede razonar que los inferiores son más antiguos que los superiores.

Los *métodos de datación absoluta* tratan de calcular la edad en millones de años (Ma) de una roca o acontecimiento con mayor precisión. Hay diversos métodos pero los más importantes son los métodos radiométricos basados en la existencia de átomos (isótopos) radioactivos presentes en las rocas.

Toda la materia ordinaria se compone de combinaciones de los elementos químicos, cada uno con su propio número atómico, que indica el número de protones en el núcleo atómico. Además, los elementos pueden existir con diferentes isótopos, con cada isótopo de un elemento que difieren en el número de neutrones en el núcleo. Un isótopo particular de un elemento particular se llama un nucleido. Algunos nucleidos son inherentemente inestables. Esta transformación puede llevarse a cabo de diferentes maneras, incluyendo la desintegración radiactiva, ya sea por emisión de partículas o por fisión espontánea, y la captura de electrones (WebAcademia 2013).

Los estudios previos que se han realizado en la cuenca del Valle de México incluyen el desarrollo de datación absoluta de algunas muestras de núcleos de los pozos profundos Copilco-1, Mixhuca-1, Roma-1 y Tulyehualco-1.

Los métodos radiométricos que fueron utilizados para la datación son:

- Dataciones radiométricas (K/Ar), IMP, 1986.
- Dataciones radiométricas (Ar/Ar) Ferrari, L., 2003.
- Dataciones radiométricas (Ar/Ar y U-Pb), Arce, J.L., et. al., 2013.

A continuación se describe brevemente el método para analizar la precisión y los errores que deben considerarse en la propuesta de una edad absoluta.

Método potasio-argón (K^{40} - Ar^{40})

Se basa en la desintegración radiactiva del isótopo del potasio, K^{40} , en Ar^{40} . Al ser el potasio un elemento muy común en las rocas de la corteza terrestre y dado que su período de desintegración es de 1300 Ma, este método permite medir edades desde casi 30.000 años a más de 4.500 millones de años. El método K-Ar es útil por la abundancia del K en rocas y minerales, permite datar rocas sedimentarias clásticas de grano fino con minerales autigénicos ricos en K.

El método K-Ar determina el tiempo a partir del cual el mineral se ha enfriado suficientemente para que el Ar radiogénico no se difunda fuera de los cristales. La temperatura de bloqueo es la temperatura a la cual un mineral está cerrado a la pérdida de Ar. Las edades obtenidas son generalmente menores que la edad verdadera, a menos que las rocas datadas se enfrien muy rápidamente.

Las principales limitaciones de este método se deben a los diferentes grados de retención de los minerales. Cuando la edad obtenida es menor que la verdadera se ha producido pérdida de Ar. Esta pérdida generalmente se debe a procesos de recristalización, calentamiento o alteración. Cuando la pérdida de Ar por calentamiento es total, el fechado obtenido corresponde a la edad de ese evento térmico lo que permite datar procesos metamórficos. Ciertas rocas y minerales pueden contener Ar heredado en cuyo caso las edades son mayores a las reales (INGEIS, Instituto de Geocronología y Geología Isotópica, 1973).

Método argón-argón (Ar^{39} - Ar^{40})

El isótopo de peso 39 del argón es producido en la estratosfera por colisión de un neutrón con un átomo de argón 40. El argón 39 se acumula en la atmósfera, llega a la superficie terrestre con las precipitaciones sólidas o líquidas y se descompone con rapidez a potasio 39. El método Ar-Ar se usa ampliamente desde más de dos décadas para el fechamiento de los mismos minerales que se fechan con el método K-Ar. La diferencia estriba en que en el método Ar-Ar se irradia la muestra de manera tal que el K^{39} se transforma en Ar^{39} . De esta forma se pueden medir ambos isótopos en un espectrómetro de masas, lo que redundará en una mayor precisión. Además el gas que contiene los isótopos se libera

calentando la muestra por pasos en un horno o por medio de un láser con potencia variable, lo que permite detectar si la muestra ha tenido una pérdida de Ar (edad más joven de la real) o si tiene un exceso de Ar (edad más vieja), cosa que no se puede hacer con el método K-Ar tradicional donde el gas con el Ar40 se mide en una sola fusión y el K40 se tiene que medir en otro instrumento por espectrometría de flama.

Método del uranio-plomo (U^{235} - Pb^{207})

El esquema de datación radiométrica uranio-plomo se ha perfeccionado hasta el punto en que el margen de error en las fechas de las rocas puede ser menor, de dos a dos y medio millones de años. Un margen de error de 2.5% se ha logrado en las rocas del Mesozoico temprano.

La datación uranio-plomo se realiza a menudo en el mineral de zircón, a pesar de que se puede utilizar en otros materiales, tales como badeleyita. El zircón y la badeleyita incorporan átomos de uranio en su estructura cristalina como sustitutos de zirconio, pero rechazan firmemente plomo. El zircón tiene una temperatura muy alta de cierre, es resistente a la intemperie mecánica y es muy inerte químicamente. Una de sus grandes ventajas es que cualquier muestra ofrece dos relojes, uno basado en la descomposición del uranio-235 que pasa a plomo 207 con una vida media de alrededor de 700 millones de años, y el segundo que se basa en la descomposición del uranio-238 para dirigirse a plomo-206 con una vida media de unos 4,5 millones de años, proporcionando una verificación cruzada incorporada que permite determinar con precisión la edad de la muestra, aunque parte del plomo se ha perdido. (Oxford University Press. 1999).

Edades absolutas de los núcleos

Continuando con el proceso de análisis y enriquecimiento de la información de las columnas litológicas se decidió incorporar las edades radiométricas de las muestras de los núcleos para visualizar las variaciones, y determinar los eventos geológicos a los que se asociaban esas edades y compararlos en todos los pozos.

Para el pozo Copilco-1 se hicieron dos campañas de datación de núcleos: el IMP en 1986, Ferrari en 2003. El IMP selecciono cuatro segmentos de los núcleos 3, 5, 8 y 9. Ferrari selecciono tres de los núcleos que el IMP ya había estudiado, correspondientes con el 5, 8 y 9. Se observa una diferencia significativa de 3 a 6 Ma aproximadamente.

La siguiente tabla muestra todos los datos referentes a los fechamientos radiométricos utilizados en el pozo Copilco-1.

EDADES RADIOMÉTRICAS COPILCO-1				
Profundidad (m)	Núcleo	Edad (Ma)	Método	Fuente
523 a 532	3	0.761	K - Ar	IMP, 1986
1700 a 1709	5	12.3 ± 1	K - Ar	IMP, 1986
1700 a 1709	5	8.9	Ar - Ar	Ferrari, 2003
2150 a 2157	8	13.7	K - Ar	IMP, 1986
2150 a 2157	8	15.3	Ar - Ar	Ferrari, 2003
2250 a 2258	9	23.3 ± 1.5	K - Ar	IMP, 1986
2250 a 2258	9	17.2	Ar - Ar	Ferrari, 2003

Tabla 4.1.1. Muestra la profundidad del núcleo fechado, su profundidad, método radiométrico, y el responsable de cada fechamiento correspondiente al pozo Copilco-1.

Para el pozo Mixhuca-1 se hicieron dos campañas de datación de núcleos: el IMP en 1986, Ferrari en 2003. El IMP selecciono dos segmentos, uno en el núcleo de fondo 10 (1225-1231 m) y otro, en un núcleo de canasta a la profundidad de 1281 m a las que mediante el método de K-Ar le determinó edades de 21.7 ± 1.3 Ma y 29 ± 2 Ma, respectivamente. Luca Ferrari, 2003, selecciono muestras correspondiente con el núcleo 11 (1431-1439 m) y mediante el método Ar-Ar determinó edad absoluta de 17.5 Ma. Se observa una diferencia significativa de

11.5 Ma en la determinación de edad por ambas fuentes, siendo la más joven la de Ferrari. Las edades de la columna geológica del pozo Mixhuca-1 se pueden complementar con las edades obtenidas en el pozos San Lorenzo Tezonco-1 (19°22'44.18" N; 99°05'05.10" W) perforado por la CACM (Arce et al., 2013) y ubicado alrededor de 1600 m al Sur del pozo Mixhuca-1. Los métodos de datación en este pozo fueron Ar-Ar para su parte superior y U-Pb para su parte inferior. Mediante los registros de rayos gama, SP y resistividad, así como las litologías de ambos pozos es posible correlacionar los intervalos datados en el San Lorenzo Tezonco y llevarlos al pozo Mixhuca-1, de esta manera se tiene más completa la columna de este último, lo que será muy importante para establecer correlaciones crono-estratigráficas regionales dentro del valle de México.

La siguiente tabla muestra todos los datos referentes a los fechamientos radiométricos utilizados en el pozo Mixhuca-1.

EDADES RADIOMÉTRICAS				
MIXHUCA-1				
Profundidad (m)	Núcleo	Edad (Ma)	Método	Fuente
420 aprox	-	0.24	Ar - Ar	Arce et. al., 2013
590 aprox	-	1.7	Ar - Ar	Arce et. al., 2013
890 aprox	-	5.0	U - Pb	Arce et. al., 2013
1010 aprox	-	13.5	U - Pb	Arce et. al., 2013
1225 a 1231	10	21.7	K - Ar	IMP, 1986
1281 – 1281.40	canasta	29.0 ± 2	K - Ar	IMP, 1986
1431 a 1439	11	17.5	Ar - Ar	Ferrari, 2003

Tabla 4.1.2. Muestra la profundidad del núcleo fechado, su profundidad, método radiométrico, y el responsable de cada fechamiento correspondiente al pozo Mixhuca-1.

En el pozo Roma-1 solo fueron realizadas dataciones K-Ar por el IMP en los núcleos 8 (1263-1272 m) y 9 (2207-2210 m). Se observa una diferencia

significativa en las edades de estos dos núcleos que tienen aproximadamente 1000 metros de separación entre sí.

La siguiente tabla muestra todos los datos referentes a los fechamientos radiométricos utilizados en el pozo Roma-1.

EDADES RADIOMÉTRICAS ROMA-1				
Profundidad (m)	Núcleo	Edad (Ma)	Método	Fuente
1263 a 1272	8	8.7 ± 0.7	K - Ar	IMP, 1986
2207 a 2210	9	25.3 ± 2	K - Ar	IMP, 1986

Tabla 4.1.3. Muestra la profundidad del núcleo fechado, su profundidad, método radiométrico, y el responsable de cada fechamiento correspondiente al pozo Roma-1.

Para el pozo Tulyehualco-1 se hicieron dos dataciones de núcleos, el IMP en 1986 y Ferrari en 2003. Tanto el IMP como Ferrari seleccionaron los núcleos 6 (1122-1131 m), 7 (1327-1336 m) y 10 (1897-1899 m). Se observa una diferencia significativa en las edades del núcleo 6 de casi 5 Ma. En las edades del núcleo 7 hay una diferencia de 4.7 Ma y para el núcleo 10, la diferencia es de 4.6 Ma. En todos los casos las edades de Ar-Ar son más antiguas que las de K-Ar.

La siguiente tabla muestra todos los datos referentes a los fechamientos radiométricos utilizados en el pozo Tulyehualco-1.

EDADES RADIOMÉTRICAS TULYEHUALCO-1				
Profundidad (m)	Núcleo	Edad (Ma)	Método	Fuente
1122 a 1131	6	11.8 ± 1.8	K - Ar	IMP, 1986
1122 a 1131	6	16.7	Ar - Ar	Ferrari, 2003
1327 a 1336	7	12.2 ± 0.6	K - Ar	IMP, 1986
1327 a 1336	7	16.9	Ar - Ar	Ferrari, 2003
1897 a 1899	10	15.0 ± 0.7	K - Ar	IMP, 1986
1897 a 1899	10	19.6	Ar - Ar	Ferrari, 2003

Tabla 4.1.4. Muestra la profundidad del núcleo fechado, su profundidad, método radiométrico, y el responsable de cada fechamiento correspondiente al pozo Tulyehualco-1.

Como podemos ver existe una diferencia significativa entre los diferentes métodos radiométricos de fechamiento. Las mediciones radiométricas realizadas por el IMP en 1986, aunque echaron mano de las mejores tecnologías disponible en su momento, hoy en día son consideradas imprecisas y fuente de notable incertidumbre. En algunos casos las edades del IMP están invertidas, es decir la edad más joven se encuentra más abajo de la más vieja. Esto, aunado a las nuevas edades Ar-Ar y U-Pb, indica que probablemente las edades K-Ar hayan resultado de la pérdida de Ar, misma que no es posible detectar con este método. En cambio las dataciones más recientes hechas por Ferrari, 2003 y Arce, et al, 2013 tienen una mayor relevancia para precisar la cronología de las columnas litológicas construidas en este proyecto de tesis.

4.2 Selección de tablas estratigráficas

Vázquez-Sánchez y Jaimes-Palomera, 1989, en su estudio del valle de México hecho en 1989, proponen la evolución de la geología de la cuenca a partir del Cretácico, reconocen que los eventos volcánicos que ocurrieron están relacionados con la evolución del Eje Neovolcánico y están representados por andesitas basálticas, andesitas y dacitas calci-alcalinas del Mioceno Medio-

Tardío, Plioceno Temprano, Plioceno Tardío y Cuaternario; basaltos alcalinos y calci-alcalino del Plio-Cuaternario y por basaltos, andesitas basálticas y andesitas calci-alcalinas del Cuaternario. El régimen endorreico de la cuenca de México y la constante sedimentación lacustre del Pleistoceno-Holoceno se originaron como consecuencia del intenso volcanismo que edificó la Sierra del Chihinautzin. El objetivo del trabajo presentado por Vázquez-Sánchez y Jaimes-Palomera plantea esencialmente un modelo estratigráfico-estructural-petrogénico del Cretácico al Cuaternario. En la *tabla 4.2.1* están representadas las Formaciones propuestas por dichos autores.

Enciso De la Vega en 1992 realizó una propuesta de nomenclatura estratigráfica para la cuenca de México, retomando el trabajo de Vázquez-Sánchez y Jaimes-Palomera, 1989 identifica una amplia variedad de rocas del Mioceno al Cuaternario de origen volcánico, volcanoclástico y clástico. Indica que en lo general, la composición de estos materiales es principalmente basáltica, andesítico-basáltica, andesítica, dacítica y traquiandesítica. De la Vega en su trabajo establece las primeras bases para facilitar que las futuras categorías geológicas de esta área pueden ser referidas y ensambladas cronoestratigráfica y diacrónicamente. Basándose en el Código Estratigráfico Norteamericano De la Vega propone formalmente cambiar el rango del Grupo Pachuca al Supergrupo Pachuca. De igual manera propone nuevas unidades estratigráficas a los Grupos Anáhuac, Taranguense y Popocatépetl, así como al Alogrupo Tenochtitlan.

El contenido estratigráfico del trabajo de Vázquez-Sánchez y Jaimes-Palomera, 1989, al igual que la propuesta de nomenclatura estratigráfica para la cuenca de México efectuada por Enciso-De la Vega, 1992, se incluyó en la configuración de las columnas de los pozos propuestas en esta tesis para ver las variaciones entre los autores y analizar los criterios considerados para su definición (*Tabla 4.2.2*).

CORRELACIÓN ESTRATIGRÁFICA

Vázquez-Sánchez y Jaimes-Palomera, 1989.

ERA	PERIODO	EPOCA	EDAD	M.P.	CUENCA DE MEXICO Y AREAS ADYACENTES (1)	TLAXCALA - PUEBLA (7)	MORELOS - GUERRERO SEPTENTRIONAL (1, 2, 3)	HIDALGO - MERIDIONAL (4, 5 Y 6)	PUEBLA - MERIDIONAL (8)	DURANGO - MAZATLAN (9)	
MESOZOICO	CRETACICO	TARDIO	CAMPANIANO	74.8	GRUPO BALSAS	GRUPO BALSAS	GRUPO BALSAS	GRUPO EL MORRU	GRUPO EL MORRU	GRUPO EL MORRU	
				84.0	GRUPO BALSAS	GRUPO BALSAS	GRUPO BALSAS	GRUPO EL MORRU	GRUPO EL MORRU	GRUPO EL MORRU	
				88.0	GRUPO BALSAS	GRUPO BALSAS	GRUPO BALSAS	GRUPO EL MORRU	GRUPO EL MORRU	GRUPO EL MORRU	
	TARDIO	CAMPANIANO	88.0	GRUPO BALSAS	GRUPO BALSAS	GRUPO BALSAS	GRUPO BALSAS	GRUPO EL MORRU	GRUPO EL MORRU	GRUPO EL MORRU	
			91.0	GRUPO BALSAS	GRUPO BALSAS	GRUPO BALSAS	GRUPO EL MORRU	GRUPO EL MORRU	GRUPO EL MORRU		
			95.0	GRUPO BALSAS	GRUPO BALSAS	GRUPO BALSAS	GRUPO EL MORRU	GRUPO EL MORRU	GRUPO EL MORRU		
	TEMPRANO	MIOCENO	110.0	GRUPO BALSAS	GRUPO BALSAS	GRUPO BALSAS	GRUPO BALSAS	GRUPO EL MORRU	GRUPO EL MORRU	GRUPO EL MORRU	
			124.0	GRUPO BALSAS	GRUPO BALSAS	GRUPO BALSAS	GRUPO EL MORRU	GRUPO EL MORRU	GRUPO EL MORRU		
			131.0	GRUPO BALSAS	GRUPO BALSAS	GRUPO BALSAS	GRUPO EL MORRU	GRUPO EL MORRU	GRUPO EL MORRU		
	CENOZOICO	TERCIARIO	PLEISTOCENO	0.01	GRUPO BALSAS	GRUPO BALSAS	GRUPO BALSAS	GRUPO BALSAS	GRUPO EL MORRU	GRUPO EL MORRU	GRUPO EL MORRU
				1.6	GRUPO BALSAS	GRUPO BALSAS	GRUPO BALSAS	GRUPO EL MORRU	GRUPO EL MORRU	GRUPO EL MORRU	
				3.4	GRUPO BALSAS	GRUPO BALSAS	GRUPO BALSAS	GRUPO EL MORRU	GRUPO EL MORRU	GRUPO EL MORRU	
			MIOCENO	9.3	GRUPO BALSAS	GRUPO BALSAS	GRUPO BALSAS	GRUPO EL MORRU	GRUPO EL MORRU	GRUPO EL MORRU	GRUPO EL MORRU
				11.2	GRUPO BALSAS	GRUPO BALSAS	GRUPO BALSAS	GRUPO EL MORRU	GRUPO EL MORRU	GRUPO EL MORRU	GRUPO EL MORRU
				15.1	GRUPO BALSAS	GRUPO BALSAS	GRUPO BALSAS	GRUPO EL MORRU	GRUPO EL MORRU	GRUPO EL MORRU	GRUPO EL MORRU
OLIGOCENO			18.8	GRUPO BALSAS	GRUPO BALSAS	GRUPO BALSAS	GRUPO EL MORRU	GRUPO EL MORRU	GRUPO EL MORRU	GRUPO EL MORRU	GRUPO EL MORRU
			23.7	GRUPO BALSAS	GRUPO BALSAS	GRUPO BALSAS	GRUPO EL MORRU	GRUPO EL MORRU	GRUPO EL MORRU	GRUPO EL MORRU	GRUPO EL MORRU
			30.0	GRUPO BALSAS	GRUPO BALSAS	GRUPO BALSAS	GRUPO EL MORRU	GRUPO EL MORRU	GRUPO EL MORRU	GRUPO EL MORRU	GRUPO EL MORRU
EOCENO	36.6	GRUPO BALSAS	GRUPO BALSAS	GRUPO BALSAS	GRUPO EL MORRU	GRUPO EL MORRU	GRUPO EL MORRU	GRUPO EL MORRU	GRUPO EL MORRU		
	40.0	GRUPO BALSAS	GRUPO BALSAS	GRUPO BALSAS	GRUPO EL MORRU	GRUPO EL MORRU	GRUPO EL MORRU	GRUPO EL MORRU	GRUPO EL MORRU		
	45.6	GRUPO BALSAS	GRUPO BALSAS	GRUPO BALSAS	GRUPO EL MORRU	GRUPO EL MORRU	GRUPO EL MORRU	GRUPO EL MORRU	GRUPO EL MORRU		
PALEOCENO	51.6	GRUPO BALSAS	GRUPO BALSAS	GRUPO BALSAS	GRUPO EL MORRU	GRUPO EL MORRU	GRUPO EL MORRU	GRUPO EL MORRU	GRUPO EL MORRU		
	60.8	GRUPO BALSAS	GRUPO BALSAS	GRUPO BALSAS	GRUPO EL MORRU	GRUPO EL MORRU	GRUPO EL MORRU	GRUPO EL MORRU	GRUPO EL MORRU		
	65.8	GRUPO BALSAS	GRUPO BALSAS	GRUPO BALSAS	GRUPO EL MORRU	GRUPO EL MORRU	GRUPO EL MORRU	GRUPO EL MORRU	GRUPO EL MORRU		

Tabla 4-2.1. Área de estudio (1), Fries, (1960) (2), Fries (1966) (3), Segerstrom (1961) (4), Fries (1962) (5), Geyne et al. (1963) (6), Erffa Hilger (1975) (7), Calderón-García (1956) (8), McDowell et al. (1977) (9). El rayado vertical indica falta de depósito o erosión. Las edades se muestran en millones de años, conforme la escala geocronológica de la Geological Society of America (1983).

NOMENCLATURA ESTRATIGRÁFICA PARA LA CUENCA DE MÉXICO

Enciso-De la Vega, 1992.

ERA	SISTEMA	SERIE	PISO	Ma	VÁZQUEZ-SÁNCHEZ Y JAIMES-PALOMERA (1989) (1)	SCHLAEPFER, J. C. (1968) (2)	ADAPTADA SEGÚN DATOS DE MOOSER (1988) (3)	ADAPTADA SEGÚN DATOS DE CSERNA et al. 1987, (1988) (4)	ENCISO DE LA VEGA (1990) (5)	
CENOZOICO	CUATERNARIO	PLEISTOCENO	CALABRIANO	0-1	ALUVION	ALUVION	10	1	ALOGRUPO TENOCHTITLAN CHICHINAUTZIN CATEPETL	
					ALVUSCO	ALVUSCO	11	2	GRUPO TARANGUENSE	
	TERCIARIO	NEÓGENO	PLIOCENO	PIACENZIANO	2-5	ROCAS VOLCÁNICAS	ROCAS VOLCÁNICAS	12	3	DEPÓSITOS PIOCÉNICO-CUATERNARIOS
						RIOLITA NAVAJAS	RIOLITA NAVAJAS	13	4	
						ROCAS VOLCÁNICAS	ROCAS VOLCÁNICAS	14	5	
						NIGAS CRUCES ZEMPOALA	NIGAS CRUCES ZEMPOALA	15	6	ROCAS VOLCÁNICAS
						FORMACIÓN OTOM	FORMACIÓN OTOM	16	7	TERCIARIAS
						TOS NO DIFERENCIA	TOS NO DIFERENCIA	17	8	
	PALEÓGENO	PALEÓGENO	EÓCENO	GRUPO BALSAS	7-0	ROCAS VOLCÁNICAS	ROCAS VOLCÁNICAS	18	9	GRUPO ANAHUAC
						EXTRUSIVAS TEPOZTLAN	EXTRUSIVAS TEPOZTLAN	19		
ROCAS VOLCÁNICAS						ROCAS VOLCÁNICAS	20			
ROCAS VOLCÁNICAS						ROCAS VOLCÁNICAS	21			
MESOZOICO	CRETÁCICO	PALEOCENO	GRUPO BALSAS	26	ROCAS VOLCÁNICAS	ROCAS VOLCÁNICAS	22		GRUPO BALSAS	
					RIOLITA	RIOLITA	23			
					RIOLITA	RIOLITA	24			
					TILZAPOTLA	TILZAPOTLA	25			
					GRANITO COLOTEPEC	GRANITO COLOTEPEC	26			
					GRANITO COLOTEPEC	GRANITO COLOTEPEC	27			
MESOZOICO	CRETÁCICO	PALEOCENO	GRUPO BALSAS	38	ROCAS VOLCÁNICAS	ROCAS VOLCÁNICAS	28		FORMACIONES MORELOS-EL DOCTOR	
					GRUPO BALSAS	GRUPO BALSAS	29			
					GRANITO COLOTEPEC	GRANITO COLOTEPEC	30			
					FORMACIÓN MEXCALA	FORMACIÓN MEXCALA	31			
					FORMACIÓN CUAUTLA	FORMACIÓN CUAUTLA	32			
					FORMACIÓN EL DOCTOR	FORMACIÓN EL DOCTOR				
					FORMACIÓN XOCHICALCO	FORMACIÓN XOCHICALCO				
					FORMACIÓN MEXCALA	FORMACIÓN MEXCALA				
					FORMACIÓN CUAUTLA	FORMACIÓN CUAUTLA				
					FORMACIÓN EL DOCTOR	FORMACIÓN EL DOCTOR				

Tabla 4.2.2. Tabla estratigráfica que muestra las diferentes terminologías usadas para las rocas de la cuenca de México. (1) El granito Colotepec y la Formación Xochicalco (Fries, 1960) no afloran en el área considerada en el estudio presente. (2) Las líneas en zigzag indican interdigitación; incluye tres unidades de rocas volcánicas sin denominar. La Formación Tepoztlán no aflora en la cuenca de México. (3) 1. depósitos aluviales; 2. depósitos lacustres; 3. abanicos de las bases del Popocatepeti y el Ajusco; 4. derrames y tobas de la sierra de Rio Frio; 5. serie Tayoti y andesita dacita del Izaccihuatl; 6. nodacita del Popocatepeti; 7. Grupo Chichinautzin; 8. derrames de lava recientes; 9. lava y loba del norte de la cuenca; 10. (?) ii, lava y toba pliocénico-cuaternarias del norte; 12. lavas antiguas del Izaccihuatl antiguo; 13. Grupo Chichinautzin anterior a 700.000 años; 14. conos volcánicos mayores de: Plioceno superior-Cuaternario, tenor: 15, 19 y 20, grupo de las Sierras Mayores; 16 y 17, Formación Tarango, 18. Series Nochistongo y Requena; 22, Grupo Pachuca; 23, vulcanitas no diferenciadas; 24, Serie Santa Isabel; 25. Serie Humaredas; 26. Lahares Tepozteco; 28, Formación Xochitepec; 29. Serie Huehuetoca y Grupo Basas; 30. Formación Mexcala; 31. Formación Cuautla; 32, Formación Morelos. (M 1, depósitos lacustres; 2. aluvión; 3. derrames de lava, cenizas y rocas epilásticas; 4. rocas epilásticas, abanicos aluviales coalescentes, lahares, Formación Tarango; 5. andesita, dacita y nodacita en volcanes, domos y denames; 6. derrames de lava andesíticos y dacíticos; 7. molasa continental, capas rojas, conglomerado y evaporitas lacustres; 8. depósitos mesozoicos plegados de origen marino. (5) Se propone la denominación de grupos nuevos para rocas de la cuenca de México: Alogrupe Tenochtitlan, Grupo Popocatepeti, Grupo Taranguense y Supergrupo Pachuca.

4.3 Definición de unidades estratigráficas y límites

Vázquez-Sánchez y Jaimes-Palomera en 1989 definen 25 unidades litoestratigráficas que van desde el Cretácico hasta el Cuaternario, *Tabla 4.2.1*.

Enciso De la Vega en 1992, agrupo las unidades de Vázquez-Sánchez y Jaimes-Palomera, 1989, en 9 unidades estratigráficas de diferente jerarquía, *Tabla 4.2.2*.

En esta etapa de construcción de las columnas de los pozos profundos del valle de México se busca establecer los límites de las formaciones propuestas anteriormente por Vázquez-Sánchez y De la Vega.

Vázquez-Sánchez et al., 1989, identificaron los límites de las formaciones de manera puntual basado en la composición litológica. En las columnas de los pozos propuestas en este trabajo de tesis se incorpora un carril de color azul turquesa con las profundidades de los límites superior e inferior de cada unidad propuesta por estos autores, (*Figura 4.1*).

Dado que las unidades definidas por Enciso De la Vega parten del trabajo previo de Vázquez, los límites no cambian significativamente. Estas unidades se incorporan en un carril color azul en la columna de los pozos (*Figura 4.1*). Esta representación se uniformizó en todos los pozos.

Como ejemplo se muestra un intervalo del pozo Mixhuca-1, donde se hizo un ajuste en los límites estratigráficos establecidos previamente.

Vázquez-Sánchez et al., 1989, definen que la Formación de Rocas extrusivas del Mioceno Medio Tardío (*Tmv*) para el pozo Mixhuca-1 se encuentra a una profundidad de 880 m hasta 1190 m, en este caso el límite de 1190 m se respetó debido a que coincide con el límite inferior de un cuerpo de basaltos descrito en la columna. La Formación de Rocas volcánicas del Oligoceno Tardío-Mioceno Temprano (*Tomv*) esta confinada en su parte superior por la Formación (*Tmv* a 1190m) y en su parte inferior por la Formación Cuautla (*Kc*), la cual inicia a una profundidad de 1575 m. La Formación Mexcala (*Kmx*) según Vázquez, et al., se

encuentra a una profundidad de 1720 m a 1850 m, la cual fue redefinida de acuerdo a un cuerpo de calizas arcillosas que se identificó en la columna litológica debido a la respuesta del registro de densidad, en su parte inferior está delimitada por la Formación Morelos (*Km*).

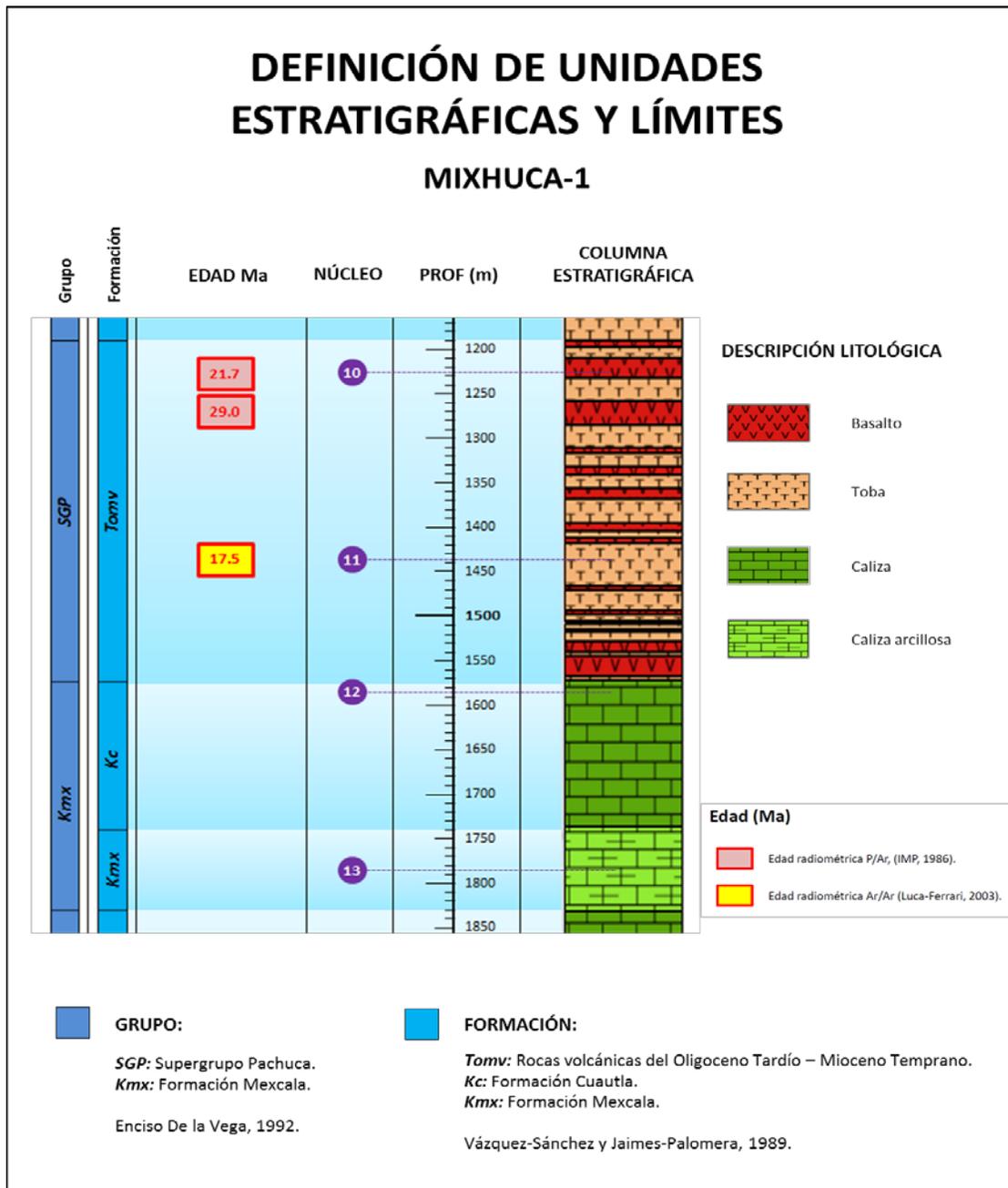


Figura 4.1. Esta imagen nos muestra los nuevos límites establecidos en este trabajo de tesis a partir de los estudios realizados por otros autores con respecto a las formaciones y grupos que definieron anteriormente. El color azul que se muestra degradado, indica la proyección de las formaciones a la columna litológica, imagen referente al pozo Mixhuca-1.

Cabe mencionar que cronológicamente y de acuerdo a las edades establecidas por Vázquez et al., la Formación Mexcala es más joven que la Formación Cuautla, sin embargo en el pozo Mixhuca-1 están invertidas, lo cual hace suponer que la columna se ve afectada por una falla inversa.

Las edades radiométricas se incorporaron para ratificar las formaciones descritas en trabajos anteriores.

Se puede concluir que las edades radiométricas realizadas con los distintos métodos sobre los mismos intervalos estratigráficos exhiben valores disímiles indicando incertidumbre en su datación; sin embargo, las dataciones que emplearon metodologías y tecnologías más modernas (Ferrari, 2003 y Arce et al, 2013) deberían ser más confiables.

Las implicaciones de admitir las dataciones de Ferrari, 2003 y Arce et. al. 2013 como las más aceptadas tienen impacto significativo en la historia de depósito de la cuenca del valle de México ya que indicarían que la edad de las rocas volcánicas más antiguas depositadas sobre las rocas Cretácicas es menor o igual a 19.6 Ma (cuando menos en los pozos Mixhuca-1 y Tulyehualco-1), en contraste con las dataciones del IMP, 1986, que indican que la edad de las rocas volcánicas más antiguas descansando sobre el Cretácico es de 29 Ma. Esto quiere decir que los primeros depósitos volcánicos de la cuenca del valle de México ocurrieron a partir del Mioceno Inferior y no del Oligoceno Superior como se ha establecido en trabajos previos; sugiriendo en general, un rejuvenecimiento y ordenamiento de la columna volcano-sedimentaria de la cuenca del valle de México.

CAPÍTULO 5

5. CORRELACIÓN

La correlación geológica es el proceso de búsqueda de similitudes estratigráficas y asociación de unidades con características distintivas semejantes u originadas en el mismo intervalo de tiempo.

La correlación nos ayuda a identificar la geometría de los cuerpos litológicos, los cambios laterales, rasgos estructurales, entre otros y nos ayuda a ampliar la validez de la información estratigráfica.

Existen diferentes tipos de correlación, los tres básicos son (Vera, 1994):

Litocorrelación: permite mostrar la correspondencia en cuanto al carácter litológico y la posición litoestratigráfica.

Biocorrelación: intenta establecer la correspondencia entre dos niveles fosilíferos, basándose en la presencia de ciertos fósiles y en su posición bioestratigráfica.

Cronocorrelación: tiene como finalidad el establecimiento de la correspondencia de superficies isócronas y el reconocimiento de su posición cronoestratigráfica.

Uno de los últimos objetivos y pasos en este proyecto de tesis fue proponer la correlación entre los cuatro pozos profundos del valle de México (*Figura 5.2*), para lo que se construyeron secciones mediante las que se identificaron cambios laterales de espesor y de facies. Finalmente, se estableció una correlación cronoestratigráfica de las unidades definidas en subsuelo utilizando las dataciones cronológicas de los estudios realizados previamente a lo largo de la cuenca.

POZOS Y FORMACIONES			
Copilco-1	Mixhuca-1	Roma-1	Tulyehualco-1
<i>Tpc</i>	<i>Qla</i>	<i>Qla</i>	<i>Qla</i>
<i>Tpv</i>	<i>Qal</i>	<i>Qal</i>	<i>Qal</i>
<i>Tmv</i>	<i>Tmv</i>	<i>Tpv</i>	<i>Tmv</i>
<i>Tomv</i>	<i>Tomv</i>	<i>Tmv</i>	<i>Kc</i>
-	<i>Kmx</i>	<i>Tomv</i>	<i>Km</i>
-	<i>Kc</i>	<i>Teob</i>	-
-	<i>Km</i>	-	-

Tabla 5.1.0. Esta tabla muestra las formaciones que describen Vázquez y James en los cuatro pozos profundos del valle de México. A continuación se expone el nombre de las formaciones; (Qla) Formación Depósitos lacustres, (Qal) Formación Depósitos aluviales, (Tpc) Formación Las Cruces, (Tpv) Formación Depósitos Volcánicos del Plioceno Temprano, (Tmv) Formación Rocas extrusivas del Mioceno Medio y Tardío, (Tomv) Formación Rocas Volcánicas del Oligoceno Tardío–Mioceno Temprano, (Km) Formación Morelos, (Kc) Formación Cuautla, (Kmx) Formación Mexcala y (Teob) Formación Grupo Balsas.

De las diez formaciones descritas por Vázquez et. al., 1989, la Formación de rocas extrusivas del Mioceno Medio y Tardío (*Tmv*) es la única que aparece en todos los pozos de la cuenca. El Grupo Balsas (*Teob*) es la formación más profunda identificada en toda la cuenca y se encontró en el pozos Roma-1 a una profundidad aproximada de 2750 m. En los primeros 20 m del pozo Copilco-1 no hay asignada ningún tipo de nomenclatura estratigráfica por parte de los autores Vázquez y Palomera, sin embargo corresponde con los derrames de lava más recientes del volcán Xitle.

A manera de ilustrar más ampliamente las características de la correlación realizada en este paso del proyecto, la *figura 5.2* muestra la correspondencia litológica existente entre las columnas e indica de manera puntual la edad radiométrica en millones de años en las profundidades específicas en las que se realizaron dichas dataciones.

FIGURA 5.2. CORRELACIÓN LITOLÓGICA ENTRE LOS POZOS PROFUNDOS DEL VALLE DE MÉXICO

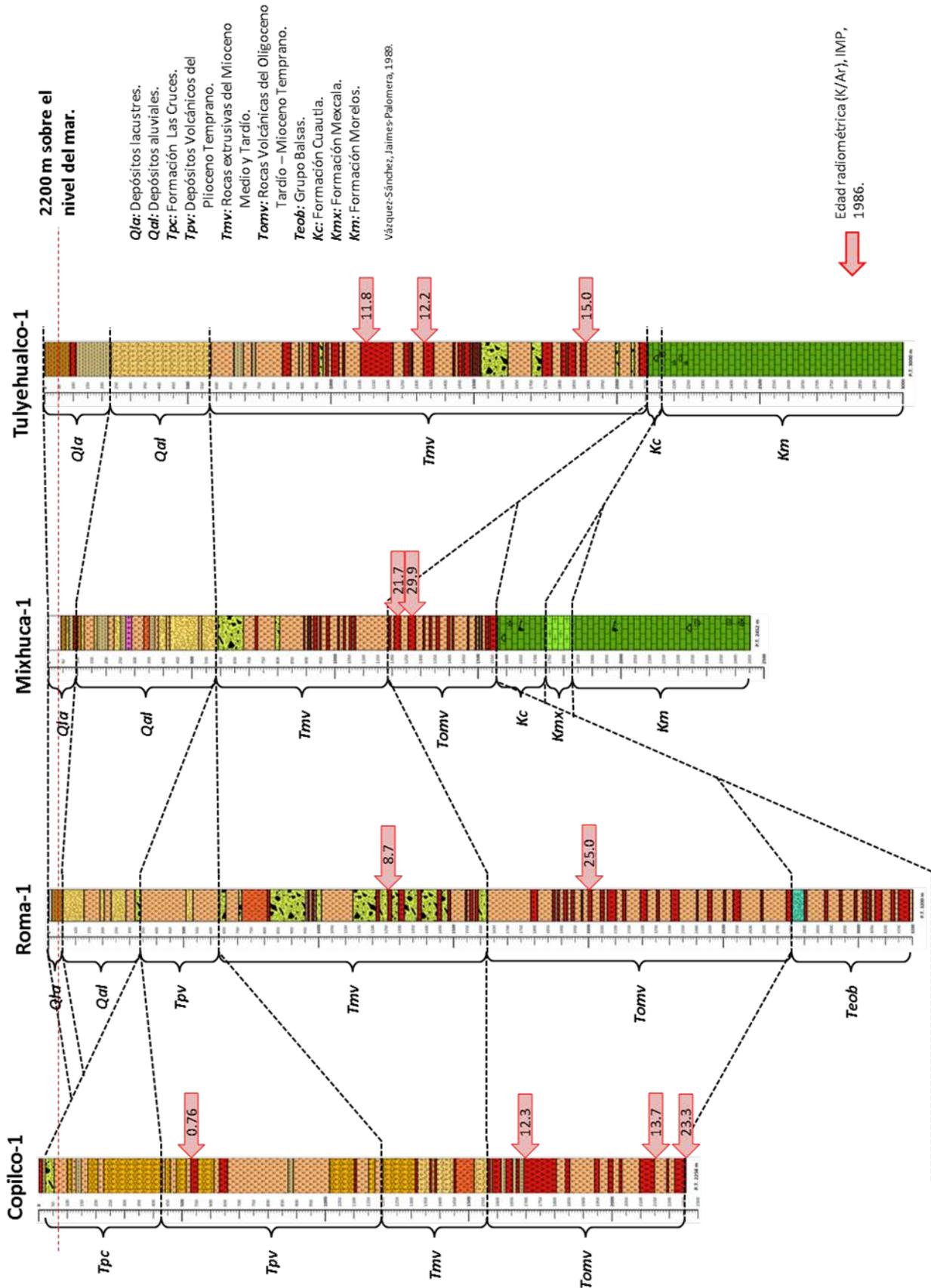
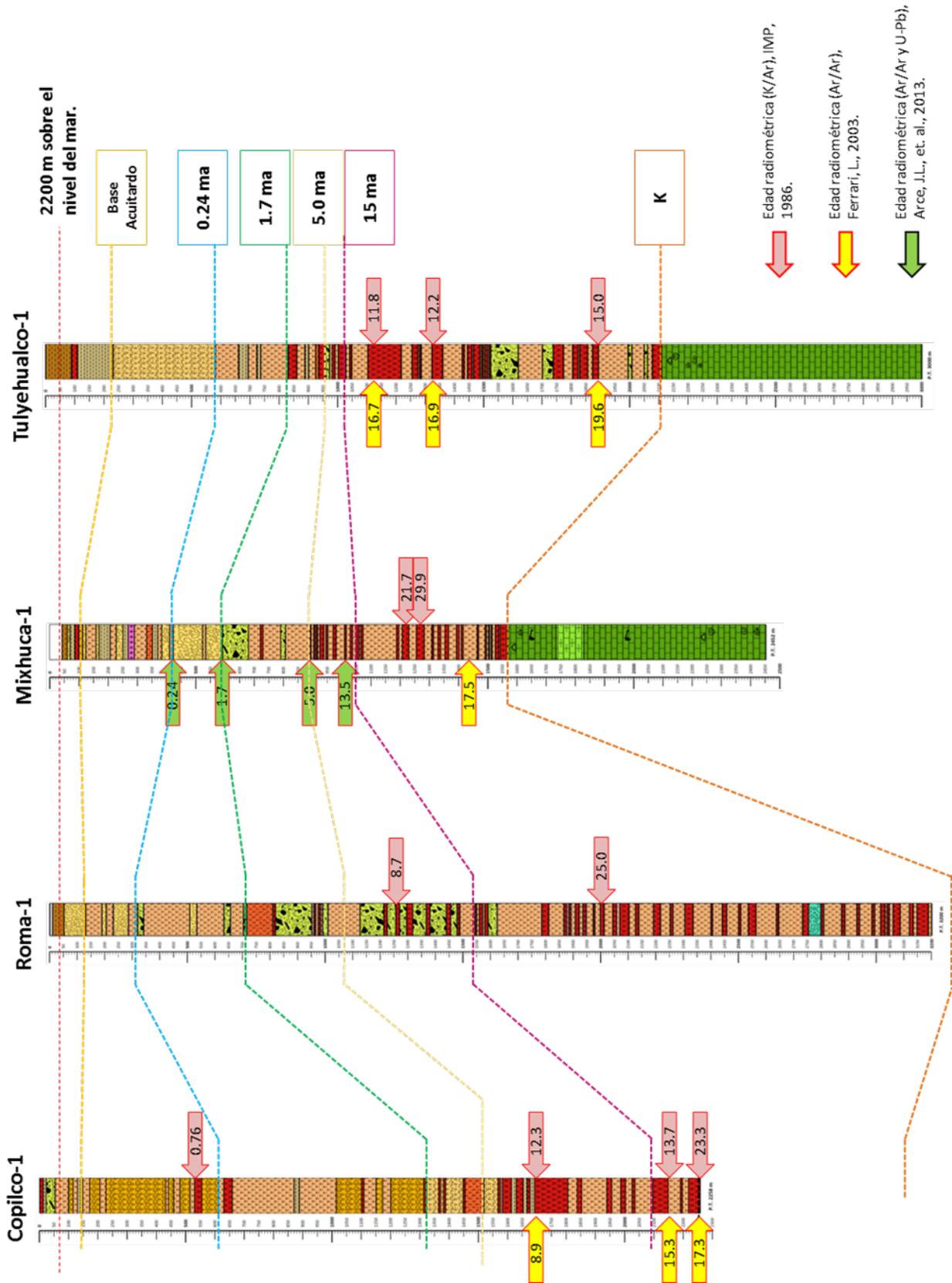


FIGURA 5.4. CORRELACIÓN CRONOESTRATIGRÁFICA ENTRE LOS POZOS PROFUNDOS DEL VALLE DE MÉXICO



En la información sísmica se identificaron las fallas mayores que afectan la cuenca, y por consecuencia se determinó la razón por la que sólo los pozos Mixhuca-1 y Tulyehualco-1 son los únicos que cortaron las calizas del Cretácico; lo que se puede apreciar en las Figuras 5.6, 5.7 y 5.8.

Para tener más y mejor información sobre la cuenca se decidió hacer las secciones sísmicas cruzaran por la mayor cantidad de pozos posibles con una tendencia lo más lineal posible. Las secciones sísmicas deberían mostrar un perfil geológico estructural más claro.

La imagen siguiente muestra las secciones a lo largo de toda la maya sísmica y que unen los pozos para su correlación.

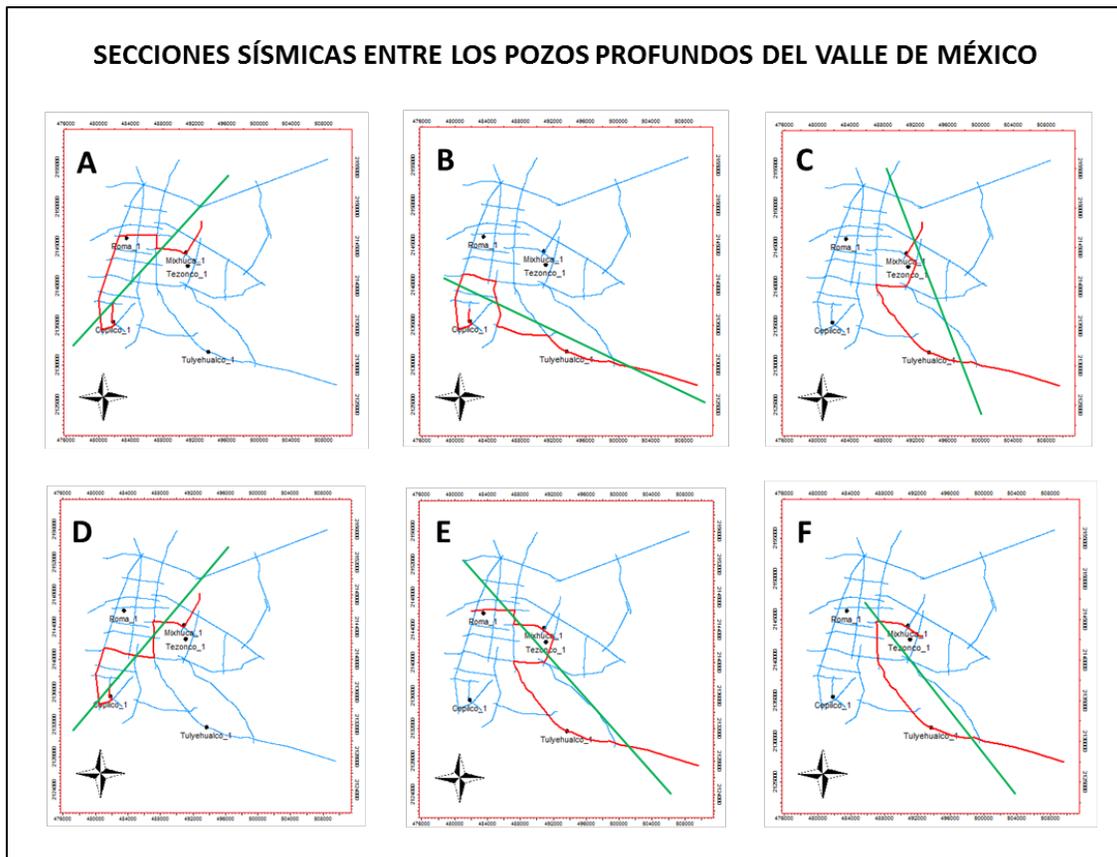


Figura 5.5. Muestra los recuadros de las secciones sísmicas para su correlación entre los pozos, también indica la ubicación de los pozos, las líneas azules representan la maya sísmica, la líneas rojas muestran las secciones propuestas entre cada pozo y la línea verde indica el rumbo preferencial de las secciones sísmicas.

Para la correlación cronoestratigráfica se definieron los límites cronológicos a partir de las dataciones radiométricas, estos límites se dividieron en siete unidades (*ver figuras 5.6, 5.7 y 5.8*);

UA: *Unidad-Acuitardo.*

UV-1: *Unidad Volcánica-1.*

UV-2: *Unidad Volcánica-2.*

UV-3: *Unidad Volcánica-3.*

UV-4: *Unidad Volcánica-4.*

UV-5: *Unidad Volcánica-5.*

UC: *Unidad de Calizas.*

La *UA* es la unidad que se ubica en la cima, se delimita en la parte inferior con la base del Acuitardo.

La *UV-1* se encuentra delimitada en su parte superior por la base del Acuitardo o *UA* y en su parte inferior se delimita por la edad radiométrica de 0.24 millones de años.

La *UV-2* se encuentra delimitada en su parte superior por el fechamiento radiométrico de 0.24 millones de años y en su parte inferior por la edad de 1.7 millones de años.

La *UV-3* se encuentra delimitada en su parte superior por el fechamiento radiométrico de 1.7 millones de años y en su parte inferior por la datación de 5.0 millones de años.

La *UV-4* se encuentra delimitada en su parte superior por la edad radiométrica de 5.0 millones de años y en su parte inferior por la datación de 15 millones de años.

La *UV-5* se encuentra delimitada en su parte superior por el fechamiento radiométrico de 15 millones de años y en su parte inferior por el límite superior de las calizas del Cretácico.

Y la *UC* se delimita en su parte superior por la *UV-5* y no se logró establecer su límite inferior debido a que no se realizó en este proyecto un estudio más profundo de la cuenca.

Se construyeron tres secciones sísmicas principales que son las más representativas de las características estratigráficas y estructurales del subsuelo: A-A', B-B' y C-C'.

La sección A-A' pasa por los pozos Copilco-1, Roma-1 y Mxhuca-1, con rumbo preferencial SW-NE. La sección B-B' pasa por los pozos Copilco-1 y Tulyehualco-1 con rumbo NW-SE, ubicada al sur de la cuenca del valle de México. La sección C-C' cruza por los pozos Mixhuca-1 y Tulyehualco-1 y tiene un rumbo NS-SE.

La sección A-A' muestra el bloque bajo en la parte poniente del valle de México, razón por la cual no se llegó a las calizas con la perforación de los pozos Copilco-1 y Roma-1; por el contrario, el pozo Mixhuca-1 se encuentra en el bloque alto de la falla normal y encuentra las calizas del Cretácico a una profundidad de 1570 m. Entre el pozo Copilco-1 y el Roma-1 se puede observar el alto de Mixcoac y a lo largo de toda la sección sísmica se pueden visualizar las fallas de tipo normal que afectan a la cuenca del valle de México. La *UA* tiene un espesor irregular y se hace uniforme en las líneas sísmicas que van del W-E. La *UV-1* muestra un espesor mucho mayor en la parte sur de la sección, el cual se adelgaza en las líneas sísmicas con orientación W-E y vuelve a tener más espesor al llegar al pozo Mixhuca-1. La *UV-2* se va acuñando hacia el norte. El espesor de la *UV-3* es mayor en la zona centro, específicamente alrededor del pozo Roma-1. La *UV-4* cuenta con un espesor irregular y se ve afectado por las fallas normales. La *UV-5* en esta sección es la que muestra un mayor espesor, el cual se ve afectado por la falla normal que se encuentra justo antes de llegar al pozo Mixhuca-1 (*Figura 5.6 - Anexo 1*).

La sección B-B' da una visión prácticamente W-E del sur de la cuenca, en esta sección sísmica podemos observar de nueva cuenta que el pozo Copilco-1 se encuentra en el bloque bajo y que no toca las calizas, por otro lado, el pozo Tulyehualco-1 ubicado al sureste y en el bloque alto de la cuenca encuentra las calizas a una profundidad de 2110 m. La UA en la zona SW de la cuenca tiene un espesor irregular y se va uniformizando hacia el E-SE. Las unidades UV-2, UV-3 y UV-4 según se muestra en la sección se van acuñando en dirección SE y son afectadas por la falla normal que delimita el bloque bajo y el bloque alto y pierden espesor al aproximarse al pozo Tulyehualco-1 (*Figura 5.7 – Anexo 2*).

La sección C-C' muestra una sección de la parte oriental de la cuenca con una tendencia prácticamente N-S. En la imagen se observa que los pozos Mixhuca-1 y Tulyehualco-1 cortaron las calizas debido a que se encuentran situados sobre el bloque alto de la falla normal que atraviesa esa zona. Cabe aclarar que en la parte media de la sección “aparentemente” se muestra un falso graben, que es una configuración producto del recorrido que hace la sección de las líneas sísmicas, el cual rodea y pasa dos veces la misma falla para terminar en el bloque bajo, es decir, es la parte más al poniente de la sección que está afectada por la falla normal. La UA tiene un espesor irregular, el cual es mucho mayor en la parte central de la sección. En la sección se puede apreciar la afectación de los espesores en las unidades UV-1, UV-2, UV-3, UV-4 y UV-5 debido a la gran falla normal que divide el subsuelo de la cuenca del valle de México la UV-5 cuenta con el espesor más grande en esta sección. (*Figura 5.8 – Anexo 3*).

CAPÍTULO 6

6. CONCLUSIONES

- La construcción de las columnas de los cuatro pozos profundos, Copilco-1, Roma-1, Mixhuca-1 y Tulyehualco-1, del valle de México permitió elaborar un modelo geológico del subsuelo en términos estratigráficos que complementa a los propuestos previamente.
- Las columnas litológicas se elaboraron incorporando la mayor cantidad de información posible, con la finalidad de tener datos más completos y confiables del subsuelo.
- La inserción de la descripción de núcleos y la incorporación de la respuesta de los registros geofísicos sísmico y densidad dio como resultado la definición de unidades con mayor detalle, de hasta un metros de espesor, teniendo con ello una mayor resolución.
- Los fechamientos radiométricos permitieron fijar posibles edades absolutas para establecer límites cronoestratigráficos, que fueron auxiliares en la correlación de unidades entre los pozos, sin embargo, se deben considerar las inconsistencias en las dataciones de acuerdo a la fuente y al método que se utilizó.
- Las dataciones más recientes hechas por Ferrari, 2003 y Arce, et al, 2013 tienen una mayor relevancia para fijar la cronología de las columnas litológicas construidas en este proyecto de tesis.
- Los primeros depósitos volcánicos de la cuenca del valle de México ocurrieron a partir del Mioceno Inferior (19.6 Ma) y no del Oligoceno Superior (29 Ma) como se ha establecido en trabajos previos; sugiriendo en

general, un rejuvenecimiento y ordenamiento de la columna volcano-sedimentaria de la cuenca del valle de México.

- Mediante la malla sísmica fue posible interpretar y correlacionar seis superficies: Cima del Cretácico (K), 15 Ma, 5 Ma, 1.7 Ma, 0.24 Ma y base del Acuitardo que son los límites de unidades estratigráficas informales aquí descritas como UC, UV1, UV2, UV3, UV4, UV5 y UA.
- La unidad del Cretácico (Unidad UC) únicamente está en el pozo Mixhuca-1 y Tulyehualco-1, identificando una repetición de las unidades de la Formación Cuautla y la Formación Mexcala en el pozo Mixhuca-1.
- El espesor de las rocas extrusivas y rocas volcánicas del Mioceno Inferior al Mioceno Medio (Unidad UV5) es mayor hacia el centro poniente del área estudiada, donde se ubican los pozos Roma y Copilco.
- Los depósitos volcánicos del Mioceno Superior al Plioceno Temprano (Unidades UV4, UV3, UV2 y UV1) se adelgazan hacia el oriente en la dirección de los pozos Mixhuca-1 y Tulyehualco-1.
- La correlación cronoestratigráfica es más confiable debido a la variabilidad lateral en el depósito de los sedimentos volcánicos en el área.
- De los aspectos más relevantes de la interpretación sísmica se observa en la sección A-A' un alto que sobresale entre el pozo Copilco-1 y Roma-1, y está presente desde el Cretácico hasta el límite de 1.7 Ma (Alto Mixcoac).
- Con la correlación en la sísmica se pudo constatar que el subsuelo se ve afectado por una gran falla que corre de norte a sur a todo lo largo de la cuenca la cual perturba la parte superior del Cretácico hasta el límite cronoestratigráfico correspondiente con 5 Ma. Se considera que esta falla corresponde con la falla Mixhuca.

- A lo largo de las secciones sísmicas interpretadas se observan numerosas fallas normales de alto ángulo que afectan de manera variable a las secuencias terciarias

6.1. Recomendaciones

- Se recomienda obtener sísmica de reflexión con mayor cobertura superficial para tener una mayor cantidad de información que reduzca para reducir la incertidumbre y enriquecer el proyecto.
- La perforación de un mayor número de pozos profundos con una mayor recuperación de núcleos ayudaría a obtener una mayor cantidad de información litológica de la cuenca.
- La datación de un número de muestras mayor con algún determinado método radiométrico aportaría una mayor certidumbre a la cronoestratigrafía de la cuenca del valle de México.
- Más resolución a las columnas debe respaldarse en las respuestas de otros registros geofísicos y en la incorporación de propiedades petrofísicas.
- La integración de pozos profundos que vayan siendo perforados por las varias instancias del gobierno a los modelos de subsuelo es indispensable para estudios geotécnicos y geohidrológicos más robustos del valle de México.

BIBLIOGRAFÍA

- Aguayo, J., Marín, S., Sánchez, F., 1989, *Evolución geológica de la Cuenca de México*. Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos, Memorias del Simposio sobre tópicos Geológicos de la Cuenca del Valle de México, p. 25-41.
- Aguirre-Díaz, G., Stock, J. (eds.), *Cenozoic tectonics and volcanism of Mexico*. Boulder, CO, Geological Society of America, Special Paper, p. 334, 65-8.
- Alaniz-Álvarez, S., Nieto-Samaniego, A.F., Ferrari, L., 1998. *Effects of strain rate in the distribution of monogenetic and polygenetic volcanism in the Trans-Mexican Volcanic Belt*. *Geology*, p. 26, 591-594.
- Arce, J.L., Layer, P.W., Casique E., Benowitz, J.A, Rangel, E., O. Escolero, O. 2013, *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 22 May 2013-7 September 2013.
- Bryan, K., 1948. *Los Suelos Complejos y Fósiles de la Altiplanicie de México en relación con los cambios climáticos*. Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, XIII, p.1-20.
- Damon, E. P., M. Shafiqullah y F. K. Clark, 1981. *Evolución de los Arcos Magmáticos en México y su Relación con la Metalogénesis*. Revista del Instituto de Geología, UNAM, p. 5, 2, 223.
- De Cserna, Z. D., De la Fuente-Duch, M., Palacios-Nieto, M., Triay, L., Mitre-Salazar, L. M., & Mota-Palomino, R., 1988, *Estructura geológica, gravimetría, sismicidad y relaciones neotectónicas regionales de la cuenca de México*. Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Boletín, p. 104, 71.
- Herrera, D., 2011, *Estratigrafía y análisis de los sedimentos lacustres del cuaternario tardío de la cuenca de Chalco, México*. Tesis de Maestría. Instituto de Geología, UNAM, p. 37-61.
- Enciso De la Vega, 1992. *Propuesta de nomenclatura estratigráfica para la cuenca de México*.
- Ferrari, L., 2004. *Slab detachment control on mafic volcanic pulse and mantle heterogeneity in central Mexico*. *Geology*, p. 32(1), 77-80.
- Ferrari, L., Garduño, V., Pasquaré, G., Tibaldi, A., 1991. *Geology of Los Azufres caldera, Mexico, and its relations with regional tectonics*. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, p. 47, 129-148.
- Ferrari, L., López-Martínez, M., Aguirre-Díaz, G., Carrasco-Núñez, G., 1999. *Space-time patterns of Cenozoic arc volcanism in central Mexico: from the Sierra Madre Occidental to the Mexican volcanic belt*. *Geology*, p. 27, 303-306
- Ferrari, L., Pasquaré, G., Venegas, S., Romero, F., 1999. *Geology of the western Mexican Volcanic Belt and adjacent Sierra Madre Occidental and Jalisco block*. Geological Society of America, Special Paper 334.
- Ferrari, L., López-Martínez, M., González-Cervantes, N., Jacobo-Albarrán, J., Hernández-Bernal, M. S., 2003. *Volcanic record and age of formation of the Mexico city basin*. Reunión Anual 2003, Resúmenes: GEOS, p. 23(2), 120.

- Fries, C., Jr., 1960. *Geología del estado de Morelos y de partes adyacentes de México y Guerrero, región central meridional de México*. Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Boletín, p. 60, 236.
- Fries, C., Jr., 1962. *Resumen de la Geología de la Hoja Pachuca, Estados de Hidalgo y México*. Hoja Pachuca 14 Q-c (11) Esc. 1:100 000. Instituto de Geología, UNAM, México, D.F.
- García-Palomo, A., Zamorano, J.J., López-Miguel, C., Galván-García, A., Carlos-Valerio, V., Ortega, R., Macías J.L. 2008. *El arreglo morfoestructural de la Sierra de Las Cruces, México central Morphostructural arrangement of the Sierra de las Cruces, central México*. Revista Mexicana de Ciencias Geológicas. V.25 N.1.
- Mooser, F., 1963. *Historia tectónica de la Cuenca de México*. Boletín de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros, p. 15, 239-45.
- Mooser, F., 1972. *The mexican volcanic belt structure and tectonics*. Geofísica Internacional, p. 12, 55-70.
- Mooser, F., 1975. *Historia Geológica de la Cuenca de México, en Memoria de las Obras de Drenaje Profundo del Distrito Federal*. Departamento del Distrito Federal, p. 38.
- Mooser F., 1978. *Geología del Relleno Cuaternario de La Cuenca de México*. Simposio. El subsuelo y la Ingeniería de Cimentaciones en el área Urbana del Valle de México. Valdes-Llamas, P. (Editora). Sociedad mexicana de mecánica de suelos, p. 9-13.
- Mooser, F., Nairn, A. E. M., Negendank, J. F.W., 1974. *Palaeomagnetic investigations of the Tertiary and Quaternary igneous rocks; VIII. A palaeomagnetic and petrologic study of volcanics of the Valley of Mexico*. Geologische Rundschau, p. 63, 451-483.
- PEMEX, 1988. *Cortes Litológicas y registros geofísicos de los pozos profundos exploratorios Roma-1, Mixhuca-1, Tulyehualco-1 y Coipilco-1*. Fundación J. Barros Sierra, A.C., México, D.F.
- Pérez-Cruz, G., 1988. *Estudio Sismológico de Reflexión del Subsuelo de la Ciudad de México*. Tesis de Maestría. Inédita. División de Estudios de Posgrado de la Facultad de Ingeniería, UNAM, México, D.F.
- Urrutia-Fucugauchi, J., Böhnell, H., 1987. *Tectonic interpretation of the Trans-Mexican Volcanic Belt*. Tectonophysics, p. 138, 319-323.
- Vázquez-Sánchez, E., y Jaimes-Palomera, R., 1989, *Geología de la Cuenca de México*. Geofísica Internacional, v. 28, p. 133-190.
- Vera Torres, J.A. 1994. *Estratigrafía: Principios y Métodos*. Editorial Rueda. p. 806.

PÁGINAS WEB CONSULTADAS

- Instituto de Geología, UNAM
<http://www.geologia.unam.mx/>
- Instituto de Geofísica, UNAM
http://www.geofisica.unam.mx/unid_apoyo/editorial/publicaciones/investigacion/geofisica_internacional/anteriores/1989/01/2Vazquez12.pdf
- Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura Unidad Ticomán
<http://www.esiatic.ipn.mx/Paginas/inicio.aspx>
<http://esia-geologia.blogspot.mx/2006/10/geologia-de-la-cuenca-de-mexico.html>
- Unión Geofísica Mexicana
http://www.ugm.org.mx/publicaciones/geos/pdf/geos042/sesiones_especiales/SE09.pdf
Consultada en febrero de 2012.
- Sociedad Geológica Mexicana
http://sociedadgeologica.org.mx/pdfs/04_EstudioCuencasValleMexico.pdf
- Centro de Geociencias, UNAM
www.geociencias.unam.mx
- Servicio Geológico Mexicano
www.sgm.gob.mx

ANEXOS

ANEXO 1

CORRELACIÓN CRONOESTRATIGRÁFICA EN LINEAS SÍSMICAS DE LOS POZOS COPILCO-1, ROMA-1 Y MIXHUCA-1.

LINEAS SÍSMICAS DE LA SECCIÓN A –A'

Línea sísmica 08_86F26 Línea sísmica 16
 Línea sísmica 08_DIG Línea sísmica 05
 Línea sísmica 09_86F32 Línea sísmica 12
 Línea sísmica 11 Línea sísmica 21

ma: millones de años.
 — : Fallas normales.

UA: unidad-Acuitardo.
 UV-1: unidad Volcánica-1.
 UV-2: unidad Volcánica-2.
 UV-3: unidad Volcánica-3.
 UV-4: unidad Volcánica-4.
 UV-5: unidad Volcánica-5.
 UC: unidad de Calizas.

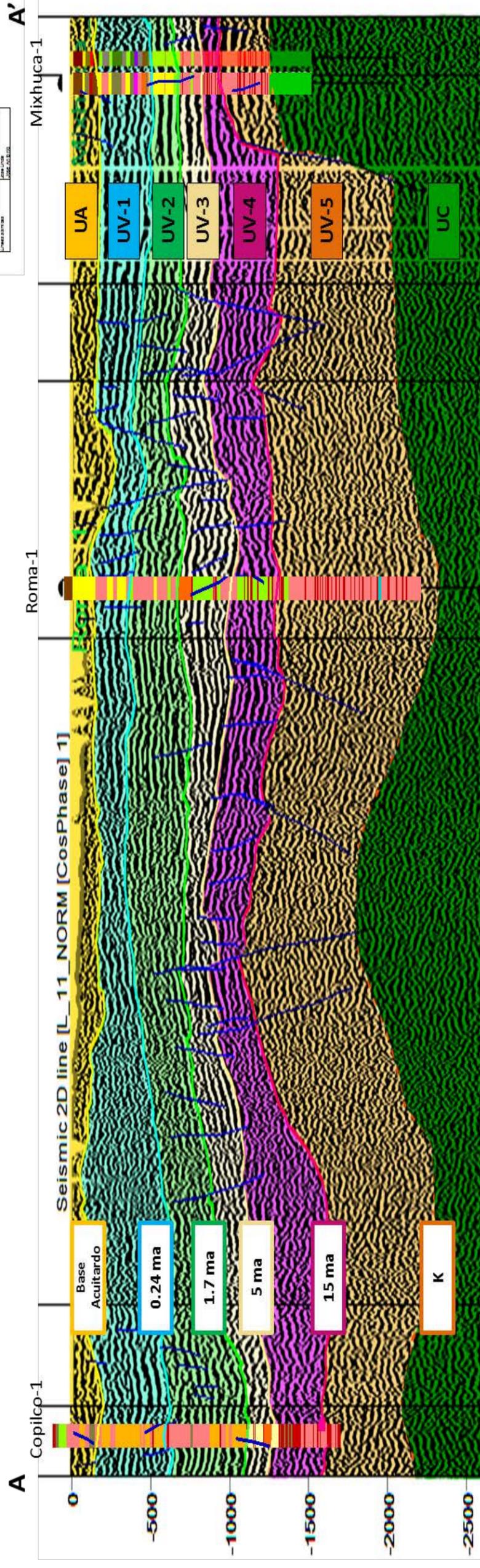
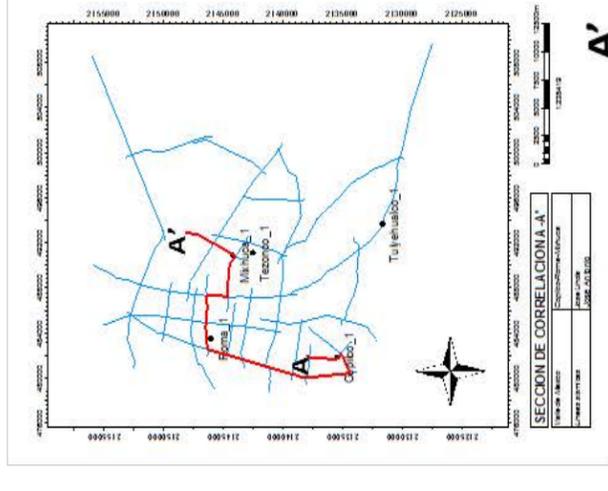


Figura 5.6. La imagen muestra la correlación cronoestratigráfica de los pozos profundos en una sección de líneas sísmicas realizada con el software Petrel 2010. El recuadro ubicado en la parte superior derecha muestra la trayectoria de la sección A – A' a lo largo de la maya sísmica y la localización de los pozos del valle de México.

ANEXO 2

CORRELACIÓN CRONOESTRATIGRÁFICA EN LINEAS SÍSMICAS DE LOS POZOS COPILCO-1 Y TUYEHUALCO-1.

LÍNEAS SÍSMICAS QUE COMPONEN LA SECCIÓN B-B'

Línea sísmica 08_DIG Línea sísmica 07
 Línea sísmica 09_86F32 Línea sísmica 04
 Línea sísmica 11 Línea sísmica 02
 Línea sísmica 06

UA: unidad-Acuitardo.
 UV-1: unidad Volcánica-1.
 UV-2: unidad Volcánica-2.
 UV-3: unidad Volcánica-3.
 UV-4: unidad Volcánica-4.
 UV-5: unidad Volcánica-5.
 UC: unidad de Calizas.

ma: millones de años.
 — : Fallas normales.

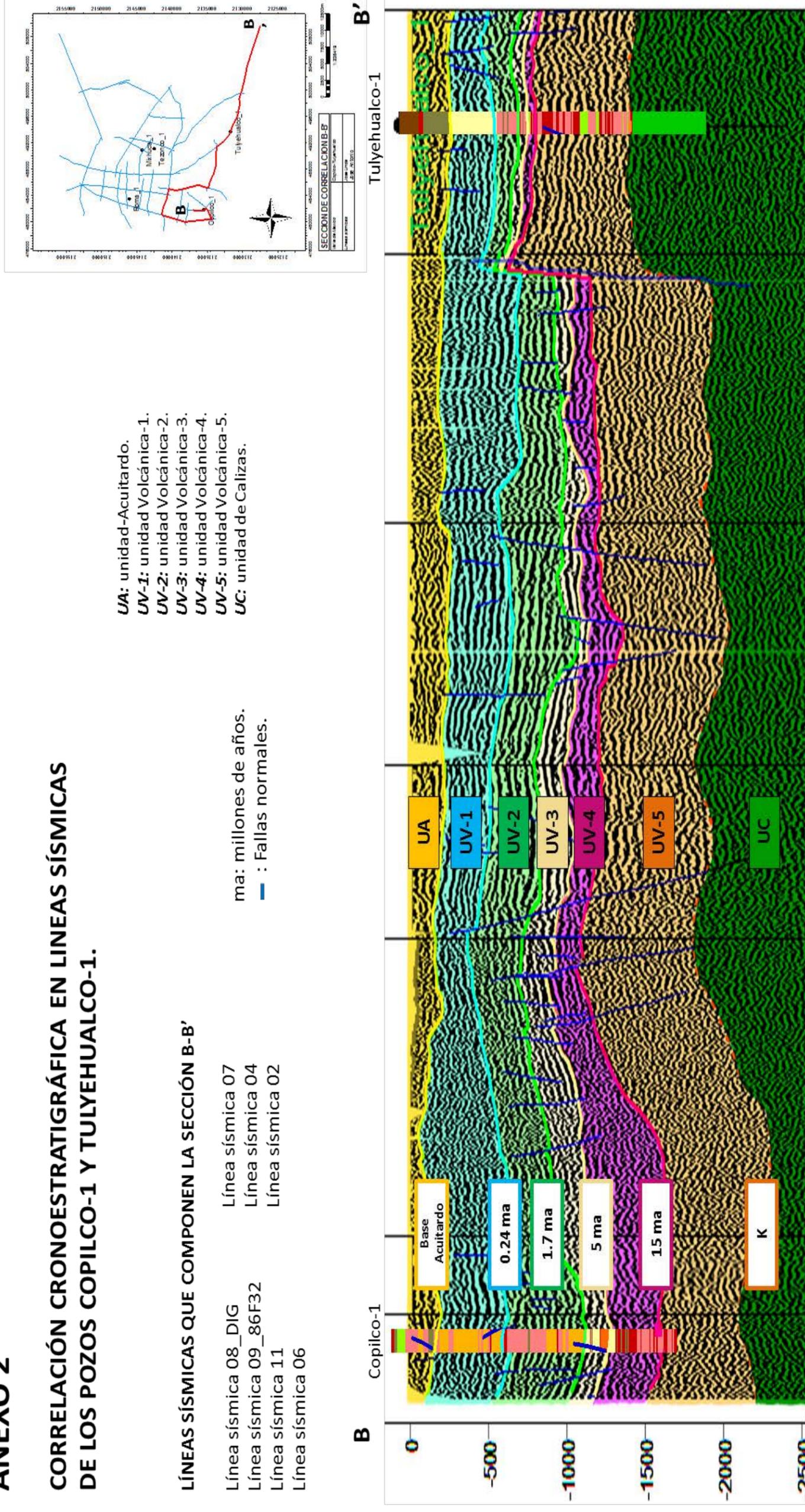


Figura 5.7. La imagen muestra la correlación cronoestratigráfica de los pozos profundos en una sección de líneas sísmicas realizada con el software Petrel 2010. El recuadro ubicado en la parte superior derecha muestra la trayectoria de la sección B – B' a lo largo de la maya sísmica y la localización de los pozos del valle de México.

ANEXO 3

CORRELACIÓN CRONOESTRATIGRÁFICA EN LINEAS SÍSMICAS DE LOS POZOS MIXHUCA-1 Y TULYEHUALCO-1.

LÍNEAS SÍSMICAS QUE COMPONEN LA SECCIÓN C-C'

Línea sísmica 21
Línea sísmica 12
Línea sísmica 03

Línea sísmica 06
Línea sísmica 05
Línea sísmica 02

UA: unidad-Acuitedo.
UV-1: unidad Volcánica-1.
UV-2: unidad Volcánica-2.
UV-3: unidad Volcánica-3.
UV-4: unidad Volcánica-4.
UV-5: unidad Volcánica-5.
UC: unidad de Calizas.

ma: millones de años.
— : Fallas normales.

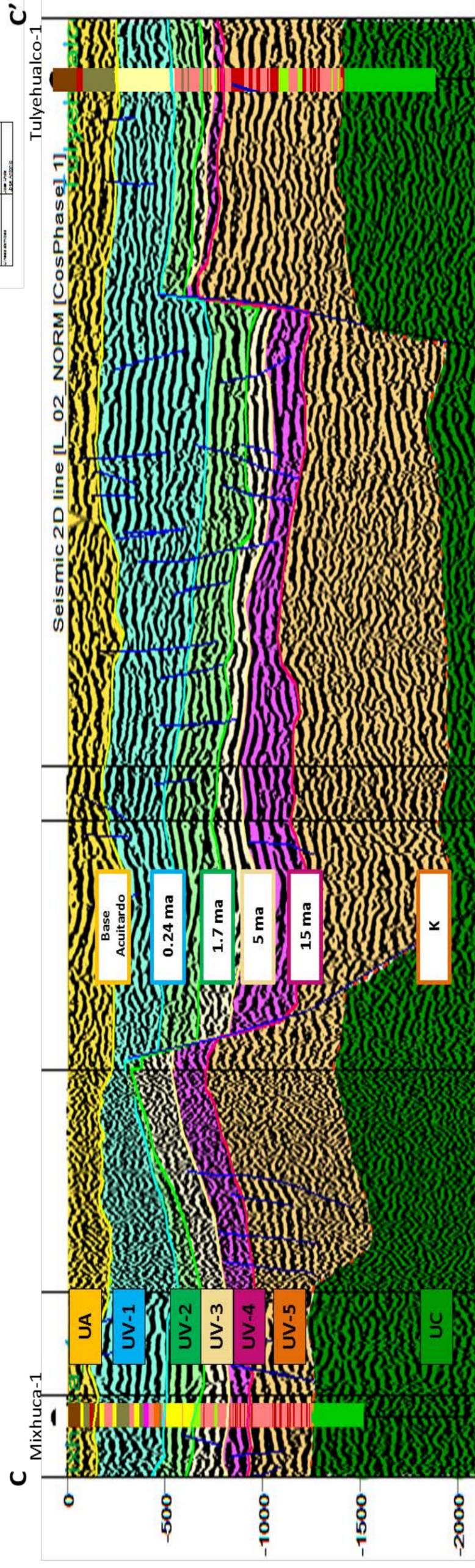
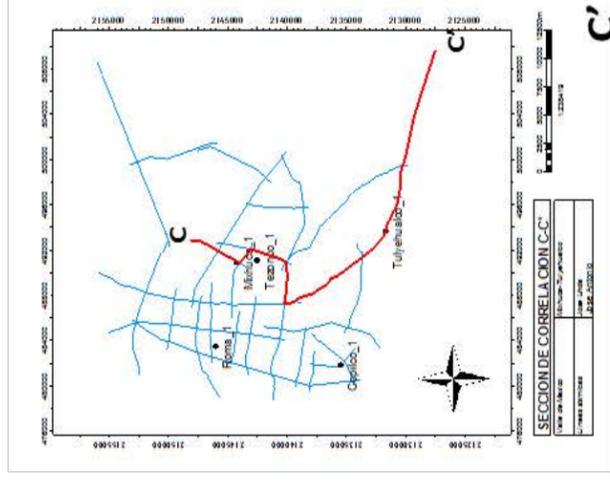
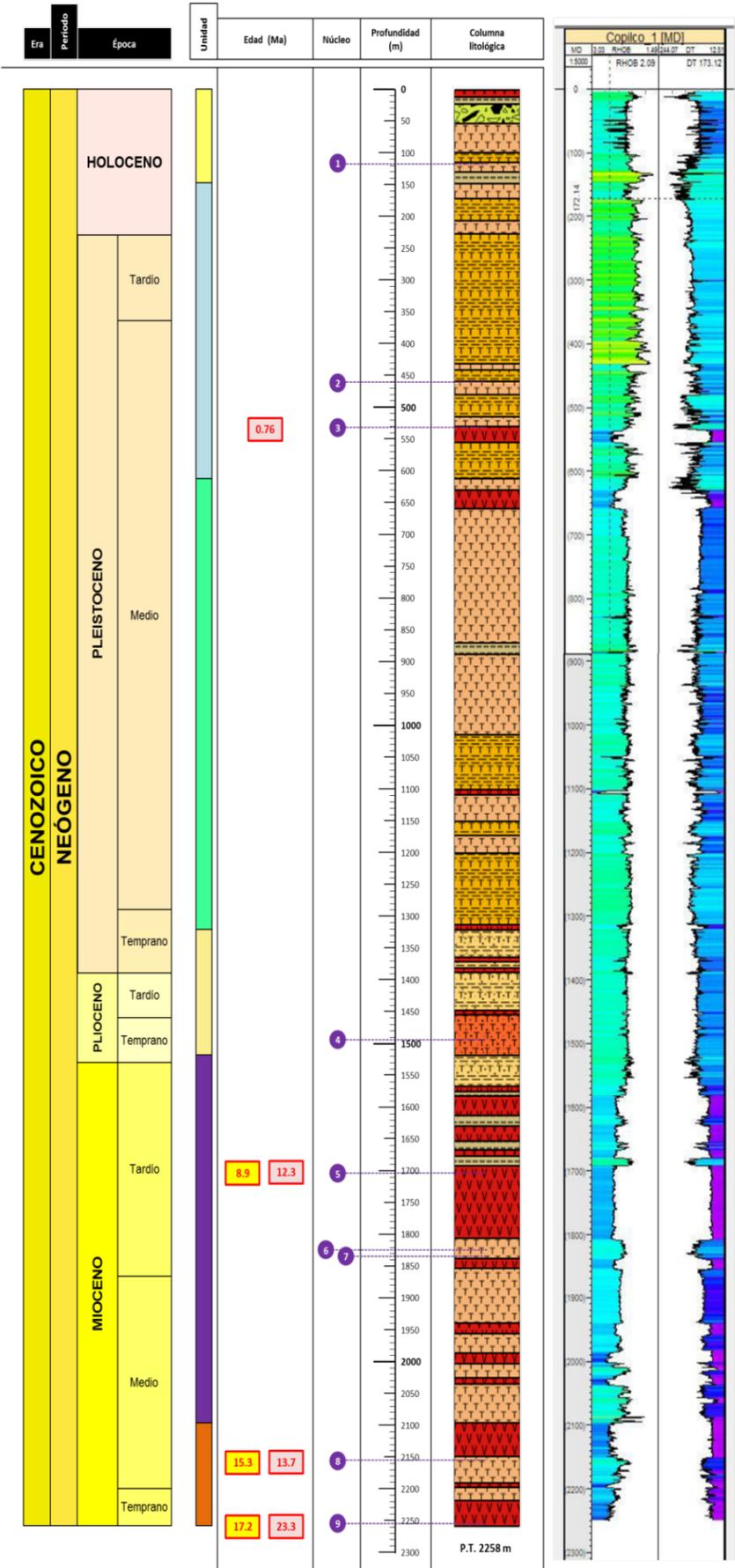


Figura 5.8. La imagen muestra la correlación cronoestratigráfica de los pozos profundos en una sección de líneas sísmicas realizada con el software Petrel 2010. El recuadro ubicado en la parte superior derecha muestra la trayectoria de la sección C – C' a lo largo de la maya sísmica y la localización de los pozos del valle de México.

ANEXO 4

POZO COPILCO-1



DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA

-  Basalto gris oscuro, gris claro, café rojizo por alteración, contiene arcilla café claro, café rojizo, suave.
-  Brecha volcánica con fragmentos angulosos y subredondeados de 5 a 4 mm, de toba gris claro, ocre y café rojizo compacta, contiene trazas de basalto gris oscuro compacto.
-  Toba café rojizo y verde olivo semi-compacta con basalto gris oscuro y café rojizo por alteración, arcillas café claro, suave, trazas de pómez café claro suave, y de arenisca tobácea gris claro semi-compacta. Se observa brecha volcánica constituida por fragmentos tobáceos angulosos de 3 a 15 y 20 mm.
-  Arcilla café claro, crema, suave y plástica, con toba café rojizo semi-compacta y gris verdoso, presenta basalto gris oscuro, gris claro, café rojizo por alteración.
-  Arcilla tobácea.
-  Arenisca tobácea.
-  Arcillas y arenas tobáceas.

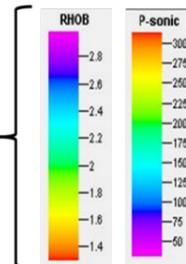
La construcción de la columna se basó en la descripción de las muestras de canal, descripción de núcleos, registros RHOB y P-sonic, y velocidad de perforación provenientes de los expedientes de exploración y de los registros de hidrocarburos proporcionados por PEMEX para el pozo Copilco-1, 1986.

Columna realizada por: Unda-López, J.A., 2013.

Unidad:

-  UA: Unidad-Acutarado
-  UV-1: Unidad Volcánica-1.
-  UV-2: Unidad Volcánica-2.
-  UV-3: Unidad Volcánica-3.
-  UV-4: Unidad Volcánica-4.
-  UV-5: Unidad Volcánica-5.

Escala de colores para RHOB y P-sonic



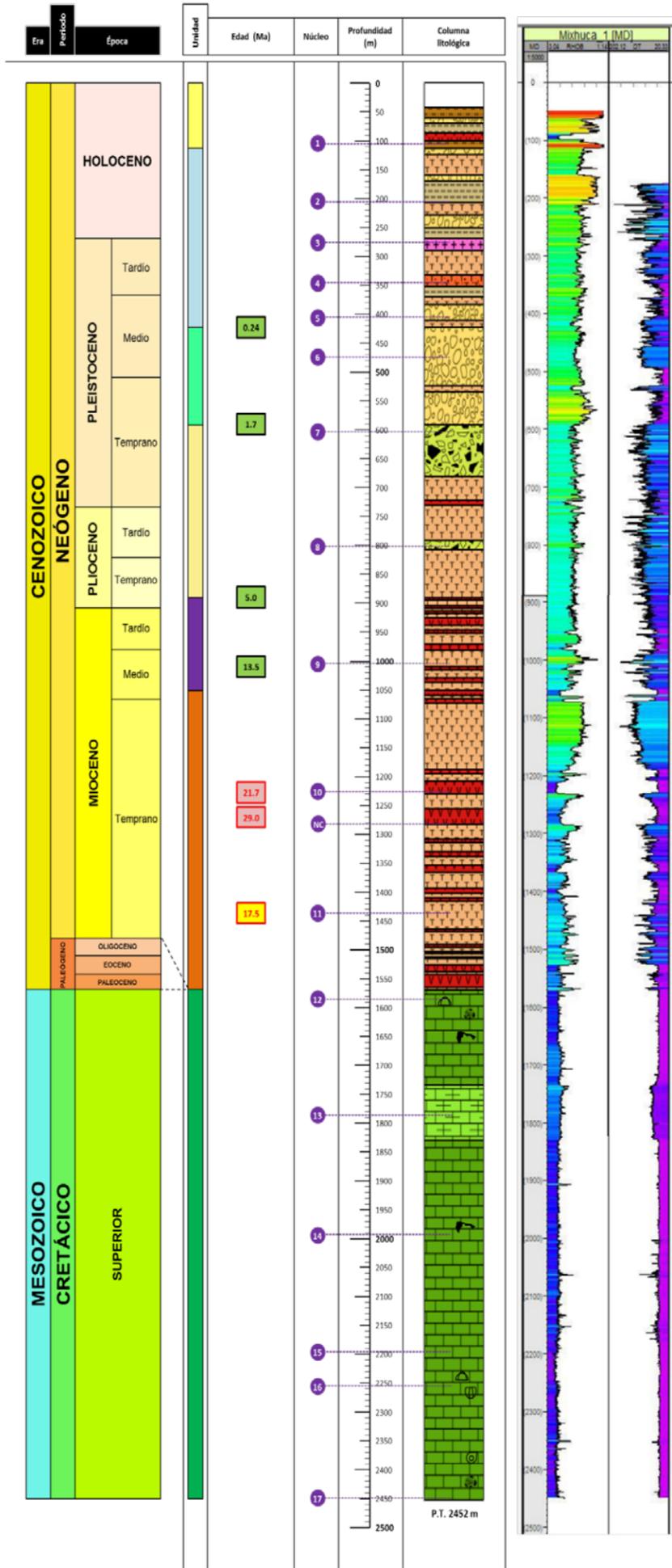
NÚCLEO DESCRIPCIÓN

- 1** De 115 a 118 (m). No hay descripción del núcleo.
- 2** De 457 a 466 (m). No hay descripción del núcleo.
- 3** De 523 a 532 (m). Basalto gris oscuro a negro, abundantes cristales de olivino, compacto de estructura vesicular, con fracturas, en partes presenta un color rojizo por alteración.
- 4** De 1490.6 a 1499.6 (m). Arenisca tobácea gris claro a gris oscuro, de grano fino a medio, semi-compacta. En la parte media (1494.60 - 1495.60) arenisca tobácea gris claro a gris oscuro de grano fino a medio y grueso, que gradúa a brecha volcánica, constituida por fragmentos angulosos y subangulosos de basalto gris oscuro, café rojizo, toba gris claro, café rojizo y crema, de 5 a 15 mm, englobados en una matriz tobácea arcillo-arenosa. Partes inferior (1495.10 - 1499.10) arenisca tobácea claro a gris oscuro, de grano fino a medio, semi-compacta, en partes ligeramente calcáreo, con lentes dispersos de arcilla de aspecto bentónico verde olivo.
- 5** De 1700 a 1709 (m). Parte superior, basalto gris oscuro, denso y café rojizo por alteración con fracturas rellenas por sílice blanco y verde esmeralda, y toba verde olivo. Parte media basalto gris oscuro, denso con abundantes cristales de olivino con fracturas rellenas por sílice y toba verde olivo con inclusiones café rojizo. Parte inferior basalto gris oscuro, de estructura maciza con cristales de olivino, presenta fracturas rellenas por sílice blanco y verde esmeralda.
- 6** De 1822 a 1831 (m). No hay descripción del núcleo.
- 7** De 1834 a 1842 (m). Parte superior, brecha volcánica constituida por fragmentos tobáceos angulosos, con un diámetro de 1 a 3 y 8 cm, englobados en una matriz tobácea. Color verde olivo, semi-compacta. Parte media a inferior, toba verde olivo semi-compacta, en partes ligeramente arenosa, con pequeñas fracturas verticales selladas por material tobáceo y bentonita verde esmeralda.
- 8** De 2150 a 2157 (m). Parte superior, brecha volcánica café rojizo y gris verdoso de estructura compacta, piroclástica constituida por fragmentos de aspecto andesítico englobados en una matriz de ceniza volcánica. Parte media, toba verde claro con inclusiones café rojizo y blanco de aspecto andesítico, semi-compacta. Parte inferior, toba café rojizo y verde olivo muy alterada y fracturada.
- 9** De 2250 a 2258 (m). Basalto gris oscuro de estructura maciza, con cristales de olivino, en partes café rojizo por alteración, con algunas fracturas rellenas con sílice blanco. Parte media, basalto gris oscuro, denso y café rojizo por alteración, con fracturas verticales y horizontales rellenas por sílice blanco y verde esmeralda. Parte inferior, basalto gris oscuro y en partes café rojizo por alteración, con fracturas verticales y horizontales rellenas con sílice blanco.

Edad (Ma)

-  Edad radiométrica P/Ar, (IMP, 1986).
-  Edad radiométrica Ar/Ar (Luca-Ferrari, 2003).

POZO MIXHUCA-1



DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA

- No se obtuvo muestra.
- Sedimentos lacustres.
- Conglomerado volcánico constituido por fragmentos de 1 a 8 mm de basalto café rojizo, toba gris verdoso café y rojizo, en una matriz areno-arcilla poco consolidada, trazas de vidrio volcánico blanco translucido. Con 20 % de arcilla gris verdoso suave.
- Arenisca tobácea gris claro y café claro, grano grueso, semi-dura.
- Andesita.
- Basalto gris oscuro, gris claro, café rojizo de textura afanítica y porfídica, estructura maciza, inclusiones de pirita diseminada.
- Brecha volcánica constituida por fragmentos basálticos gris claro, gris oscuro y café rojizo alterado de textura afanítica, vesicular, toba crema, gris verdoso, incluidas en una matriz areno-tobácea verde amarillito verde compacta.
- Toba color crema, blanquizco, gris verdoso, verde claro, café rojizo, vítreo y suave y de aspecto arenoso, presenta fragmentos constituidos por basaltos, en ocasiones presenta escasa pirita diseminada.
- Arcilla café claro de aspecto arenoso suave y plástica, presenta andesita color gris claro a gris verdoso de textura porfídica y estructura maciza.
- Mudstone café claro compacto recristalizado, fracturas delgadas rellenas por bentonita, pirita y calcita blanca. Mudstone café oscuro a gris oscuro arcilloso compacto parcialmente recristalizado, con abundantes fracturas verticales y horizontales, selladas por calcita blanca y escasas fracturas horizontales rellenas por bentonita gris verdoso y arcilla gris claro.
- Caliza arcillosa.

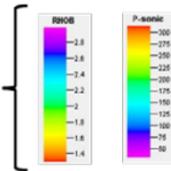
NÚCLEO DESCRIPCIÓN

- 1 De 101 a 110 (m). Arcilla café claro de aspecto arenoso suave y plástica. Basalto gris oscuro de textura vesicular y estructura maciza, presenta cristales de olivino y ocasionalmente vesículas rellenas de material tobáceo gris claro. Toba gris verde claro arenosa semi compacta, con escasas fracturas horizontales y verticales, rellenas por material tobáceo.
- 2 De 201 a 209 (m). No se obtuvo recuperación.
- 3 De 272 a 282 (m). Andesita gris claro y gris verdoso de estructura maciza y textura porfídica.
- 4 De 339 a 347 (m). Arenisca tobácea gris claro y café claro, grano grueso, semi-dura; en su parte media se observa gradación a conglomerado volcánico constituido por fragmentos de basalto café rojizo, andesita gris claro y toba gris en matriz arcillo-arenosa, andesita gris claro textura porfídica y basalto gris claro textura afanítica y estructura maciza.
- 5 De 403 a 410 (m). Conglomerado volcánico constituido por fragmentos de 1-3 mm de diámetro, de andesita blanca y gris verdoso, toba verde claro vítreo suave, basalto gris claro y café rojizo alterado, vidrio volcánico translucido, englobados en matriz arcillo-arenosa, se observa gradación a arenisca-tobácea.
- 6 De 470 a 479 (m). Toba lítica café claro suave, conglomerado volcánico constituido por fragmentos de 1-3 mm de diámetro de andesita gris verdoso, toba gris verdoso, verde olivino y crema de aspecto vítreo. Conglomerado volcánico constituido por fragmentos de 1.10 cm de diámetro de basalto gris claro afanítico, andesita gris verdoso, toba verde claro y café rojizo.
- 7 De 602 a 604 (m). Basalto gris oscuro afanítico, estructura vesicular. Brecha constituida por fragmentos de basalto gris claro afanítico y toba café rojizo alterada y verde olivino, en una matriz areno-tobácea compacta.
- 8 De 799 a 808 (m). Brecha volcánica constituida por fragmentos basálticos gris oscuro y café rojizo, toba café claro y crema. Toba amarilla a crema semi-dura con fragmentos de basalto gris y café rojizo de aspecto brechoso. Conglomerado volcánico constituido por fragmentos basálticos gris oscuro en una matriz tobácea gris verdosa a verde claro compacta.
- 9 De 990 a 1007 (m). Toba gris semi-dura a dura, ligeramente calcárea de aspecto bentonítico, basalto gris oscuro de textura vesicular con fracturas selladas por calcita blanca y con inclusiones de pirita diseminada. Toba gris claro, débilmente ligeramente arenosa.
- 10 De 1225 a 1231 (m). Basalto café compacto con fracturas selladas por cuarzo blanco y verde esmeralda y toba verde claro, con inclusiones de color café rojizo por oxidación.
- 11 De 1281 a 1281.40 (m). Núcleo de canasta. Andesita.
- 12 De 1431 a 1439 (m). Toba (ligimbrita) gris claro, con fracturas selladas por calcita. Toba soldada verde esmeralda claro con intercalación de 10 cms de toba riolítica rosa. Toba soldada gris oscuro a manera de matriz envolvente de pequeñas esquirlas vítreas.
- 13 De 1582 a 1590 (m). Mudstone café claro con fracturas rellenas por calcita. Bentonita gris azulado con fracturas rellenas de calcita.
- 14 De 1790 a 1791 (m). Mudstone café oscuro a gris oscuro arcilloso compacto parcialmente recristalizado, con abundantes fracturas verticales y horizontales, selladas por calcita blanca y escasas fracturas horizontales rellenas por bentonita gris verdoso y arcilla gris claro.
- 15 De 1992 a 1996 (m). Mudstone café claro compacto recristalizado, fracturas rellenas por bentonita y pirita. Mudstone café claro con fracturas rellenas por calcita e intercalaciones rellenas por bentonita gris, arcilla gris y pirita.
- 16 De 2194 a 2198 (m). Mudstone café claro compacto parcialmente recristalizado con fracturas rellenas por calcita.
- 17 De 2251 a 2255 (m). Mudstone café claro compacto parcialmente recristalizado, con escasas y delgadas fracturas verticales selladas por fracturas rellenas por calcita e inclusiones de pirita diseminada.
- 18 De 2450 a 2452 (m). Mudstone café claro crema recristalizado con fracturas rellenas por calcita y líneas riolíticas rellenas por material arcilloso gris-verde ligeramente calcárea de aspecto bentonítico.

CONTENIDO FÓSIL

- Radiolitos
- Placas de equinodermos
- Miliolidos
- Fragmentos de conchas
- Dicyclina Schumbergeri

Escala de colores para RHOB y P-sónico



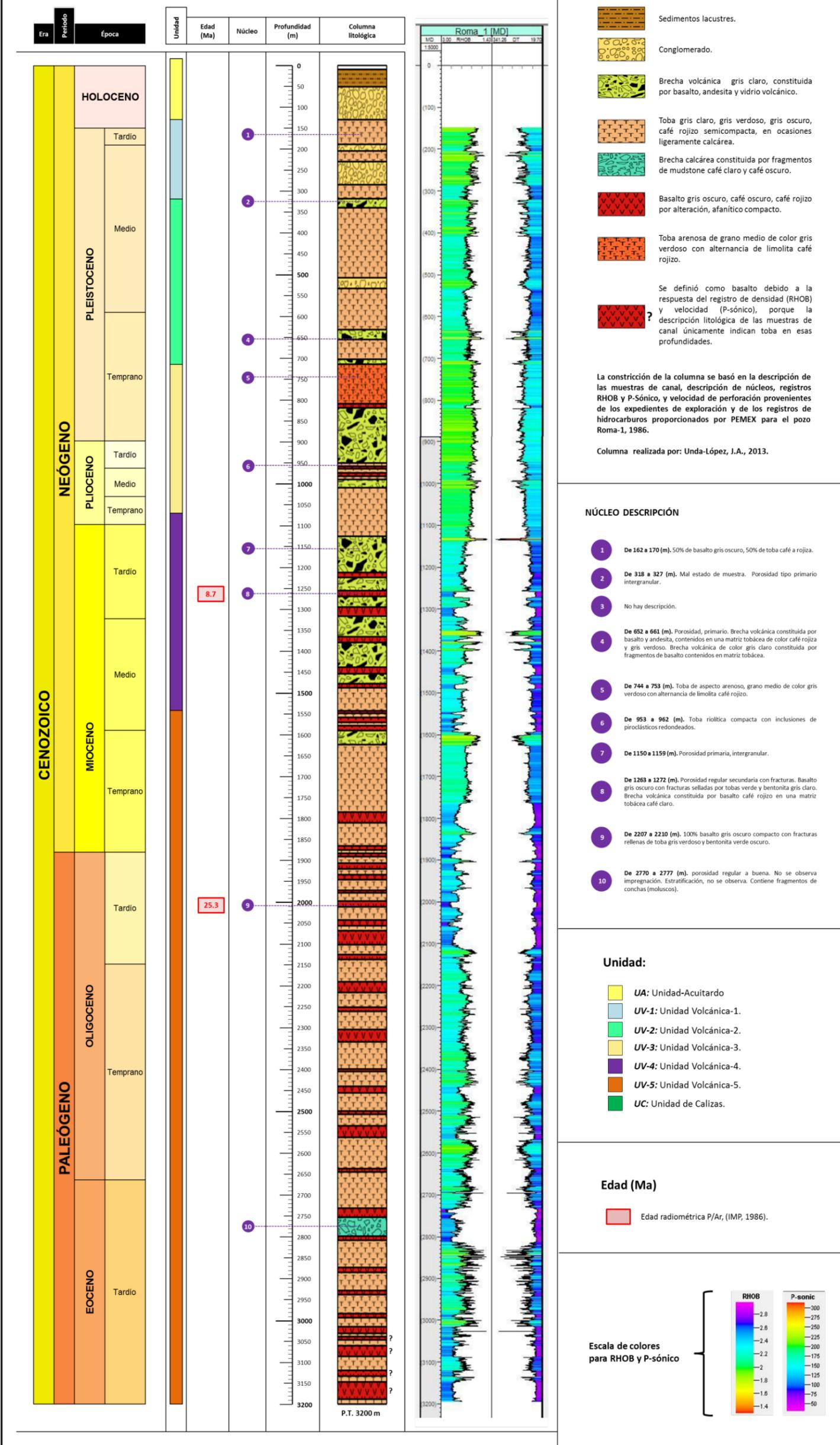
Unidad:

- UA: Unidad-Acutardo
- UV-1: Unidad Volcánica-1.
- UV-2: Unidad Volcánica-2.
- UV-3: Unidad Volcánica-3.
- UV-4: Unidad Volcánica-4.
- UV-5: Unidad Volcánica-5.
- UC: Unidad de Calizas.

Edad (Ma)

- Edad radiométrica (P/Ar), IMP, 1986.
- Edad radiométrica (Ar/Ar), Ferrari, L., 2003.
- Edad radiométrica (Ar/Ar y U-Pb), Arce, J.L., et. al., 2013.

POZO ROMA-1



DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA

- No hay descripción.
- Sedimentos lacustres.
- Conglomerado.
- Brecha volcánica gris claro, constituida por basalto, andesita y vidrio volcánico.
- Toba gris claro, gris verdoso, gris oscuro, café rojizo semicompacta, en ocasiones ligeramente calcárea.
- Brecha calcárea constituida por fragmentos de mudstone café claro y café oscuro.
- Basalto gris oscuro, café oscuro, café rojizo por alteración, afanítico compacto.
- Toba arenosa de grano medio de color gris verdoso con alternancia de limolita café rojizo.
- Se definió como basalto debido a la respuesta del registro de densidad (RHOB) y velocidad (P-sonico), porque la descripción litológica de las muestras de canal únicamente indican toba en esas profundidades.

La construcción de la columna se basó en la descripción de las muestras de canal, descripción de núcleos, registros RHOB y P-sonico, y velocidad de perforación provenientes de los expedientes de exploración y de los registros de hidrocarburos proporcionados por PEMEX para el pozo Roma-1, 1986.

Columna realizada por: Unda-López, J.A., 2013.

NÚCLEO DESCRIPCIÓN

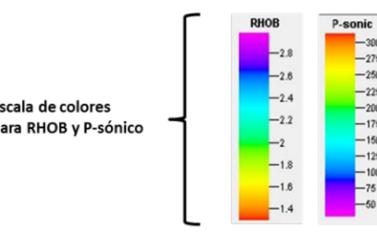
- 1 De 162 a 170 (m). 50% de basalto gris oscuro, 50% de toba café a rojiza.
- 2 De 318 a 327 (m). Mal estado de muestra. Porosidad tipo primario intergranular.
- 3 No hay descripción.
- 4 De 652 a 661 (m). Porosidad, primario. Brecha volcánica constituida por basalto y andesita, contenidos en una matriz tobácea de color café rojiza y gris verdosa. Brecha volcánica de color gris claro constituida por fragmentos de basalto contenidos en matriz tobácea.
- 5 De 744 a 753 (m). Toba de aspecto arenoso, grano medio de color gris verdoso con alternancia de limolita café rojizo.
- 6 De 953 a 962 (m). Toba riolítica compacta con inclusiones de piroclásticos redondeados.
- 7 De 1150 a 1159 (m). Porosidad primaria, intergranular.
- 8 De 1263 a 1272 (m). Porosidad regular secundaria con fracturas. Basalto gris oscuro con fracturas selladas por tobas verde y bentonita gris claro. Brecha volcánica constituida por basalto café rojizo en una matriz tobácea café claro.
- 9 De 2207 a 2210 (m). 100% basalto gris oscuro compacto con fracturas rellenas de toba gris verdoso y bentonita verde oscuro.
- 10 De 2770 a 2777 (m). porosidad regular a buena. No se observa impregnación. Estratificación, no se observa. Contiene fragmentos de conchas (moluscos).

Unidad:

- UA: Unidad-Acuitardo
- UV-1: Unidad Volcánica-1.
- UV-2: Unidad Volcánica-2.
- UV-3: Unidad Volcánica-3.
- UV-4: Unidad Volcánica-4.
- UV-5: Unidad Volcánica-5.
- UC: Unidad de Calizas.

Edad (Ma)

- Edad radiométrica P/Ar, (IMP, 1986).



POZO TULYEHUALCO-1

