



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

REGISTROS GEOFÍSICOS Y CARACTERIZACIÓN DE LA
SECUENCIA CRETÁCICA DEL POZO YAXCOPOIL-1,
YUCATÁN.

T E S I S

QUÉ PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO PETROLERO

PRESENTAN:

EDGAR RONQUILLO ROJAS
YUSHET ROLANDO INCLÁN DEL VALLE

DIRECTOR DE TESIS: Dr. JAIME URRUTIA FUCUGAUCHI



CD. UNIVERSITARIA, MÉXICO D.F.
NOVIEMBRE DE 2013

UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

FACULTAD DE INGENIERÍA

DIVISIÓN DE INGENIERÍA EN CIENCIAS DE LA TIERRA

TITULACIÓN MEDIANTE TESIS Y EXAMEN PROFESIONAL

TEMA: “REGISTROS GEOFÍSICOS Y CARACTERIZACIÓN DE LA SECUENCIA CRETÁCICA DEL POZO YAXCOPOIL-1, YUCATÁN”

JURADO ASIGNADO:

PRESIDENTE:	ING. MANUEL JUAN VILLAMAR VILLEGAS
VOCAL:	DR. JAIME URRUTIA FUCUGAUCHI
SECRETARIO:	ING. HECTOR RICARDO CASTREJÓN PINEDA
1ER. SUPLENTE:	DR. RAFAEL DE LOS ÁNGELES HERRERA GÓMEZ
2DO. SUPLENTE:	ING. ALBERTO ARIAS PAZ

DIRECTOR DE TESIS: DR. JAIME URRUTIA FUCUGAUCHI

SUSTENTANTES:

**INCLÁN DEL VALLE YUSHET ROLANDO
RONQUILLO ROJAS EDGAR**

Agradecimientos

Quiero agradecer y dedicar esto a mis Padres José Luis Ronquillo y María de Lourdes Rojas, por su gran esfuerzo, por apoyarme en todo momento, por confiar en mí y estar siempre a mi lado, todos mis logros son y serán de ustedes.

A la UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MÉXICO de la cual estoy orgulloso de pertenecer y a la FACULTAD DE INGENIERIA por haberme cobijado entre sus aulas y haberme brindado la oportunidad de terminar una carrera.

A mis profesores que con mucho esfuerzo han transmitido sus conocimientos y experiencias, y en especial a los sinodales de mi tesis que brindaron su tiempo y ayudaron a terminar este proyecto.

Al Dr. Jaime Urrutia Fucugauchi por guiarme en esta última etapa de la licenciatura, por compartir su tiempo, su conocimiento y porque nunca perdió la esperanza en mí.

A los grandes amigos que conocí en el transcurso de esta carrera Yushet, Roa, Enrique (Quique), Juan Antonio (Yaki), Cesar (Papirrin), Gerardo (Llanero), Juan Francisco (Panchito), Daniela, Jaime, Vanesa, Christian, Oscar, Raúl y Cesar sin ustedes el paso por esta casa de estudios no hubiese sido el mismo.

A mis hermanos Mayra y José Luis con quienes he pasado buenos y malos momentos, a mis abuelitos por su cariño, a mis tíos y primos por creer en mí, a mis padrinos que se han vuelto parte de mi familia, gracias a todos por su apoyo en mi formación como persona.

A las personas que me han apoyado en todo momento Violeta (Vixie), Centeno, Paul, Amayrani, Carpa, Edgar (Luer), Héctor, Samir, Eduardo (Lalo), Memo, José Manuel (Furcio), Piedra, Edgar, Benito, Frijol, Ulises y a todos ustedes que han compartido parte de su vida conmigo gracias.

Atentamente:
Edgar

Agradecimientos

A mi mamá Eustolia Del Valle Pineda y a mi papá Felipe Armando Inclán Aguirre, quienes gracias a su constante esfuerzo he logrado concluir mi licenciatura, los amo.

A mis hermanos Armando Inclán Del Valle y Omar Inclán Del Valle por orientarme y darme un buen ejemplo a seguir, los quiero mucho.

A Juan Rodrigo Martínez Trejo, Hugo Alberto Cruz Ortega, Celeste Coyt Becerril, Julieta Romero Miguélez, Olivia González Vera, Astrid Genvieve Cervantes García, Angélica Victoria Hernández, Mónica Saldaña, Gerardo Velázquez Becerra, Josué Roa Muñiz, Juan Antonio Serapio Morales, Enrique Encarnación Orosio y Edgar Ronquillo Rojas, por su comprensión, confianza y apoyo, los aprecio inmensurablemente.

A la Universidad Nacional Autónoma de México, profesores y compañeros, por impulsar mi formación profesional.

Al Dr. Jaime Urrutia Fucugauchi por su valiosa ayuda, atenciones y paciencia para la realización de este trabajo de tesis.

Atentamente:
Yushet Rolando Inclán Del Valle

Contenido

Resumen	1
Introducción.....	2
Capítulo 1. Rocas Carbonatadas	5
Ciclo litológico y clasificación de las rocas.....	5
Ambientes sedimentarios.....	7
Rocas carbonatadas y rocas siliciclásticas	11
Diagénesis.....	15
Procesos diagenéticos con mayor importancia en carbonatos	20
Clasificación de las rocas carbonatadas.....	20
Porosidad de las rocas carbonatadas	22
Importancia de los carbonatos para la industria petrolera.....	28
Plataforma Carbonatada de Yucatán.....	31
Cráter Chicxulub.....	34
El pozo Yaxcopoil-1	38
Perforación y recuperación de núcleos del pozo Yaxcopoil-1.....	38
Capítulo 2 Registros geofísicos.....	42
Mediciones al perforar pozos.....	42
Definición e importancia de los registros geofísicos.....	43
Evolución de los registros geofísicos.....	44
Herramientas necesarias para la toma de registros geofísicos.....	47
Clasificación de registros geofísicos.....	50
Registro resistivo.....	51
Doble Inducción fasorial.....	52
Doble laterolog telemétrico.....	52
Microesférico enfocado.....	54
Registro radioactivo.....	54
Espectroscopia de rayos gamma.....	55
Rayos gamma naturales.....	55
Neutrón compensado.....	55

Litodensidad compensada.	56
Registro acústico.....	56
Sónico digital.	57
Desarrollo de los estudios y descripción de los equipos.	59
Definición del intervalo y selección de puntos de interés para su análisis	59
Registro fotográfico de los núcleos en caja	60
Registro de profundidad de los puntos de interés.....	60
Estudio de susceptibilidad magnética.	61
Estudio químico.	63
Estudio geoquímico.	64
Capítulo 3 Análisis e interpretación de datos	68
Registro de susceptibilidad magnética vs profundidad	68
Análisis químico	76
Registro de porcentaje de reacción química roca-solución vs profundidad	77
Descripción de los Subintervalos identificados en el registro de porcentaje de reacción roca-solución vs profundidad.	80
Análisis geoquímico.	84
Método de fluorescencia de rayos X.....	84
Etapa 1:	84
Etapa 2:	90
Definición de unidades.....	105
Unidad A	107
Unidad B	107
Unidad C.....	107
Unidad D.....	107
Comparación entre los registros realizados contra los registros tomados durante la perforación del pozo.....	107
Conclusiones.....	110
Registros y evaluación de las herramientas.....	110
Registro de susceptibilidad magnética.....	110
Susceptómetro bartington MS2 y sensor MS2E,	110

Registros análisis químico calizas/dolomías.....	111
Solución compuesta por ácido clorhídrico y rojo de alizarina.	111
Registros geoquímicos de fluorescencia de rayos X.	112
Equipo de fluorescencia de rayos X y espectroscopia Niton XL3t.	113
Caracterización de la secuencia Cretácica del pozo Yaxcopoil-1, Yucatán.	
Intervalo 1425.48 m - 1510.4 m.	113
Unidad A.....	113
Unidad B.....	114
Unidad C.....	114
Unidad D.....	114
Anexo I Registro fotográfico de los núcleos en caja.....	118
Anexo II Registro de susceptibilidad magnética de la roca	127
Anexo III Registro fotográfico del análisis químico.....	133
Anexo IV Registro del porcentaje de reacción química.....	164
Anexo V Registro geoquímico.....	170
Registro del porcentaje de Sílice	170
Registro del porcentaje de Aluminio.....	175
Registro del porcentaje de Hierro	180
Registro del porcentaje de Potasio	185
Registro del porcentaje de Calcio	190
Registro del porcentaje de Magnesio.....	195
Registro del porcentaje de Estroncio	200
Bibliografía	206

Índice de Figuras

Figura 1 Ciclo litológico _____	6
Figura 2 Clasificación de las rocas _____	7
Figura 3 Características de los ambientes sedimentarios _____	8
Figura 4 Clasificación de los medios sedimentarios _____	9
Figura 5 Ambientes sedimentarios de mayor interés petrolero _____	10
Figura 6 Ubicación de los ambientes sedimentarios de mayor interés petrolero _____	10
Figura 7 Tipos de meteorización _____	11
Figura 8 Génesis de las rocas carbonatadas _____	14
Figura 9 Componentes mineralógicos de las rocas carbonatadas _____	14
Figura 10 Factores que controlan la diagénesis _____	16
Figura 11 Campo Diagenético _____	17
Figura 12 Procesos diagenéticos _____	19
Figura 13 Clasificación de Duhnham modificada por Embry & Klovan (1971) _____	21
Figura 14 Etapas de la porosidad (según Choquette y Pray, 1970) _____	24
Figura 15 Distribución mundial de las reservas en carbonatos _____	29
Figura 16 Distribución de las regiones petroleras y campos más importantes en carbonatos de Calcio en yacimientos naturalmente fracturados de México _____	30
Figura 17 Plataforma carbonatada de Yucatán _____	31
Figura 18 Sección longitudinal esquemática mostrando posibles rutas de migración desde la Sonda de Campeche _____	34
Figura 19 Localización del cráter de impacto de Chicxulub en la península de Yucatán _____	35
Figura 20 Localización de los sitios de perforación en la península de Yucatán _____	36
Figura 21 Columnas esquemáticas de los pozos de PEMEX y el Yaxcopoil-1 _____	37
Figura 22 Localización del pozo Yaxcopoil-1 _____	38
Figura 23 Operaciones de recuperación de núcleos en la Hacienda Yaxcopoil _____	39
Figura 24 Litología y registros del pozo Yaxcopoil-1, Yucatán _____	40
Figura 25 Ejemplos de registros y procedimientos en la industria petrolera _____	42
Figura 26 Objetivos al realizar un registro geofísico _____	43
Figura 27 Conrad Schlumberger, año 1912 _____	44
Figura 28 Operación con paneles electrónicos y unidades convencionales _____	46
Figura 29 Unidad móvil Halliburton _____	47
Figura 30 Equipo de toma de registros _____	48
Figura 31 Herramientas de Fondo _____	49
Figura 32 Tipos de sonda _____	49
Figura 33 Ejemplos de registros geofísicos _____	50
Figura 34 registros geofísicos en agujero descubierto _____	51
Figura 35 Ejemplo de registro doble laterolog telemétrico _____	53
Figura 36 Tipo de herramienta nuclear _____	54

Figura 37 Principio del registro de transmisión de energía acústica en la formación.	57
Figura 38 Registro sísmico digital	58
Figura 39 Equipos y procedimientos para la caracterización de núcleos	59
Figura 40 Estructura de los estudios	60
Figura 41 Medición de la profundidad de los puntos de interés	61
Figura 42 Susceptómetro Bartington MS2 y sensor MS2	62
Figura 43 Ejemplo de hoja de cálculo registro de susceptibilidad magnética	63
Figura 44 Fotografía de núcleo posterior a aplicar la solución de tinción	64
Figura 45 Equipo de fluorescencia de rayos X y espectroscopía Niton XL3t	64
Figura 46 Ejemplo hoja de cálculo registro geoquímico	66
Figura 47 Registro de susceptibilidad magnética de la roca vs profundidad	69
Figura 48 Susceptibilidad magnética de la roca vs profundidad, Subintervalo 1	70
Figura 49 Susceptibilidad magnética de la roca vs profundidad, Subintervalo 2	71
Figura 50 Susceptibilidad magnética de la roca vs profundidad, Subintervalo 3	72
Figura 51 Susceptibilidad magnética de la roca vs profundidad, Subintervalo 4	73
Figura 52 Delimitación de los Subintervalos definido por el registro de susceptibilidad magnética de la roca en fotografías de cajas contendoras de núcleos	75
Figura 53 Grado de dolomitización presente en la roca	77
Figura 54 Registro de porcentaje de reacción química roca-solución vs profundidad	78
Figura 55 Delimitación de Subintervalos definido por el registro de porcentaje de reacción química roca-solución, en fotografías de cajas contenedoras de núcleos	83
Figura 56 Determinación de Subintervalos de acuerdo con las tendencias observadas en el registro de porcentaje de Calcio vs profundidad	85
Figura 57 Comparación entre los registros de porcentaje de Calcio, Magnesio y Sílice vs profundidad	89
Figura 58 Identificación final de intervalos	92
Figura 59 Reconocimiento macroscópico del Subintervalo 1	93
Figura 60 Reconocimiento macroscópico del Subintervalo 2	93
Figura 61 Reconocimiento macroscópico del Subintervalo 3	93
Figura 62 Reconocimiento macroscópico del Subintervalo 4	94
Figura 63 Reconocimiento macroscópico del Subintervalo 5	94
Figura 64 Reconocimiento macroscópico del Subintervalo 6	94
Figura 65 Reconocimiento macroscópico del Subintervalo 7	95
Figura 66 Reconocimiento macroscópico del Subintervalo 8	95
Figura 67 Reconocimiento macroscópico del Subintervalo 9	95
Figura 68 Reconocimiento macroscópico del Subintervalo 10	96
Figura 69 Reconocimiento macroscópico del Subintervalo 11	96

Figura 70 Cuadro comparativo Sílice _____	97
Figura 71 Cuadro comparativo Aluminio _____	98
Figura 72 Cuadro comparativo Hierro _____	99
Figura 73 Cuadro comparativo Potasio _____	100
Figura 74 Cuadro comparativo Calcio _____	101
Figura 75 Cuadro comparativo Magnesio _____	102
Figura 76 Cuadro comparativo Estroncio _____	103
Figura 77 Cuadro comparativo de histogramas _____	104
Figura 78 Delimitación final de los Subintervalos en las fotografías de las cajas contenedoras de núcleo _____	105
Figura 79 Definición de unidades _____	106
Figura 80 Comparación de registros _____	108

Índice de Tablas

Tabla 1 Comparación entre las características de los tipos de sedimentos _____	13
Tabla 2 Composición media de las rocas sedimentarias _____	15
Tabla 3 Etapas de la diagénesis _____	17
Tabla 4 Tipos de porosidad según Choquette & Pray (1970) _____	26
Tabla 5 Comparación de la porosidad entre calizas y areniscas _____	27
Tabla 6 Columna estratigráfica de la península de Yucatán _____	33
Tabla 7 Características de los Subintervalos identificados en el registro de susceptibilidad magnética vs profundidad _____	68
Tabla 8 Comportamiento de susceptibilidad magnética según el tipo de roca ____	74
Tabla 9 Comportamiento de susceptibilidad magnética _____	74
Tabla 10 Clasificación del color de la reacción química _____	76
Tabla 11 Características de los Subintervalos delimitados en el registro de porcentaje asociado de reacción química roca-solución vs profundidad ____	79
Tabla 12 Características de los Subintervalos identificados en el registro de porcentaje de Calcio vs profundidad _____	86
Tabla 13 Características de los Subintervalos, delimitación final. _____	90
Tabla 14 Relación entre el color final de la reacción y el grado de dolomitización presente en la roca _____	111
Tabla 15 caracterización geológica de la secuencia Cretácica del pozo Yaxcopoil- 1, Yucatán. Intervalo 1425.48m – 1510-4 m _____	115
Tabla 16 Relación Subintervalos – unidades _____	116

Resumen

Hoy en día, la industria petrolera se encuentra en constante evolución debido a los retos que presenta la explotación de hidrocarburos en todas sus áreas. La investigación, el replanteamiento de ideas, la innovación de tecnológica se han convertido en “el pan de cada día” dentro de la ingeniería petrolera.

Dentro del área de la caracterización estática de yacimientos hallamos que el análisis e interpretación que le damos a la información que se obtiene de un registro geofísico o de un análisis de núcleos tiene un papel fundamental para la toma de decisiones dentro del proyecto petrolero. La información que se obtiene de los registros geofísicos o los análisis de núcleos debe ser certera, aunado a una correcta metodología para su interpretación, esto conforma los cimientos para cumplir con éxito la estrategia de explotación del petróleo.

Esta tesis tiene como objetivo principal la evaluación de aparatos y procedimientos en núcleos, además de verificar la información que se adquiere gracias a los artefactos para llevar a cabo la caracterización de formaciones en carbonatos de la secuencia Cretácica del pozo Yaxcopoil-1, Yucatán. La caracterización de carbonatos conlleva la generación y análisis del registro de susceptibilidad magnética de la roca como propiedad petrofísica. Químicamente, se evaluó la reacción que produce la solución compuesta por rojo de alizarina y ácido clorhídrico, al entrar en contacto con la roca, para estimar el grado de dolomitización presente en ésta. En el aspecto geoquímico, se valoró el método de fluorescencia de rayos X como herramienta de análisis en núcleos, para determinar la composición química de la roca. Los elementos seleccionados para esta evaluación fueron el Calcio (Ca), Magnesio (Mg), Estroncio (Sr), Sílice (Si), Aluminio (Al), Hierro (Fe) y Potasio (K), debido al porcentaje considerable que registra la herramienta de estos elementos en comparación a los demás. Finalmente, se evaluaron las ventajas de usar toda la información recabada para el análisis de todos los registros en conjunto y así delimitar y hacer la caracterización final del intervalo ubicado entre los 1425.48 m y los 1510.4 m de profundidad en la secuencia Cretácica del pozo Yaxcopoil-1, Yucatán.

La innovación tecnológica y el implemento de nuevas metodologías buscan abatir costos y tiempo, así como aumentar la calidad y la cantidad de información recabada, cualidades que se han encontrado al final de la evaluación de algunas de estas herramientas y métodos.

Introducción

La información que arroja la caracterización de las formaciones geológicas que conforman a un yacimiento petrolero, es medular para la toma de decisiones dentro del proyecto de explotación de hidrocarburos.

La caracterización del yacimiento se fundamenta principalmente en los resultados obtenidos de los registros geofísicos y del análisis de núcleos recuperados del intervalo de interés. Gracias a esta información podemos visualizar las condiciones en las que se encuentra confinado el hidrocarburo en el subsuelo. Por lo tanto, la veracidad y la cantidad de información que podemos obtener de un registro geofísico o de un análisis de núcleo, es de vital importancia para maximizar la recuperación de hidrocarburos en superficie.

Actualmente existe una infinidad de registros geofísicos y de análisis en núcleos, la decisión de llevar a cabo la toma de un registro geofísico o un análisis de núcleo se ve condicionada por factores tanto económicos, como de tiempo además de la cantidad y la calidad de la información.

Esta tesis tiene como objetivo principal evaluar aparatos y procedimientos de registro en núcleos, además de verificar los registros y caracterizar la secuencia Cretácica del pozo Yaxcopoil-1, Yucatán, en el intervalo de profundidad que abarca de los 1425.48 m a los 1510.4 m. El motivo de realizar la evaluación sobre este intervalo se debe al tipo de litologías que ostenta.

La caracterización de carbonatos conlleva el registro de susceptibilidad magnética de la roca como propiedad petrofísica. Químicamente se evaluó un método para identificar a la roca como caliza, dolomía o para estimar un grado de dolomitización presente en la roca. En el aspecto geoquímico se valoró el método de fluorescencia de rayos-x como herramienta de análisis en núcleos para determinar la composición química de la roca. Finalmente se evaluó el uso de registros combinados para la caracterización final de unidades en el intervalo de interés.

En el Capítulo 1 "Rocas Carbonatadas", se definen conceptos básicos tanto geológicos, como petroleros y se hace énfasis en la importancia y complejidad de este tipo de rocas para la industria petrolera a nivel mundial y nacional.

En el Capítulo 2 "Registros geofísicos", se muestra la evolución de las herramientas y de los métodos empleados para obtener información de las formaciones geológicas; se describen los trabajos realizados en el cráter del

Chicxulub y del pozo Yaxcopoil-1, de donde se obtuvieron los núcleos de análisis. También se describen los fundamentos del susceptómetro Bartington, la solución compuesta por rojo de alizarina y ácido clorhídrico y el equipo de fluorescencia de rayos X y espectroscopia Niton XL3t, además de la metodología que se llevó a cabo para obtener los registros.

En el Capítulo 3 “Interpretación y análisis de datos”, se muestran los registros realizados, así como el análisis estadístico, la interpretación y caracterización geológica de la secuencia Cretácica del pozo Yaxcopoil-1, en el intervalo de interés.

En la sección que comprende a las conclusiones y recomendaciones se expone la evaluación de los aparatos y procedimientos así como sus registros para la caracterización de rocas carbonatadas y su aplicación en la industria petrolera. Además se presenta la caracterización final de la secuencia Cretácica del pozo Yaxcopoil-1, Yucatán, en el intervalo de profundidad que abarca de los 1425.48 m a los 1510.4 m, en relación con la información obtenida.

Capítulo 1

Rocas carbonatadas

Capítulo 1. Rocas Carbonatadas

La Geología proviene del griego *γεια*, geo "Tierra" y *λογος*, logos "Estudio", es la ciencia que estudia el origen, historia y estructura física de la tierra. Esta ciencia es esencial para la industria petrolera ya que el petróleo se encuentra dentro de determinados tipos de rocas.

La Geología del petróleo se basa en el estudio de las rocas que contienen petróleo y gas, particularmente aquellas con suficiente petróleo para ser comercialmente explotado. Esta se auxilia de un conjunto de ciencias geológicas como la Geoquímica, la Geofísica, la Sedimentología, la Estratigrafía, entre otras para poder comprender mejor la distribución de este recurso en el subsuelo. La información que aporta cada área del conocimiento es de vital importancia para superar los retos que impone la explotación de los hidrocarburos.

En Geología se le denomina roca al material resultado de un proceso geológico definido formado por uno o varios minerales consolidados o no, de composición química variable, sin forma geométrica determinada.

Un yacimiento petrolero es un lugar en el subsuelo en el cual han ocurrido diversos eventos geológicos distribuidos en tiempo y espacio, generando las condiciones favorables para la retención del hidrocarburo. Se conforma por roca (que hace las veces de trampa y sello) y los fluidos que la saturan (agua, gas, petróleo). El contacto entre las rocas y el fluido conforma el sistema roca-fluido.

La tarea de evaluar un yacimiento petrolero en rocas carbonatadas es sumamente complicada, los desafíos que plantean este tipo de yacimientos desde la etapa de exploración hasta etapas avanzadas de producción parecen ser interminables. Es importante superar estos desafíos debido a la importancia económica que estos yacimientos representan.

A través del capítulo abordaremos el tema de las rocas carbonatadas desde su origen, las transformaciones que sufren y las repercusiones que conllevan estos cambios en las propiedades petrofísicas.

Ciclo litológico y clasificación de las rocas.

Las rocas están sometidas a continuos cambios por las acciones de los agentes geológicos, a este conjunto de procesos se le denomina ciclo litológico, el cual se representa gráficamente en la Figura 1. Los procesos que conforman el ciclo litológico son tan diversos que intervienen incluso los seres vivos y el tiempo que demandan conlleva millones de años antes de que las rocas alcancen su forma actual.

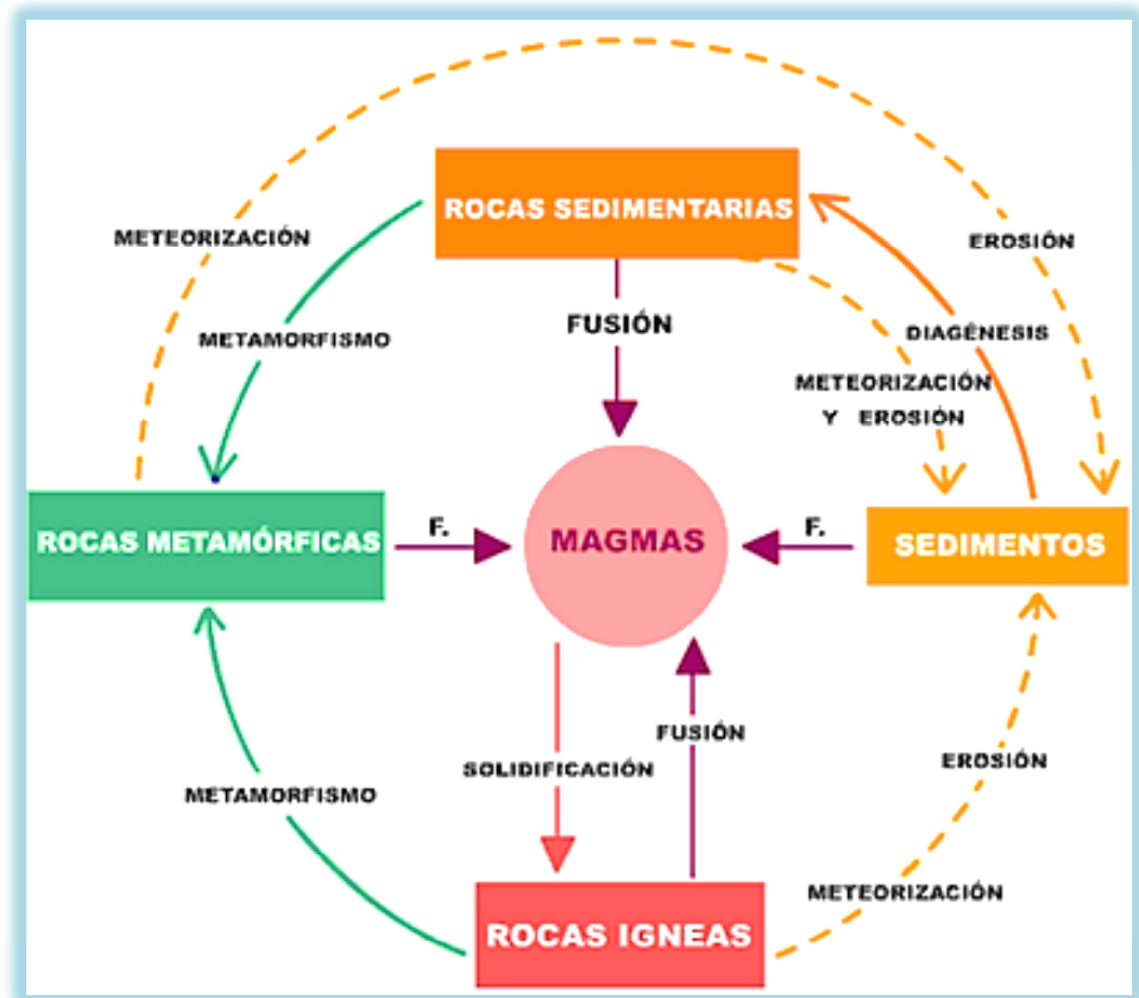


Figura 1 Ciclo litológico (Geología venezolana)

Observamos en la [Figura 1](#) que existen 3 tipos de rocas:

- ☛ Rocas ígneas
- ☛ Rocas sedimentarias
- ☛ Rocas metamórficas

El ciclo litológico describe la transición del material en el tiempo geológico, es un modelo que explica el origen, así como los procesos de formación y destrucción de las rocas. En la [Figura 2](#) se encuentran las definiciones de cada tipo de roca.



Figura 2 Clasificación de las rocas

Dentro de la clasificación de las rocas sedimentarias podemos distinguir entre rocas sedimentarias siliciclásticas y rocas sedimentarias carbonatadas, para comprender sus diferencias debemos entender su origen, por esta razón abordaremos el tema de ambientes sedimentarios.

Ambientes sedimentarios.

Los ambientes sedimentarios son un lugar en la superficie terrestre en el cual se llevan a cabo procesos sedimentarios cuyas características físicas, químicas y biológicas permiten distinguirlo de ambientes adyacentes. Dichas características determinan las propiedades del sedimento o de la roca sedimentaria. En la Figura 3 se definen estas características.

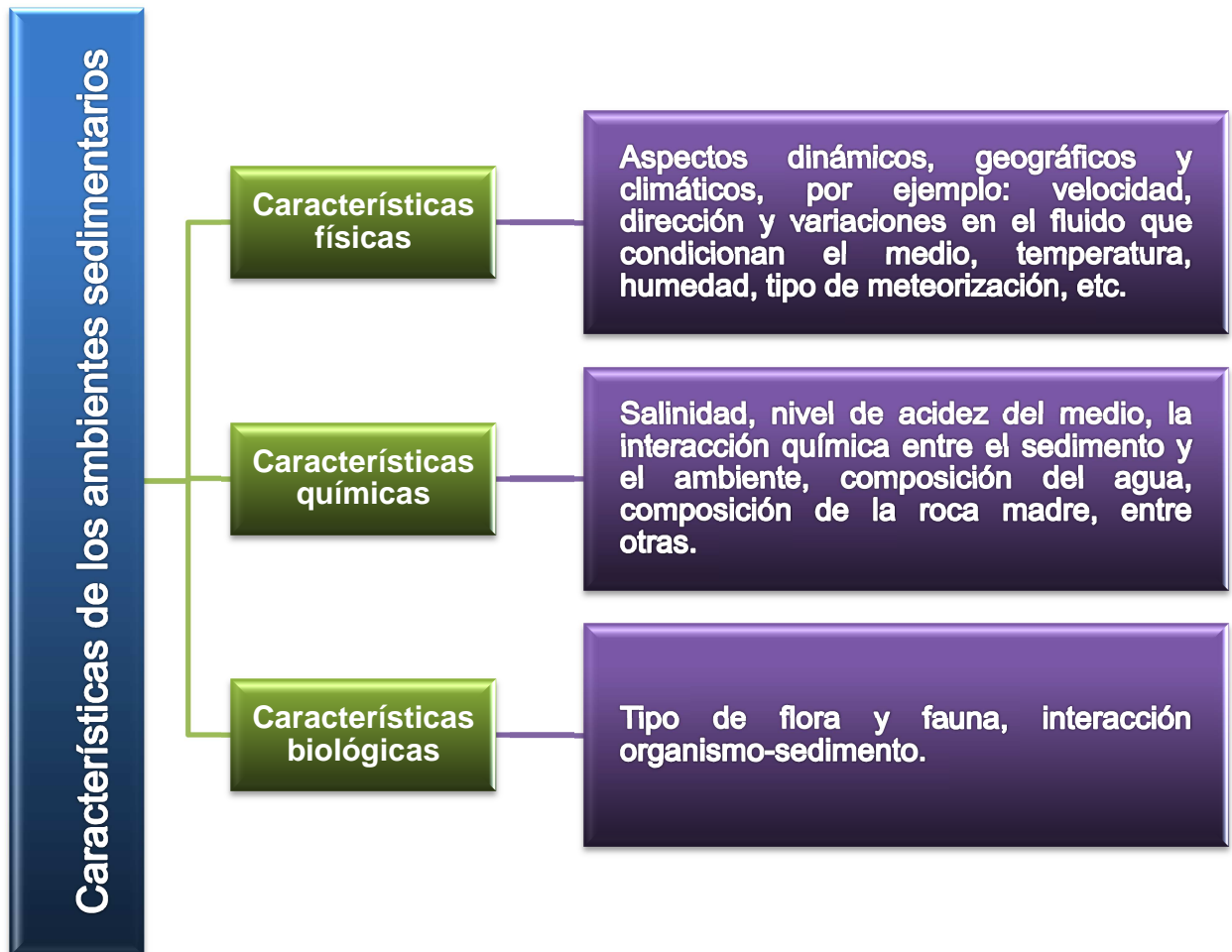


Figura 3 Características de los ambientes sedimentarios

La persistencia de los medios sedimentarios varía en tiempo y espacio, sus límites pasan gradualmente de unos a otros, lo que complica definirlos y clasificarlos.

Al conjunto de rocas sedimentarias que se distinguen de otras por sus características paleontológicas (fósiles) y litológicas se le denomina facies sedimentarias y ayudan a reconocer los ambientes sedimentarios en los que la roca se formó.

En la Figura 4 se muestra la clasificación de los ambientes sedimentarios, así como también algunas de sus características.



Figura 4 Clasificación de los medios sedimentarios

Existe una producción considerable de carbonato de Calcio en el ambiente marino, presentándose en mayor porción en el lugar donde se precipitan debido a la presencia de los organismos que lo secretan y utilizan para la construcción de sus esqueletos y conchas. A pesar de su generación “in situ” pueden llegar a sufrir cierto transporte en áreas continentales, al borde de la plataforma o en las profundidades marinas, por acción de mareas u oleaje.

A partir de esta clasificación los ambientes sedimentarios se subdividen en diferentes categorías, de acuerdo con los criterios propuestos por cada autor. Debido a que las rocas carbonatadas pertenecen a la clasificación de ambientes sedimentarios marinos no ahondaremos en las demás clasificaciones.

En la Figura 5 se visualizan los ambientes sedimentarios de mayor interés petrolero.



Figura 5 Ambientes sedimentarios de mayor interés petrolero

En la Figura 6 se ubican los ambientes sedimentarios de mayor interés petrolero diferenciándolos de los demás ambientes anteponiéndoles una estrella morada.

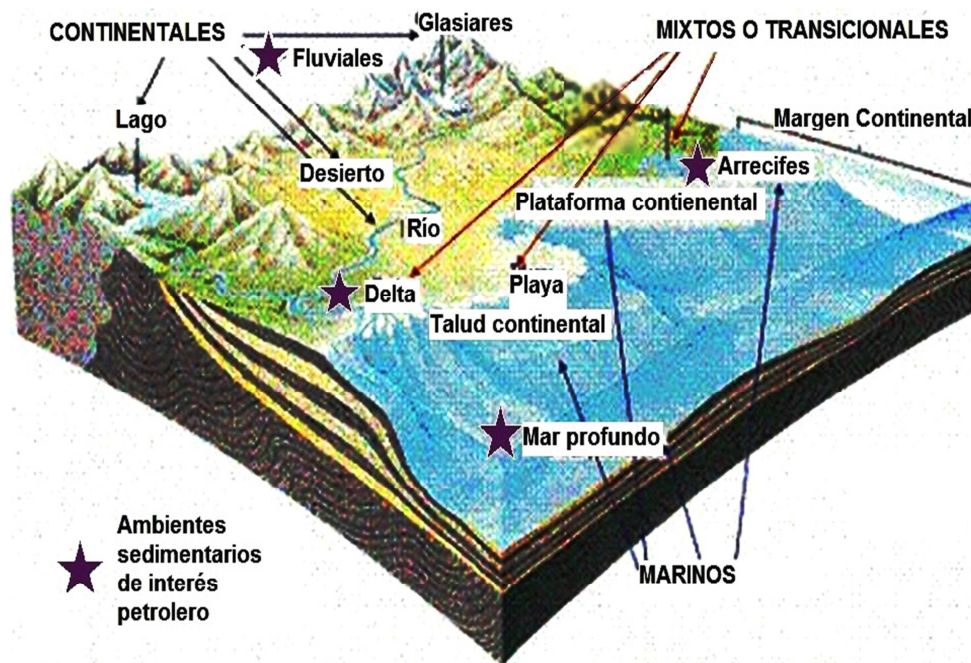


Figura 6 Ubicación de los ambientes sedimentarios de mayor interés petrolero (Geología venezolana)

Algunas propiedades petrofísicas, como la porosidad y permeabilidad de los yacimientos de petróleo, están relacionadas con el tipo de ambiente sedimentario, lo cual es información invaluable para una buena planeación de la extracción de los hidrocarburos.

Rocas carbonatadas y rocas siliciclásticas

A pesar de que el capítulo está enfocado a las rocas carbonatadas encontramos conveniente hacer mención de las rocas siliciclásticas, para una mejor comprensión del tema.

En las rocas siliciclásticas los sedimentos son el resultado de los procesos de meteorización que actúan sobre las rocas preexistentes, éstos se acumulan en capas sobre una depresión de la superficie de la tierra a la que denominamos cuenca sedimentaria.

Algunos procesos de meteorización pueden fragmentar físicamente la roca en pedazos pequeños sin modificar su composición, mientras que otros procesos de meteorización descomponen la roca modificándola químicamente.

Entendemos por meteorización a la disgregación de las rocas debido al efecto de los agentes ambientales que las fracturan y alteran. En la Figura 7, se visualiza la clasificación de los tipos de meteorización, así como su definición y algunos ejemplos de cada una de ellas.

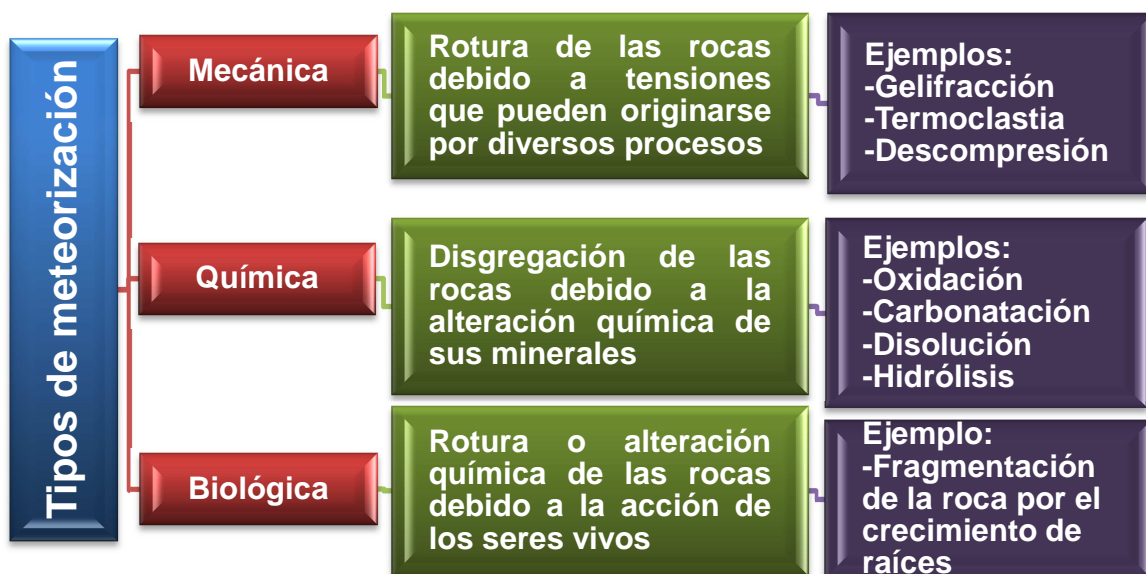


Figura 7 Tipos de meteorización

El agua o el viento suelen transportar los sedimentos a los ambientes de depósito, en donde posteriormente se litifican por procesos de diagénesis.

El proceso de compactación tiene lugar a medida que el peso de los materiales suprayacentes comprimen los sedimentos en masas más densas.

El proceso de cementación es el resultado de la precipitación del material disuelto en el agua, que con anterioridad se había filtrado a través de los espacios intragranulares del sedimento, conformando una masa sólida.

El relleno de la cuenca sedimentaria registra la evolución paleográfica de la misma, por ejemplo: superficies de omisión (etapas de no depositación), discordancias (etapas de erosión) o actividad tectónica.

Las rocas siliciclásticas (predominantemente areniscas y lutitas) contienen una gran variedad de minerales y partículas, tal como el cuarzo, el feldespato, los minerales de arcilla y restos de plantas.

Las rocas carbonatadas, a diferencia de las rocas siliciclásticas, son rocas sedimentarias formadas en ambientes marinos someros de origen principalmente químico-biológico, como la creación de arrecifes y la acumulación de restos de organismos en el fondo marino, otros tipos se forman a medida que el agua se evapora de las cuencas poco profundas, como precipitados de las aguas marinas.

La profundidad máxima promedio en la que se pueden formar son los 4,500 m. Están integrados por un grupo limitado de minerales, de los cuales destacan principalmente la calcita y la dolomía, el fosfato y la glauconita también se presentan en menor proporción.

Los granos que conforman los sedimentos carbonatados se originan muy cerca del lugar de depósito a diferencia de las rocas siliciclásticas. Esta depositación local contribuye significativamente a la heterogeneidad de los granos de carbonato.

En México son de gran interés económico ya que el 80% del petróleo se encuentra en yacimientos carbonatados.

Los análisis de los sedimentos carbonatados deben tomar en cuenta parámetros físicos y el origen de las partículas que lo componen.

En la Tabla 1 se comparan sedimentos carbonatados y sedimentos siliciclásticos.

Tabla 1 Comparación entre las características de los tipos de sedimentos

CARACTERÍSTICA	TIPO DE SEDIMENTO	
	CARBONATADO	SILICICLÁSTICO
Medio en que se genera	Tropicales someros	Cualquiera
Ambiente sedimentario	Principalmente marino	Continental y marino
El tamaño de grano refleja	El tamaño original de las partículas duras calcificadas de los organismos	La energía hidráulica del medio
La presencia del lodo indica	El crecimiento prolífico de organismos cuyas partes están constituidas por agregados cristales del tamaño del lodo	Decantación a partir de suspensión
Cambios en la naturaleza de los granos a través del tiempo	Si, respondiendo a la evolución de la vida	Sin cambios
Causa de la creación de cuerpos arenosos	Fijación localizada de carbonato, tanto de origen biológico como físico-químico	Interacción de las corrientes y el oleaje
Estado del sedimento en el medio de depósito	Normalmente cementado	Sin consolidar
Consecuencia de la exposición periódica de los sedimentos durante la depositación	Diagénesis (cementación y recristalización)	Relativamente ninguna

Otros factores que distinguen a las rocas carbonatadas son: textura de la roca, tipo de porosidad y la diagénesis.

En la Figura 8 se enlistan los procesos que dan origen a las rocas carbonatadas.



Figura 8 Génesis de las rocas carbonatadas

En la Figura 9 se muestran los componentes mineralógicos principales de las rocas carbonatadas.

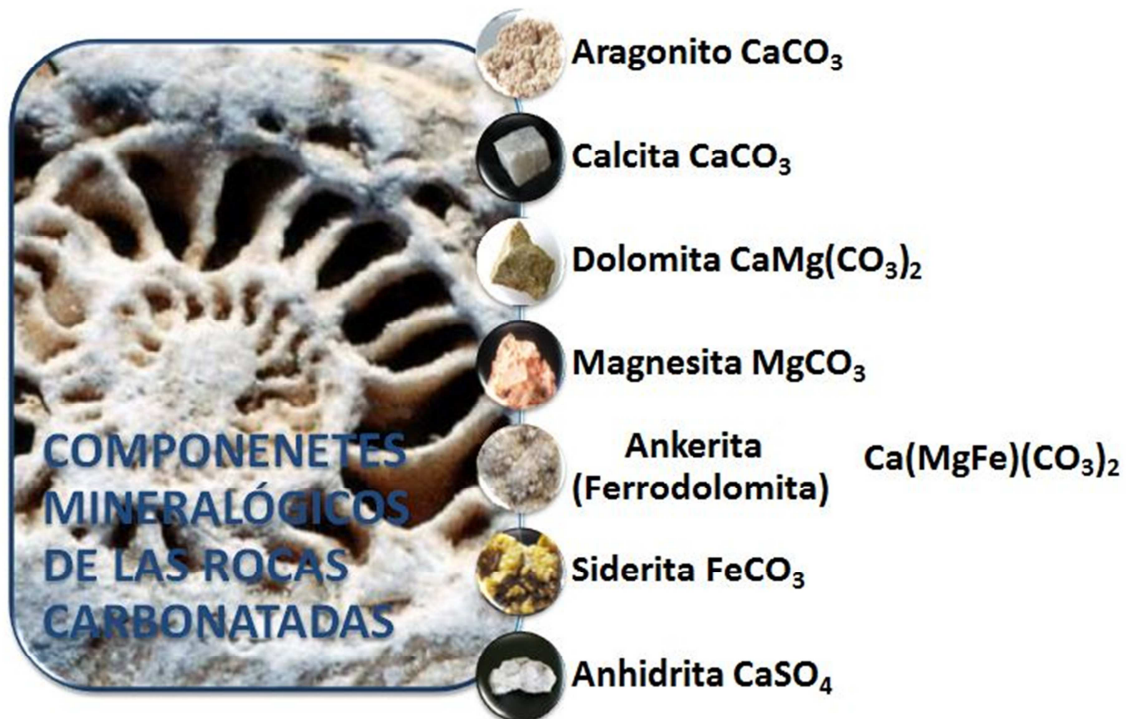


Figura 9 Componentes mineralógicos de las rocas carbonatadas

Como podemos observar la mineralogía de las rocas carbonatadas es relativamente sencilla.

En la Tabla 2 se muestra la composición media de las areniscas y las calizas, según el cálculo de Clarke.

Tabla 2 Composición media de las rocas sedimentarias

Componente	Arenisca	Caliza
SiO ₂	78.33	5.19
TiO ₂	0.25	0.06
Al ₂ O ₃	4.77	0.81
Fe ₂ O ₃	1.07	0.54
FeO	0.30	-
MgO	1.16	7.89
CaO	5.50	42.57
Na ₂ O	0.45	0.05
K ₂ O	1.31	0.33
H ₂ O	1.63	0.77
P ₂ O ₅	0.08	0.04
CO ₂	5.03	41.54
SO ₃	0.07	0.05
BaO	0.05	-
Total	100	99.84

Cabe mencionar que la composición química de las rocas sedimentarias es muy variable debido a que son el producto de diversos procesos geológicos. Para facilitar su reconocimiento por medio de análisis químicos, conviene destacar el componente o elemento dominante en la roca, por ejemplo: el elemento dominante en una arenisca sería el Sílice, en una caliza sería el Calcio y en una dolomía sería el Magnesio.

Diagénesis.

La diagénesis engloba los procesos geológicos por los cuales un sedimento es transformado en una roca consolidada, de griego dia: "a través" y génesis: "origen".

Los cambios diagenéticos ocurren como consecuencia de reacciones entre el sistema roca-fluidos. Estas reacciones señalan la tendencia del sistema a alcanzar el equilibrio termodinámico al variar las condiciones de presión y temperatura.

En la Figura 10 se muestran los factores principales que controlan la diagénesis y en la [Figura 11](#) se define el campo diagenético delimitado por rangos de presión, temperatura y profundidad.



Figura 10 Factores que controlan la diagénesis

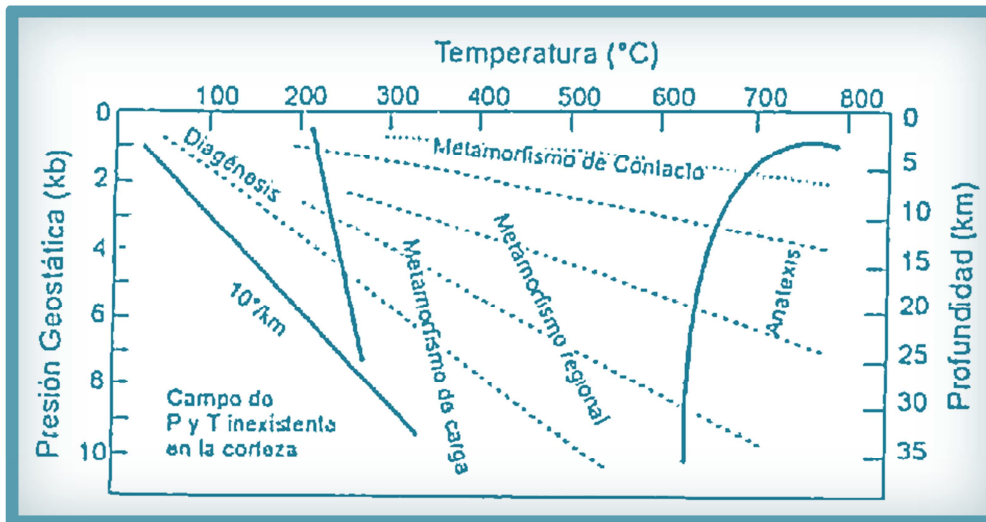


Figura 11 Campo Diagenético

La diagénesis engloba todos aquellos cambios físicos, químicos y bioquímicos que afectan al sedimento posterior a su depósito original hasta el comienzo del metamorfismo o intemperismo de la roca, altera tanto a las partículas minerales como al agua intersticial. En los carbonatos puede modificar de manera significativa la composición de la roca. Se produce tanto en condiciones superficiales como en condiciones de soterramiento.

Los cambios se acentúan por el incremento en la carga litostática y en el gradiente geotérmico, debido al sepultamiento generado por nuevos aportes de sedimento. Estos cambios dificultan determinar la procedencia, el transporte y el lugar de sedimentación de las rocas.

En la Tabla 3 se hace referencia a las etapas en las que se ha subdividido a la diagénesis. Como podemos observar varían en número y definición de acuerdo a los criterios impuestos por cada autor.

Tabla 3 Etapas de la diagénesis

Autor	Estado o etapa	Descripción
Choquete y Pray (1970)	Eogenético	Sepultamiento somero
	Mesogenético	Sepultamiento profundo
	Telogenético	Ascenso y erosión
Dunoyer de Segonzac (1970)	Diagénesis temprana	Sepultamiento somero
	Diagénesis media	Sepultamiento profundo
	Diagénesis tardía	Temperatura > 100°C
	Diagénesis de ankizona	Transición a metamorfismo

Fairbridge (1983)	Sindiagénesis	Sepultamiento somero
	Anadiagénesis	Sepultamiento profundo
	Epidiagénesis	Alzamiento tectónico
Singer y Müller (1983)	Presepultamiento	En presencia de O ₂
	Sepultamiento somero	Conversion de fango a pelita
	Sepultamiento profundo	Conversión de pelita argilita
Burley et al. (1985)	Eogénesis	En ambiente depositacional
	Mesogénesis	Sepultamiento profundo
	Telogénesis	Alzamiento tectónico
Pettijohn et al. (1987)	Estado 1	En ambiente depositacional
	Estado 2	Sepultamiento <10m
	Estado 3	Sepultamiento >10m <1km
	Estado 4	Sepultamiento >1km, posible plegamiento
	Estado 5	Anquimetamorfismo
	Estado 6	Alzamiento tectónico

Los principales procesos diagenéticos se encuentran en la Figura 12.

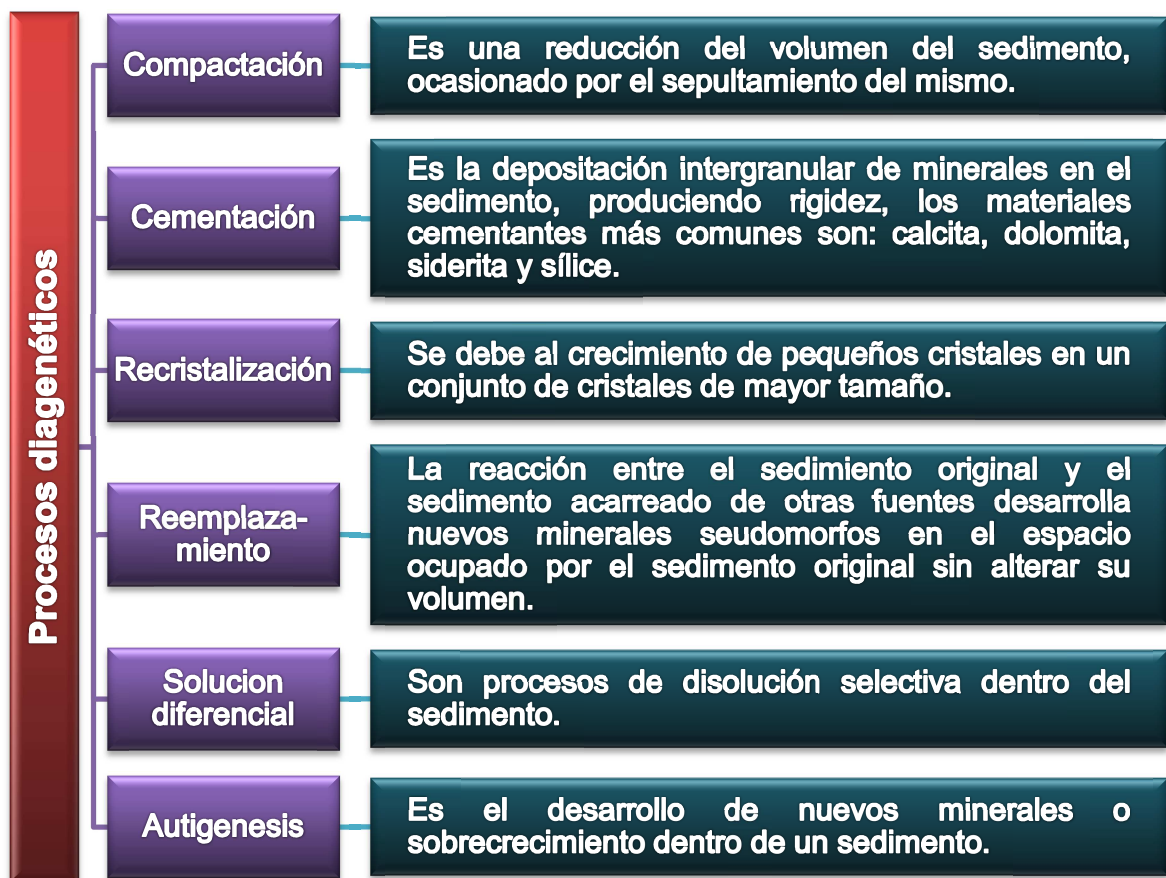


Figura 12 Procesos diagenéticos

La diagenesis en carbonatos suele ser un proceso complejo que puede mejorar o no las propiedades petrofísicas de las rocas carbonatadas, cambiando la porosidad y la permeabilidad afectando el potencial de explotación del yacimiento.

Procesos diagenéticos con mayor importancia en carbonatos

Disolución

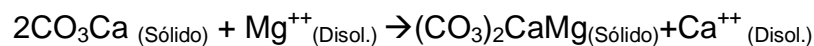
Proceso químico que consiste en la disociación de las moléculas que conforman a la roca en iones debido a un agente disolvente, este proceso no implica ninguna transformación en la composición química del material disuelto. La disolución en carbonatos depende de:

- ☛ Composición del agua
- ☛ Permeabilidad de la roca
- ☛ Composición mineral de la roca

Y produce porosidad secundaria o diagenética.

Dolomitización

La dolomitización implica reemplazar la calcita y la aragonita por la dolomita mineral, es un proceso químico en el cual se produce una sustitución por intercambio iónico del Calcio por Magnesio en la roca. Se puede resumir de la siguiente manera:



Este proceso provoca disminución del tamaño de grano y mayor dureza de la roca, por ende la hace más frágil y más fracturable afectando directamente las condiciones de producción del yacimiento.

Clasificación de las rocas carbonatadas.

Existen diversas clasificaciones para las rocas sedimentarias, abordaremos la clasificación de Dunham modificada por Embly & Klovan (1971) que actualmente es la más utilizada.

El esquema que presenta Dunham distingue dos grandes grupos, bajo la condición de si es o no reconocible la textura deposicional en la roca, tal como se ilustra en la [Figura 13](#).

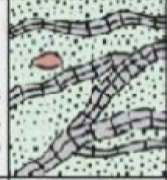
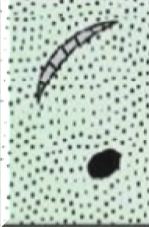
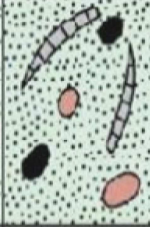
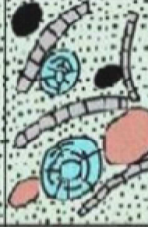

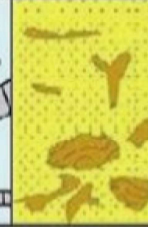

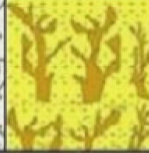
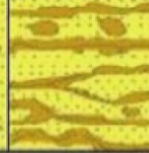
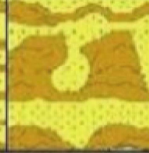
Textura deposicional reconocible								Textura deposicional no reconocible	
Componentes originales no unidos durante la sedimentación				Componentes orgánicamente unidos durante el depósito					
Con lodo calcáreo (micrita) [tamaño limo fino y arcilla]		Textura grano-sostenida	Textura sostenida por granos sin lodo calcáreo	> 10% granos > 2 mm		Boundstone (puede dividirse en 3 tipos de acuerdo con la forma de las estructuras orgánicas)			
Textura lodo-sostenida				Textura lodo-sostenida	Textura sostenida por granos > 2 mm				
< 10% granos	> 10% granos								
Mudstone	Wackestone	Packstone	Grainstone	Floatstone	Rudstone	en grupos separados	unidas	formando una estructura rígida	
						Blafflestone	Bindstone	Framestone	
									Cristalina

Figura 13 Clasificación de Duhnham modificada por Embry & Klovan (1971)

Observamos que esta clasificación se basa en:

- 🌿 La presencia de material micrítico
- 🌿 Porcentaje de granos
- 🌿 Tamaño del grano
- 🌿 Signos de unión entre los componentes durante la sedimentación o depósito

Porosidad de las rocas carbonatadas

La porosidad es el conjunto de espacios vacíos que posee una roca, constituye junto con el resto de las fases minerales el volumen total de la roca. Puede ser contemplada como componente petrográfico o como propiedad petrofísica.

En el aspecto petrográfico posee características como: tamaño, forma, distribución (orientación, homogeneidad), en conjunto con los demás componentes de la roca define la textura.

Se denomina sistema poroso a la continuidad que presentan los espacios vacíos en una configuración tridimensional.

Un análisis petrográfico de la porosidad es en esencia cualitativo y descriptivo. Su estudio se realiza a distintas escalas, tanto macroscópica como microscópicamente. En la mayoría de los casos las muestras requieren ser preparadas.

Desde el punto de vista petrofísico, la porosidad es una propiedad elemental y fundamental de las rocas, proporciona parámetros numéricos que nos permiten caracterizar los cuerpos rocosos. Se define como la relación del volumen de espacios vacíos por unidad de volumen total de roca y se expresa en porcentaje.

De acuerdo con su definición, al obtener el volumen de espacios vacíos, admite diversas matizaciones, de acuerdo con el método utilizado para su determinación, lo que permite establecer varios conceptos:

- ☛ Porosidad total: Porcentaje total de espacios vacíos que presenta una roca (unidad %).
- ☛ Porosidad efectiva: Porcentaje total de espacios vacíos interconectados que presenta una roca (unidad %).

La porosidad total siempre va a ser mayor o igual a la efectiva. En el ámbito petrolero interesan los poros interconectados, lo que supone importantes saturaciones de hidrocarburos.

Se determina a partir de métodos indirectos principalmente: saturación de los poros con fases fluidas (helio, nitrógeno), dichas pruebas están diseñadas para suministrar parámetros más específicos del sistema poroso, entre ellas cabe destacar:

- ☛ Inyección de mercurio, indicada para obtener el radio de acceso al poro.

- ☛ La adsorción de nitrógeno, para determinar la superficie específica.

El análisis del sistema considera elementos de interés como:

- ☛ Tamaño de los poros
- ☛ Forma de los poros y de sus accesos
- ☛ Relación: tamaño de poro / tamaño de acceso
- ☛ Relación con la fábrica de la roca (selectiva o no)
- ☛ Homogeneidad
- ☛ Isotropía

Las rocas carbonatadas presentan un sistema poroso sumamente complejo. La porosidad posee una historia larga y complicada, consecuencia de los diversos procesos implicados en su formación y evolución, así como de la inestabilidad química de los minerales que las conforman. Una roca determinada puede presentar varios tipos de poros, correspondiente frecuentemente a diversos hechos.

Clasificación de la porosidad en rocas carbonatadas.

Existen clasificaciones de la porosidad que atienden más a los aspectos descriptivos y otras que pueden considerarse más genéticas.

Las clasificaciones descriptivas suelen establecerse en relación con los elementos particulares del sistema poroso (tamaño, forma, etc.) o con la porosidad como propiedad física, y constituyen clases definidas numéricamente. Están orientadas a fines aplicados, permitiendo realizar correlaciones entre distintos parámetros: permeabilidad, resistividad, etc.

Dentro de este grupo pueden considerarse clasificaciones que atienden a la porosidad total, forma y distribución de los poros, así como a su localización en el seno de la roca.

Las clasificaciones genéticas se sitúan en el campo de la porosidad como componente petrográfico, ya que la formación de los poros se encuentra ligada a la de los restantes componentes minerales, y participan de forma notable en el conocimiento de la génesis de la roca. Según el autor pueden atender etapas en las que se generan los poros, los procesos que intervienen o a ambos hechos. En esta tesis haremos mención de la clasificación de Choquette y Pray (1970) por ser la más utilizada.

Clasificación de la porosidad según Choquette y Pray (1970).

El éxito de esta clasificación puede atribuirse a considerar tipos de poros descriptivos, que a la vez poseen un significado genético.

Entre sus características se da importancia al hecho de si la porosidad guarda o no relación con la textura de la roca, introduciendo en la clasificación la categoría de poros selectivos o no selectivos respecto a la fábrica de la roca. Con frecuencia la porosidad en las rocas no se presenta al azar, sino que es selectiva, lo que es útil a la hora de establecer el origen de la porosidad.

Etapas de la porosidad según Choquette y Pray (1970), ver Figura 14.

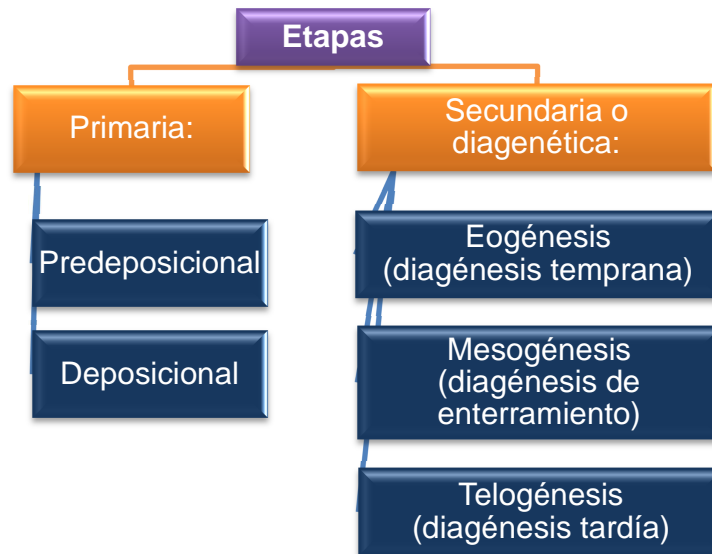


Figura 14 Etapas de la porosidad (según Choquette y Pray, 1970)

La porosidad primaria es el resultado del acomodo de los clastos en el momento de la sedimentación.

La porosidad primaria depende de:

- ☛ El ambiente de depósito de los sedimentos
- ☛ El grado de uniformidad del tamaño de la partícula
- ☛ La naturaleza de los materiales que componen la roca
- ☛ El contenido de la matriz que tenga la roca

La porosidad secundaria se refiere a acontecimientos postdeposicionales, por ejemplo:

- ☛ Fracturamiento
- ☛ Disolución
- ☛ Cementación
- ☛ Compactación debida al incremento en la carga litostática

La clasificación considera 15 tipos básicos de poro como se observa en la Tabla 4, sobre los cuales establece tres géneros de modificadores que permiten una caracterización más completa de los mismos, tanto desde el punto de vista geométrico como genético. Los modificadores matizan y determinan el carácter de la porosidad. Se trata de 15 tipos descriptivos de poros, siete de los cuales se consideran más frecuentes y los ocho restantes más esporádicos.

Tipos básicos de poros más frecuentes:

De fábrica selectiva

Porosidad primaria:

- ☛ *Intergranular: Poros condicionados por los granos*
- ☛ *Intragranular: Porosidad dentro de los granos*
- ☛ *Fenestral: Porosidad asociada al desprendimiento de burbujas de gas debido a la putrefacción de la materia orgánica.*

Porosidad secundaria:

- ☛ *Móldico: Porosidad asociada a la disolución selectiva de granos en etapas más o menos tempranas de la diagénesis.*
- ☛ *Intercristalino: Poros formados entre los cristales*

De fábrica no selectiva

Porosidad secundaria:

- ☛ *Fractura: Relacionada con efectos tectónicos (diagénesis avanzada)*
- ☛ *Vugular: Asociada a procesos de disolución en etapas tardías de la diagénesis, tamaño superior a 1/16 mm*

Modificadores genéticos:

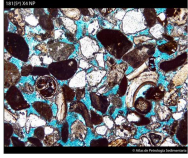
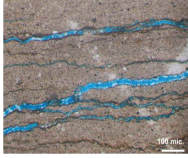

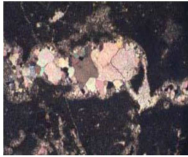
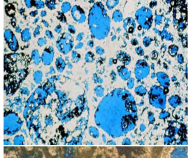
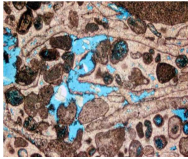
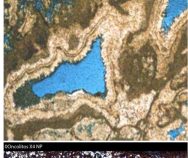

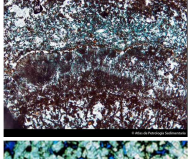
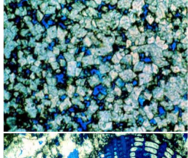

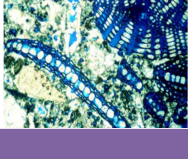
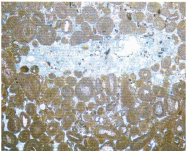
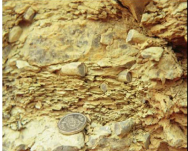

Proceso implicado:

- ☛ Disolución.
- ☛ Cementación.
- ☛ Sedimentación interna.

Etapas en que tiene lugar:

- ☛ Primaria (predeposicional, deposicional).
- ☛ – Secundaria (eogénesis, mesogénesis, telogénesis).

Tabla 4 Tipos de porosidad según Choquette & Pray (1970)

Condicionada por fábrica		No condicionada por fábrica							
Primaria		Interpartícula	BP	Secundaria		Fractura	FR		
		Intrapartícula	WP			Canales	CH		
		Fenestral	FE			Vugulos	VUG		
		Geopetal	SH			Caverna	CV		
		De crecimiento	GF						
Secundaria		Intercristalina	BC	Condicionada o no por fábrica		Brechoide	BR		
		Móldica	MO			Perforación	BO		
					Galería	BU		De desecación	SK

Nota: imágenes tomadas de

<http://www.limarino.com.ar/Curso%20Ingenieria/Modulo%205.pdf>

Lucino Amaya, "Apuntes de la asignatura de geología de yacimientos naturalmente fracturados", 2010, México

Esta clasificación permite además considerar sistemas porosos que sean compuestos con respecto a los tipos básicos de poro. Así, con frecuencia, muchas calizas presentan más de un tipo de poro, que pueden analizarse separadamente teniendo en cuenta sus proporciones y relaciones en la porosidad total de la roca.

En resumen, se trata de una clasificación muy completa, detallada y precisa en cuanto a los tipos de poros, su origen y evolución; en contrapartida requiere un buen conocimiento de los procesos sedimentológicos para ser aplicada.

Comparación de la porosidad entre calizas y areniscas.

Resulta ilustrativo comparar la porosidad entre areniscas y calizas. En primer lugar destaca la elevada porosidad inicial en ambos materiales, es decir como sedimentos, y después la mayor reducción que experimenta esa porosidad inicial durante la diagénesis en las calizas como se observa en la [Tabla 5](#).

Tabla 5 Comparación de la porosidad entre calizas y areniscas

	Caliza	Arenisca
Porosidad inicial	0 -70 %	25 – 40%
Porosidad final	5 - 15 %	15 – 30 %
Tipos de poros iniciales	Inter/intragranulares	Intergranulares
Tipos de poros finales	Variados	Intergranulares
Relación entre tamaño de poros y granos	Poca	Elevada
Relación entre la forma de poros y granos	Variada	Inversa
Homogeneidad de un cuerpo rocoso	Variable	Elevada
Influencia de la diagénesis	Mucha	Poca
Evaluación visual	Variable	Fácil
Relación con la permeabilidad	Variable	Buena

Procesos que favorecen la porosidad

Conservación de la porosidad primaria:

- ☛ Por cementación temprana: formación de un armazón rígido (la cementación de carbonatos es más rápida en la zona freática y en aguas dulces)
- ☛ En ausencia de compactación: enterramiento poco profundo
- ☛ Por presentar minerales estables
- ☛ Por existir barreras de permeabilidad
- ☛ Por la entrada de petróleo.

Creación de la porosidad secundaria:

- ✿ Por disolución en aguas dulces (en presencia de minerales inestables la disolución generan moldes: porosidad móldica) por acción de organismos
- ✿ Por cambios mineralógicos: dolomitización
- ✿ Por expulsión del agua de las arcillas
- ✿ Por migración de petróleo
- ✿ Por el desarrollo de fases tensionales, que generan fracturas.

Procesos que destruyen la porosidad

La destrucción de la porosidad está relacionada con la profundidad de enterramiento que alcanza el material y que controla en gran medida su diagénesis.

Entre los procesos que intervienen cabe citar:

- ✿ Sedimentación interna
- ✿ Compactación mecánica
- ✿ Cementación temprana
- ✿ Cementación tardía
- ✿ Disolución por presión

La evolución de la porosidad –asociada a los procesos de litificación– tiene un sentido de pérdida normalmente.

Importancia de los carbonatos para la industria petrolera

Dada la heterogeneidad de los yacimientos carbonatados, debida a la susceptibilidad de los minerales que lo componen a las variaciones químicas, físicas y biológicas durante y después de la depositación, resulta compleja su caracterización por las inexistentes o complicadas interrelaciones entre la permeabilidad y la porosidad, siendo prioridad para la industria petrolera posibilitar una mayor comprensión de las rocas carbonatas, para producir el máximo de reservas del subsuelo, ya que en este tipo de yacimientos se encuentra más del 60% de las reservas de petróleo del mundo y un 40% de las reservas mundiales de gas como se observa en la Figura 15. Mientras que en la Figura 16 observamos la distribución de las regiones petroleras y campos más importantes en carbonatos de Calcio en yacimientos naturalmente fracturados de México.

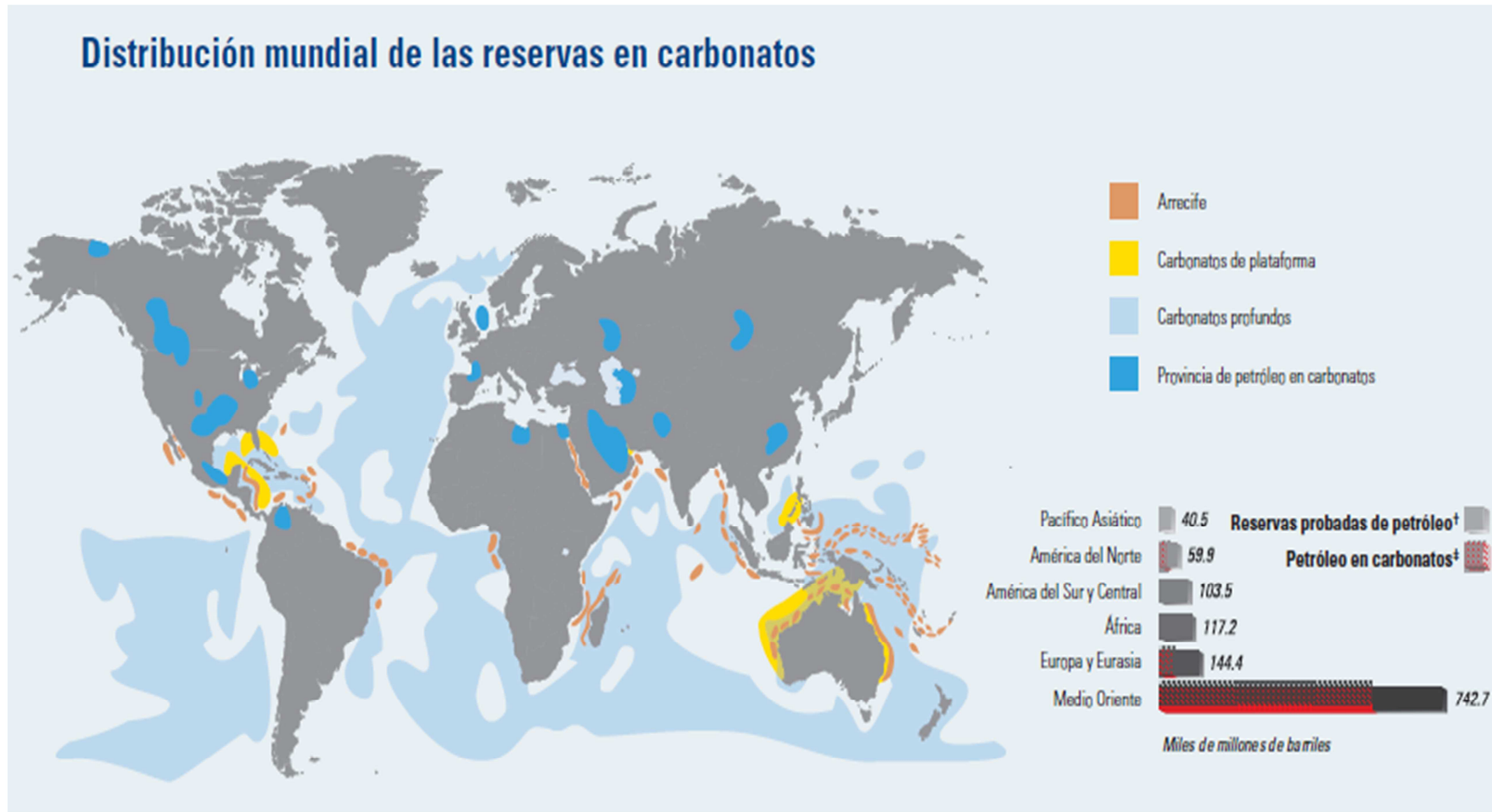


Figura 15 Distribución mundial de las reservas en carbonatos (Schlumberger, 2008)

Registros geofísicos y caracterización de la secuencia Cretácica del pozo Yaxcopoil-1, Yucatán.

Reservas totales (3p) de hidrocarburos al 1 de Enero de 2011
 Datos Estadísticos (Pemex, 2011)

Imagen modificada (Pemex, 1999)

Información (Pemex, 2005)

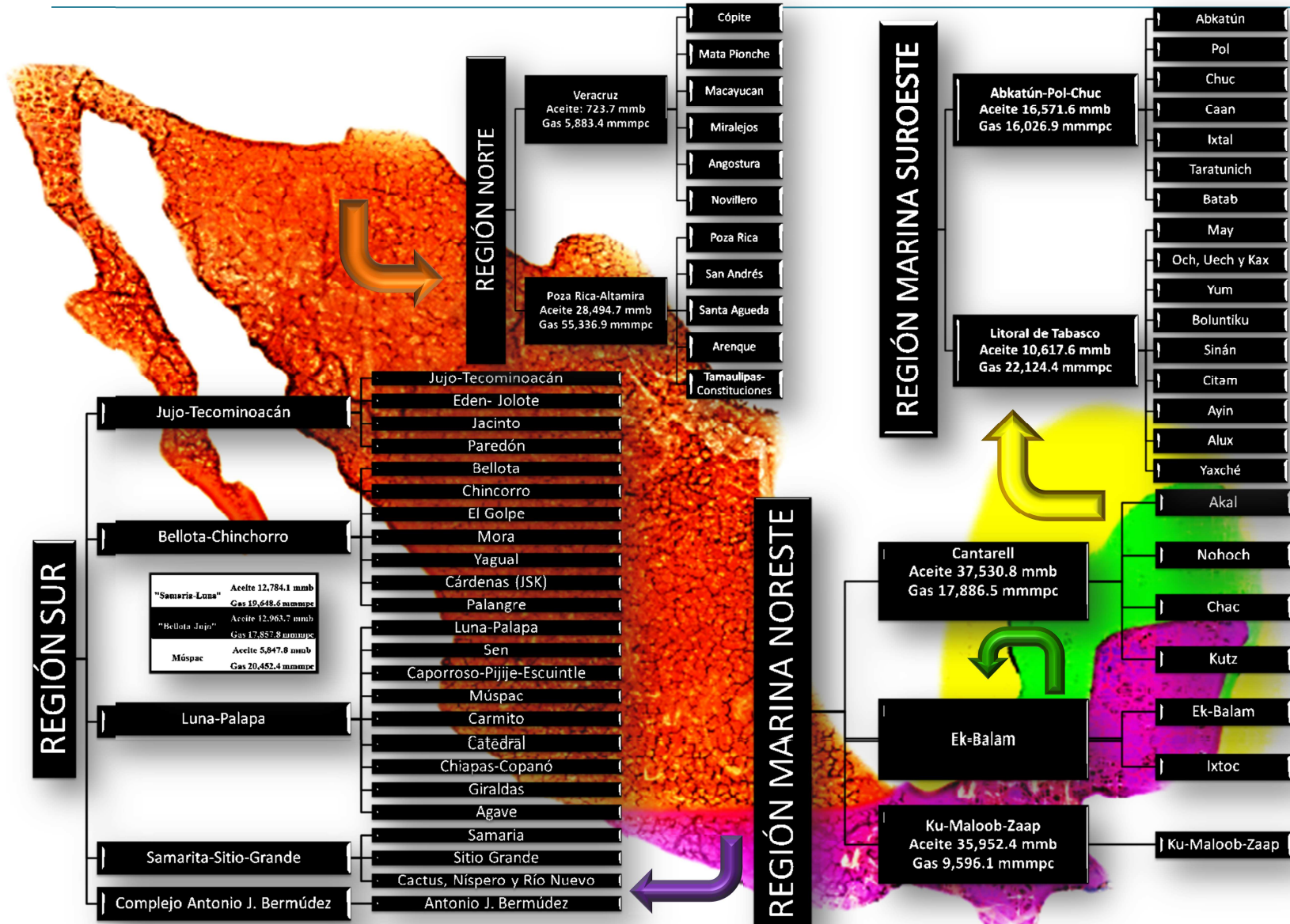


Figura 16 Distribución de las regiones petroleras y campos más importantes en carbonatos de calcio en yacimientos naturalmente fracturados de México.

Plataforma Carbonatada de Yucatán.

La plataforma carbonatada de Yucatán posee una amplia extensión que comprende parte del territorio nacional en el sector sureste, cuya parte emergida constituye la península de Yucatán, como se aprecia en la [Figura 17](#).



Figura 17 Plataforma carbonatada de Yucatán

En general, las plataformas de ambientes carbonatados se desarrollan en aguas someras comúnmente de baja energía, en donde el influjo de terrígenos es inexistente o mínimo. La formación de carbonatos está fuertemente influenciada por factores como el tipo de fauna, clima, la entrada de terrígenos y la salinidad. El equilibrio entre la producción y el transporte de sedimentos determina el potencial de crecimiento de la plataforma

La mineralogía presente no es compleja, está básicamente constituida por aragonita, calcita y dolomita. A pesar de que la mayoría de los sedimentos son biogénicos, la precipitación de lodo calcáreo y ooides también puede ser considerable. Los minerales evaporíticos y las arenas de cuarzo, provenientes de ambientes adyacentes de terrígenos complementan la litología del sistema.

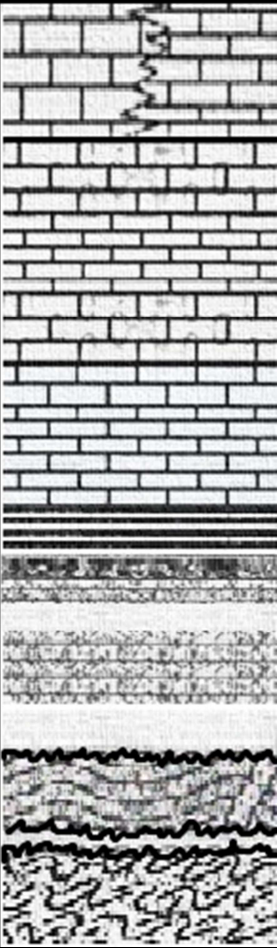
La geología de la plataforma de Yucatán se caracteriza por un basamento metamórfico y una capa gruesa de sedimentos marinos de la era Paleozoica, sobre la cual encontramos sedimentación continental hasta el periodo Jurásico. Durante los periodos comprendidos desde el Cretácico hasta el Cuaternario encontramos una secuencia sub-horizontal de carbonatos y evaporitas que corresponden a una cuenca carbonatada limitada por arrecifes del Cretácico Temprano, en la [Tabla 6](#) se muestra la columna estratigráfica de la península de Yucatán.

Debido a que la secuencia estudiada en esta tesis se ubica en el periodo Cretácico, ahondaremos un poco más en él.

El Cretácico inferior (Ki) constituye el inicio de una extensa fase de depósitos de carbonatos y evaporitas en la plataforma de Yucatán que se continuó hasta el Cuaternario. López Ramos (1973,1975) propone el nombre de Evaporitas Yucatán para la secuencia que subyace la Formación Todos Santos conformada por lechos rojos, en la parte norte y centro de Yucatán pertenecen al Cretácico Inferior y en la parte de Guatemala y Belice de probable edad Cretácico Inferior a Cretácico Medio. En la parte más baja del Cretácico se tienen estratos de cuarzo, limos y dolomía, los cuales se infiere se acumularon en la planicie de supramarea sobre las areniscas jurásicas cuando el nivel del mar transgredió el oriente.

En 1952, G. Flores realizó un reconocimiento en las montañas Maya en Belice, donde encontró una serie de calizas, calizas dolomíticas y dolomías con una delgada capa de arenisca, cuya fauna pertenece desde tipo lagunal hasta depósitos de post-arrecife, pertenecientes al Cretácico superior (Ks).

Tabla 6 Columna estratigráfica de la península de Yucatán (Modificada de López Ramos, 1975).

EDAD (Ma)	ERA	PERIODO	ÉPOCA	COLUMNA ESTRATIGRÁFICA	GEOLOGÍA	
0.01 - 0	CENOZOICO	CUATERNARIO	HOLOCENO		-Sedimentos calcáleros Calizas bioclásticas. Lutitas y limolitas.	
1.8 - 0.01			PLEISTOCENO			
5.3 - 1.8		NEÓGENO	PLIOCENO		-Caliza masiva bioclástica, lutitas y limolitas. Calizas fosilíferas recristalizadas, margas y yeso. Formación Bacalar y Formación Río dulce.	
23.8 - 5.3			MIOCENO		-Calizas con alto contenido fósil.	
33.7 - 23.8			OLIGOCENO		-Calizas microcristalinas. Formación Chichenitzá y Formación Pisté.	
54.8 - 33.7		PALEÓGENO	PALEOCENO		EOCENO	-Calizas dolomitizadas. Formación Icacché.
65 - 54.8						
144 - 65	MESOZOICO	CRETÁCICO		-Roca Fundida. Breca de impacto. Yeso, lutitas, limolitas y calizas. Rocas volcánicas, terrígenas, carbonatadas y evaporíticas. Cuerpos salinos, areniscas y calizas.		
206 - 144		JURÁSICO		-Secuencia sedimentaria de Lechos rojos: conglomerados, areniscas, lutitas y calizas. Formación Todos Santos.		
248 - 206		TRIÁSICO				
290 - 248	PAELOZOICO	PÉRMICO		-Grupo vulcano-sedimentario Santa Rosa. Calizas. Lutitas, calizas y dolomitas. Conglomerados, areniscas y tobas. Intrusivos graníticos.		
354 - 290		CARBONÍFERO		-Grupo geomorfológico Chuacus. Filitas y esquistos. Marmól.		
417 - 354		DEVÓNICO		Gneis de hornblenda. Granitos, gneises y migmatitas.		

Estudios geológicos revelan la presencia de hidrocarburos en el Bloque de Yucatán en la parte occidente en los sectores de Reforma, Campeche y la Cuenca de Macuspana. Al sur-occidente en la Faja Plagada de Chiapas y Guatemala (Sierra de Chispa), siendo el Campo Xan de Guatemala el único yacimiento comercial. Sin embargo debe considerarse la posible presencia de un sistema petrolífero dentro del bloque, debido a que el basculamiento del Bloque de Yucatán hacia el occidente ha creado la geometría ideal para capturar la migración de hidrocarburos procedentes de las trampas del Pilar de Akal y la Cuenca de Macuspana. Es viable teorizar que los hidrocarburos hayan entrado por la orilla de la plataforma y se hayan desplazado hacia la plataforma interna siendo almacenados en arrecifes, bancos de calcarenita o acuñamientos de porosidad entre sellos compuestos de gruesas capas de anhidrita, ver [Figura 18](#).

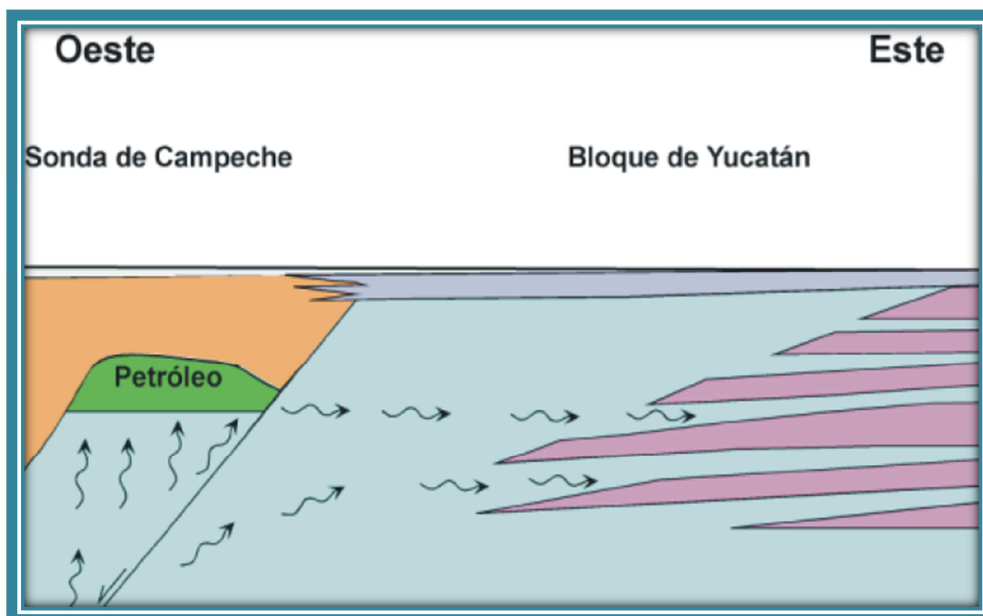


Figura 18 Sección longitudinal esquemática mostrando posibles rutas de migración desde la Sonda de Campeche (Joshua H. Rosenfeld, 2002).

Cráter Chicxulub.

El Cráter Chicxulub se formó a partir del impacto de un meteorito contra la superficie terrestre hace 65 millones de años aproximadamente, tiene un diámetro de más de 180 km y se define morfológicamente como una cuenca multianillada con un levantamiento central, sepultada por una secuencia de carbonatos y

evaporitas de edad cretácica. Se localiza en la porción noroeste de la península de Yucatán, [Figura 19](#), cerca del Puerto Chicxulub.



Figura 19 Localización del cráter de impacto de Chicxulub en la península de Yucatán (Urrutia et al 2011).

Las primeras perforaciones en la península de Yucatán iniciaron en la década de los cincuenta, cuando PEMEX perforó 8 pozos exploratorios, siendo el pozo Chicxulub-1 el primero. Durante la perforación del programa, se obtuvieron ocurrencias inusuales de rocas cristalinas y brechas.

En 1975 PEMEX realizó pruebas de gravedad y magnetismo que permitieron identificar anomalías circulares de gran amplitud sobre el sector noroeste de la península de Yucatán, estas anomalías fueron interpretadas en términos de una estructura de impacto por Camargo y Pienfield (1981). Los resultados indicaron que la estructura de impacto marcaba el final de la era del Cretácico lo cual resultó de gran interés y dio inicio a nuevos estudios para obtener la mayor cantidad de información del cráter.

En 1993 PEMEX inicio un programa de perforación con fines de exploración petrolera. Después de analizar la información obtenida por PEMEX la UNAM planteó la recuperación continua de núcleos durante la perforación de pozos distribuidos en la zona del cráter. La ubicación de los pozos perforados por PEMEX y la UNAM se observan en [Figura 20](#).

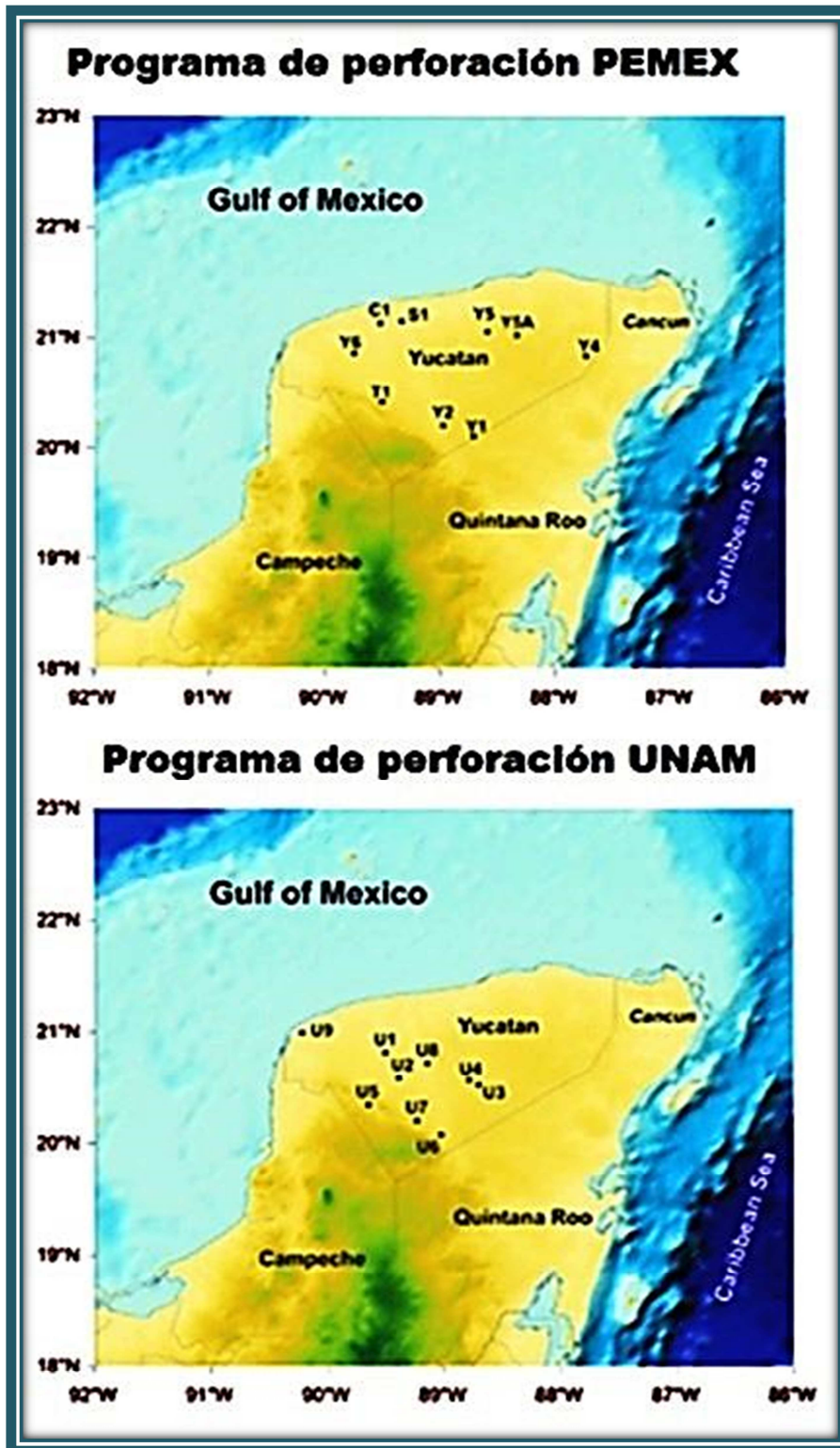


Figura 20 Localización de los sitios de perforación en la península de Yucatán.

Con la información que se obtuvo de los núcleos obtenidos por PEMEX y la información por parte de las perforaciones realizadas por la UNAM se lograron determinar las principales divisiones litológicas de la zona Figura 21.

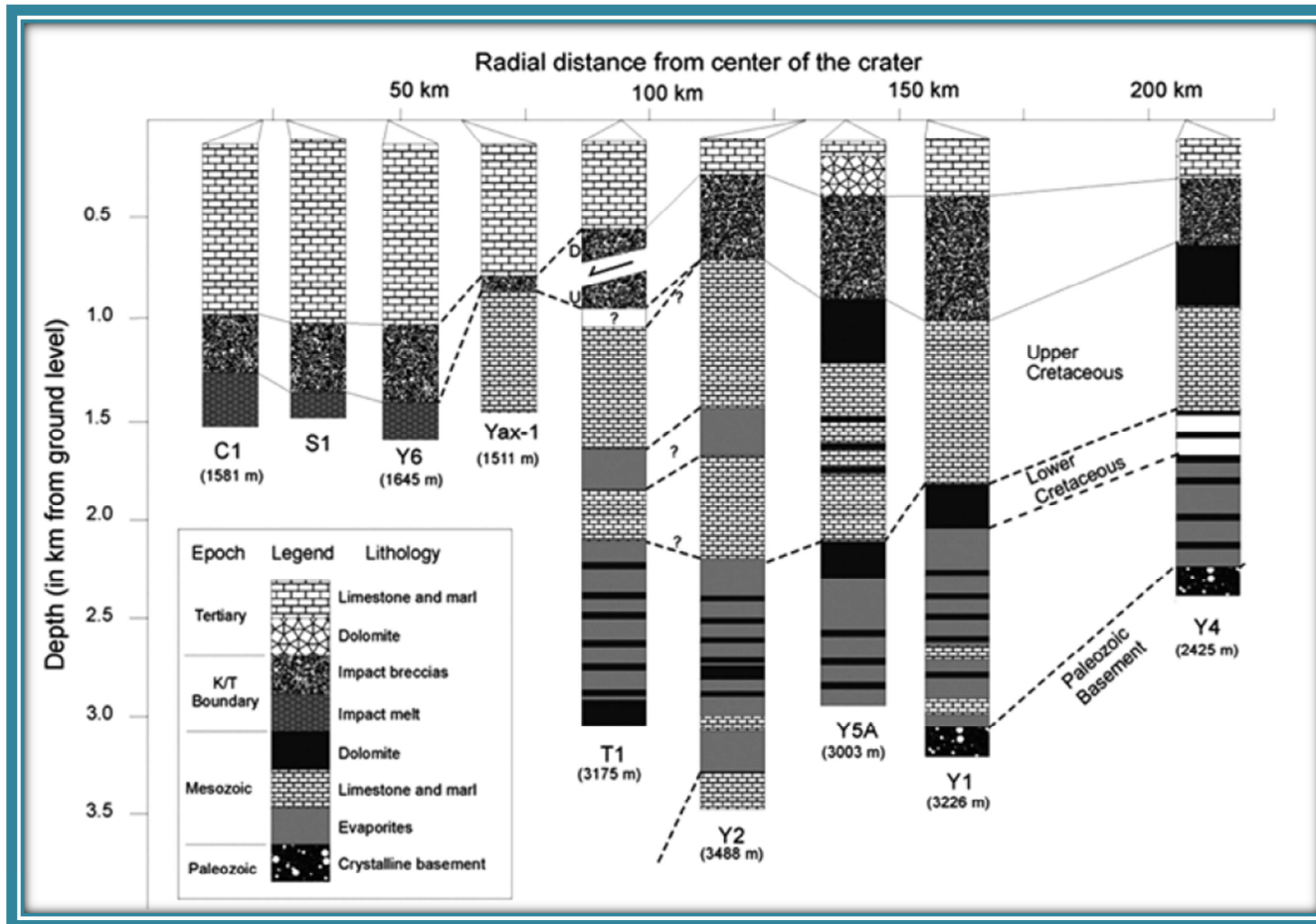


Figura 21 Columnas esquemáticas de los pozos de PEMEX y el Yaxcopoil-1 (Rebolledo-Vieyra y Urrutia-Fucugauchi, 2004).

El pozo Yaxcopoil-1

El pozo Yaxcopoil-1 (Yax-1) se localiza 60 kilómetros al sur del centro de la estructura del impacto del Chicxulub, en las coordenadas 20.74° N, 89.72° W, como se puede apreciar en la Figura 22. Con fines de investigación científica se llevó a cabo la extracción de núcleos con el objetivo de identificar y estudiar directamente la litología del cráter.

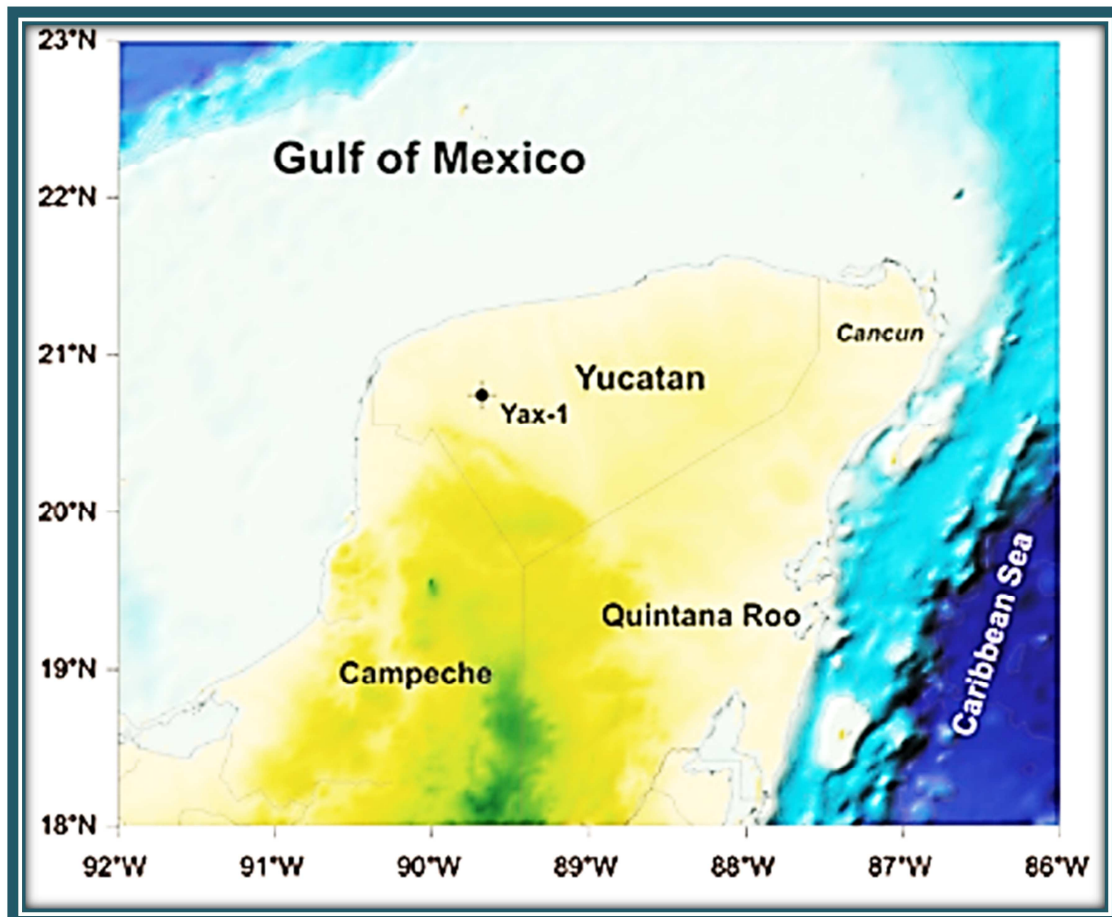


Figura 22 Localización del pozo Yaxcopoil-1.

Perforación y recuperación de núcleos del pozo Yaxcopoil-1.

El proyecto de perforación inició en Diciembre del 2001 y finalizó en marzo del 2002. La recuperación de núcleos se realizó con un método de extracción continua, logrando una perforación rápida. Mediante este método (DOSECC Sistema híbrido de extracción de muestras) los núcleos se recuperan a través de la tubería, permitiendo que la perforación y extracción de núcleos sea ininterrumpida, sin necesidad de sacar constantemente la sarta de perforación. En la Figura 23 se observa parte del trabajo realizado en la Hacienda Yaxcopoil.



Figura 23 Operaciones de recuperación de núcleos en la Hacienda Yaxcopoil (Urrutia et al 2011).

El intervalo nucleado va del intervalo comprendido entre los 404 m hasta 1510.6 m de profundidad, del cual se lograron distinguir 3 Subintervalos principales. Una secuencia de rocas carbonatadas terciarias de los 404 m hasta los 795 m de profundidad, compuestos por calizas y margas calcáreas principalmente, de los 795 m a los 895 m de profundidad se identificó un bloque de impactitas, formadas por una serie de brechas polimicticas ricas en material fundido. Finalmente de los 895 m a los 1511 m de profundidad esta un bloque perteneciente al Cretácico compuesto por calizas, dolomías y anhidritas principalmente. Estos Subintervalos se pueden apreciar en la Figura 24 que se muestra a continuación.

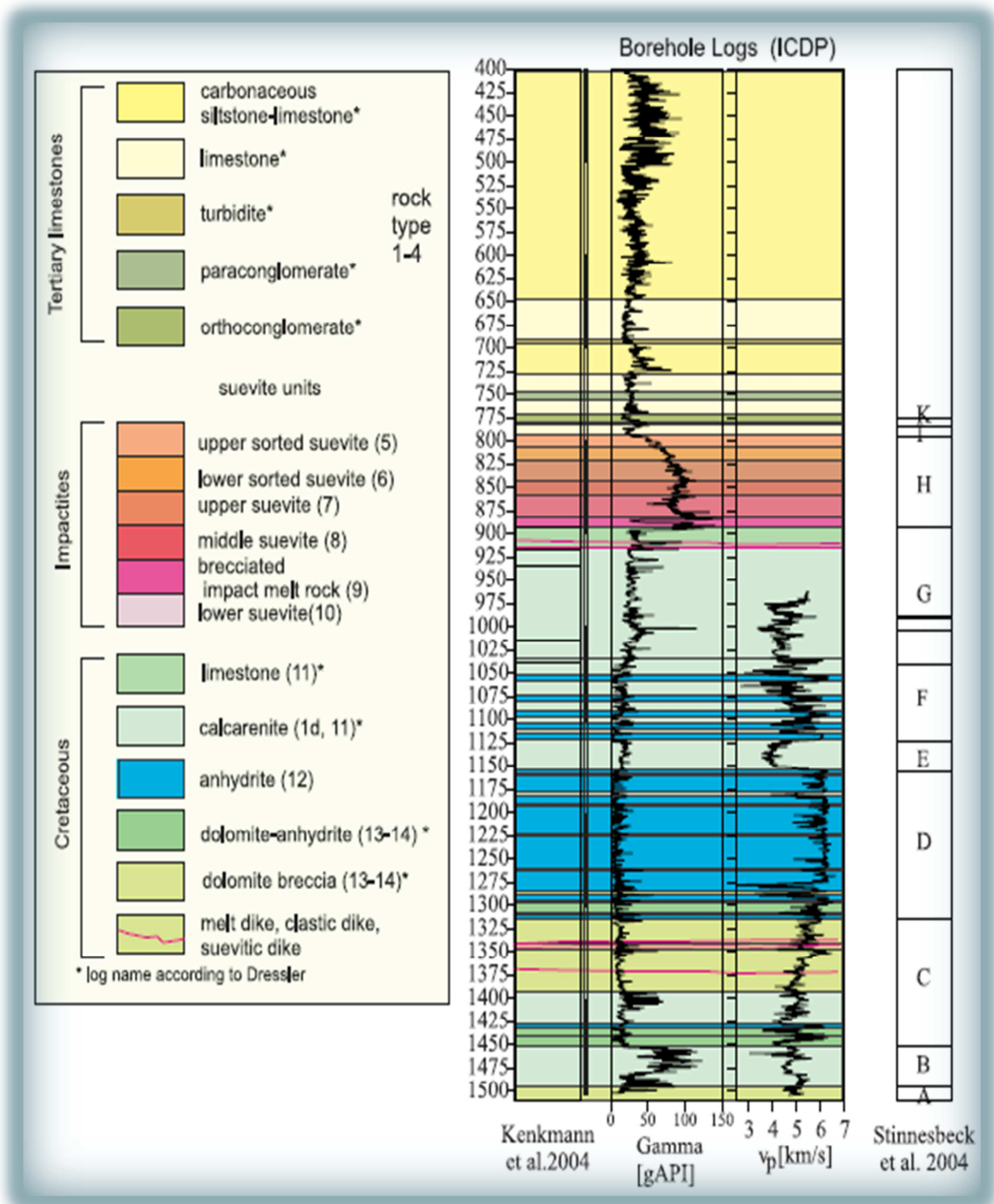


Figura 24 Litología y registros del pozo Yaxcopoil-1, Yucatán (Kenkmann et al. 2004)

Capítulo 2

Registros geofísicos

Capítulo 2 Registros geofísicos

Mediciones al perforar pozos.

Los primeros estudios utilizados por la Ingeniería Petrolera consistían en prospecciones sísmicas. Estos métodos permitían identificar la estructura del subsuelo de manera burda en aquellos tiempos, por lo tanto era necesaria la perforación de varios pozos para obtener información consistente sobre los intervalos de interés petrolero.

La industria petrolera para abatir costos en cuanto la perforación de pozos secos se vio en la necesidad de obtener información cada vez más precisa del subsuelo, dando como resultado la innovación constante tanto de los procedimientos como de la tecnología. De manera directa se comenzaron a analizar los recortes en los fluidos de perforación, de forma indirecta se introdujeron conductores eléctricos a través de pozo para medir la resistividad eléctrica de la roca y de los fluidos confinados en ella. Los métodos y la tecnología fueron evolucionando, en la Figura 25 se muestran algunos ejemplos.



Figura 25 Ejemplos de registros y procedimientos en la industria petrolera.

A pesar de que lo ideal es recabar la mayor cantidad de información posible no se lleva a cabo principalmente por motivos económicos.

En este trabajo se comparan los registros que se tomaron en el pozo Yaxcopoil-1 (registro sísmico y registro de rayos gamma) contra los registros generados a partir del análisis de los núcleos correspondientes al intervalo de profundidad que abarca de los 1425.48 m a los 1510.4 m, pero antes de eso definiremos y asentaremos la importancia de los registros geofísicos.

Definición e importancia de los registros geofísicos.

Un registro geofísico es la representación gráfica de una propiedad física de la roca contra la profundidad; este forma una de las herramientas más útiles y eficaces para la obtención de información de un yacimiento.

Mediante los registros geofísicos podemos determinar algunas propiedades físicas de la roca que nos permiten evaluar el potencial de producción de hidrocarburos, además de elaborar un plan de explotación eficiente. Algunos de los objetivos de realizar un registro geofísico se muestran en la Figura 26.

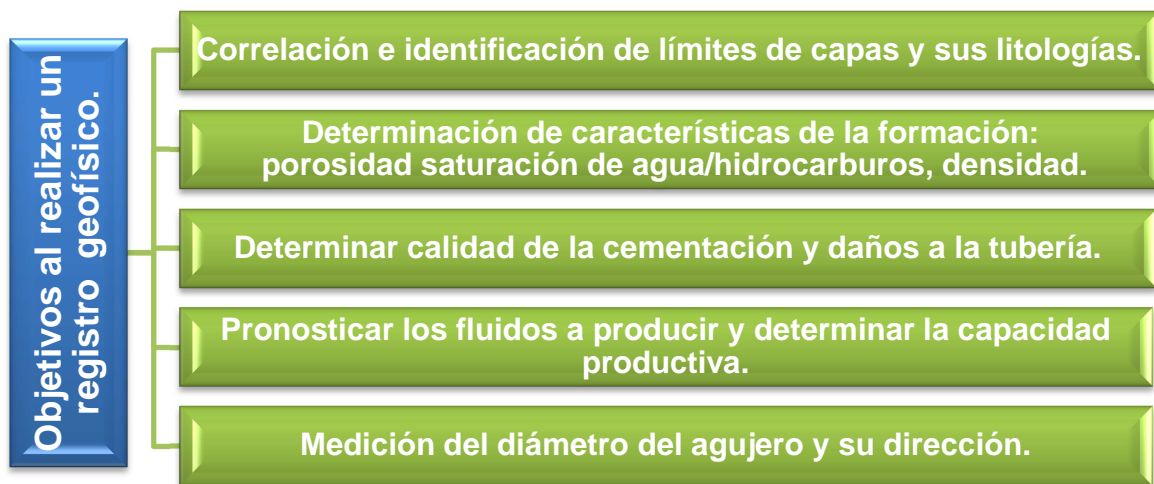


Figura 26 Objetivos al realizar un registro geofísico.

El análisis y la interpretación de datos obtenidos mediante los registros geofísicos permiten inferir propiedades que no se pueden medir de forma directa a no ser que extraigan núcleos.

Evolución de los registros geofísicos.

Las primeras investigaciones realizadas con registros geofísicos inician en el año de 1912 cuando Conrad Schlumberger realizó experimentos de prospección del subsuelo en un pozo petrolero, en la Figura 27 se aprecia cómo se realizaban estos estudios; sin embargo fue hasta el año 1927 cuando los hermanos Schlumberger intentaron localizar una formación productora de hidrocarburos mediante un registro de resistividad.



Figura 27 Conrad Schlumberger, año 1912.

El método de prospección fue utilizado por H. G. Doll en el campo petrolero llamado Pechelbronn ubicado en Francia, bajando un instrumento de medición de fondo a través de un pozo vertical, el instrumento se paraba en intervalos periódicos dentro del agujero registrando mediciones de resistividad, en base a estos resultados se trazaba una gráfica que representaba la columna geológica que atravesaba el pozo; Debido a su gran utilidad para identificar zonas con hidrocarburo se comercializó rápidamente dentro de la industria petrolera.

Las investigaciones de los hermanos Schlumberger se siguieron desarrollando, tomaron en cuenta un potencial generado por el instrumento de

medición de fondo al entrar en contacto con el lodo de formación o con los fluidos propios de la formación, el cual se presentaba con o sin ningún tipo de corriente y lo llamaron potencial espontáneo; con la combinación de estas curvas de resistividad obtuvieron lo que se conoce como registro eléctrico convencional.

Con el avance y la necesidad de obtener mayor información se comenzó a trabajar con las propiedades radiactivas de las rocas con el registro de rayos gamma, logrando determinar la arcillosidad de las rocas cualitativamente, esto en el año de 1939.

Cuando se tenían formaciones porosas de calizas los registros utilizados hasta el momento eran ineficientes, debido a esto se implementó un registro de neutrones, el cual consistía en emitir neutrones que interactuaban directamente con el hidrógeno de la formación, lo cual se relaciona con la porosidad, esta propiedad y sus mejoras posteriores lo colocan como un indicador eficaz de la porosidad.

La introducción de estos dos registros mejoró la interpretación litológica de las formaciones, además de presentar la ventaja de correr el registro en pozos con tubería de revestimiento, así como en agujeros llenos de aire, gas o lodos de perforación a base de aceite.

En los años cincuenta se introdujo el microlog, utilizando un arreglo lineal con espaciamiento muy pequeño entre tres electrodos; los cuales entran en contacto con la pared del pozo, esto permitió conocer el factor de formación de las rocas, además de determinar el diámetro del agujero y delinear las capas permeables de la formación del lugar de medición.

A finales de los años cincuenta y en base a pruebas desarrolladas desde 1930 que consistían en megáfonos introducidos en el fondo del pozo para medir el tiempo de tránsito acústico de las rocas en diferentes intervalos de tiempo, el registro sónico resultó como un excelente indicador de la porosidad de la roca. En esta misma década se desarrolló el registro de densidad, el cual como su nombre lo indica podía precisar la densidad de las rocas perforadas, fue mejorando y hoy en día proporciona datos precisos del espesor y de la litología de la formación.

Además del avance independiente de cada una de las tecnologías empleadas para los registros, la incorporación del equipo de cómputo facilitó la captura de los datos y mejoró su presentación, permitiendo un mejor análisis.

En México hasta los años 70 se obtenían los registros geofísicos utilizando unidades de tipo convencional como la que se muestra en la Figura 28, estas unidades contaban con tableros electrónicos de control en la superficie y operaban

con un cable electromecánico de siete conductores. En el año de 1963 se introdujeron las primeras cabinas marinas y al siguiente año se empezaron a realizar los registros de inducción, en 1969 se hicieron registros de densidad y en 1971 fue introducido el registro de microproximidad. Para el año 1974 se usó el registro doble laterolog y en 1979 el registro de doble inducción.



Figura 28 Operación con paneles electrónicos y unidades convencionales.

En ese mismo año se sustituyeron los tableros de control por sistemas computarizados, esto cambió el sistema de registros y trajo nuevos avances a Petróleos Mexicano con la adquisición de unidades cibernéticas de compañías extranjeras como la que se muestra en la Figura 29. A partir de esto los sistemas computarizados se han modernizado frecuentemente y la unidad de perforación y mantenimiento de pozos se ha colocado a la vanguardia en tecnología de registros.



Figura 29 Unidad móvil Halliburton.

Herramientas necesarias para la toma de registros geofísicos.

Para llevar a cabo un registro se utiliza una unidad móvil o en el caso de pozos costa afuera se utiliza una unidad estacionaria. Estas unidades contienen un sistema computarizado, a través del cual se mandan señales de comando y potencia al equipo que se baja al fondo del pozo por medio de un cable electromecánico. Mediante estas señales el equipo emite una estimulación por medio de sensores a la formación y los resultados son enviados al sistema computarizado, esta unidad se aprecia en la Figura 30.

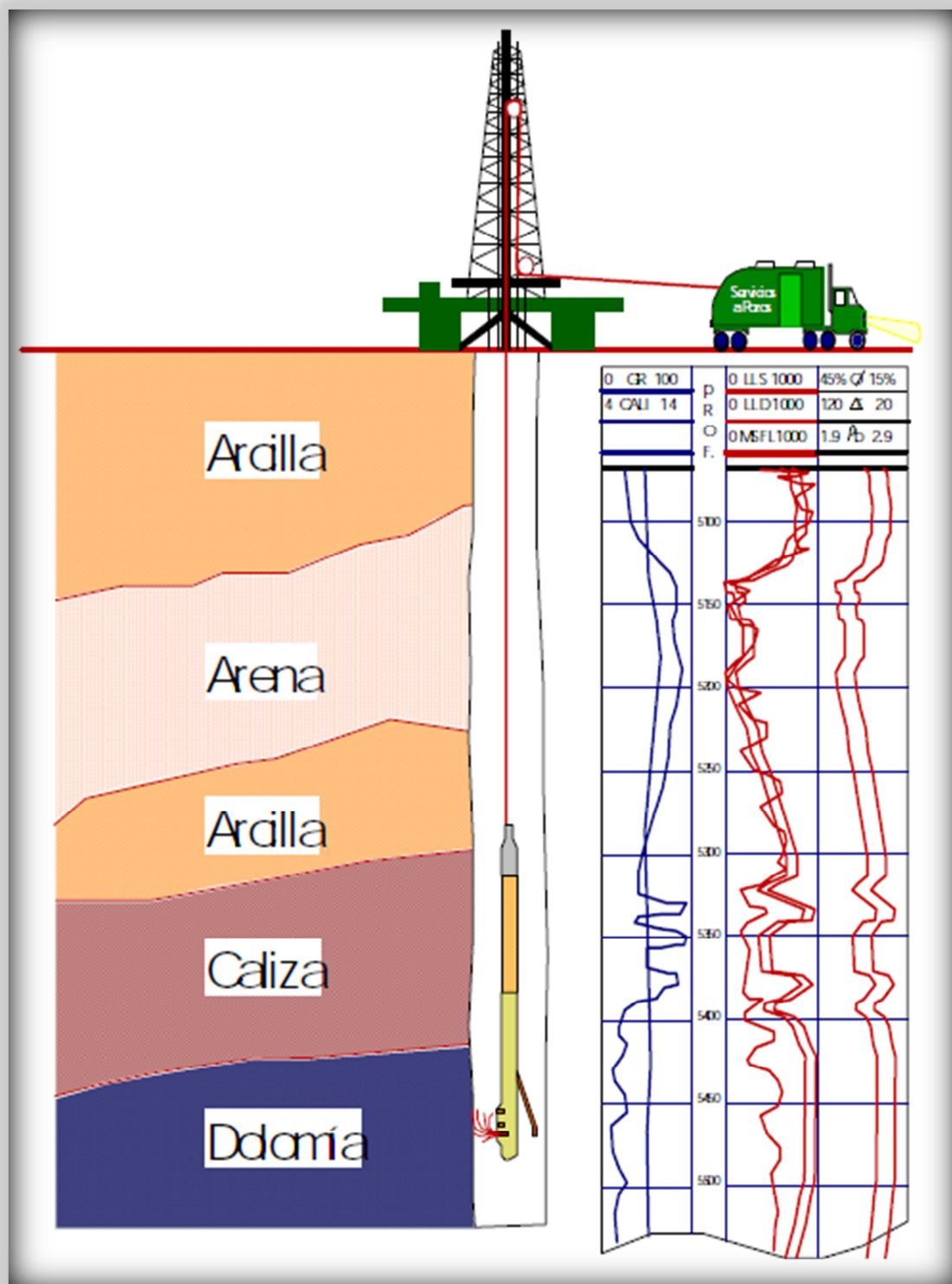


Figura 30 Equipo de toma de registros.

El equipo de fondo consta principalmente de la sonda que contiene los sensores y el cartucho electrónico que recibe las instrucciones, prepara la información y la envía al equipo computarizado en la superficie.

Las sondas se basan en diferentes principios físicos y a partir de eso se infieren diferentes propiedades petrofísicas, en la Figura 31 se muestran algunos equipos de fondo.

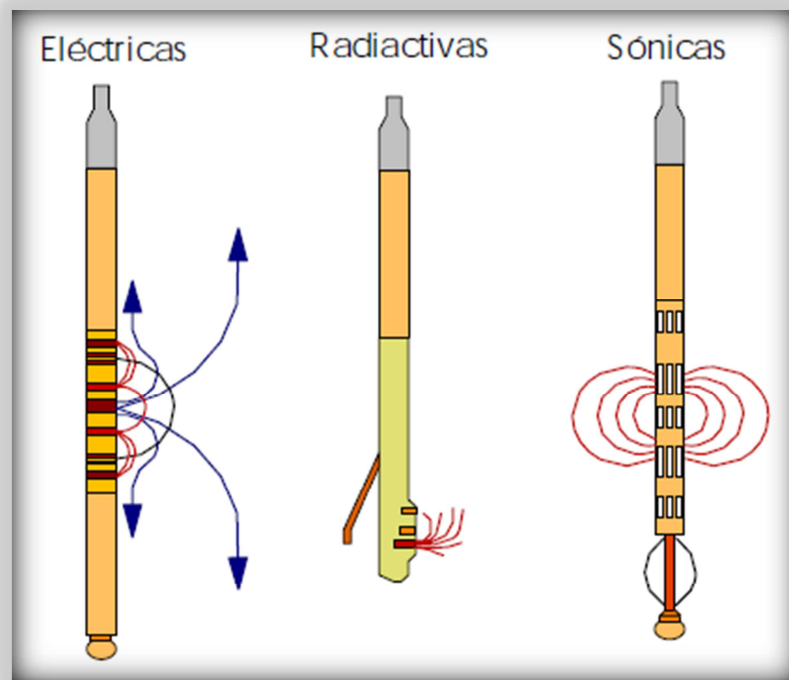


Figura 31 Herramientas de Fondo.

En función de la fuente de medida las sondas se pueden clasificar como se muestra en la Figura 32.



Figura 32 Tipos de sonda.

Clasificación de registros geofísicos.

Una vez que el pozo ha sido perforado existen dos formas de tomar registros geofísicos. La primera consiste en bajar la sonda a través del pozo cuando el pozo no ha sido entubado y cuando ya ha sido entubado. Esta clasificación se aprecia en la Figura 33.

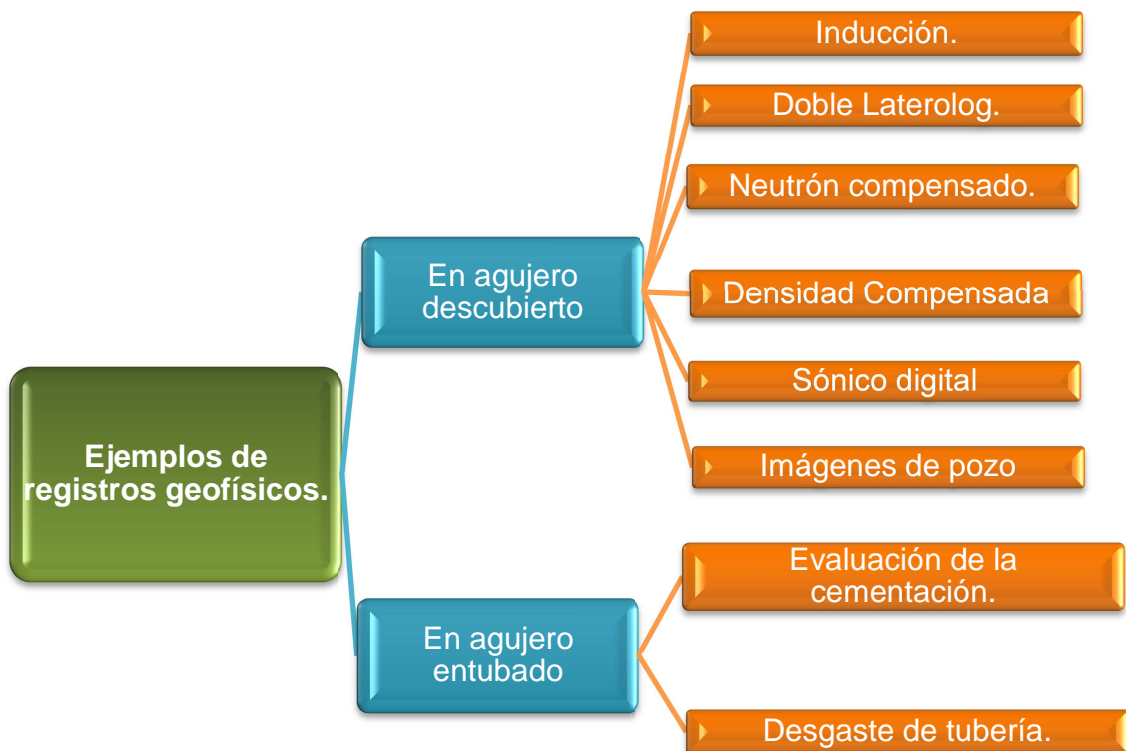


Figura 33 Ejemplos de registros geofísicos.

Los registros geofísicos en agujero descubierto se utilizan principalmente para obtener información de las propiedades de la formación tales como porosidad, resistividad eléctrica, etc. La clasificación de estos registros depende del principio de la herramienta utilizada, como se muestra en la Figura 34.

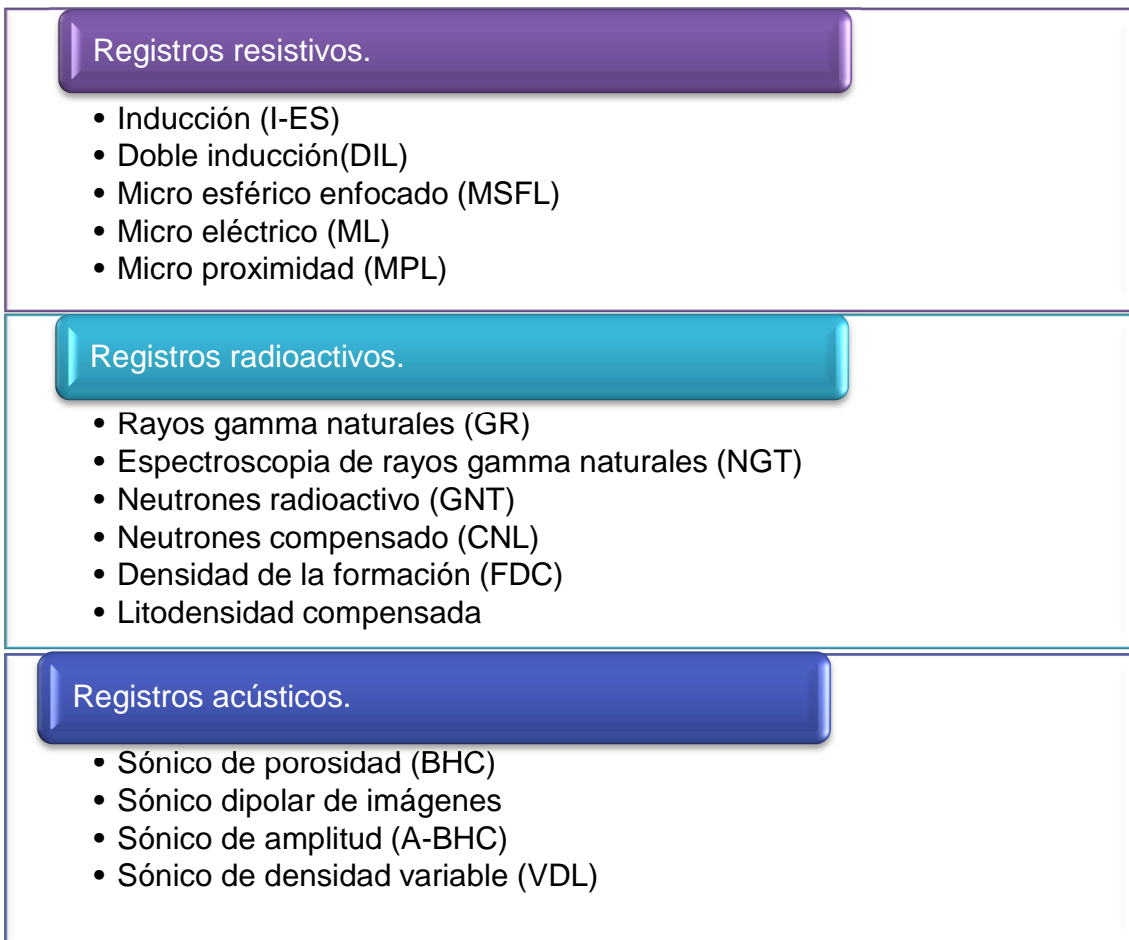


Figura 34 registros geofísicos en agujero descubierto.

Registro resistivo.

Un factor importante al analizar un yacimiento es cuantificar el volumen original de aceite o gas confinado. Una forma de obtener este valor es mediante el producto de la porosidad de la roca y la saturación del hidrocarburo.

La resistividad de una formación depende en parte del tipo de fluido que contiene. Conociendo el valor de la resistividad del agua de formación en conjunto con la porosidad se puede obtener la saturación del agua somera y profunda, la comparación entre estas ayuda a evaluar la productividad de la formación.

En el caso carbonatos de Calcio de porosidad baja, la resistividad es muy alta, mayor a 500 ohms por lo que se recomienda el registro doble laterolog.

Doble Inducción fasorial.

Este registro realiza mediciones de resistividad a tres diferentes profundidades:

- ☛ Resistividad de la zona virgen.
- ☛ Resistividad de la zona de transición
- ☛ Resistividad de la zona barrida.

El sistema fasorial cuenta con un equipo de autocalibración que mejora la precisión de respuesta y reduce los efectos de factores ambientales.

Algunas de las ventajas de la toma de este registro son:

- ☛ Correr el registro en pozos con lodos no conductivos.
- ☛ Tomas del registro en formaciones con contraste medio-alto de resistividad.
- ☛ Interpretación de formaciones con diámetros grandes de invasión.
- ☛ Permite realizar gráficos de invasión.

Doble laterolog telemétrico.

Con esta herramienta podemos variar tanto el voltaje emitido como la corriente mientras se mantenga constante el potencial producido. Esto brinda un amplio rango de mediciones y se pueden obtener dos mediciones profundas de investigación:

- ☛ Lateral somera (LIs).
- ☛ Lateral profunda (LId).

Con estas mediciones y el apoyo de la herramienta de enfoque esférico o microesférico se puede obtener la resistividad de la zona invadida y de la zona virgen.

Algunas de las ventajas de la toma de este registro son:

- ☛ Permite medir la resistividad de la zona virgen (R_t).
- ☛ Permite medir la resistividad de la zona lavada.
- ☛ Permite llevar a cabo un control de profundidad.

Un ejemplo de este registro se muestra en la [Figura 35](#)

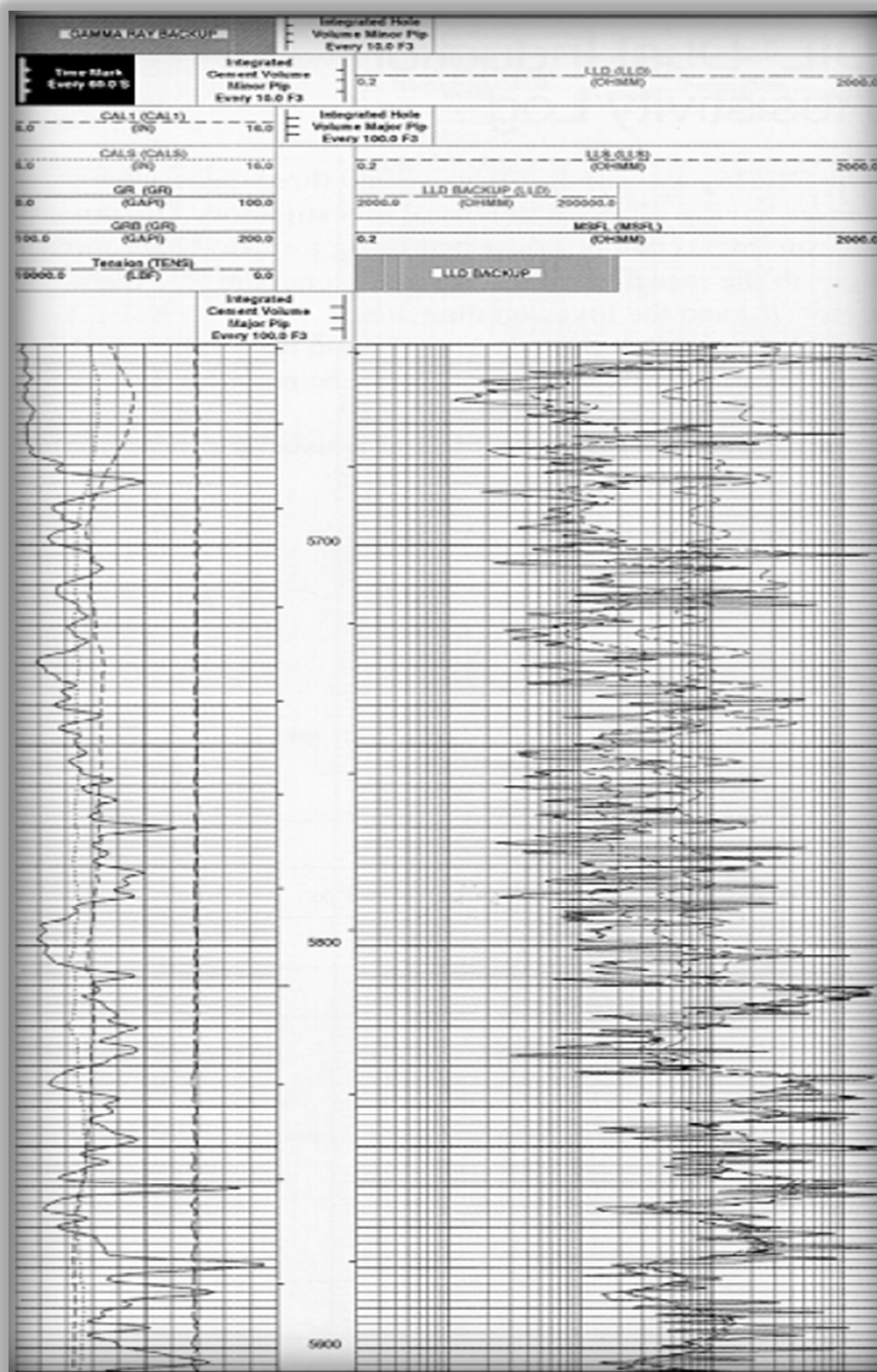


Figura 35 Ejemplo de registro doble laterolog telemétrico.

Microesférico enfocado.

Es importante conocer la resistividad de la zona virgen (R_t), para tener un dato exacto de esta zona se debe conocer la resistividad de la zona invadida (R_{xo}). Debido a esta situación surge el registro microesférico, el cual se basa en el principio de enfoque esférico utilizado en los equipos de inducción pero con un espaciamiento de electrodos mucho menor. Los electrodos se colocan en un patín de hule y durante la toma del registro se apoyan directamente sobre la pared del pozo.

Algunas de las ventajas de la toma de este registro son:

- Permite medir la resistividad de la zona lavada.
- Permite localizar zonas porosas y zonas permeables.

Registro radioactivo.

Este registro utiliza fuentes radiactivas, las cuales emiten partículas hacia la formación y tras analizar la forma de interacción de éstas podemos inferir propiedades de la formación como la porosidad, presencia de gas o de formaciones arcillosas.

Se pueden realizar diferentes registros geofísicos radiactivos dependiendo de la herramienta nuclear utilizada, de las cuales se tienen tres tipos y se muestran en la Figura 36.

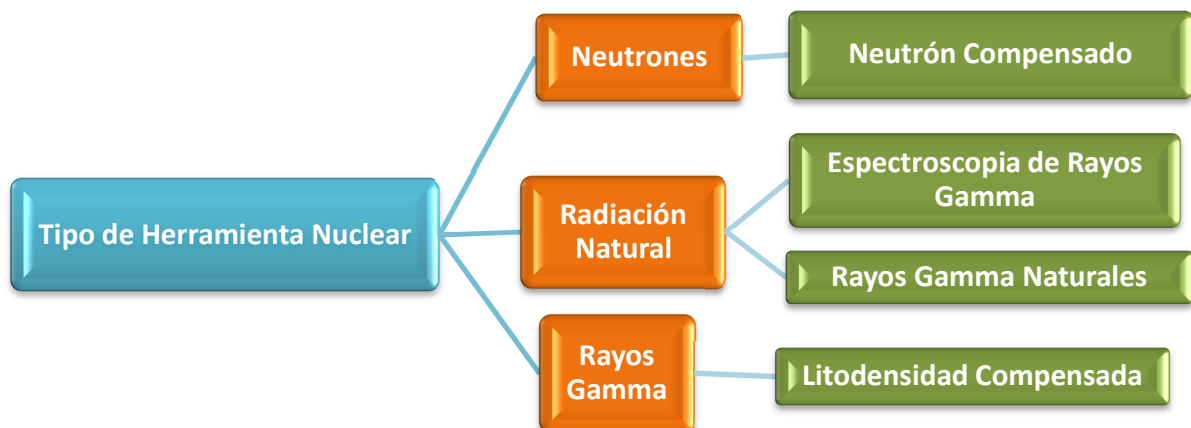


Figura 36 Tipo de herramienta nuclear.

Espectroscopia de rayos gamma.

Los registros que utilizan herramientas de radiación natural no requieren fuentes radiactivas. La respuesta de una herramienta de rayos gamma está en función del contenido de elementos radiactivos presentes en la formación como el uranio, torio y Potasio, bastante comunes en formaciones arcillosas. Mediante el registro de rayos gamma naturales somos incapaces de distinguir el elemento que produce la radiación medida.

Al usar este registro en arcillas, tras analizar las cantidades de torio y Potasio se puede identificar el tipo de arcilla; por otra parte el estudio de uranio facilita el reconocimiento de rocas generadoras. En el caso de rocas carbonatadas se puede obtener un indicador de arcillosidad al restar de la curva de rayos gamma la contribución del uranio.

Algunas de las ventajas de la toma de este registro son:

- ☛ Tras el análisis de la información adecuada permite identificar el tipo de arcilla
- ☛ Permite detectar minerales pesados.
- ☛ Permite identificar el contenido de Potasio en evaporitas.

Rayos gamma naturales.

Este registro mide la radiactividad natural de las formaciones y es útil para evaluar la presencia de minerales radiactivos como el Potasio y el uranio. En formaciones sedimentarias puede determinar el contenido de arcilla debido a que los elementos radiactivos tienden a concentrarse en ella.

Algunas ventajas de la toma de este registro son:

- ☛ Permite identificar la presencia de arcilla.
- ☛ Permite identificar marcas o trazas radiactivas.

Neutrón compensado.

Esta herramienta requiere de fuentes radiactivas emisoras de neutrones rápidos y de dos detectores de neutrones térmicos. Cuando se tiene el conteo de los detectores se calcula el cociente y se obtiene un índice de porosidad. Esto se debe a la disminución de la energía que provoca el choque que produce la emisión de neutrones hacia la formación. Su densidad decrece con respecto a la distancia de la fuente, de la litología presente en la formación y de los fluidos confinados en los poros de la roca. La mayor pérdida ocurre cuando choca con el hidrogeno, en el caso del gas el índice de porosidad aparente será bajo. Si comparamos estos datos con los obtenidos por la herramienta de lito-densidad o la herramienta sónica se logra determinar la presencia de gas.

Algunas de las ventajas de la toma de este registro son:

- ☛ Determinación de la porosidad.
- ☛ Identificación de litología.
- ☛ Análisis del contenido de arcilla.
- ☛ Detección de gas.

Litodensidad compensada.

Éste registro utiliza una fuente radiactiva de rayos gamma de alta energía. Si se mide el conteo de rayos gamma que llegan a los receptores después de interactuar con la formación podemos determinar su densidad debido a que ese conteo está en función del número de electrones por cm^3 , lo cual se relaciona con la densidad de la formación. También se pueden inferir valores como la porosidad o identificar la litología con la medición de la capacidad del medio para absorber la radiación electromagnética (índice de absorción fotoeléctrica).

Algunas de las ventajas de la toma de este registro son:

- ☛ Permite inferir la porosidad de la formación.
- ☛ Permite la calibración del pozo.
- ☛ Permite determinar la litología.
- ☛ Permite identificar zonas con presiones anormales.

Registro acústico.

Los registros acústicos utilizan una fuente de sonido que se proyecta hacia la formación. El sonido emitido es audible al oído humano y genera un movimiento vibratorio en las moléculas de la formación desviándolas de su posición promedio, esto varía la distancia entre partículas, alejándolas y aproximándolas entre sí. Cuando la distancia entre las moléculas es mínima se generan áreas llamadas “áreas de compresión” y cuando la distancia es la mayor se llaman “áreas de rarefacción”. Al realizar un registro de los impulsos el sonido aparecerá como un área de compresión alternada de un área de rarefacción, conocida como ondas, es así como la que la energía acústica se propaga en la formación, en la Figura 37 se muestra un diagrama para comprender mejor dicho fenómeno.

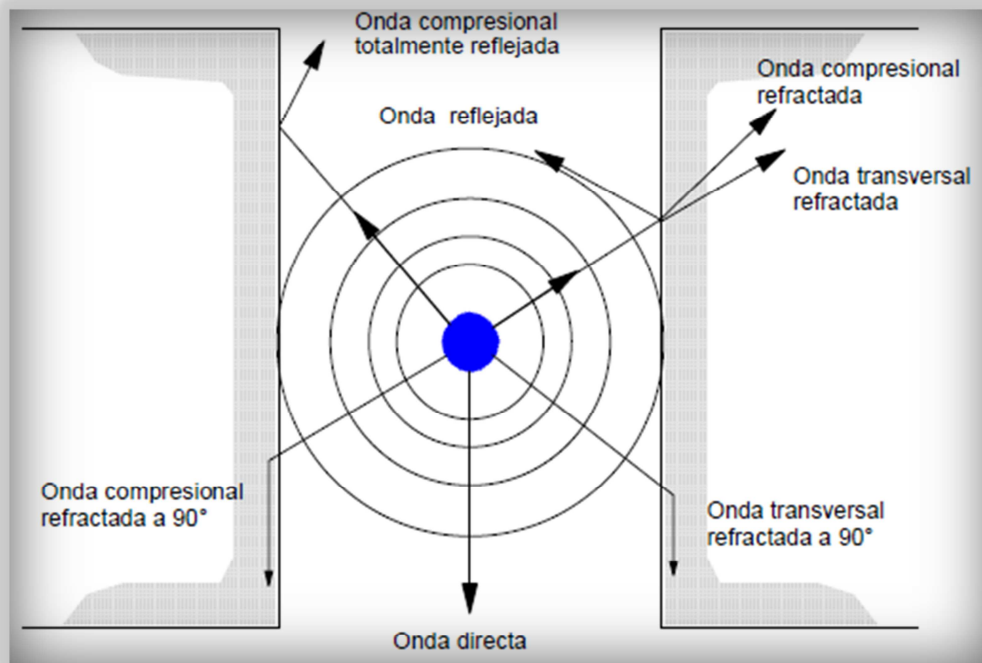


Figura 37 Principio del registro de transmisión de energía acústica en la formación.

Dentro de la industria petrolera el registro más usado de este tipo es el sónico digital el cual se describe a continuación:

Sónico digital.

El principio de medición de estos registros radica en enviar una serie de ondas acústicas que viajan a través de la formación en diferentes frecuencias e intervalos de tiempo, a partir de esto se mide el tiempo de tránsito (tiempo que tarda la onda en recorrer la formación), el cual es directamente proporcional a la porosidad de la formación. Si analizamos la disipación de las ondas dentro de la formación podemos inferir algunas otras propiedades.

Algunas de las ventajas de este registro son:

- ☛ Correlación de registros geofísicos con registros sísmicos de campo.
- ☛ Permite definir características mecánicas de la roca.
- ☛ Detección de la presencia de gas.
- ☛ Permite identificar fracturas.
- ☛ Evaluación de porosidad primaria y secundaria.
- ☛ Apreciación de la integridad de cementaciones.

Un ejemplo de este registro se observa en la Figura 38.

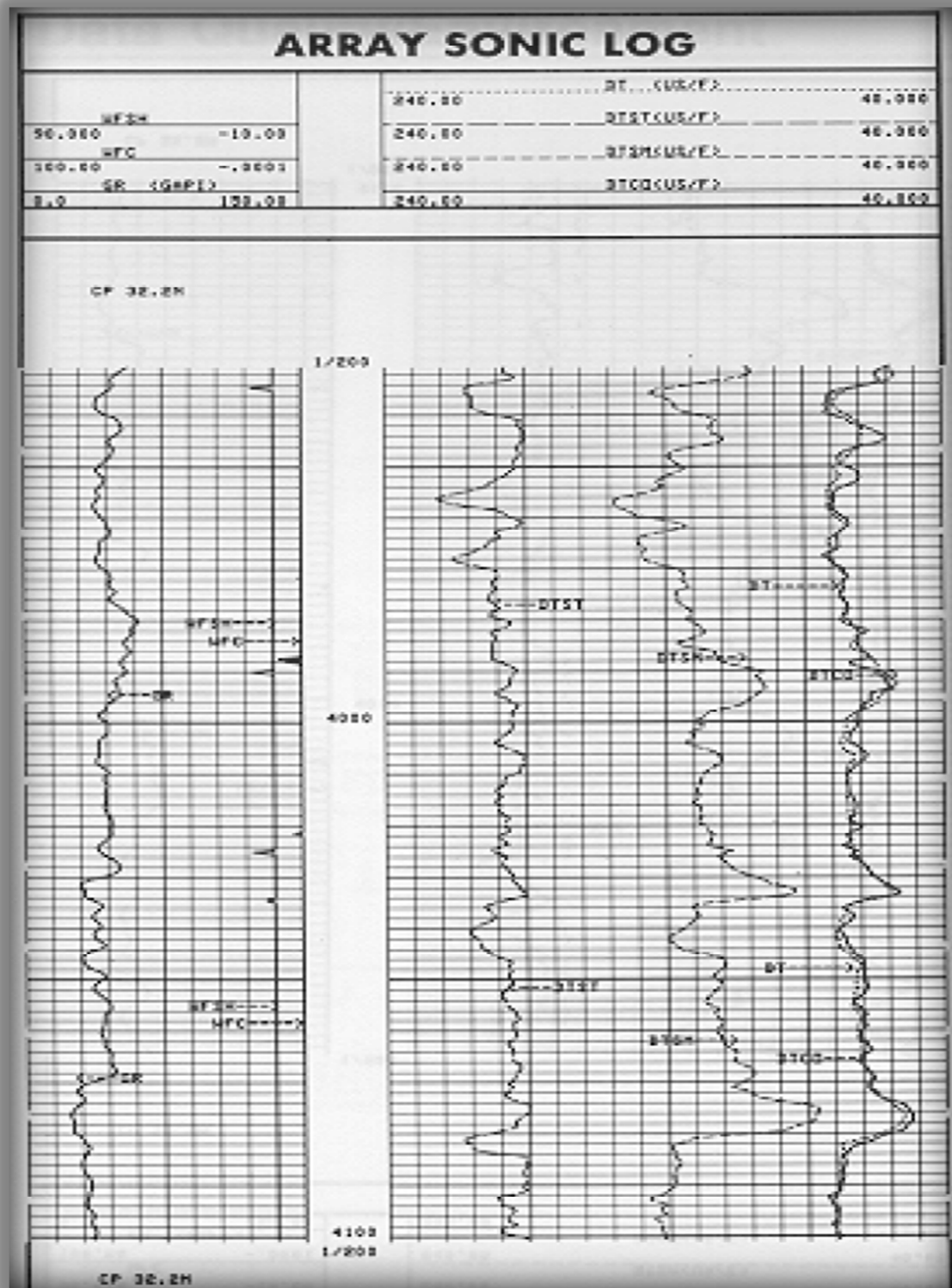


Figura 38 Registro sísmico digital.

Desarrollo de los estudios y descripción de los equipos.

No existe información más confiable para caracterizar una formación que la que se obtiene del correcto análisis de núcleos, siempre y cuando estos hayan sido recuperados y preservados de manera apropiada.

Un núcleo es una muestra cilíndrica de roca tomada de una formación durante la perforación, con el fin de determinar algunas propiedades de la roca como lo son la porosidad, la permeabilidad, la saturación de fluidos entre otras.

Extraer núcleos es un proceso costoso, razón por lo cual no se hace en la mayoría de las perforaciones de pozos. Debido a esto se debe obtener la mayor cantidad de información posible de los núcleos.

En esta tesis se evaluaron equipos y procedimientos (Figura 39) a través de la caracterización de núcleos de las formaciones en carbonatos de la secuencia Cretácica del pozo Yaxcopoil-1.

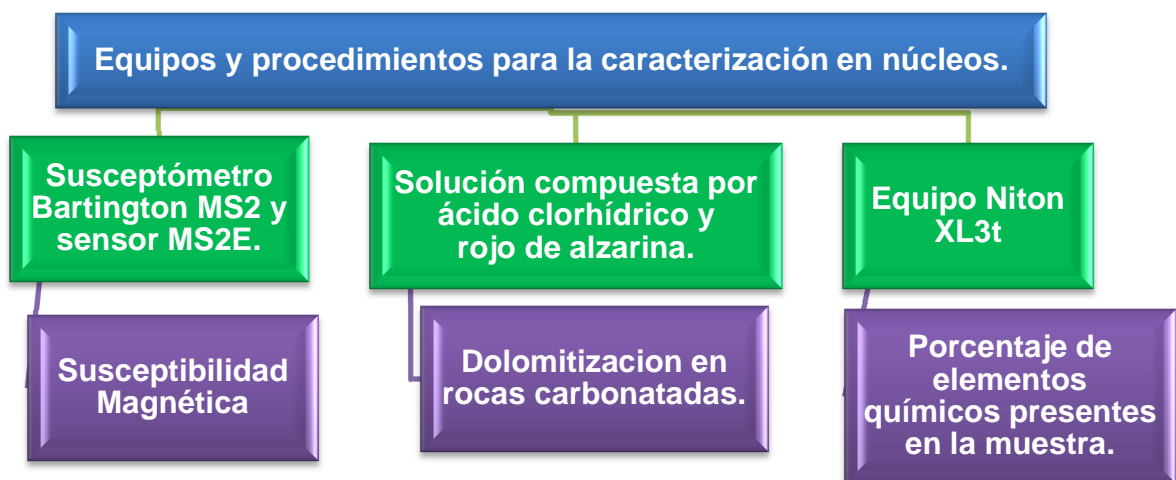


Figura 39 Equipos y procedimientos para la caracterización de núcleos.

Definición del intervalo y selección de puntos de interés para su análisis

La numeración de los puntos de interés se inició en la profundidad de 1510.4 m (caja 457) y terminó en la profundidad de 1425.48 m (caja 427), resultando un intervalo de 84.92 m de espesor con un total de 595 puntos seleccionados a juicio a través del reconocimiento macroscópico de los cambios de coloración, textura y fábrica presentes en el núcleo.

Se llevó a cabo la limpieza de los núcleos utilizando un paño húmedo para retirar las impurezas que pudieran afectar la selección de los puntos de interés y alterar los estudios correspondientes.

La estructura de los estudios se muestra en la Figura 40.



Figura 40 Estructura de los estudios

Registro fotográfico de los núcleos en caja

El registro fotográfico se llevó a cabo con los siguientes propósitos:

- ☛ Documentar el estado de conservación de los núcleos y su distribución dentro de la caja.
- ☛ Facilitar la colocación de los núcleos posterior a su estudio.
- ☛ Mostrar la selección y ubicación de los puntos de interés.

Se tomó un total de 31 fotografías (una por caja), que se encuentran en el Anexo I.

Registro de profundidad de los puntos de interés.

Para localizar las profundidades de cada uno de los puntos de interés se llevó a cabo el siguiente proceso:

- ☛ Se ubicó un origen (coordenada 0) al final de cada una de las cajas.
- ☛ Se midió la distancia entre el origen y cada uno de los puntos de interés.
- ☛ Se identificó la profundidad final del intervalo nucleado, reportado en la tapa de la caja.
- ☛ Para obtener la profundidad de cada punto de interés se calculó la diferencia entre el valor de la profundidad final del intervalo nucleado y el valor de la distancia medida entre el punto de interés y el origen.

Para poder concebir mejor este proceso se recomienda ver la, en la Figura 41 en la cual se ubican los elementos mencionados sobre la fotografía de una caja contenedora de núcleos.

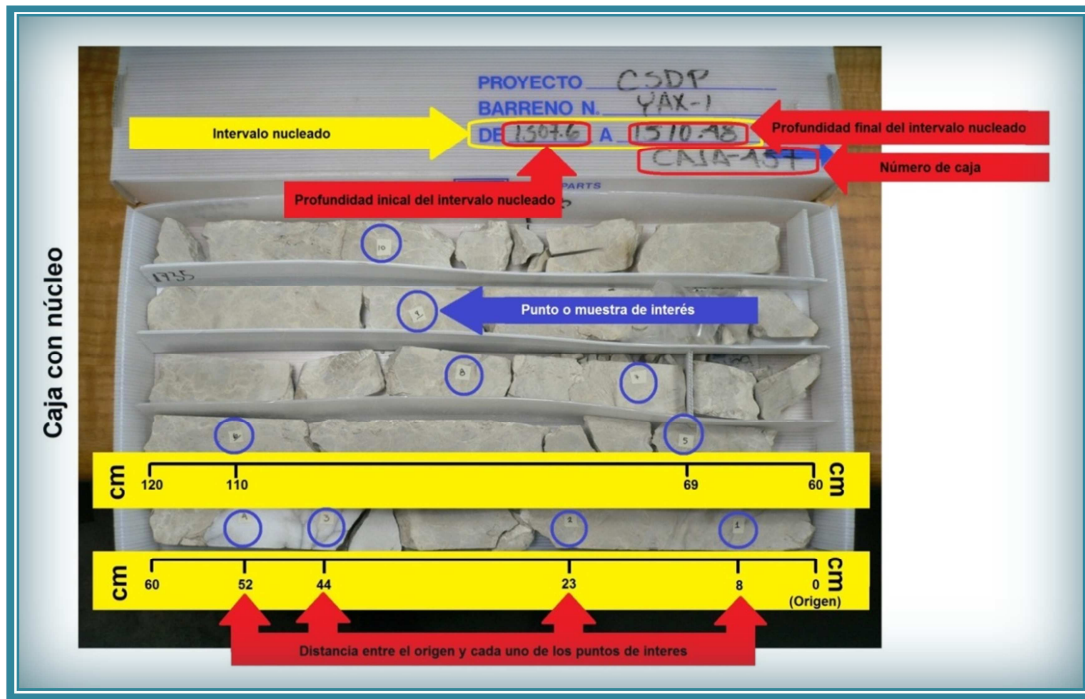


Figura 41 Medición de la profundidad de los puntos de interés

Estudio de susceptibilidad magnética.

La susceptibilidad magnética es el grado de magnetización de un material en respuesta a un campo magnético externo. El comportamiento de esta propiedad en las rocas está en función de la cantidad de minerales magnéticos que la componen.

La susceptibilidad magnética se define de la siguiente manera:

$$\text{Susceptibilidad magnética } (\kappa) = \frac{\text{Magnetización adquirida del material } (\vec{M})}{\text{Unidad del campo magnético externo aplicado } (\vec{H})}$$

La susceptibilidad magnética es adimensional y se pueden distinguir tres comportamientos principales dependiendo de su magnitud y signo:

- ☛ Diamagnéticos: De valor pequeño y negativo, estos materiales sólo se magnetizan en presencia de un campo magnético. Algunos ejemplos son el cuarzo, los feldespatos y la calcita.

- ☛ Paramagnéticos: De valor bajo y positivo, estos materiales sólo se magnetizan en presencia de un campo magnético, el cual se fortalece con los componentes de la roca. Algunos ejemplos son las micas como biotita o clorita, las arcillas ricas en Hierro y los piroxenos.
- ☛ Ferromagnéticos: De valores altos y positivos. Al remover el campo magnético queda registrada la dirección del campo aplicado. Algunos ejemplos de estos materiales son el Hierro, cobalto y níquel.

Descripción del equipo utilizado y del proceso de registro.

Para el registro de esta propiedad se utilizó un susceptómetro Bartington MS2 y un sensor MS2, como el que se muestra en la [Figura 42](#). Tras conectar el sensor al susceptómetro se encendió el equipo y se rectificó que las perillas del equipo se encontraran en la posición correcta para llevar a cabo las mediciones. Debido a que la sensibilidad del equipo es alta se calibró constantemente para evitar la toma de efectos de deriva instrumental y se alejó cualquier dispositivo electrónico u objeto metálico que pudiera alterar el valor de la susceptibilidad magnética de la muestra durante la medición.



Figura 42 Susceptómetro Bartington MS2 y sensor MS2E.

Los valores medidos se capturaron en una hoja de cálculo para su posterior análisis, como se muestra en la [Figura 43](#).

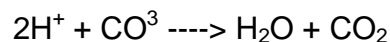
Registros geofísicos y caracterización de la secuencia Cretácica del pozo Yaxcopoil-1, Yucatán.

	1			2			3			4			
#MUESTRA	PROFUNDIDAD (m)	SM	#MUESTRA	PROFUNDIDAD (m)	SM	#MUESTRA	PROFUNDIDAD (m)	SM	#MUESTRA	PROFUNDIDAD (m)	SM	SI	
3	595	1425.48	-1	201	1483.98	-0.06	145	1489.02	-0.9	95	1493.49	-0.8	1
4	594	1425.6	-1.1	200	1484.07	-0.5	144	1489.13	-1.8	94	1493.58	-1	2
5	593	1426.45	-1	199	1484.14	-0.6	143	1489.26	4	93	1493.67	-0.7	3
6	592	1426.85	-1	198	1484.23	1.2	142	1489.34	-0.7	92	1493.74	-1.1	4
7	591	1427.27	-0.7	197	1484.3	0.6	141	1489.46	-0.5	91	1493.83	-0.8	
8	590	1427.39	-1.1	196	1484.45	0.6	140	1489.55	-0.5	90	1493.94	-0.9	
9	589	1427.77	-1	195	1484.56	-0.8	139	1489.66	-1	89	1494.01	-0.9	
10	588	1428.03	-1.1	194	1484.62	-0.9	138	1489.77	0.7	88	1494.09	-1.2	
11	587	1428.26	-1.1	193	1484.64	0.1	137	1489.89	-0.2	87	1494.2	-1.2	
12	586	1428.58	-1.3	192	1484.76	-1	136	1489.97	4.3	86	1494.3	-0.6	
13	585	1428.94	-1	191	1484.83	-0.8	135	1490.06	2.2	85	1494.4	-1.1	
14	584	1429.35	-1.3	190	1484.85	-0.5	134	1490.17	4	84	1494.47	-1	
15	583	1429.58	-0.9	189	1485.03	-1.1	133	1490.38	1	83	1494.65	-1.1	
16	582	1429.76	-1.2	188	1485.09	-0.9	132	1490.47	2.7	82	1494.73	-0.6	
17	581	1429.82	-1.1	187	1485.12	-0.9	131	1490.53	-0.3	81	1494.84	-1	
18	580	1429.87	-1.4	186	1485.21	1.1	130	1490.59	-0.8	80	1494.89	-1.2	
19	579	1429.97	-1.6	185	1485.44	-1.4	129	1490.67	-0.4	79	1494.96	-0.5	
20	578	1430.01	-1.4	184	1485.46	1.7	128	1490.75	-1	78	1495.03	-0.3	
21	577	1430.07	-1.4	183	1485.5	1.4	127	1490.81	9.9	77	1495.09	-0.7	
22	576	1430.19	-1.2	182	1485.52	-1.1	126	1490.85	11.9	76	1495.21	0.6	
23	575	1430.29	-1.2	181	1485.56	-1.1	125	1490.91	-0.3	75	1495.28	0.5	
24	574	1430.37	-1.5	180	1485.64	-1	124	1490.97	-1.5	74	1495.35	-1.1	
25	573	1430.65	-1.4	179	1485.75	-1.5	123	1491.02	-1.4	73	1495.48	-0.1	
26	572	1430.97	-1.1	178	1485.83	-0.8	122	1491.08	-1.1	72	1495.64	-0.9	
27	571	1431.2	-1.4	177	1485.9	0.1	121	1491.17	-1.4	71	1495.77	-1.1	

Figura 43 Ejemplo de hoja de cálculo registro de susceptibilidad magnética

Estudio químico.

Los minerales del grupo de los carbonatos se caracterizan por el ion carbonato, CO_3^{2-} , cuya carga negativa está compensada por la presencia de un catión bivalente. Este catión puede ser el Magnesio (Mg^{2+}), el Calcio (Ca^{2+}), el Hierro (Fe^{2+}), el manganeso (Mn^{2+}), el zinc (Zn^{2+}), el bario (Ba^{2+}), el Estroncio (Sr^{2+}), el cobre (Cu^{2+}) o el plomo (Pb^{2+}). La estabilidad de este grupo es fuerte pero en presencia del ion hidrogeno el radical carbonato se vuelve inestable y se descompone:



Debido a esta propiedad los carbonatos tienen una reacción de efervescencia al entrar en contacto con ácidos.

Descripción del equipo utilizado y del proceso de registro.

Para este estudio se utilizó una solución de tinción compuesta por agua destilada, ácido clorhídrico y rojo de alizarina (colorante orgánico en polvo).

A cada muestra se le aplicó una gota de la solución y se esperó por 5 minutos para registrar la coloración de la reacción final por medio de fotografías.

Una vez completado el registro fotográfico, se clasificaron las muestras en base al color final de la reacción y a cada color se le asignó un porcentaje de reacción asociado con el contenido de Calcio en las rocas o con un grado de

dolomitización presente en la roca. En la **Figura 44** se muestra un núcleo al cual se le aplicó la solución en los puntos de interés.



Figura 44 Fotografía de núcleo posterior a aplicar la solución de tinción.

Estudio geoquímico.

El análisis de fluorescencia de rayos X es un método que consiste en medir la emisión de rayos X secundarios (fluorescentes) característicos de un material que ha sido irradiado por una fuente de rayos X primaria (rayos gamma). Con este análisis se puede determinar qué elemento contiene el material por medio de las longitudes de onda que emite después de ser irradiado ya que estas son únicas en cada elemento, a su vez se puede determinar cuantitativamente la cantidad del elemento presente por medio de la intensidad de las líneas espectrales emitidas.

Descripción del equipo utilizado y del proceso de registro.

Para poder llevar a cabo este estudio los núcleos fueron transportados al Laboratorio de Paleomagnetismo y Geofísica nuclear de la UNAM, donde se cuenta con el equipo de fluorescencia de rayos X y espectroscopia Niton XL3t, **Figura 45**.

El equipo es práctico, capaz de analizar muestras en estado líquido o sólido, contiene un tubo de radiografía miniaturizado de 50, una pantalla táctil que permite la visualización de datos y se puede manipular a través de un ordenador que cuente con puerto usb.



Figura 45 Equipo de fluorescencia de rayos X y espectroscopia Niton XL3t.

El equipo Niton XL3t consta de tres componentes principales:

- ☛ Sistema de producción de radiación primaria (Fuente de excitación).
- ☛ Sistema óptico (Manejo de la radiación secundaria emitida por la muestra).
- ☛ Sistema de detección (Es un detector de alta resolución que mide la energía de la señal emitida y el número de repeticiones de esta).

Para este análisis nos apoyamos con el uso de una computadora y un software que permite manipular el equipo Niton XL3t con mayor facilidad. El estudio se dividió en dos modos de mediciones: mining y soils. En el modo soils el equipo indica la composición de la muestra y la cantidad de cada elemento en partes por millón, mientras que en modo mining reporta porcentajes.

Mediciones en modo soils

- ☛ Se selecciona en el equipo el modo soils y se indica la duración de la medición, 90 segundos.
- ☛ Se calibra el equipo mediante el análisis de la muestra estándar RCRA de la cual se conoce su composición. Los resultados del análisis de la muestra estándar deben coincidir con la composición de la muestra indicada en el manual.
- ☛ Se ingresan los datos de la muestra que se va a analizar, se limpia el área del núcleo de interés y se procede con la medición.

Mediciones modo mining.

- ☛ Se indica en la herramienta el modo mining y el tiempo de duración de la medición, 270 segundos.
- ☛ Se calibra el equipo al analizar la muestra estándar HISS-1 cuya composición se conoce. Los resultados del análisis de la muestra estándar deben coincidir con los expuestos en el manual.
- ☛ Se ingresan los datos de la muestra que se va a analizar, se limpia el área del núcleo de interés y se procede con la medición.

Durante el periodo de medición la muestra debe de permanecer en contacto directo con el equipo. Los resultados obtenidos se guardan automáticamente en una hoja de cálculo como la que se muestra en la Figura 46.

Registros geofísicos y caracterización de la secuencia Cretácica del pozo Yaxcopoil-1, Yucatán.

Index	Time	Reading No	Duration	Type	Units	Sequence	SAMPLE	LOCATION	INSPECTOR	Ba	Ba Error	Sb	Sb Error	Sn	Sn Error	Cd	Cd Error	Pd	Pd Error
1	2012-07-02	1929	271.3	MINING	%	Final	1	YAX-1	RONCO	0.014	0.004	0	0.001	0	0.001	0	0.001	0	0.001
2	2012-07-02	1930	271.45	MINING	%	Final	2	YAX-1	RONCO	0.013	0.004	0	0.001	0	0.001	0	0.001	0	0.001
3	2012-07-02	1931	270.05	MINING	%	Final	3	YAX-1	RONCO	0.025	0.005	0	0.001	0.001	0.001	0	0.001	0	0.001
4	2012-07-02	1932	270.92	MINING	%	Final	4	YAX-1	RONCO	0.025	0.005	0	0.001	0	0.001	0	0.001	0	0.001
5	2012-07-02	1933	270.58	MINING	%	Final	5	YAX-1	RONCO	0.012	0.004	0	0.001	0	0.001	0	0.001	0	0.001
6	2012-07-02	1934	143.49	MINING	%	Final	6	YAX-1	RONCO	0.015	0.004	0	0.001	0	0.001	0	0.001	0	0.001
7	2012-07-02	1935	270.97	MINING	%	Final	6	YAX-1	RONCO	0.014	0.004	0	0.001	0	0.001	0	0.001	0	0.001
8	2012-07-02	1936	270.15	MINING	%	Final	7	YAX-1	RONCO	0.015	0.004	0	0.001	0	0.001	0	0.001	0	0.001
9	2012-07-02	1937	270.88	MINING	%	Final	8	YAX-1	RONCO	0.013	0.004	0	0.001	0	0.001	0	0.001	0	0.001
10	2012-07-02	1938	270.61	MINING	%	Final	9	YAX-1	RONCO	0.013	0.004	0	0.001	0.001	0.001	0	0.001	0	0.001
11	2012-07-02	1939	271.12	MINING	%	Final	10	YAX-1	RONCO	0.018	0.004	0.001	0.001	0	0.001	0	0.001	0	0.001
12	2012-07-02	1940	270.39	MINING	%	Final	11	YAX-1	RONCO	0.012	0.004	0	0.001	0	0.001	0	0.001	0	0.001
13	2012-07-02	1941	270.86	MINING	%	Final	12	YAX-1	RONCO	0.02	0.004	0	0.001	0	0.001	0	0.001	0	0.001
14	2012-07-02	1942	270.69	MINING	%	Final	13	YAX-1	RONCO	0.007	0.004	0	0.001	0	0.001	0	0.001	0	0.001
15	2012-07-02	1943	270.82	MINING	%	Final	14	YAX-1	RONCO	0.015	0.004	0	0.001	0	0.001	0	0.001	0	0.001
16	2012-07-02	1944	271.39	MINING	%	Final	15	YAX-1	RONCO	0.013	0.004	0	0.001	0	0.001	0	0.001	0	0.001
17	2012-07-02	1945	270.1	MINING	%	Final	16	YAX-1	RONCO	0.014	0.004	0	0.001	0	0.001	0	0.001	0	0.001
18	2012-07-02	1946	270.33	MINING	%	Final	17	YAX-1	RONCO	0.015	0.004	0	0.001	0	0.001	0	0.001	0	0.001
19	2012-07-02	1947	270.91	MINING	%	Final	18	YAX-1	RONCO	0.014	0.004	0.001	0.001	0	0.001	0	0.001	0	0.001
20	2012-07-02	1948	270.38	MINING	%	Final	19	YAX-1	RONCO	0.016	0.004	0	0.001	0	0.001	0	0.001	0	0.001
21	2012-07-03	1949	56.22	SHUTTER_C	cps	Final													
22	2012-07-03	1950	55.78	SHUTTER_C	cps	Final													
23	2012-07-03	1951	104.68	SOIL	ppm	Final	RCRA	STANDAR	ZIELEGEN	591.256	41.184	14.634	11.944	18.535	10.073	588.909	17.815	31.226	
24	2012-07-03	1952	90.26	SOIL	ppm	Final	RCRA	STANDAR	ZIELEGEN	628.444	42.512	22.577	12.385	24.502	10.452	600.373	18.414	52.674	
25	2012-07-03	1953	90.26	SOIL	ppm	Final	RCRA	STANDAR	ZIELEGEN	627.238	42.282	20.578	12.389	21.796	10.401	587.104	18.468	55.204	
26	2012-07-03	1954	90.33	SOIL	ppm	Final	RCRA	STANDAR	ZIELEGEN	547.969	40.733	5.616	11.77	13.065	9.994	578.636	17.649	20.917	
27	2012-07-03	1955	90.06	SOIL	ppm	Final	RCRA	STANDAR	ZIELEGEN	572.5	40.657	7.39	11.697	8.977	9.847	566.651	17.408	20.922	
28	2012-07-03	1956	90.21	SOIL	ppm	Final	RCRA	STANDAR	ZIELEGEN	576.991	41.245	9.385	11.896	16.38	10.1	573.597	17.717	23.395	
29	2012-07-03	1957	90.35	SOIL	ppm	Final	RCRA	STANDAR	ZIELEGEN	538.252	40.55	7.299	11.725	16.249	9.956	560.197	17.399	23.115	
30	2012-07-03	1958	90.15	SOIL	ppm	Final	RCRA	STANDAR	ZIELEGEN	564.38	40.977	10.612	11.848	9.88	9.954	566.767	17.562	25.562	
31	2012-07-03	1959	90.27	SOIL	ppm	Final	RCRA	STANDAR	ZIELEGEN	565.151	40.769	6.582	11.743	6.458	9.862	570.464	17.516	23.629	
32	2012-07-03	1960	90.15	SOIL	ppm	Final	RCRA	STANDAR	ZIELEGEN	553.993	40.942	16.225	11.941	8.817	9.937	571.639	17.633	12.168	
33	2012-07-03	1961	90.09	SOIL	ppm	Final	RCRA	STANDAR	ZIELEGEN	577.236	41.408	28.188	12.212	14.732	10.142	588.415	17.952	21.222	
34	2012-07-03	1962	90.07	SOIL	ppm	Final	RCRA	STANDAR	ZIELEGEN	538.296	40.736	9.858	11.834	10.824	9.99	571.179	17.593	14.503	
35	2012-07-03	1963	90.27	SOIL	ppm	Final	RCRA	STANDAR	ZIELEGEN	581.419	41.711	17.869	12.106	17.957	10.246	559.967	17.746	26.92	

Figura 46 Ejemplo hoja de cálculo registro geoquímico

Capítulo 3

Interpretación y análisis de datos

Capítulo 3 Análisis e interpretación de datos

En este capítulo analizaremos las mediciones registradas para su interpretación, la cual concluirá con la caracterización del intervalo estudiado.

Registro de susceptibilidad magnética vs profundidad

Los valores obtenidos en las mediciones de susceptibilidad magnética de la roca se pueden consultar en el Anexo II, se encuentran graficados en la Figura 47, en la Tabla 7 encontramos la información concentrada de los datos agrupados en Subintervalos.

Tabla 7 Características de los Subintervalos identificados en el registro de susceptibilidad magnética vs profundidad

SI	#M	PROF (m)	h (m)	VMÁX	VMÍN	Media	R	s ²
1	595	1425.48	58.39	0.8	-2.2	-0.97	3	0.37
	202	1483.87						
2	201	1483.98	4.87	1.7	-1.50	-0.37	3.2	0.82
	146	1488.85						
3	145	1489.02	4.35	15.9	-1.80	1.55	17.7	3.95
	96	1493.37						
4	95	1493.49	16.91	1.8	-1.8	-0.68	3.6	0.61
	1	1510.4						

SI - Subintervalo

#M - Número de muestra

PROF (m) - Profundidad (m)

h (m) - Espesor (m)

VMÁX - Valor máximo

VMÍN - Valor mínimo

R - Rango

s² - Desviación estándar

La razón de agrupar los datos en Subintervalos es facilitar el análisis de los mismos. Para delimitar los Subintervalos se tomó en cuenta (subjetivamente) la tendencia que presentan las mediciones al graficarlas contra la profundidad.

Al observar la Figura 47 observamos 4 tendencias, previamente identificadas como Subintervalo 1, 2, 3 y 4, los cuales se describen brevemente a continuación.

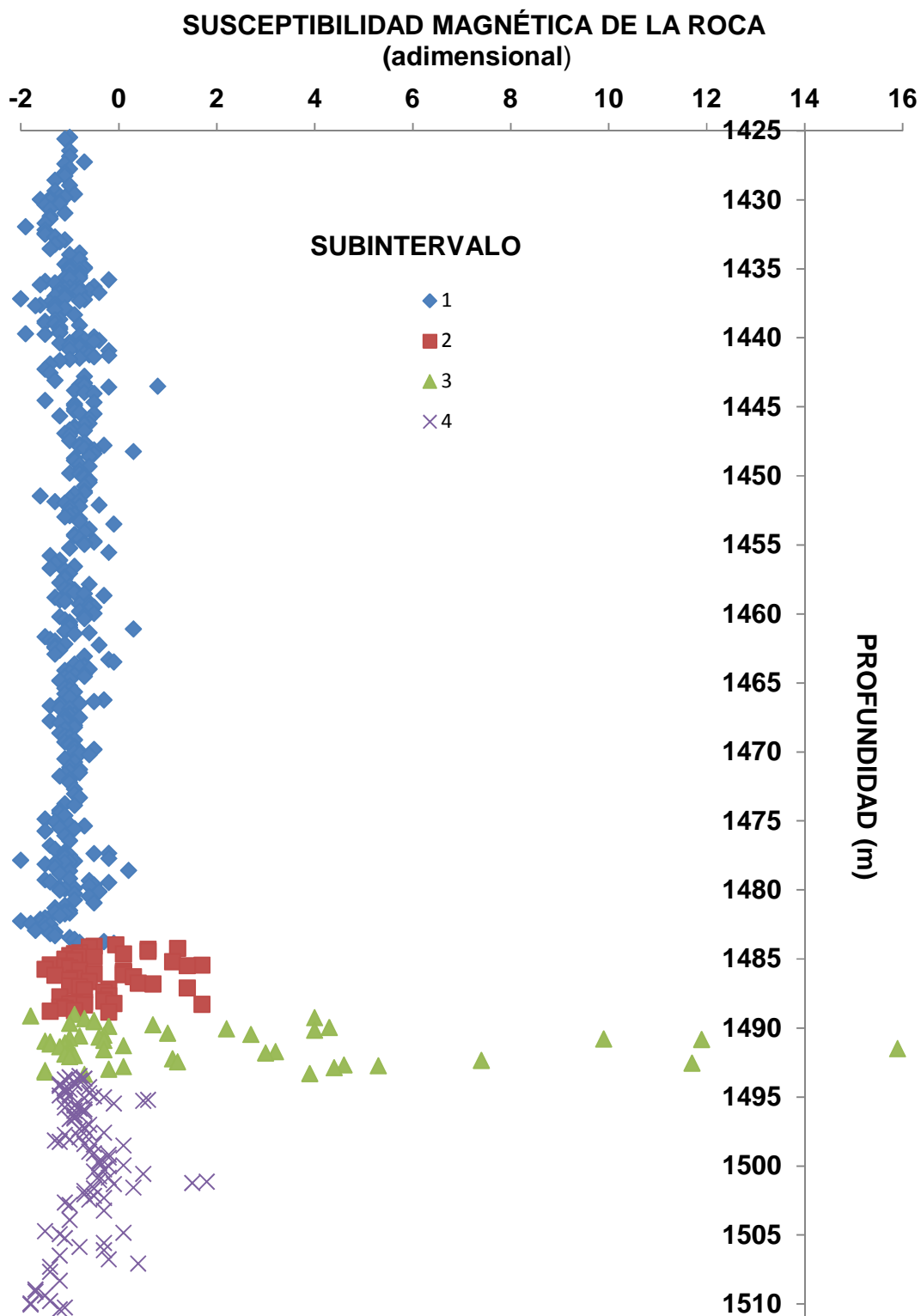


Figura 47 Registro de susceptibilidad magnética de la roca vs profundidad

El Subintervalo 1 está graficado en la Figura 48 y se caracteriza por un valor promedio de -0.97, con una desviación estándar de 0.37, los valores extremos son -2.2 y 0.8. Se distingue de los demás Subintervalos por valores negativos y poca variación entre ellos. Tiene un espesor de 58.39 m, cuyo límite superior se ubica en la profundidad de 1425.48 m y el límite inferior en la profundidad de 1483.87 m, está delimitado por los puntos 595 y 202.

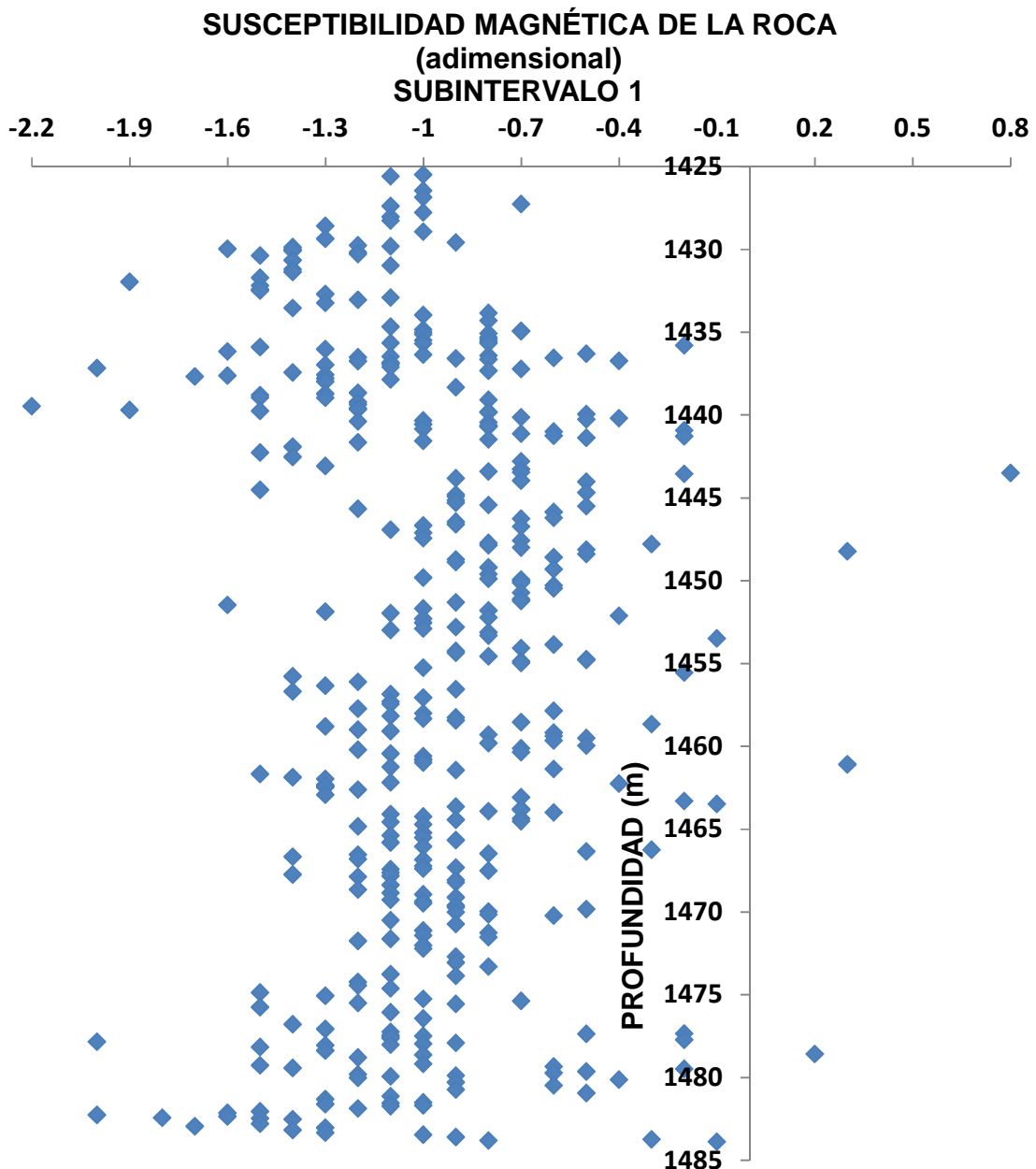


Figura 48 Susceptibilidad magnética de la roca vs profundidad, Subintervalo 1

El Subintervalo 2 se encuentra graficado en la Figura 49 y se caracteriza por un valor promedio de -0.37, con una desviación estándar de 0.82, los valores extremos son -1.5 y 1.7. A pesar de que la mayoría de los valores aún se encuentran concentrados en la parte negativa del eje, existe una presencia considerable de valores positivos, la variación constante entre los valores positivos y negativos de las mediciones es lo que define a este Subintervalo. Tiene un espesor de 4.87 m, cuyo límite superior se ubica en la profundidad de 1483.98 m y el límite inferior en la profundidad de 1488.85 m, está delimitado por los puntos 201 y 146.

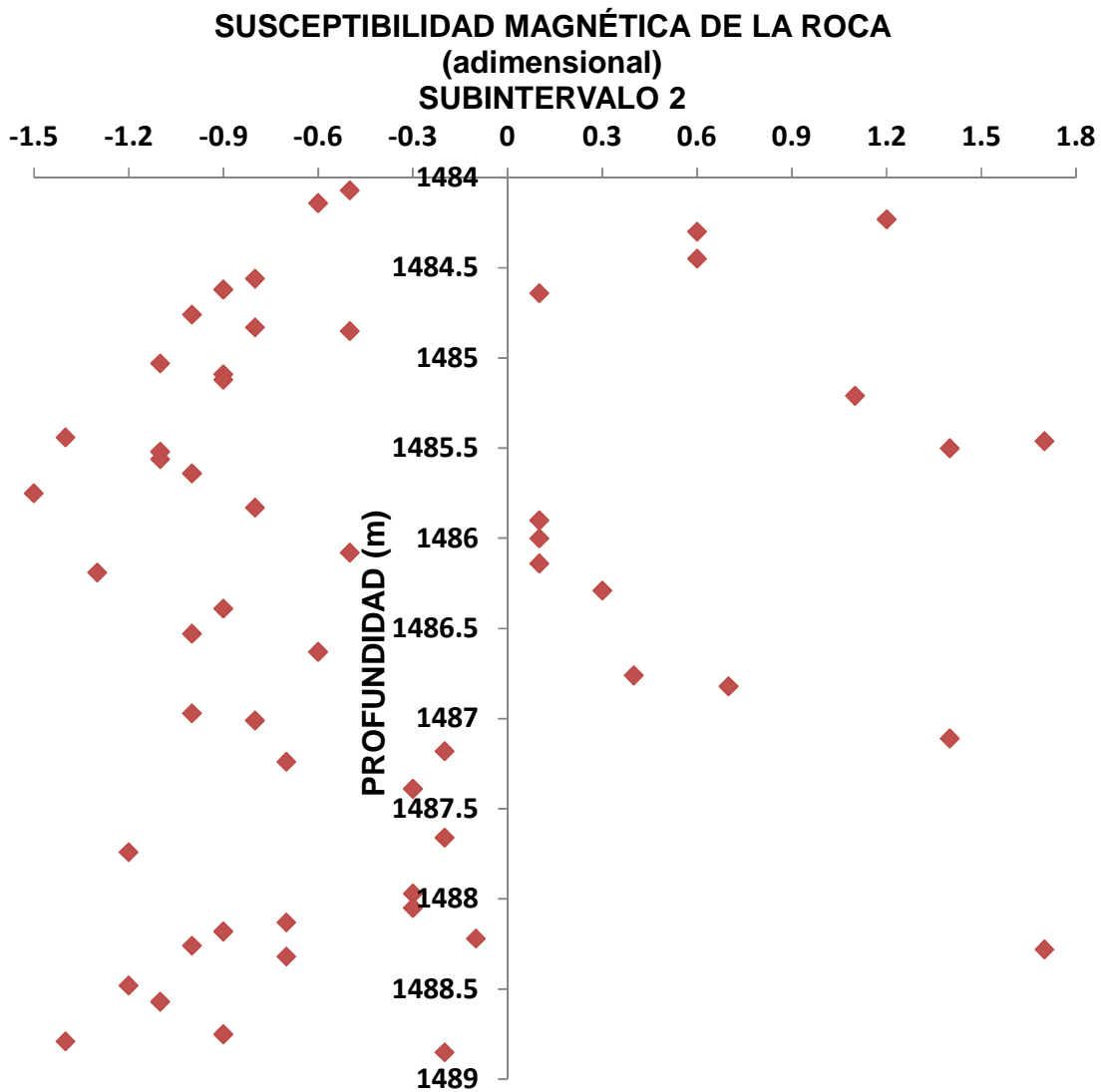


Figura 49 Susceptibilidad magnética de la roca vs profundidad, Subintervalo 2

El Subintervalo 3 se encuentra graficado en la Figura 50 y se caracteriza por un valor promedio de 1.55, con una desviación estándar de 3.95, los valores extremos son -1.8 y 15.9. Es el Subintervalo con el mayor rango de variación entre sus valores concentrándose en la parte positiva del eje. Tiene un espesor de 4.35 m, cuyo límite superior se ubica en la profundidad de 1489.02 m y el límite inferior en la profundidad de 1493.37 m, está delimitado por los puntos 145 y 96.

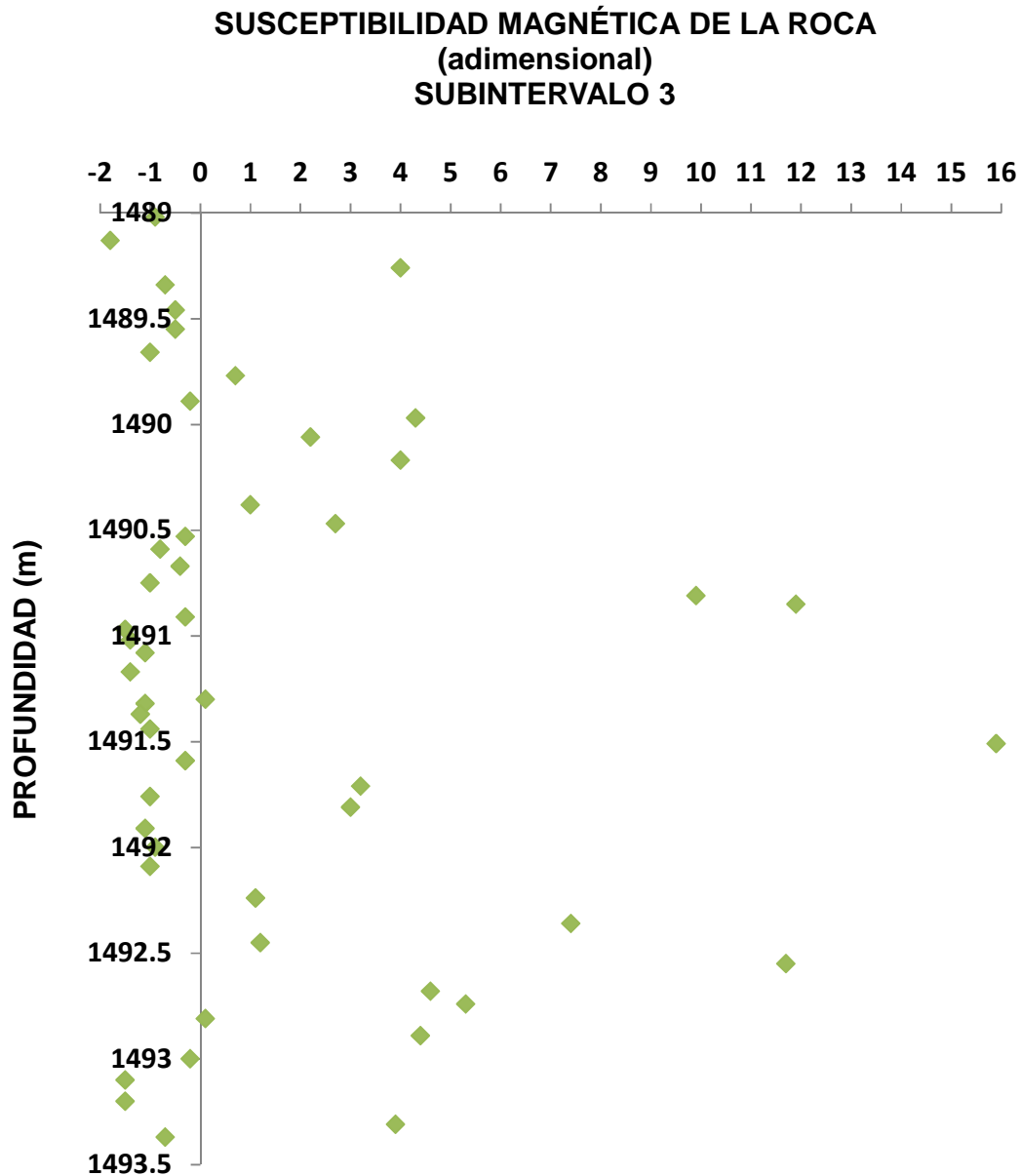


Figura 50 Susceptibilidad magnética de la roca vs profundidad, Subintervalo 3

Finalmente el Subintervalo 4 se encuentra graficado en la Figura 51 y se caracteriza por un valor promedio de -0.68, con una desviación estándar de 0.61, los valores extremos son -1.8 y 1.8. Los valores en este Subintervalo se concentran de nuevo en la parte negativa del eje pero a diferencia del Subintervalo 1, este intervalo presenta algunos puntos en la parte positiva del eje, y en comparación al Subintervalo 2, no presenta tanta variación en el signo de sus valores. Tiene un espesor de 16.91 m, cuyo límite superior se ubica en la profundidad de 1493.49 m y el límite inferior en la profundidad de 1510.4 m, está delimitado por los puntos 95 y 1.

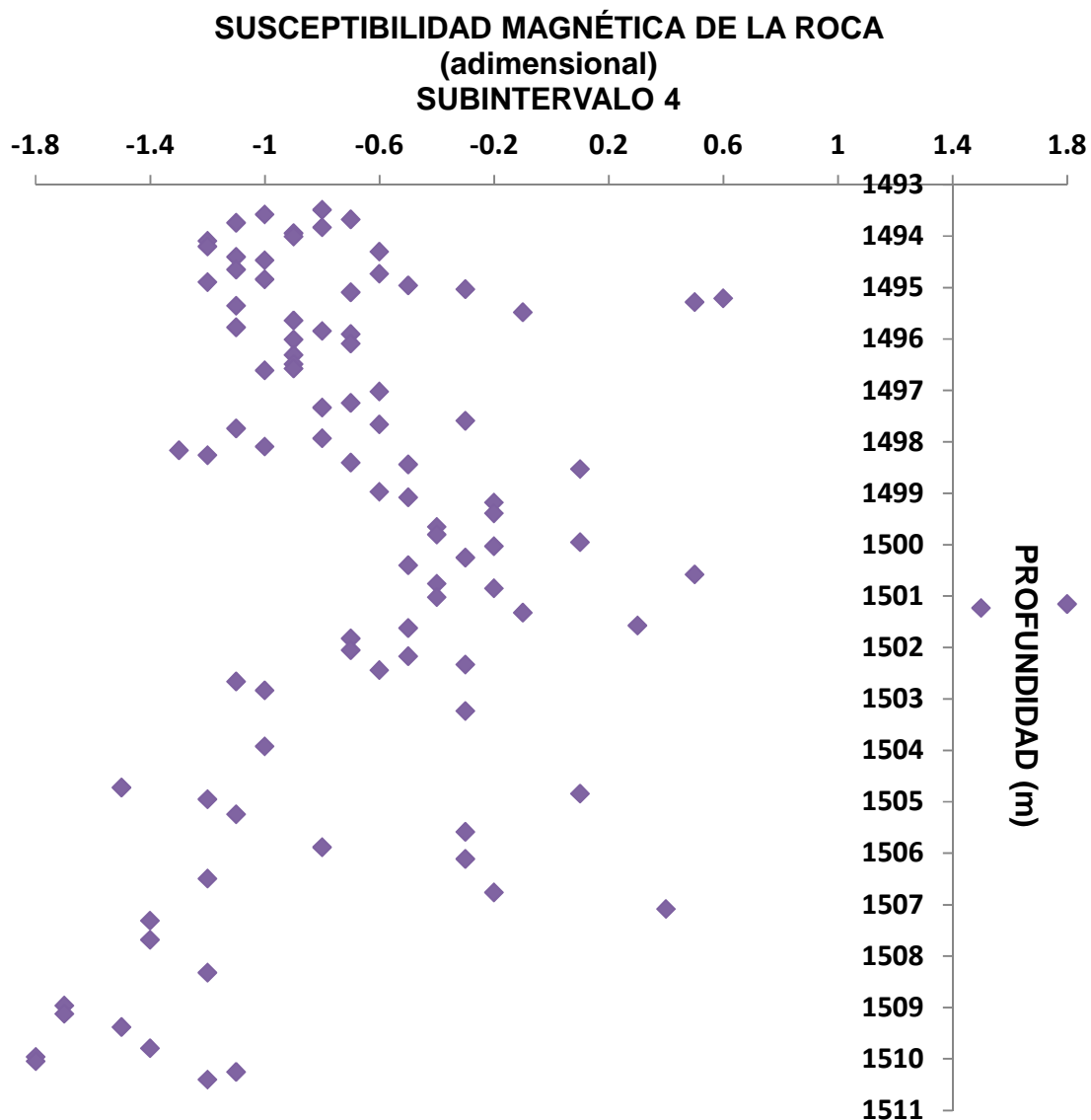


Figura 51 Susceptibilidad magnética de la roca vs profundidad, Subintervalo 4

Dados los elementos característicos que conforman a las rocas sedimentarias carbonatadas (Calcio o Magnesio) y siliciclásticas (Sílice, Aluminio, Hierro), siendo los de las rocas carbonatadas diamagnéticos (valores negativos y bajos de susceptibilidad magnética) y los de las rocas siliciclásticas ferromagnéticos (valores positivos y relativamente altos de susceptibilidad magnética), tal como se muestra en la Tabla 8, podemos asociar el comportamiento observado en los Subintervalos con los elementos que conforman a la roca.

Tabla 8 Comportamiento de susceptibilidad magnética según el tipo de roca

Tipo de roca	Elemento característico	Comportamiento magnético	Valor de susceptibilidad magnética
Carbonatada	Calcio Magnesio	Diamagnético	Negativo y bajo
Siliciclástica	Sílice Aluminio Hierro	Ferromagnético	Positivo y considerablemente alto

Con la observación de este registro podemos concluir que en el intervalo coexisten diferentes tipos de roca, presentándose un comportamiento diamagnético (Subintervalos 1 y 4) en la mayoría del intervalo, distinguiendo los Subintervalos 2 y 3 con un comportamiento ferromagnético.

Tabla 9 Comportamiento de susceptibilidad magnética

SI	#M	PROF (m)	h (m)	Media	Comportamiento
1	595	1425.48	58.39	-0.97	Diamagnético
	202	1483.87			
2	201	1483.98	4.87	-0.37	Zona de transición
	146	1488.85			
3	145	1489.02	4.35	1.55	Ferromagnético
	96	1493.37			
4	95	1493.49	16.91	-0.68	Diamagnético
	1	1510.4			

SI - Subintervalo

PROF (m) – Profundidad (m)

#M - Número de muestra

h (m) - Espesor (m)

En la Figura 52 se marcan los límites de los Subintervalos en las fotos de los núcleos en caja.

Registros geofísicos y caracterización de la secuencia Cretácica del pozo Yaxcopoil-1, Yucatán.








Figura 52 Delimitación de los Subintervalos definido por el registro de susceptibilidad magnética de la roca en fotografías de cajas contendoras de núcleos.

Análisis químico

Se registró la coloración de la reacción final por medio de fotografías (Anexo III). Se clasificaron las muestras en base al color final de la reacción, a cada color se le asignó un porcentaje de reacción como se aprecia en la Tabla 10.

Tabla 10 Clasificación del color de la reacción química

Color	Descripción	Porcentaje de reacción
	Color original de la solución, amarillo. Al contacto con la roca no presenta cambios durante el periodo de tiempo establecido para la reacción.	0%
	Se distinguen dos colores al final del periodo de tiempo establecido, amarillo y rojo. La reacción es heterogénea.	20%
	La reacción es heterogénea presenta un color naranja con algunos puntos amarillos.	40%
	La reacción es homogénea presenta un color naranja intenso o rojo al transcurrir el tiempo establecido.	60%
	La reacción es homogénea, presenta un color rosado o rojo al final del periodo de tiempo.	80%
	La reacción es homogénea, presenta un color rojo intenso.	100%

Debido a que la solución reacciona de acuerdo con el contenido de Calcio en las rocas, es viable asociar el color final de la reacción con un grado de dolomitización presente en la roca como se observa en la Figura 53. Un rojo intenso nos indica un alto contenido de carbonato de Calcio, característica principal de las calizas (0% dolomitización), mientras que el color amarillo lo podemos asociar con las dolomías (100% dolomitización), y finalmente los colores intermedios corresponderán a un grado de dolomitización presente en las roca.

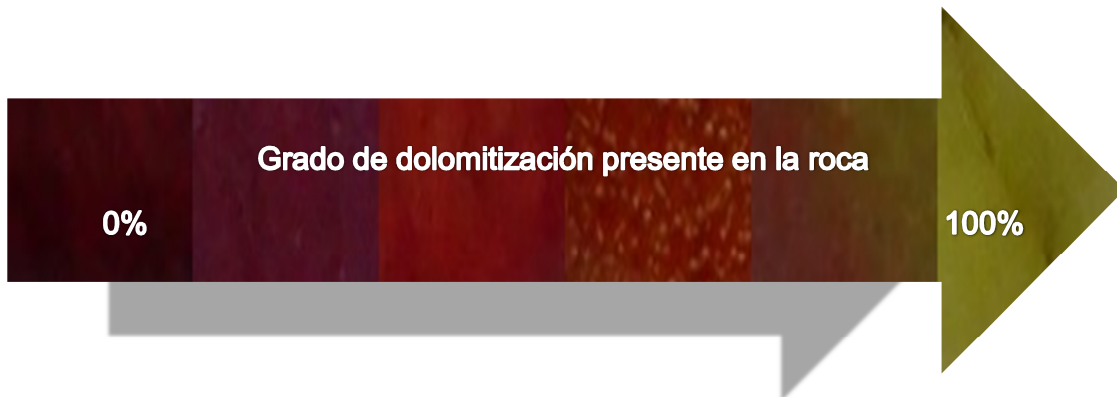


Figura 53 Grado de dolomitización presente en la roca.

Registro de porcentaje de reacción química roca-solución vs profundidad

Concluida la clasificación del color de la reacción presente en la roca, se graficó el porcentaje de reacción asociado contra la profundidad tal como se muestra en la Figura 54, el registro se puede consultar en el Anexo IV. Al igual que en el registro anterior los datos se agruparon en Subintervalos, tomando en cuenta la tendencia que presentan en la gráfica.

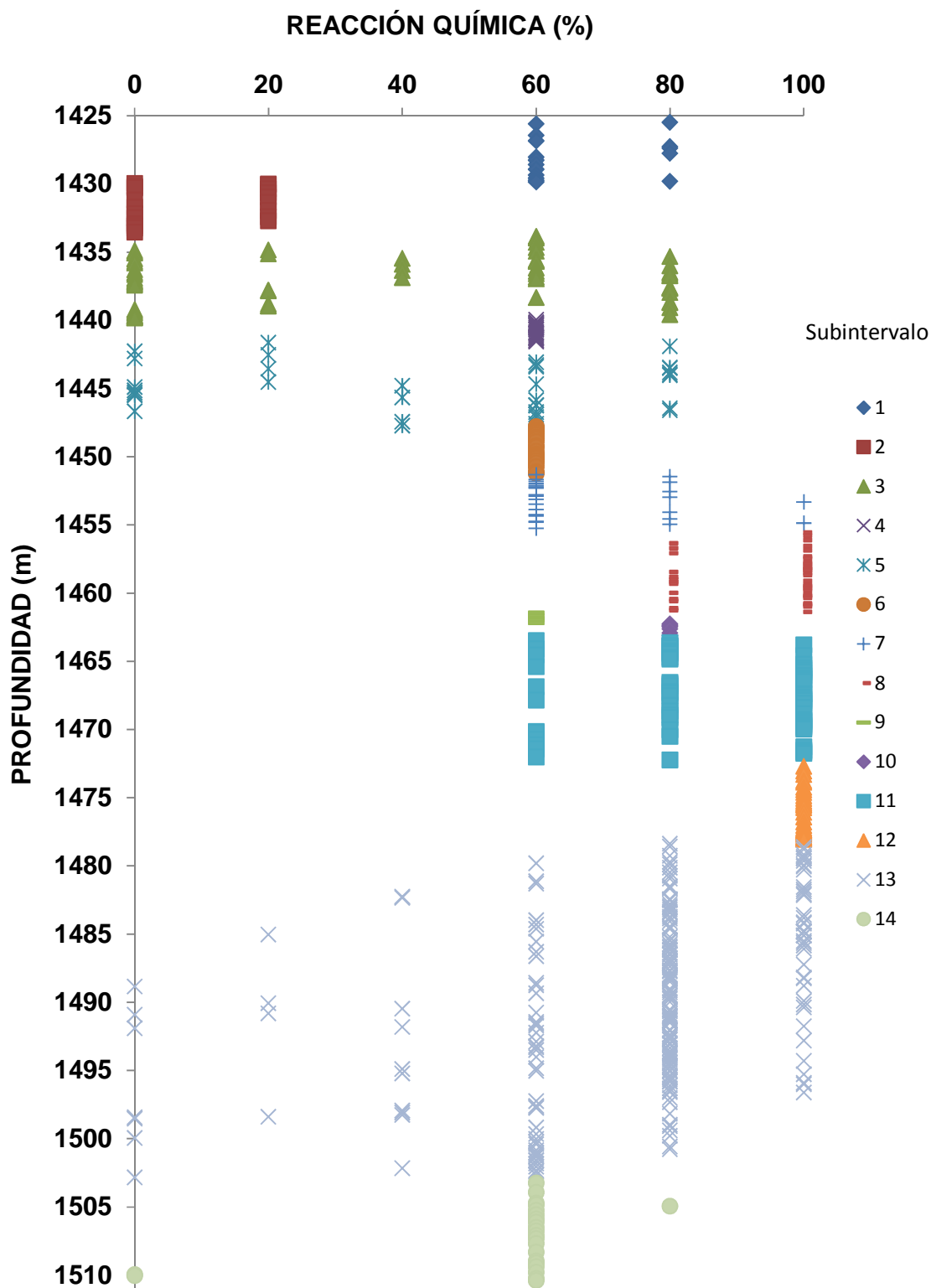


Figura 54 Registro de porcentaje de reacción química roca-solución vs profundidad

Mientras que en la Tabla 11 encontramos la información de los datos agrupados en Subintervalos.

Tabla 11 Características de los Subintervalos delimitados en el registro de porcentaje asociado de reacción química roca-solución vs profundidad

SI	#M	PROF (m)	h (m)	VMÍN (%)	VMÁX(%)	Media (%)	R(%)	s ² (%)
1	595	1425.48	4.39	60	80	66.25	20	9.57
	580	1429.87						
2	579	1429.97	3.58	0	20	9	20	10.21
	560	1433.55						
3	559	1433.85	6	0	80	36.45	80	33.10
	498	1439.85						
4	497	1439.95	1.61	60	60	60	0	0
	479	1441.56						
5	478	1441.65	6.08	0	80	44	80	30.21
	444	1447.73						
6	443	1447.79	3.44	60	60	60	0	0
	422	1451.23						
7	421	1451.32	3.93	60	100	68.46	40	12.87
	396	1455.25						
8	395	1455.56	5.81	80	100	93.5	20	9.49
	356	1461.37						
9	355	1461.45	0.73	60	60	60	0	0
	351	1462.18						
10	350	1462.26	1.05	80	80	80	0	0
	343	1463.31						
11	342	1463.49	8.73	60	100	85.40	40	15.33
	280	1472.22						
12	279	1472.7	5.36	100	100	100	0	0
	248	1478.06						
13	247	1478.15	24.68	0	100	74.37	100	21.48
	24	1502.83						
14	23	1503.23	7.17	0	80	55.65	80	18.05
	1	1510.4						

SI - Subintervalo

#M - Número de muestra

PROF (m) - Profundidad (m)

h (m) - Espesor (m)

VMÁX - Valor máximo

VMÍN - Valor mínimo

R - Rango

s² - Desviación estándar

Descripción de los Subintervalos identificados en el registro de porcentaje de reacción roca-solución vs profundidad.

Con este registro logramos distinguir 14 Subintervalos, los cuales se describen brevemente en los siguientes párrafos.

Los Subintervalos 1 y 7 presentan un valor promedio de 66.25% y 68.46% de reacción química, respectivamente, con una desviación estándar de 9.57% y 12.87%, los valores extremos son 60% y 80% para el Subintervalo 1 y de 60% y 100% para el Subintervalo 7. Son Subintervalos fácilmente reconocibles por la constante variación entre sus valores y el poco rango de variación entre los mismos. Los valores se encuentran concentrados en la parte derecha del gráfico, como se aprecia en la Figura 54, lo cual indica que el porcentaje de Calcio en esta sección del intervalo es considerable, se espera observar una tendencia similar en el registro de Calcio vs profundidad. El Subintervalo 7 presenta un rango de variación de mayor amplitud con respecto al Subintervalo 1, sin embargo, sólo dos puntos difieren de la tendencia principal del Subintervalo, ampliando el rango hasta 100%, es por esta razón que describimos a ambos Subintervalos de la misma manera, a pesar de que el rango de variación es más amplio para uno de ellos. El Subintervalo 1 tiene un espesor de 4.39 m, cuyo límite superior se ubica en la profundidad de 1425.48 m y el límite inferior en la profundidad de 1429.87 m, está delimitado por los puntos 595 y 580. El Subintervalo 7 tiene un espesor de 3.93 m, cuyo límite superior se ubica en la profundidad de 1451.32 m y el límite inferior en la profundidad de 1455.25 m, está delimitado por los puntos 421 y 386.

El Subintervalo 2 se caracteriza por un valor promedio de 9% de reacción química, con una desviación estándar de 10.21%, los valores extremos son 0% y 20%. Al igual que el Subintervalo 1 presenta una variación constante entre sus valores con un rango de variación pequeño, pero a diferencia de los demás Subintervalos los valores se concentran en la parte extrema izquierda del gráfico, como se aprecia en la Figura 54. Al observar esta distribución deducimos un grado considerable de dolomitización en la roca y se esperan altos valores de Magnesio. Tiene un espesor de 3.58 m, cuyo límite superior se ubica en la profundidad de 1429.97 m y el límite inferior en la profundidad de 1433.35 m, está delimitado por los puntos 579 y 560.

Los Subintervalos 3 y 5 se caracterizan por un valor promedio aproximado de 40.23% de reacción química, con una desviación estándar aproximada de 31.65%, los valores extremos son 0 y 80. El comportamiento que presentan ambos intervalos es similar, la distribución de los datos al no concentrarse en un área determinada del gráfico como se aprecia en la Figura 54, no permite inferir nada concreto con respecto a la composición de la roca, lo único que podemos suponer es que podría tratarse del mismo tipo de roca. El Subintervalo 3 tiene un

espesor de 6 m, cuyo límite superior se ubica en la profundidad de 1433.85 m y el límite inferior en la profundidad de 1439.85 m, está delimitado por los puntos 559 y 498, mientras que el Subintervalo 5 tiene un espesor de 6.08 m, cuyo límite superior se ubica en la profundidad de 1441.65 m y el límite inferior en la profundidad de 1447.73 m, está delimitado por los puntos 478 y 444.

Los Subintervalos 4, 6, 9 y 14 se caracterizan por un valor promedio de 60% de reacción química. El comportamiento que presentan estos intervalos es el mismo, no existe variación y se concentran en la misma área del gráfico como se aprecia en la Figura 54. El Subintervalo 14 presenta 2 mediciones extremas, con valor de 0% y 80%, las cuales se descartaron en esta descripción por diferir de la tendencia principal del Subintervalo. Debido al valor del porcentaje de reacción registrado en estos Subintervalos podemos inferir que el elemento predominante en este tipo de roca es el Calcio y por tanto el grado de dolomitización de la roca es de bajo a intermedio. El Subintervalo 4 tiene un espesor de 1.61 m, cuyo límite superior se ubica en la profundidad de 1439.95 m y el límite inferior en la profundidad de 1441.56 m, está delimitado por los puntos 497 y 479, mientras que el Subintervalo 6 tiene un espesor de 3.44 m, cuyo límite superior se ubica en la profundidad de 1447.79 m y el límite inferior en la profundidad de 1451.23 m, está delimitado por los puntos 443 y 422. El Subintervalo 9 tiene un espesor de 0.73 m, cuyo límite superior se ubica en la profundidad de 1461.45 m y el límite inferior en la profundidad de 1462.18 m, está delimitado por los puntos 355 y 351, finalmente el Subintervalo 14 tiene un espesor de 7.17 m, cuyo límite superior se ubica en la profundidad de 1503.23 m y el límite inferior en la profundidad de 1510.4 m, está delimitado por los puntos 23 y 1.

El Subintervalo 8 se caracteriza por un valor promedio de 93.5% de reacción química, con una desviación estándar de 9.49%, los valores extremos son 80% y 100%. La distribución de los valores de este intervalo está concentrada en el área extrema derecha del gráfico como se aprecia en la Figura 54, presenta una variación constante entre los valores. Debido al alto porcentaje de reacción reportado en este Subintervalo, deducimos un alto contenido de Calcio (Ca) en la roca y un grado de dolomitización pobre o nulo. Tiene un espesor de 5.81 m, cuyo límite superior se ubica en la profundidad de 1455.56 m y el límite inferior en la profundidad de 1461.37 m, está delimitado por los puntos 395 y 356 respectivamente.

El Subintervalo 10 se caracteriza por un valor promedio de 80% de reacción química, con una desviación estándar de 0% El Subintervalo presenta un valor constante y alto de reacción, por tanto concluimos que el porcentaje de Calcio en la roca es considerable más no así el grado de dolomitización de la roca que se considera como pobre. A pesar de tener un espesor de tan sólo 1.05m,

consideramos delimitarlo debido a su comportamiento constante, su límite superior se ubica en la profundidad de 1462.26 m y el límite inferior en la profundidad de 1463.31 m, está delimitado por los puntos 350 y 343.

El Subintervalo 11 se caracteriza por un valor promedio de 85.40% de reacción química, con una desviación estándar de 15.33%, los valores extremos son 60 y 100. El Subintervalo presenta una variación constante en el rango, que a pesar de ser amplio, la distribución de los puntos en la gráfica se concentra en el sector derecho como se aprecia en la Figura 54, lo cual podemos interpretar como una roca con bajo porcentaje de Magnesio y un alto porcentaje de Calcio. Tiene un espesor de 8.73 m, cuyo límite superior se ubica en la profundidad de 1463.49 m y el límite inferior en la profundidad de 1472.22 m, está delimitado por los puntos 342 y 280.

El Subintervalo 12 se caracteriza por un valor promedio de 100% de reacción química sin variaciones. Se ubica en la extrema derecha del gráfico como se aprecia en la Figura 54, lo cual nos indica una reacción total entre la roca y la solución identificada por el color rojo intenso en la gama de colores. Debido a que este Subintervalo alcanzo el porcentaje máximo de reacción se esperan los valores más altos de porcentaje de Calcio, en cuanto al grado de dolomitización de la roca se considera nulo o inexistente. El Subintervalo tiene un espesor de 5.36 m, cuyo límite superior se ubica en la profundidad de 1472.7 m y el límite inferior en la profundidad de 1478.06 m, está delimitado por los puntos 279 y 248.

Finalmente el Subintervalo 13 se caracteriza por un valor promedio de 74.37% de reacción química, con una desviación estándar de 21.48%, los valores extremos son 0% y 100%. Los valores varían continuamente dentro del rango de mayor amplitud registrado, mismo que abarca todos los porcentajes de reacción. A pesar de que se aprecia una mayor concentración de puntos en el sector derecho de la gráfica (Figura 54), también existe un considerable número de puntos en la parte izquierda de la misma, lo cual complica la tarea de caracterizarlo. El espesor de éste segmento es de 24.68 m, cuyo límite superior se ubica en la profundidad de 1478.15 m y el límite inferior en la profundidad de 1502.83 m, está delimitado por los puntos 247 y 24.

En la Figura 55 se marcan los límites de los Subintervalos en las fotos de las cajas contenedoras de núcleos.

Registros geofísicos y caracterización de la secuencia Cretácica del pozo Yaxcopoil-1, Yucatán.



Figura 55 Delimitación de Subintervalos definido por el registro de porcentaje de reacción química roca-solución, en fotografías de cajas contenedoras de núcleos.

Análisis geoquímico.

Método de fluorescencia de rayos X

Tras depurar los resultados obtenidos con este método, tomando en cuenta la composición química y mineralógica de las rocas, los elementos seleccionados para este estudio son el Calcio (Ca), el Magnesio (Mg), el Estroncio (Sr), el Sílice (Si), el Aluminio (Al), el Hierro (Fe) y el Potasio (K), cuyo registro contra la profundidad se puede consultar en el Anexo V.

El estudio de los datos obtenidos por este método se llevó a cabo en dos etapas, las cuales se describen a continuación:

Etapas 1:

En esta etapa cada elemento se examinó individualmente, se graficaron los valores registrados contra la profundidad, se agruparon los datos en Subintervalos de acuerdo a las tendencias identificadas en los gráficos. Mediante un análisis estadístico descriptivo se caracterizaron los Subintervalos, concentrando los resultados en tablas.

Para ejemplificar esta etapa se mostrará el análisis que se llevó a cabo con el registro de porcentaje de Calcio, posteriormente se compararán las gráficas de porcentaje de Calcio, porcentaje de Magnesio y porcentaje de Sílice contra profundidad.

Registro de contenido de Calcio vs profundidad

Tras graficar los resultados del registro de porcentaje de Calcio, logramos identificar diez tendencias diferentes a lo largo de la gráfica, como se muestra en la Figura 56. La información estadística descriptiva que arrojó el análisis de este registro se encuentra concentrada en la Tabla 12.

En la Figura 56 podemos observar que no es sencillo identificar una tendencia en la zona ubicada entre la profundidad de 1480 m y 1495 m. Sin embargo, tomando en cuenta que el rango de variación incrementa gradualmente entre estas profundidades, seccionamos esta zona en tres Subintervalos, identificándolos como siete, ocho y nueve. Si sólo se contara con un registro, la experiencia del analista jugaría un papel fundamental para llegar a una conclusión certera. Cuando no se cuenta con información clara o suficiente la interpretación se torna subjetiva o no concluyente. Afortunadamente en este estudio se dispone de más registros para analizar la secuencia, lo que permite refinar los límites, al comparar los diferentes registros, como veremos más adelante.

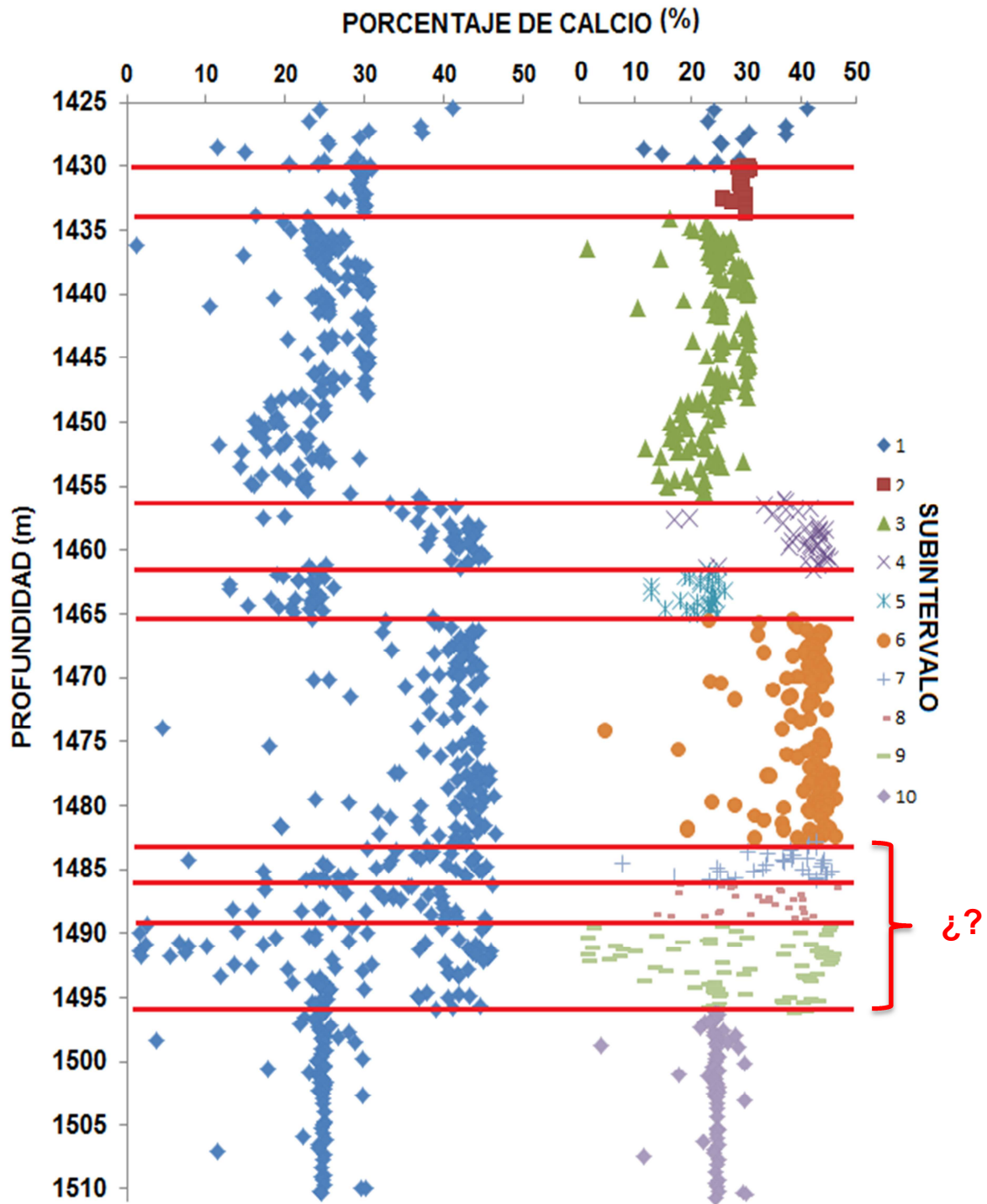


Figura 56 Determinación de Subintervalos de acuerdo con las tendencias observadas en el registro de porcentaje de Calcio vs profundidad

Tabla 12 Características de los Subintervalos identificados en el registro de porcentaje de Calcio vs profundidad

SI	#M	PROF (m)	h (m)	VMÍN (%)	VMÁX(%)	Media (%)	R(%)	s ² (%)
1	595	1425.48	4.39	11.55	41.15	26.72	29.6	7.74
	580	1429.87						
2	579	1429.97	3.58	25.83	30.87	29.57	5.04	1.14
	560	1433.55						
3	559	1433.85	21.71	1.24	30.62	24.27	29.38	4.64
	395	1455.56						
4	394	1455.78	5.59	17.18	45.26	39.23	28.08	6.87
	356	1461.37						
5	355	1461.45	3.39	13.04	26.15	21.66	13.11	3.47
	329	1464.84						
6	328	1465.22	17.25	4.55	46.49	39.88	41.95	6.84
	213	1482.47						
7	212	1482.53	3.11	7.83	45.49	35.52	37.66	9.07
	180	1485.64						
8	179	1485.75	3.04	13.38	46.14	31.62	32.76	8.81
	147	1488.79						
9	146	1488.85	6.99	1.55	45.98	28.85	44.43	13.28
	70	1495.84						
10	69	1495.9	14.5	3.75	30.14	24.39	26.39	3.47
	1	1510.4						

SI - Subintervalo

#M - Número de muestra

PROF (m) – Profundidad (m)

h (m) - Espesor (m)

VMÁX – Valor máximo

VMÍN – Valor mínimo

R – Rango

s² – Desviación estándar**Descripción de los intervalos delimitados mediante el registro de porcentaje de Calcio vs profundidad.**

El Subintervalo 1 se caracteriza por un valor promedio de 26.72 % de Calcio, con una desviación estándar de 7.74 % de Calcio, los valores extremos son 11.55 % de Calcio y 41.15 % de Calcio. Se diferencia del siguiente Subintervalo por presentar valores dispersos en un amplio rango. Tiene un espesor de 4.39 m, cuyo límite superior se ubica en la profundidad de 1425.48 m y el límite inferior en la profundidad de 1429.87 m, está delimitado por los puntos 595 y 580.

El Subintervalo 2 se caracteriza por un valor promedio de 29.57 % de Calcio, con una desviación estándar de 1.14 % de Calcio, los valores extremos

son 25.83 % de Calcio y 30.87 % de Calcio. A diferencia de los demás Subintervalos, este no presenta una amplia variación entre los valores, ya que tienden en concentrarse cerca del 30 % de contenido de Calcio. Además posee un espesor de 3.58 m, cuyo límite superior se ubica en la profundidad de 1429.97 m y el límite inferior en la profundidad de 1433.55 m, está delimitado por los puntos 579 y 560.

El Subintervalo 3 se caracteriza por un valor promedio de 24.27 % de Calcio, con una desviación estándar de 4.64 % de Calcio, los valores extremos son 1.24 % de Calcio y 30.62 % de Calcio. Se diferencia del Subintervalo 2 por presentar un mayor rango de variación entre sus valores, de 10 % y 30 % de Calcio, además de poseer un mayor espesor, de 21.71 m. El límite superior se ubica en la profundidad de 1433.85 m y el límite inferior en la profundidad de 1455.56 m, está delimitado por los puntos 559 y 395.

El Subintervalo 4 se caracteriza por un valor promedio de 39.23 % de Calcio, con una desviación estándar de 6.87% de Calcio, los valores extremos son 17.18 % de Calcio y 28.08 % de Calcio. Se diferencia de los demás Subintervalos por concentrar la mayoría de sus puntos en la parte extrema derecha del gráfico. Tiene un espesor de 5.59 m, cuyo límite superior se ubica en la profundidad de 1455.78 m y el límite inferior en la profundidad de 1461.37 m, está delimitado por los puntos 394 y 356.

El Subintervalo 5 se caracteriza por un valor promedio de 21.66 % de Calcio, con una desviación estándar de 3.47 % de Calcio, los valores extremos son 13.04 % de Calcio y 26.15 % de Calcio. Presenta un comportamiento similar a la última sección del Subintervalo 3. Posee un espesor de 3.39 m, cuyo límite superior se ubica en la profundidad de 1461.45 m y el límite inferior en la profundidad de 1464.84 m, está delimitado por los puntos 355 y 329.

El Subintervalo 6, se caracteriza por un valor promedio de 39.88 % de Calcio, con una desviación estándar de 6.84 % de Calcio, los valores extremos son 4.55 % de Calcio y 46.49 % de Calcio. Al igual que el Subintervalo 4, los datos se agrupan en la zona derecha del gráfico pero presentan una menor concentración. Tiene un espesor de 17.25 m, cuyo límite superior se ubica en la profundidad de 1465.22 m y el límite inferior en la profundidad de 1482.47 m, está delimitado por los puntos 328 y 213.

En los Subintervalos 7, 8 y 9 se aprecia una disminución constante del porcentaje de Calcio en la roca, reportando valores cercanos al cero por ciento de Calcio en los primeros metros del Subintervalo nueve, mismo Subintervalo en donde se empieza a elevar el porcentaje de Calcio, hasta nuevamente situarse en

la sección derecha del gráfico. En conjunto en estos Subintervalos el porcentaje de Calcio en la roca va del 50 % al 0 % y de nuevo al 50 %. Juntos abarcan 13.14 m de profundidad (desde los 1482.53 m hasta los 1495.84 m). En la Figura 56 decidimos subdividir esta sección en tres Subintervalos, pero al no ser obvio el límite de cada Subintervalo, para la delimitación final haremos uso de todos los registros para delimitar certeramente esta zona.

El Subintervalo 10 se caracteriza por un valor promedio de 24.39 % de Calcio, casi constante, ya que presenta muy poca variación. Tiene un espesor de 14.5 m, cuyo límite superior se ubica en la profundidad de 1495.9 m y el límite inferior en la profundidad de 1510.4 m, está delimitado por los puntos 69 y 1.

Comparación entre los registros de porcentaje de Calcio, Magnesio y Sílice vs profundidad.

En esta sección examinaremos los registros de porcentaje de Calcio, porcentaje Magnesio y porcentaje de Sílice contra la profundidad simultáneamente, con el objetivo de corroborar correlaciones esperadas según la composición de la roca y comparar la claridad de las tendencias de los puntos registrados.

Como antecedentes para llevar a cabo la correlación entre estos elementos, sabemos que dentro las rocas sedimentarias podemos distinguir dos grupos: rocas carbonatadas o calizas y areniscas o siliciclásticas, según el origen del sedimento que compone a la roca. Las rocas carbonatadas o calizas se conforman de carbonato de Calcio, por tanto esperamos un alto porcentaje de Calcio en el intervalo analizado, a no ser que la roca carbonatada haya sufrido un proceso de dolomitización. En tal caso, el resultado de porcentaje de Calcio disminuirá, mientras que el porcentaje de Magnesio presentará un incremento, debido a que como ya hemos mencionado en esta tesis, en el proceso de dolomitización se produce una sustitución por intercambio iónico del Calcio por Magnesio en la roca. En cuanto a la composición de las rocas siliciclásticas o areniscas el componente predominante es el Sílice.

En la Figura 57 podemos apreciar como la gráfica del porcentaje de Calcio y de Magnesio presentan un comportamiento inverso en algunos segmentos de la gráfica, una con respecto a la otra, tal como se esperaba.

En cuanto a la gráfica de porcentaje de Sílice observamos una mejor delimitación en la zona comprendida entre las profundidades de 1480 m y 1485 m, zona que no se define claramente con el estudio del porcentaje de Calcio y de Magnesio.

El análisis individual del porcentaje de cada elemento, delimita cierto número de Subintervalos, algunos obvios y otros no tanto, sin embargo al llevar a

cabo un análisis simultáneo que comprenda varios registros asegura que la delimitación de las unidades sea certera y confiable.

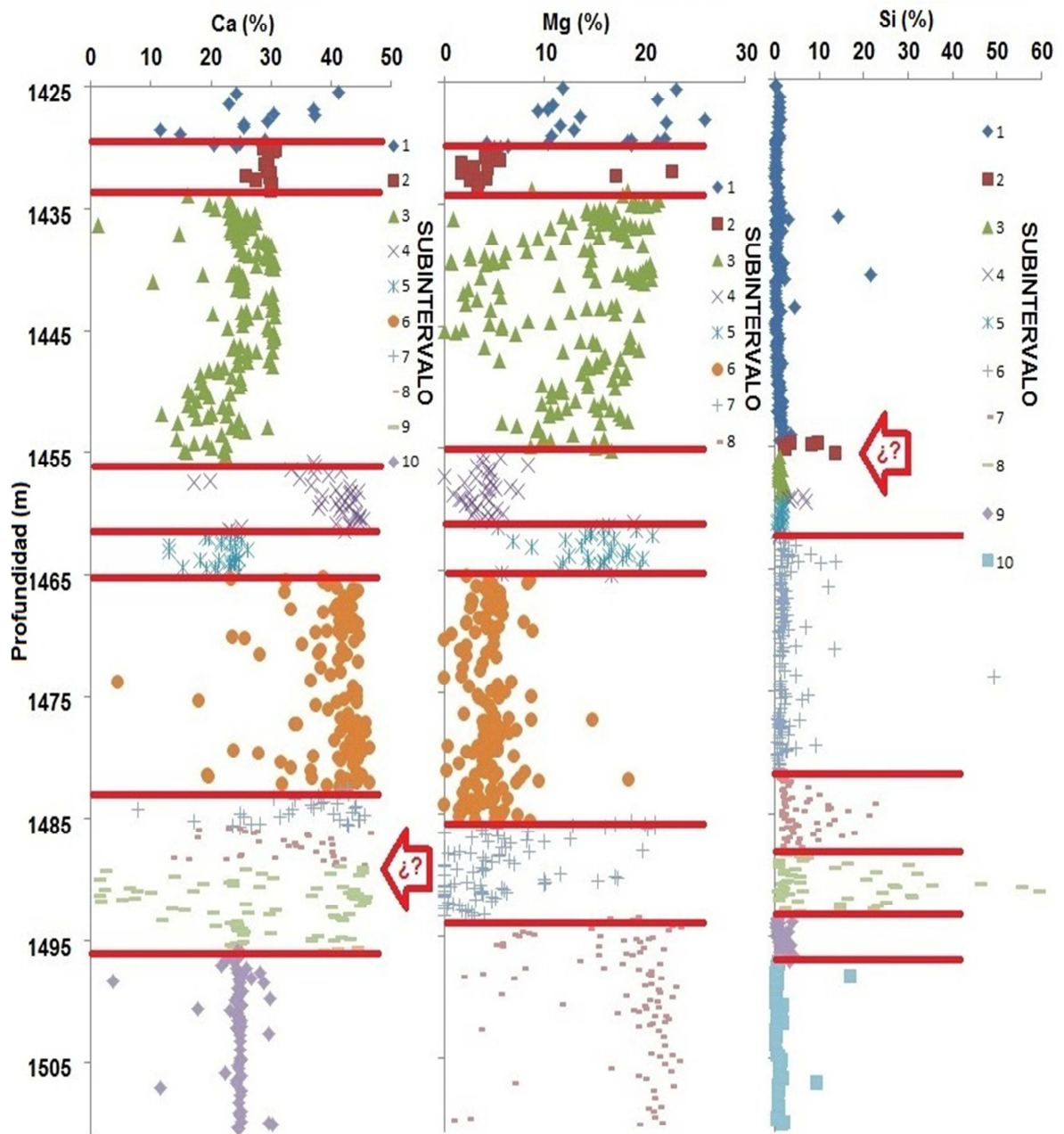


Figura 57 Comparación entre los registros de porcentaje de Calcio, Magnesio y Sílice vs profundidad

Etapa 2:

En la segunda etapa se llevó a cabo un análisis integral del intervalo utilizando los siguientes registros:

- I. Registro de susceptibilidad magnética vs la profundidad
- II. Registro de porcentaje de contenido de Sílice vs profundidad
- III. Registro de porcentaje de contenido de Aluminio vs profundidad
- IV. Registro de porcentaje de contenido de Hierro vs profundidad
- V. Registro de porcentaje de contenido de Potasio vs profundidad
- VI. Registro de porcentaje de contenido de Calcio vs profundidad
- VII. Registro de porcentaje de contenido de Magnesio vs profundidad
- VIII. Registro de porcentaje de contenido de Estroncio vs profundidad
- IX. Registro de porcentaje de reacción química vs la profundidad.

Se compararon todas las tendencias observadas en los registros analizados individualmente, lo cual permitió identificar 11 unidades como se aprecia en la Figura 58. En esta parte del análisis se pueden apreciar las relaciones esperadas entre registros, como es el caso del registro de susceptibilidad magnética con el registro de porcentaje Hierro, o la relación entre el registro de porcentaje de reacción química con los registros de porcentaje de Calcio y porcentaje de Magnesio.

En la Tabla 13 concentramos la información de estos Subintervalos.

Tabla 13 Características de los Subintervalos, delimitación final.

SI	#M	PROF	h (m)	REG	SM	%Si	%Al	%Fe	%K	%Sr	%Ca	%Mg	%RQ
1	595	1425.48	4.39	MEDIA	-1.08	0.84	0.57	0.02	0.05	0.02	26.72	16.47	66.25
				VMAX	-0.70	1.34	0.76	0.04	0.10	0.09	41.15	25.97	80.00
				VMIN	-1.40	0.36	0.38	0.00	0.01	0.00	11.55	9.26	60.00
	580	1429.87	4.39	R	0.70	0.98	0.39	0.04	0.10	0.09	29.60	16.71	20.00
				S^2	0.17	0.32	0.11	0.01	0.03	0.03	7.74	5.63	9.57
2	579	1429.97	3.58	MEDIA	-1.39	0.30	0.31	0.00	0.02	0.11	29.57	6.66	9.00
				VMAX	-1.10	0.91	0.47	0.01	0.10	0.15	30.87	22.73	20.00
				VMIN	-1.90	0.15	0.14	0.00	0.00	0.08	25.83	1.68	0.00
	560	1433.55	3.58	R	0.80	0.77	0.33	0.01	0.10	0.07	5.04	21.06	20.00
				S^2	0.19	0.17	0.10	0.00	0.02	0.01	1.14	5.90	10.21
3	559	1433.85	13.94	MEDIA	-0.95	1.02	0.40	0.02	0.05	0.05	25.77	13.20	42.74
				VMAX	0.80	21.56	1.41	0.40	0.65	0.14	30.62	21.38	80.00
				VMIN	-2.20	0.16	0.07	0.00	0.00	0.00	1.24	0.02	0.00
	443	1447.79	13.94	R	3.00	21.40	1.34	0.40	0.65	0.13	29.38	21.35	80.00
				S^2	0.40	2.36	0.17	0.04	0.07	0.04	4.13	6.27	30.28

Continuación Tabla 13 Características de los Subintervalos, delimitación final.

SI	#M	PROF	h	REG	SM	%Si	%Al	%Fe	%K	%Sr	%Ca	%Mg	%RQ
4	442	1447.87	7.69	MEDIA	-0.75	1.91	0.75	0.08	0.28	0.01	20.60	13.21	65.42
				VMAX	0.30	13.86	3.85	1.15	3.41	0.09	29.44	18.27	100.00
				VMIN	-1.60	0.46	0.24	0.00	0.03	0.00	11.71	3.80	60.00
	395	1455.56	7.69	R	1.90	13.40	3.60	1.15	3.39	0.09	17.73	14.47	40.00
				S ²	0.30	2.48	0.65	0.17	0.61	0.02	3.69	3.45	11.48
5	394	1455.78	5.59	MEDIA	-0.91	1.89	0.82	0.07	0.35	0.04	39.23	4.67	93.33
				VMAX	0.30	6.96	1.89	0.23	1.66	0.05	45.26	18.91	100.00
				VMIN	-1.40	0.61	0.38	0.01	0.02	0.01	17.18	0.00	80.00
	356	1461.37	5.59	R	1.70	6.35	1.51	0.22	1.64	0.05	28.08	18.91	20.00
				S ²	0.33	1.34	0.30	0.05	0.34	0.01	6.87	3.50	9.55
6	355	1461.45	3.94	MEDIA	-0.95	3.06	1.09	0.16	0.49	0.01	22.30	14.95	75.86
				VMAX	-0.10	13.78	4.07	1.52	3.07	0.05	38.67	20.73	100.00
				VMIN	-1.50	0.56	0.36	0.00	0.02	0.00	13.04	5.69	60.00
	327	1465.39	3.94	R	1.40	13.22	3.71	1.52	3.05	0.04	25.63	15.04	40.00
				S ²	0.35	3.00	0.85	0.31	0.71	0.01	4.60	3.63	12.40
7	326	1465.51	16.16	MEDIA	-0.98	2.87	0.99	0.20	0.45	0.04	39.98	4.43	91.13
				VMAX	0.20	49.38	6.37	3.37	5.10	0.08	46.46	14.73	100.00
				VMIN	-2.00	0.62	0.10	0.01	0.03	0.00	4.55	0.00	60.00
	221	1481.67	16.16	R	2.20	48.76	6.27	3.37	5.07	0.08	41.91	14.73	40.00
				S ²	0.32	5.38	0.79	0.52	0.71	0.01	6.87	2.10	13.55
8	220	1481.73	6.24	MEDIA	-0.61	5.45	1.79	0.85	1.07	0.03	34.76	6.95	81.27
				VMAX	1.70	22.21	7.19	6.05	4.99	0.24	46.49	21.01	100.00
				VMIN	-2.00	0.65	0.42	0.00	0.04	0.00	7.83	0.00	20.00
	158	1487.97	6.24	R	3.70	21.56	6.76	6.05	4.95	0.23	38.66	21.01	80.00
				S ²	0.86	5.14	1.54	1.23	1.28	0.03	8.56	5.63	16.01
9	157	1488.05	5.32	MEDIA	1.14	13.69	3.06	1.72	2.31	0.03	28.90	3.79	71.61
				VMAX	15.90	59.76	10.71	8.24	8.84	0.32	45.98	17.22	100.00
				VMIN	-1.80	0.81	0.09	0.01	0.03	0.00	1.55	0.00	0.00
	96	1493.37	5.32	R	17.70	58.95	10.62	8.23	8.82	0.32	44.43	17.22	100.00
				S ²	3.65	13.84	3.19	2.17	2.79	0.04	14.72	4.07	23.34
10	95	1493.49	3.53	MEDIA	-0.77	1.58	0.56	0.14	0.23	0.01	28.60	15.78	78.24
				VMAX	0.60	4.19	1.33	0.58	0.80	0.03	44.56	23.39	100.00
				VMIN	-1.20	0.26	0.19	0.00	0.03	0.00	20.98	4.93	40.00
	62	1497.02	3.53	R	1.80	3.93	1.14	0.58	0.77	0.03	23.58	18.46	60.00
				S ²	0.42	1.17	0.30	0.15	0.22	0.01	7.34	5.56	14.24
11	61	1497.24	13.16	MEDIA	-0.62	1.26	0.49	0.14	0.19	0.01	24.46	17.92	55.41
				VMAX	1.80	17.13	4.07	4.00	3.87	0.12	30.14	23.23	80.00
				VMIN	-1.80	0.25	0.00	0.00	0.00	0.00	3.75	0.70	0.00
	1	1510.4	13.16	R	3.60	16.88	4.07	4.00	3.87	0.12	26.39	22.53	80.00
				S ²	0.70	2.40	0.61	0.55	0.62	0.03	3.66	6.08	21.41

SI - Subintervalo #M - Número de muestra PROF (m) - Profundidad (m) h (m) - Espesor (m) VMAX - Valor máximo VMIN - Valor mínimo R - Rango s² - Desviación estándar

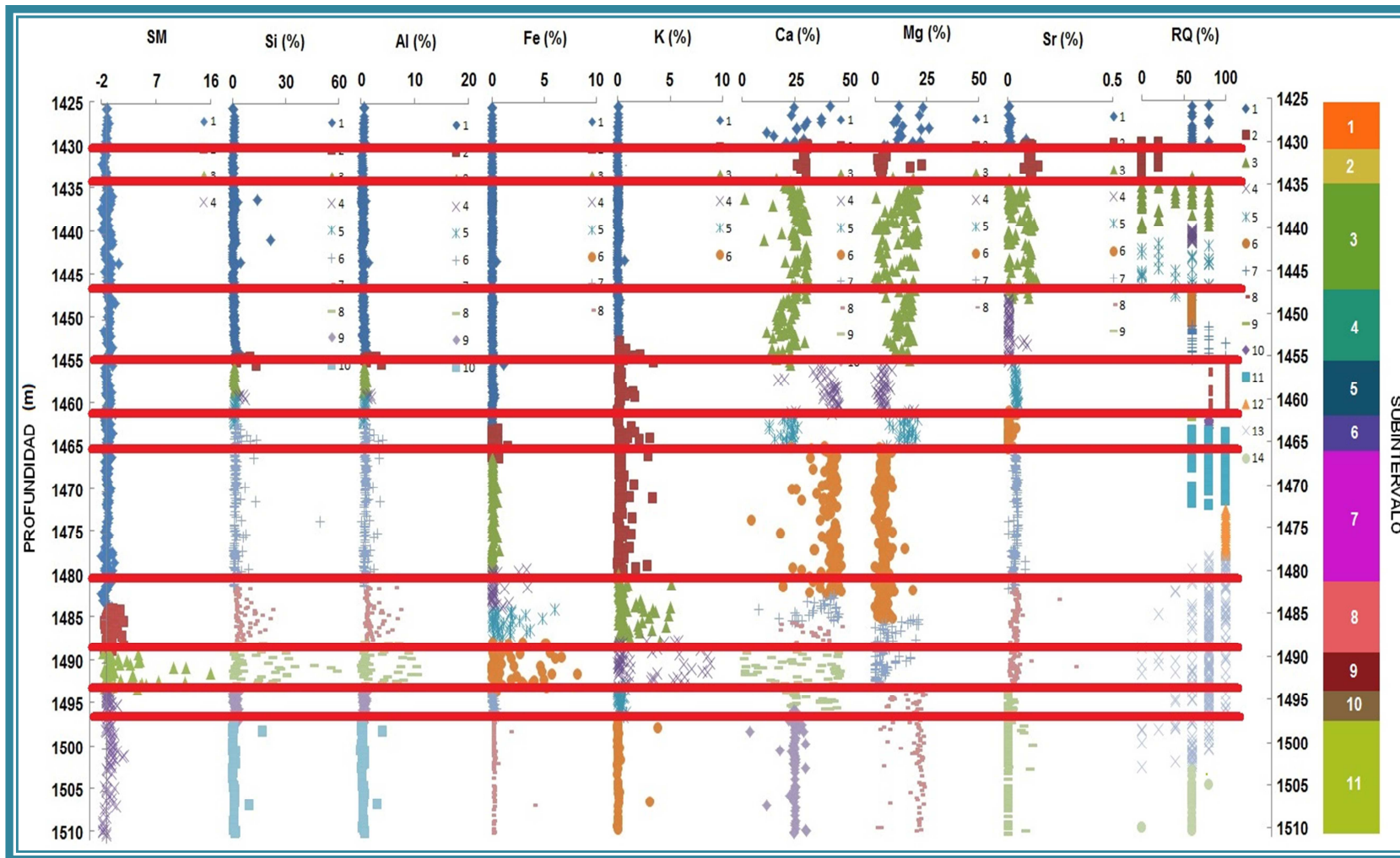


Figura 58 Identificación final de intervalos

En los siguientes párrafos describiremos brevemente los Subintervalos identificados.

El Subintervalo 1 se encuentra definido por el comportamiento observado en los registros de Estroncio, Calcio, Magnesio y de reacción química, que presentan una alta desviación estándar con excepción del Estroncio. Tiene un espesor de 4.39 m, cuyo límite superior se ubica en la profundidad de 1425.48 m y el límite inferior en la profundidad de 1429.87 m, está delimitado por los puntos 595 y 580. Los cambios de coloración, textura y fábrica presentes en la roca que conforma a este Subintervalo los podemos observar en la Figura 59.



Figura 59 Reconocimiento macroscópico del Subintervalo 1

El Subintervalo 2 se caracteriza por una disminución considerable en la desviación estándar de los registros de porcentaje de Calcio, Magnesio y de reacción química. Tiene un espesor de 3.58 m, cuyo límite superior se ubica en la profundidad de 1429.97 m y el límite inferior en la profundidad de 1433.55 m, está delimitado por los puntos 579 y 560. Los cambios de coloración, textura y fábrica presentes en la roca que conforma a este Subintervalo los podemos observar en la Figura 60.

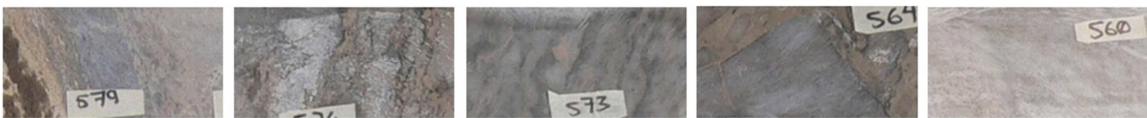


Figura 60 Reconocimiento macroscópico del Subintervalo 2

El Subintervalo 3 se caracteriza por el aumento en la desviación estándar de los registros de porcentaje de Estroncio, Calcio y Magnesio. El registro de porcentaje de reacción química es el que presenta mayor y un evidente límite inferior. Tiene un espesor de 13.94 m, cuyo límite superior se ubica en la profundidad de 1433.85 m y el límite inferior en la profundidad de 1447.79 m, está delimitado por los puntos 559 y 443. Los cambios de coloración, textura y fábrica presentes en la roca que conforma a este Subintervalo los podemos observar en la Figura 61.



Figura 61 Reconocimiento macroscópico del Subintervalo 3

El Subintervalo 4 se caracteriza por la disminución en la desviación estándar de los registros de porcentaje de Estroncio y porcentaje de reacción química. Los registros de porcentaje de Sílice, Aluminio, Potasio, Calcio y Magnesio presentan un cambio notable en límite inferior de este Subintervalo. Es el Subintervalo con menor porcentaje de Calcio (20.60%) registrado en todo el intervalo. Tiene un espesor de 7.69m, cuyo límite superior se ubica en la profundidad de 1447.87m y el límite inferior en la profundidad de 1455.56m, está delimitado por los puntos 442 y 395. Los cambios de coloración, textura y fábrica presentes en la roca que conforma a este Subintervalo los podemos observar en la Figura 62.

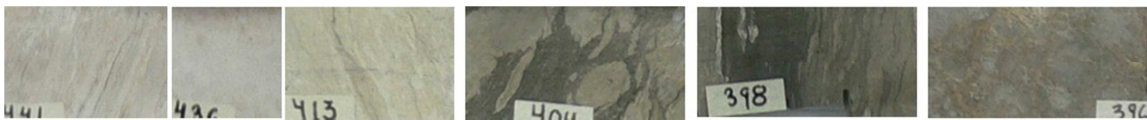


Figura 62 Reconocimiento macroscópico del Subintervalo 4

El Subintervalo 5 se caracteriza por un cambio en la tendencia de los registros de porcentaje de Estroncio, Calcio, Magnesio y porcentaje de reacción química. La media del porcentaje de Calcio aumenta notablemente de 20.60% a 39.23%. El Subintervalo 5 tiene un espesor de 5.59 m, cuyo límite superior se ubica en la profundidad de 1455.78 m y el límite inferior en la profundidad de 1461.37 m, está delimitado por los puntos 394 y 356. Los cambios de coloración, textura y fábrica presentes en la roca que conforma a este Subintervalo los podemos observar en la Figura 63.



Figura 63 Reconocimiento macroscópico del Subintervalo 5

El Subintervalo 6 presenta un comportamiento similar al del Subintervalo 4. Se define por los registros de porcentaje de Hierro, Calcio, Magnesio y Estroncio. Tiene un espesor de 3.94 m, cuyo límite superior se ubica en la profundidad de 1461.45 m y el límite inferior en la profundidad de 1465.39 m, está delimitado por los puntos 355 y 327. Los cambios de coloración, textura y fábrica presentes en la roca que conforma a este Subintervalo los podemos observar en la Figura 64

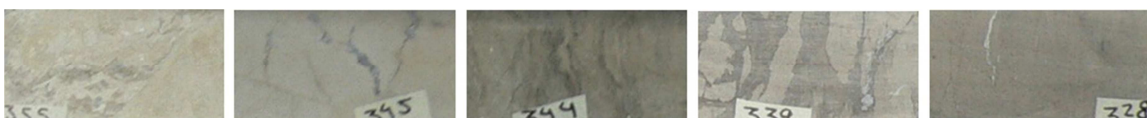


Figura 64 Reconocimiento macroscópico del Subintervalo 6

El Subintervalo 7 presenta un comportamiento similar al del Subintervalo 5. El límite superior se encuentra definido por los registros de porcentaje de Hierro, Calcio, Magnesio y Estroncio, cerca del límite inferior todos los registros presentan cambios, lo cual resulta muy interesante debido a que esto nos indicaría un cambio severo en la litología del intervalo. Tiene un espesor de 16.16 m, cuyo límite superior se ubica en la profundidad de 1465.51 m y el límite inferior en la profundidad de 1481.67 m, está delimitado por los puntos 326 y 221. Los cambios de coloración, textura y fábrica presentes en la roca que conforma a este Subintervalo los podemos observar en la Figura 65.



Figura 65 Reconocimiento macroscópico del Subintervalo 7

Los Subintervalos 8 y 9 presentan un aumento continuo en los porcentajes de Sílice, Aluminio, Hierro y Potasio, hasta alcanzar el mayor rango registrado en el Subintervalo 9. Lo mismo sucede con las lecturas de susceptibilidad magnética de la roca debido a la intrínseca relación entre estos registros. A pesar de que el aumento en los porcentajes de Sílice, Aluminio, Hierro y Potasio son análogos, no podemos inferir sólo con esta información si proceden de la misma fuente de origen. Para esto tendremos que llevar a cabo otro tipo de análisis, el cual se desarrollara más adelante. El Subintervalo 8 tiene un espesor de 6.24 m, cuyo límite superior se ubica en la profundidad de 1481.73 m y el límite inferior en la profundidad de 1487.97 m, está delimitado por los puntos 220 y 158, mientras que el Subintervalo 9 tiene un espesor de 5.32 m, cuyo límite superior se ubica en la profundidad de 1488.05 m y el límite inferior en la profundidad de 1493.37 m, está delimitado por los puntos 157 y 96. Los cambios de coloración, textura y fábrica presentes en la roca que conforman a estos Subintervalos los podemos observar en la Figura 66 y en la Figura 67 respectivamente.



Figura 66 Reconocimiento macroscópico del Subintervalo 8

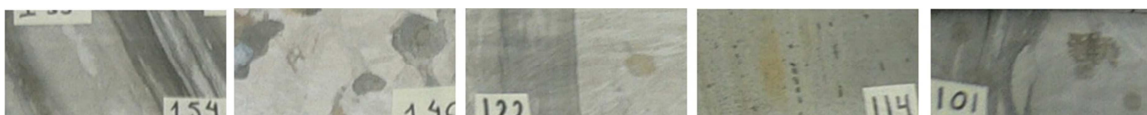


Figura 67 Reconocimiento macroscópico del Subintervalo 9

El Subintervalo 10 presenta una desviación estándar menor que la del Subintervalo 9 pero mayor que la del Subintervalo 11. En los registros de porcentaje de Sílice, Aluminio, Hierro, Potasio, Calcio y Magnesio se aprecia una variación pequeña pero continúa entre los valores extremos del rango, siendo las del porcentaje de Calcio y la del porcentaje de Magnesio las más marcadas. Tiene un espesor de 3.53 m, cuyo límite superior se ubica en la profundidad de 1493.49 m y el límite inferior en la profundidad de 1497.02 m, está delimitado por los puntos 95 y 62. Los cambios de coloración, textura y fábrica presentes en la roca que conforma a este Subintervalo los podemos observar en la Figura 68.



Figura 68 Reconocimiento macroscópico del Subintervalo 10

Finalmente el Subintervalo 11 se caracteriza por un incremento considerable en el porcentaje de Magnesio, registrando una media de 17.92% (la más alta en todo el intervalo) y una desviación estándar de 6.08%. Los demás registros reportan desviaciones estándar bajas con excepción del registro de porcentaje de reacción química. Tiene un espesor de 13.16 m, cuyo límite superior se ubica en la profundidad de 1497.24 m y el límite inferior en la profundidad de 1510.4 m. Lo delimitan los puntos 61 y 1. Los cambios de coloración, textura y fábrica presentes en la roca que conforma a este Subintervalo los podemos observar en la Figura 69.

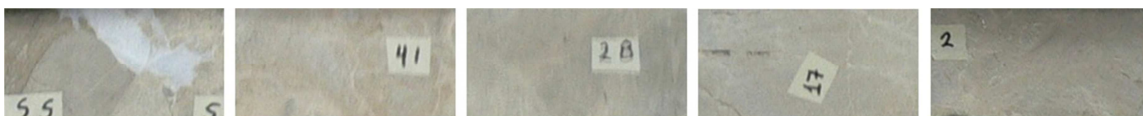


Figura 69 Reconocimiento macroscópico del Subintervalo 11

Para corroborar si los elementos proceden de la misma fuente de origen relacionaremos el porcentaje de un elemento contra el porcentaje de otro elemento, si obtenemos una gráfica de dispersión que demuestra una relación lineal positiva entre ambas variables, podemos concluir que los elementos en cuestión proceden de la misma fuente de origen. Como es el caso del Sílice, Aluminio, Hierro y Potasio, que proceden de un aporte terrígeno de transporte eólico ajeno a la cuenca sedimentaria. Se descarta la posibilidad de otro tipo de transporte del sedimento debido a la ausencia de ríos en la zona estudiada. Ver de la Figura 70 a la Figura 76.

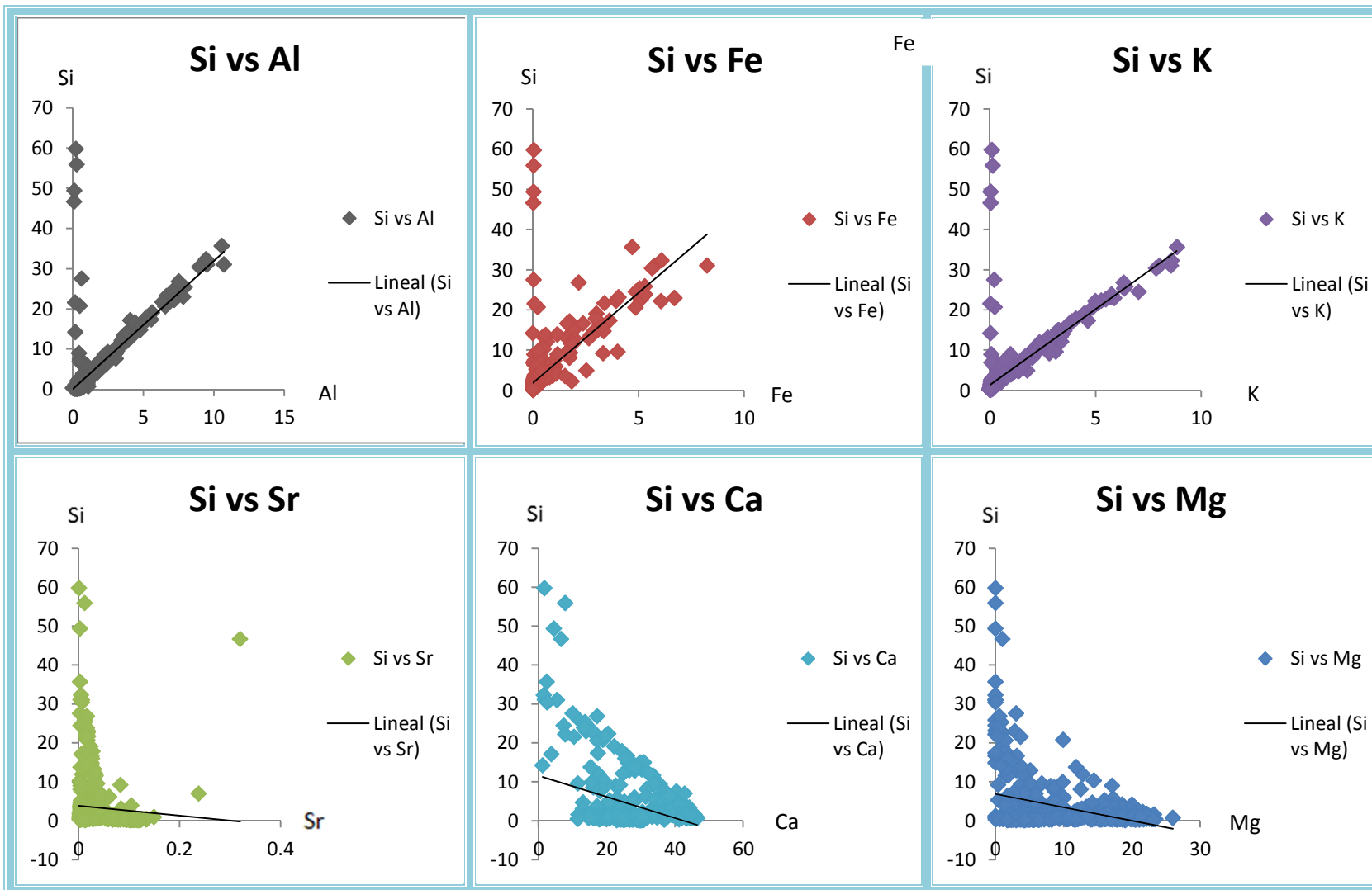


Figura 70 Cuadro comparativo Sílice

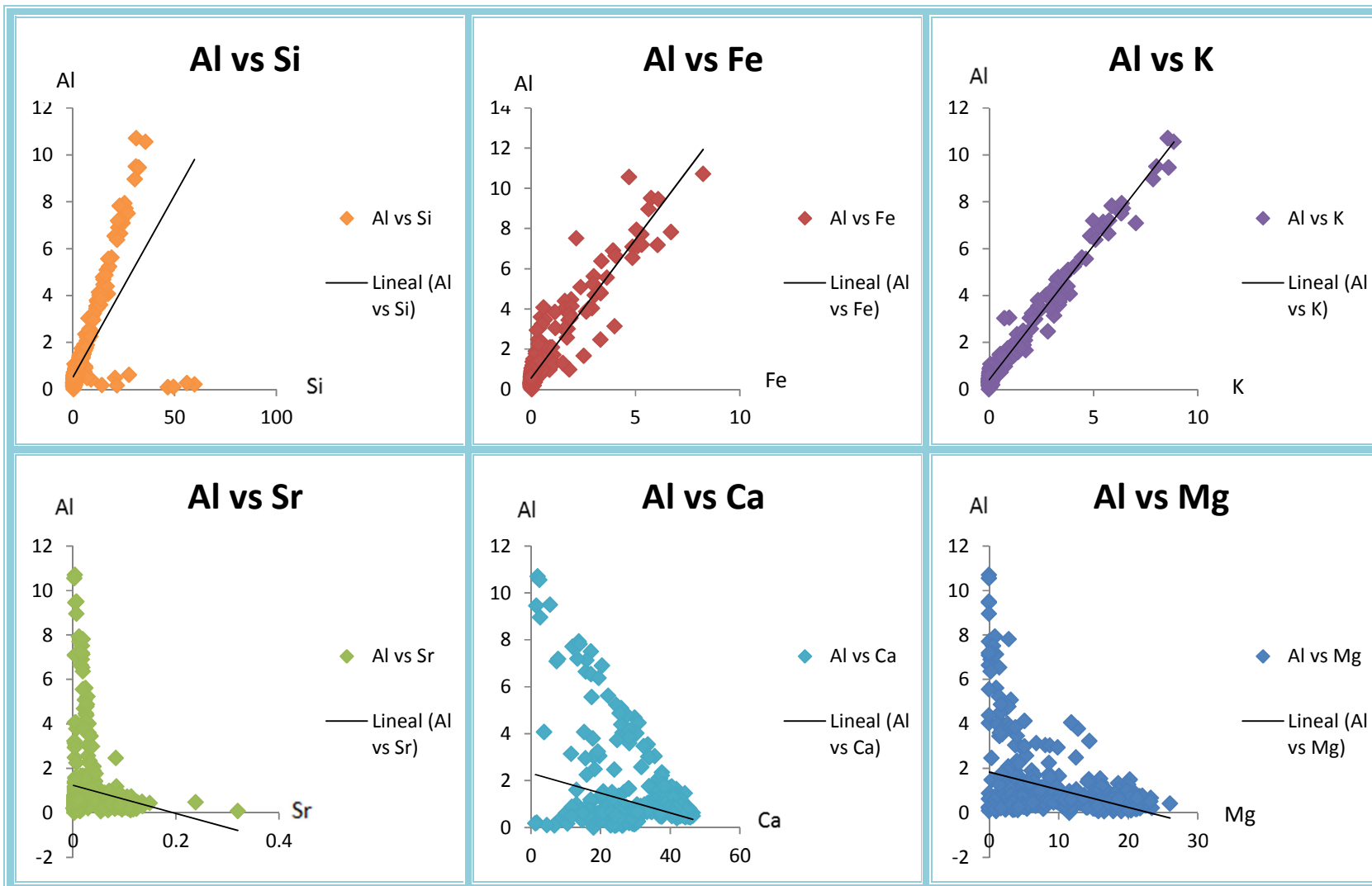


Figura 71 Cuadro comparativo Aluminio

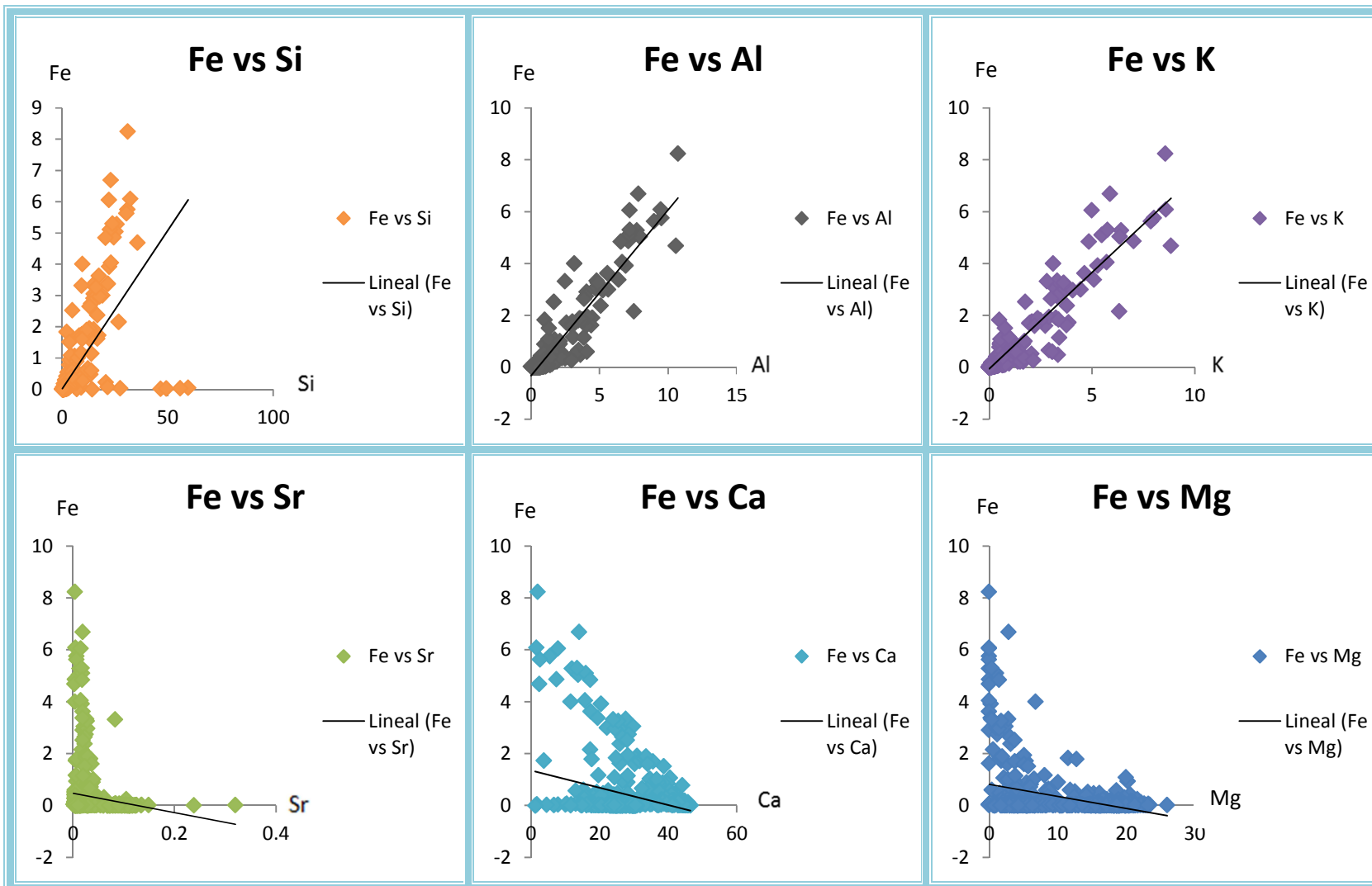


Figura 72 Cuadro comparativo Hierro

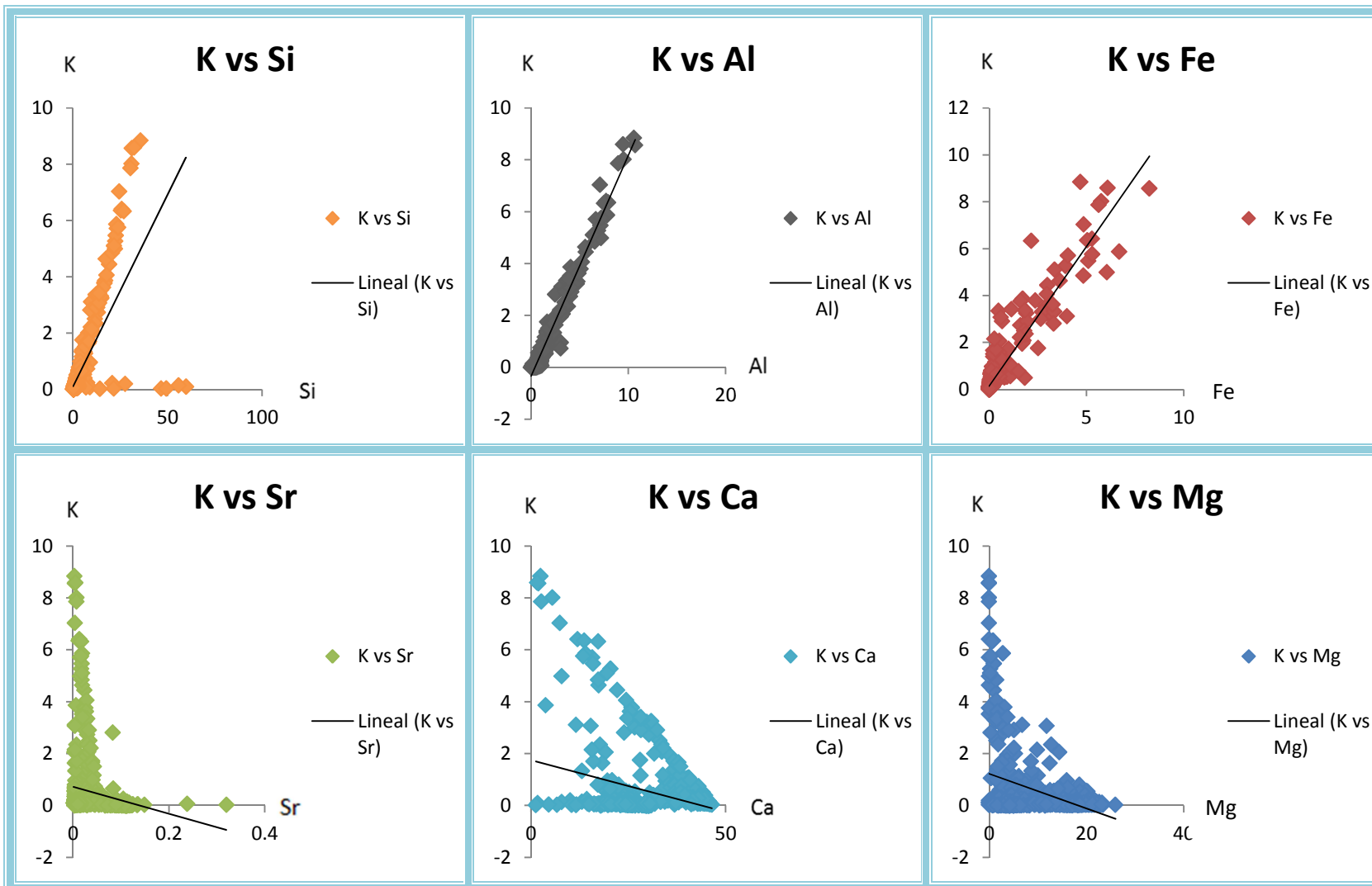


Figura 73 Cuadro comparativo Potasio

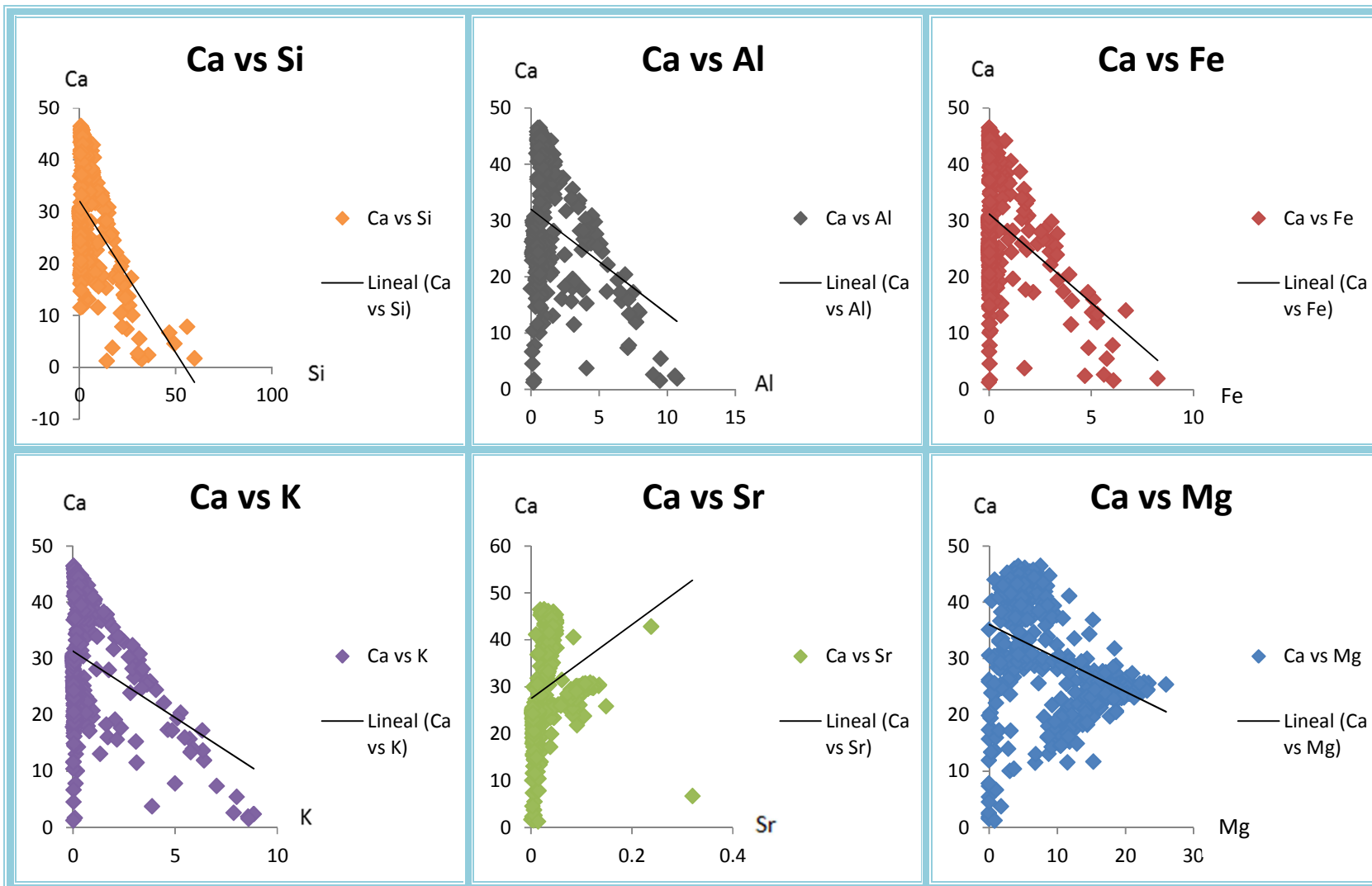


Figura 74 Cuadro comparativo Calcio

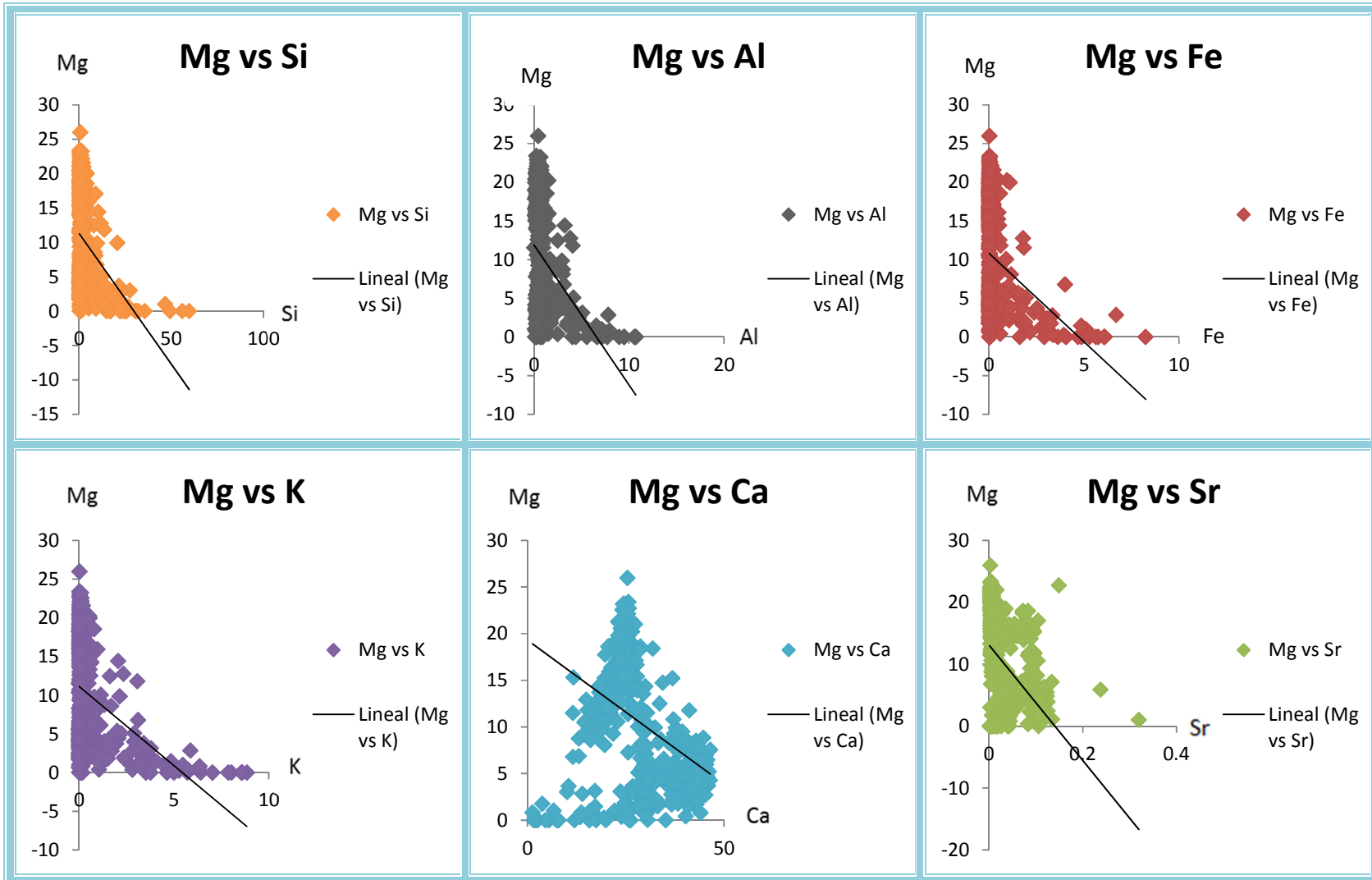


Figura 75 Cuadro comparativo Magnesio

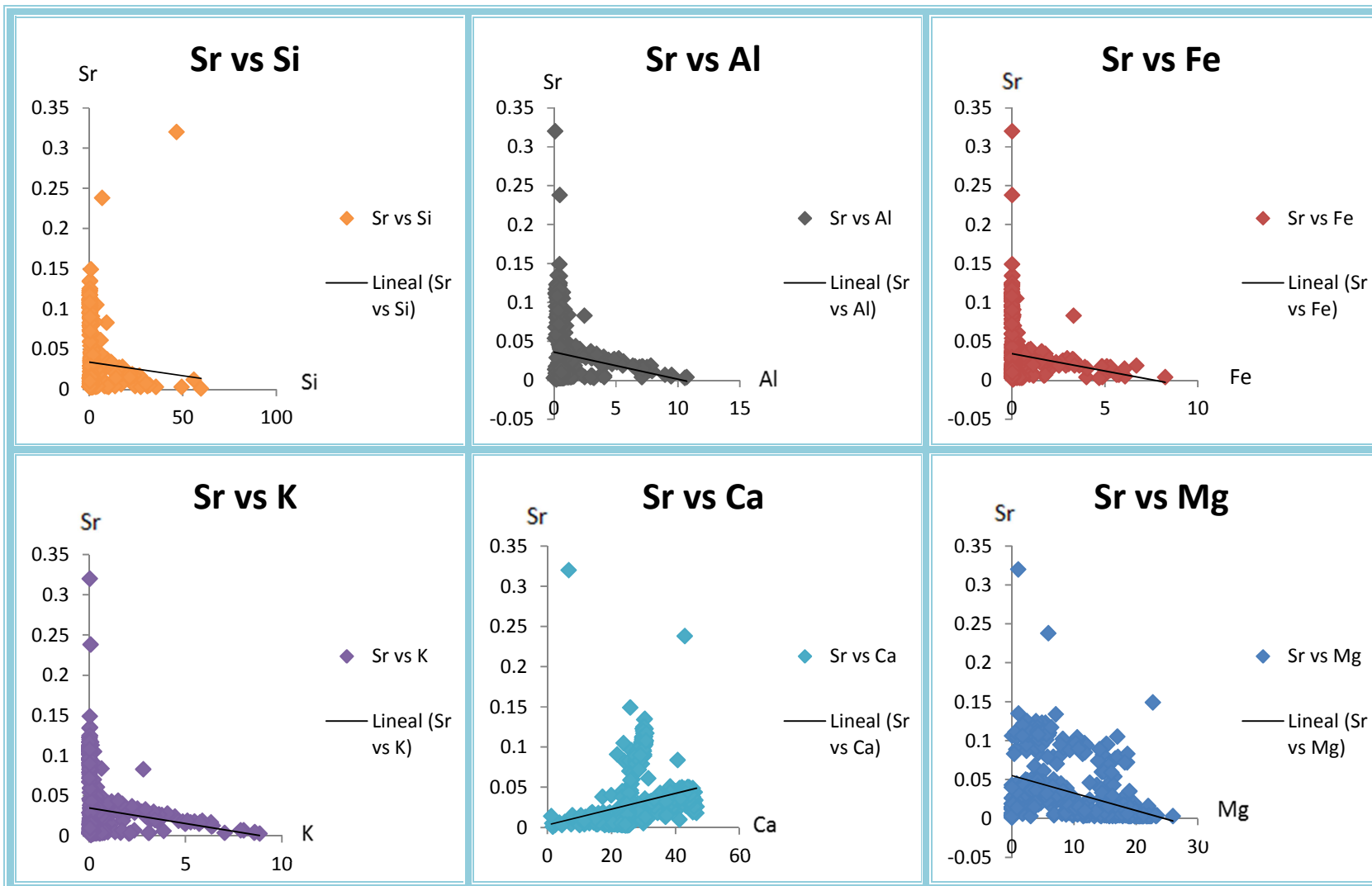


Figura 76 Cuadro comparativo Estroncio

Al observar más de una relación lineal positiva, realizamos un histograma para cada elemento implicado y observamos la distribución. Si es una distribución bimodal, podemos afirmar que el elemento en cuestión proviene de dos fuentes de origen diferentes sin correlación. Como es el caso del Calcio y del Magnesio, para el Calcio corresponden la acción biogénica (desintegración de amazones esqueléticos) y la precipitación de agua marina, mientras que para el Magnesio corresponde a procesos diagenéticos (dolomitización). Ver Figura 77.

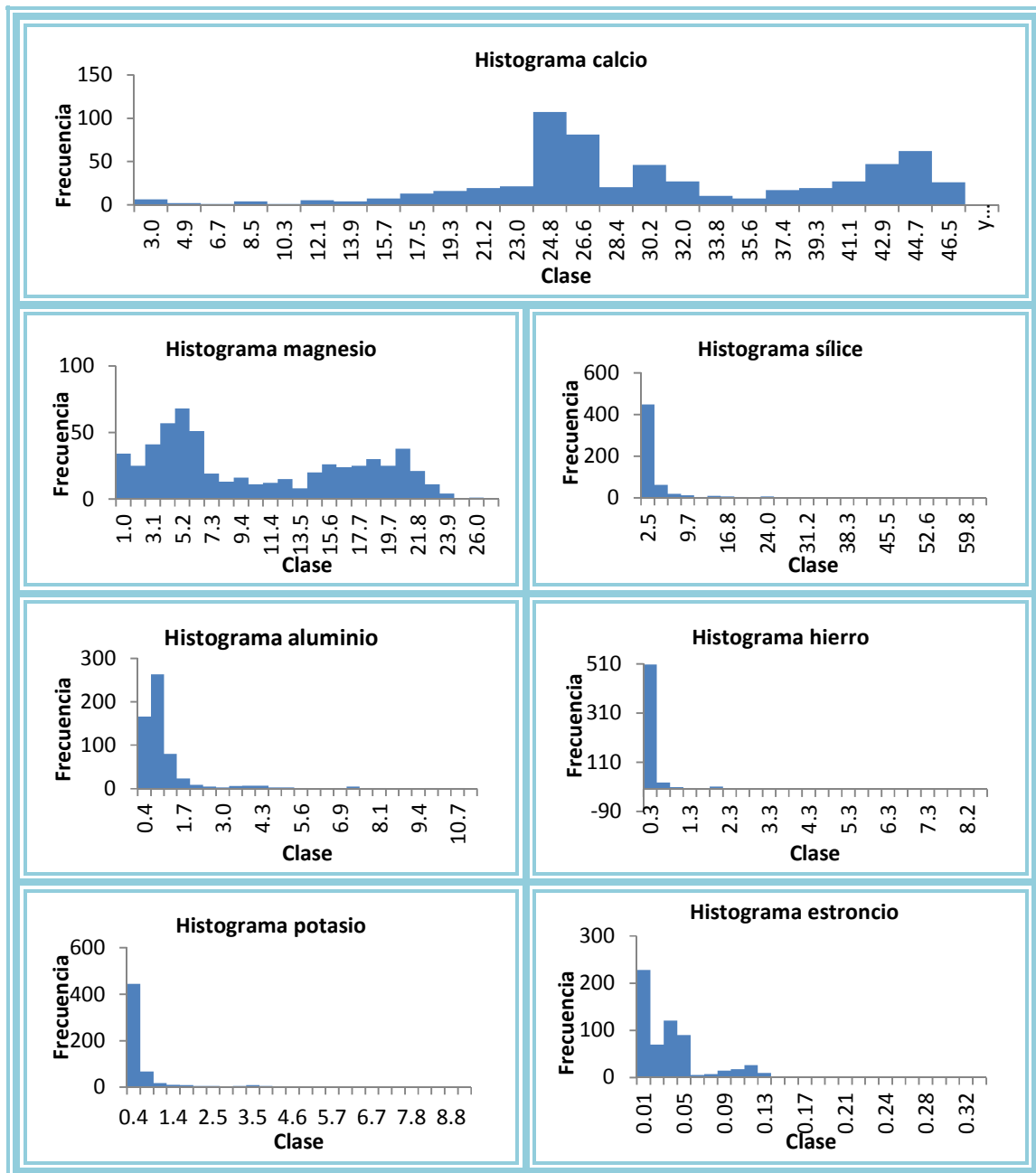


Figura 77 Cuadro comparativo de histogramas

En la Figura 78 se marcan los límites de los Subintervalos en las fotos de las cajas contenedoras de núcleos.



Figura 78 Delimitación final de los Subintervalos en las fotografías de las cajas contenedoras de núcleo

Definición de unidades

A través del análisis de los registros en función de la profundidad se delimitaron once Subintervalos en la secuencia carbonatada, cuyo comportamiento corresponde a cuatro litologías o cambios de facies diferentes, como se aprecia en la Figura 79.

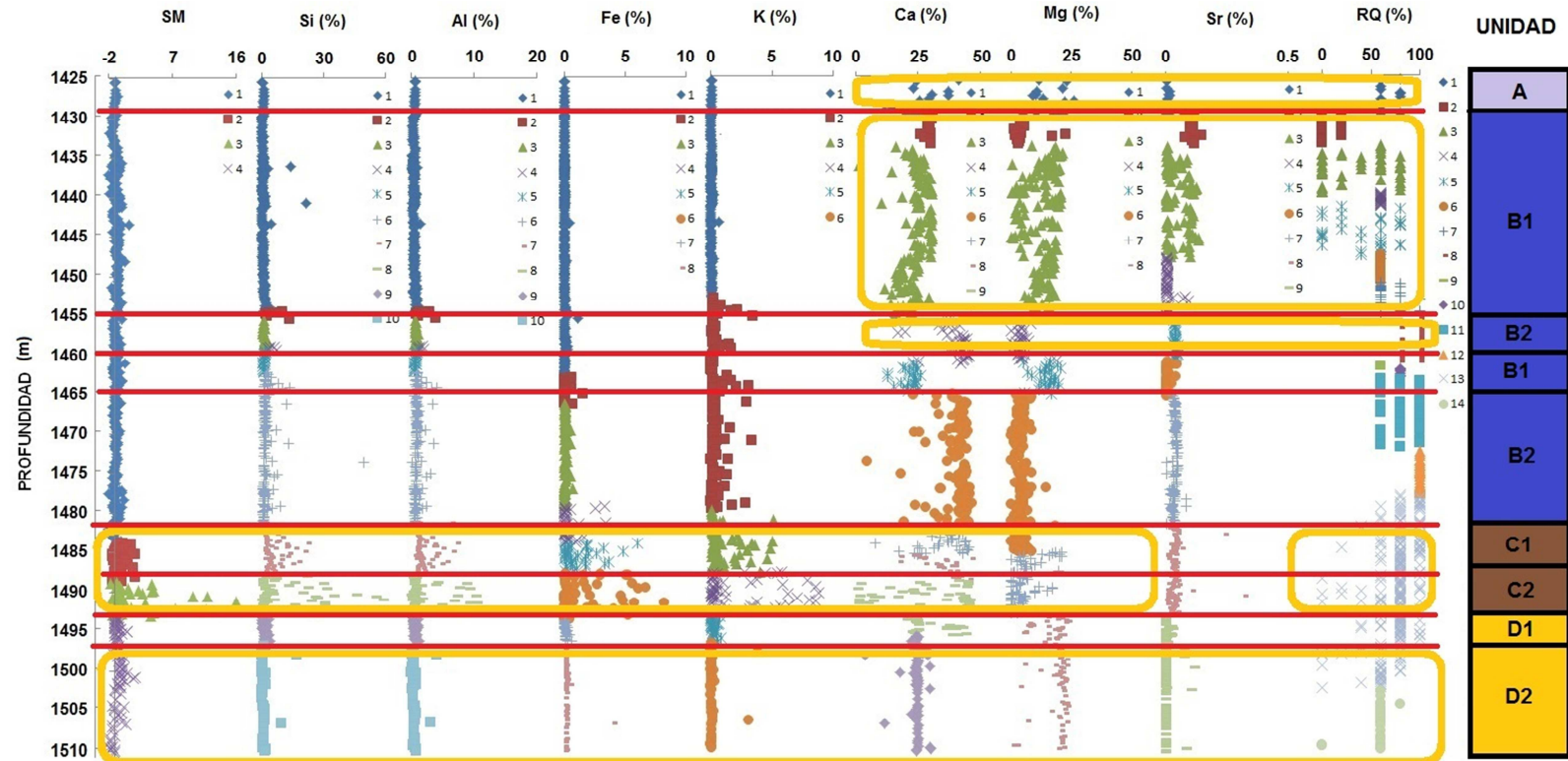


Figura 79 Definición de unidades

Unidad A

La unidad A se conforma de anhidritas, calizas y dolomías y tiene un espesor de 4.39m. Los componentes principales son Calcio 26.72 % y Magnesio 16.47 % en promedio. Su límite inferior se aprecia en los registros de Calcio, Magnesio, Estroncio y análisis químico.

Unidad B

La unidad B se subdivide en dos subunidades B1 y B2, caracterizadas por el aumento y disminución alternada de los porcentajes de Calcio y Magnesio identificados en los registros correspondientes. La subunidad B1 presenta 24.56 % de Calcio en promedio, mientras que la subunidad B2 presenta 39.61 % de Calcio en promedio. Las litologías identificadas en esta unidad son calizas y calizas parcialmente dolomitizadas. En las subunidades se observan vetillas calcita y microfracturamiento. En la subunidad B1 se observan cambios de texturas y coloración de los carbonatos. Los componentes principales son Calcio 32.08 % y Magnesio 8.28 % en promedio. Su límite inferior se aprecia en todos los registros a excepción del registro de Magnesio.

Unidad C

La unidad C se subdivide en C1 y C2, debido al incremento escalonado de elementos químicos de origen terrígeno. Las litologías identificadas en esta unidad son calizas y margas. Los componentes principales son Calcio 28.9 % y Sílice 13.69 % en promedio. Su límite inferior se aprecia en todos los registros.

Unidad D

La unidad D se subdivide en D1 y D2. La subunidad D1 presenta una baja dispersión en los registros de Calcio y Magnesio, mientras que la subunidad D2 mantiene valores casi constantes en todos los registros. Se observan diferentes texturas, con secciones de estratificación fina, intervalos masivos e intervalos con deformación sin-sedimentaria. Las litologías identificadas en esta unidad son calizas, calizas parcialmente dolomitizadas y dolomías. Los componentes principales son Calcio 26.53 % y Magnesio 16.85 %, en promedio.

Comparación entre los registros realizados contra los registros tomados durante la perforación del pozo.

En la [Figura 80](#) se muestra una comparación entre los registros realizados en esta tesis contra los registros tomados durante la perforación del pozo Yaxcopil-1 (registro de rayos gamma y registro sónico). Claramente podemos apreciar las diferencias entre ellos, en comparación con los estudios previos los nuevos registros ofrecen una mejor resolución de los cambios litológicos.

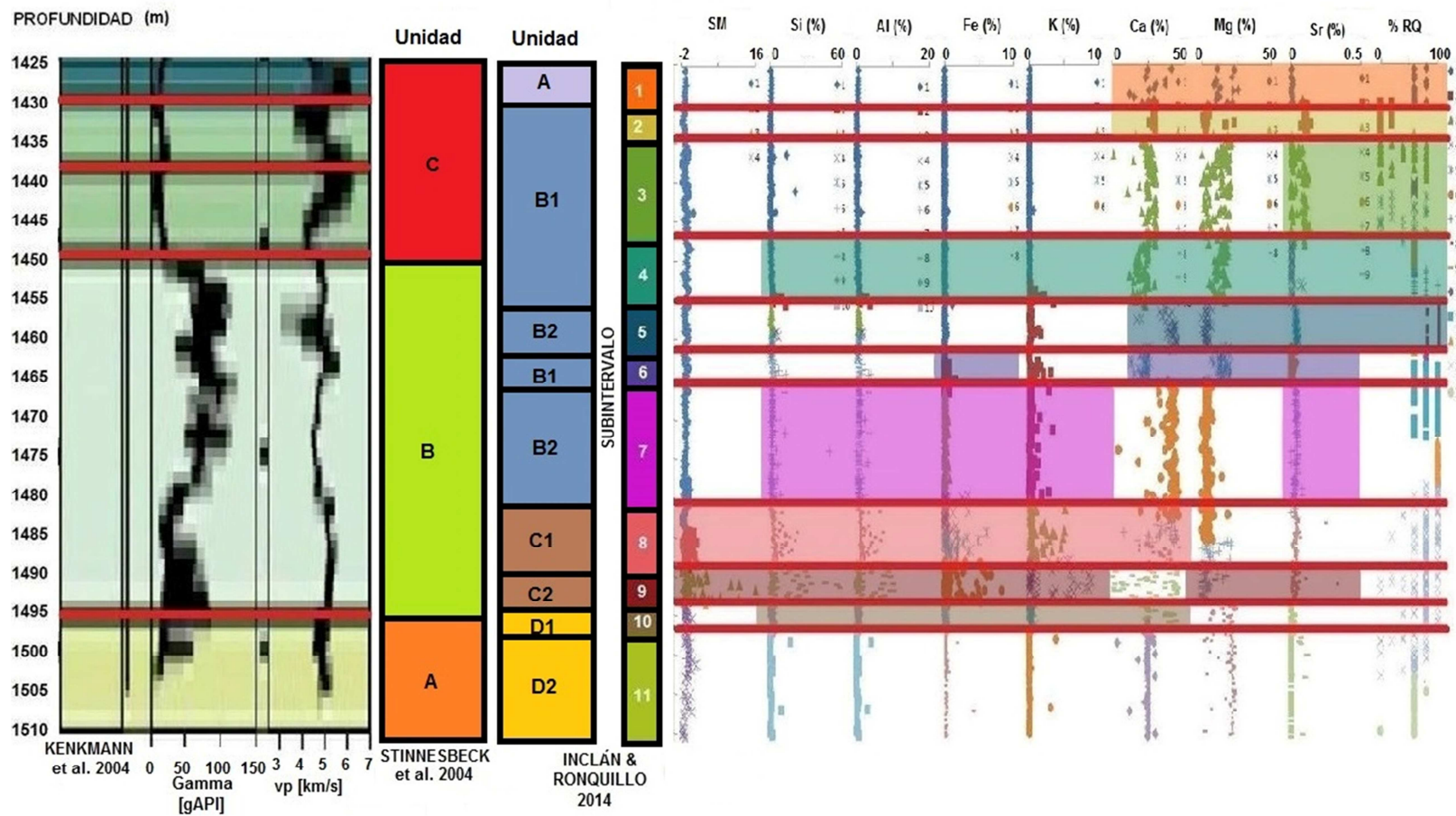


Figura 80 Comparación de registros

Conclusiones

Conclusiones.

Registros y evaluación de las herramientas.

Registro de susceptibilidad magnética.

Los resultados corresponden a la composición de las rocas sedimentaras, un comportamiento diamagnético para las rocas carbonatadas y un comportamiento ferromagnético en las rocas siliciclásticas. Se cuantifico un rango de valores esperados de referencia.

Susceptómetro bartington MS2 y sensor MS2E,

Ventajas y desventajas.

- ☛ Distingue entre rocas carbonatadas y rocas siliciclásticas.
- ☛ No distingue entre rocas calizas o dolomías
- ☛ Duración para llevar a cabo una medición 60 segundos.
- ☛ No altera la composición de la muestra al llevar a cabo la medición.
- ☛ Fácil de manipular y usar, no requiere de una capacidad técnica compleja.
- ☛ Costo del equipo intermedio en comparación con las demás herramientas utilizadas.
- ☛ Portabilidad ineficiente, requiere de suministro eléctrico para su uso.

Recomendaciones

- ☛ Ejecutar este estudio sobre otro tipo de litologías para establecer rangos esperados de referencia.
- ☛ Ser cuidadosos al momento de efectuar la medición, la sensibilidad del equipo es alta, se recomienda alejar cualquier dispositivo eléctrico u objeto metálico a una distancia aproximada de un metro.
- ☛ Al efectuar varias mediciones aconsejamos recalibrar continuamente la herramienta para evitar la toma de efectos de deriva instrumental.
- ☛ Limpiar la muestra antes de efectuar la medición.

Aplicación en la industria petrolera

En campo no consideramos a este equipo útil para el reconocimiento de rocas carbonatadas y rocas siliciclásticas.






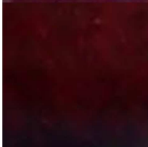
Posee un alto potencial como complemento de los registros convencionales.

No detectamos anomalías en el intervalo que presenta impregnación de aceite, sin embargo el estudio de esta propiedad resulta interesante, sugerimos ampliar su investigación en muestras de este tipo.

Registros análisis químico calizas/dolomías.

La reacción corresponde a la composición de la roca, tornando la solución de amarillo (color original de la solución) a rojo intenso según el contenido de Calcio en la muestra. Se estableció una gama de colores de referencia, ver [Tabla 14](#).

Tabla 14 Relación entre el color final de la reacción y el grado de dolomitización presente en la roca

Color	Descripción	Grado de dolomitización
	Roca dolomía, la solución no presenta cambios de ningún tipo durante el periodo de tiempo establecido para la reacción.	100%
	Se distinguen dos colores al final del periodo de tiempo establecido, amarillo y rojo. La reacción es heterogénea.	80%
	La reacción es heterogénea presenta un color naranja con algunos puntos amarillos.	60%
	La reacción es homogénea presenta un color naranja intenso o rojo al transcurrir el tiempo establecido.	40%
	La reacción es homogénea, presenta un color rosado o rojo al final del periodo de tiempo.	20%
	Roca caliza, la reacción es homogénea, presenta un color rojo intenso.	0%

Solución compuesta por ácido clorhídrico y rojo de alizarina.

Ventajas y desventajas.

- ☛ Permite distinguir fácilmente rocas calizas, rocas dolomías o un grado de dolomitización presente en la roca.
- ☛ No distingue entre rocas siliciclásticas y rocas carbonatadas, debido al porcentaje variable de carbonato de Calcio en rocas siliciclásticas.

- ☞ La reacción no es eficiente en muestras impregnadas de aceite.
- ☞ El tiempo que tarda en consumarse la reacción es variable.
- ☞ Se altera la composición de la muestra al efectuar la prueba.
- ☞ Fácil de manipular y usar, no requiere de una capacidad técnica compleja.
- ☞ El costo que conlleva crear la solución es bajo en comparación con las demás herramientas.
- ☞ Fácil de transportar.

Recomendaciones.

- ☞ Ejecutar esta prueba en rocas carbonatadas para establecer una relación estándar entre el grado de dolomitización presente en la roca y la coloración final de la reacción.
- ☞ Registrar la coloración final de la reacción transcurridos 150 segundos.
- ☞ Aplicar la solución con un gotero para evitar derrames y dañar excesivamente la muestra.
- ☞ Agitar la solución antes de usarse.
- ☞ Evitar el contacto con la piel y ojos, no ingerir, ni inhalar.
- ☞ Conservar la solución en un recipiente opaco y sellado, en un lugar alejado de las fuentes de calor y de la luz solar.
- ☞ Limpiar la muestra antes de efectuar la medición.

Aplicación en la industria petrolera

En campo su aplicación es inmediata, el estudio podría llevarse a cabo sobre el recorte generado durante la perforación, sugerimos retirar del recorte cualquier impureza que pueda afectar la reacción.

Registros geoquímicos de fluorescencia de rayos X.

Según el análisis que se lleve a cabo con el registro podemos:

- ☞ Determinar cuantitativamente el porcentaje de elementos químicos presentes en la muestra.
- ☞ Generar estándares de los porcentajes promedios de los principales elementos químicos característicos de las rocas.
- ☞ Clasificar rocas sedimentarias de manera precisa a través de los porcentajes promedios de los principales elementos químicos que conforman la roca.
- ☞ Delimitar formaciones geológicas de manera precisa si efectúa el registro de las mediciones contra la profundidad.
- ☞ Determinar cuantitativamente las fuentes de origen y su relación, en rocas sedimentarias, se efectúa el análisis adecuado.

Equipo de fluorescencia de rayos X y espectroscopia Niton XL3t.

Ventajas y desventajas.

- ☛ Permite clasificar rocas sedimentarias de manera precisa a través de los porcentajes promedios de los principales elementos químicos que conforman a la roca.
- ☛ La cantidad y utilidad de la información obtenida es extremadamente útil en comparación con las demás herramientas evaluadas.
- ☛ Efectuar una medición conlleva 270 segundos en modo minig, y 90 segundos en modo soils, si la herramienta esta previamente preparada.
- ☛ No altera la composición de la muestra al llevar a cabo la medición.
- ☛ Fácil de manipular y usar, pero presenta un grado mayor de capacitación para su uso en comparación con las otras herramientas.
- ☛ La portabilidad del equipo es buena, pero requiere de un ordenador si se desea analizar la información. El equipo contiene baterías para su manejo en campo.
- ☛ El costo del equipo a pesar de ser elevado se considera una excelente inversión.

Recomendaciones

- ☛ Capacitar al operador ya que el uso inadecuado del equipo puede atentar gravemente contra la salud de la persona.
- ☛ Ejecutar este estudio sobre otras rocas o intervalos nucleados, para establecer estándares.
- ☛ El uso combinado de los registros facilita la delimitación de las unidades.
- ☛ Diseñar un programa que agilice el análisis de la información.
- ☛ Limpiar la muestra antes de efectuar la medición.

Aplicación en la industria petrolera

Su aplicación en campo es inmediata, ya que se pueden tomar mediciones sobre el recorte generado durante la perforación, sugerimos retirar del recorte cualquier impureza que pueda afectar el registro.

Posee un potencial colosal como complemento de los registros convencionales si se adapta esta tecnología en las sondas de registros en agujero descubierto.

Caracterización de la secuencia Cretácica del pozo Yaxcopoil-1, Yucatán.

Intervalo 1425.48 m - 1510.4 m.

A través del análisis de los registros en función de la profundidad se delimitaron once Subintervalos en la secuencia carbonatada, cuyo comportamiento corresponde a cuatro litologías o cambios de facies diferentes, ver Tabla 16.

Unidad A

La unidad A se conforma de anhidritas, calizas y dolomías y tiene un espesor de 4.39m. Los componentes principales son Calcio 26.72 % y Magnesio 16.47 % en promedio. Su

límite inferior se aprecia en los registros de Calcio, Magnesio, Estroncio y análisis químico. Ver Tabla 15.

Unidad B

La unidad B se subdivide en dos subunidades B1 y B2, caracterizadas por el aumento y disminución alternada de los porcentajes de Calcio y Magnesio identificados en los registros correspondientes. La subunidad B1 presenta 24.56 % de Calcio en promedio, mientras que la subunidad B2 presenta 39.61 % de Calcio en promedio. Las litologías identificadas en esta unidad son calizas y calizas parcialmente dolomitizadas. En las subunidades se observan vetillas calcita y microfracturamiento. En la subunidad B1 se observan cambios de texturas y coloración de los carbonatos. Los componentes principales son Calcio 32.08 % y Magnesio 8.28 % en promedio. Su límite inferior se aprecia en todos los registros a excepción del registro de Magnesio. Ver Tabla 15.

Unidad C

La unidad C se subdivide en C1 y C2, debido al incremento escalonado de elementos químicos de origen terrígeno. Las litologías identificadas en esta unidad son calizas y margas. Los componentes principales son Calcio 28.9 % y Sílice 13.69 % en promedio. Su límite inferior se aprecia en todos los registros. Ver Tabla 15.










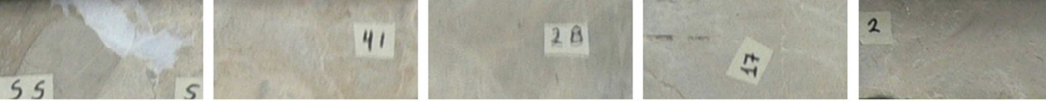
Unidad D

La unidad D se subdivide en D1 y D2. La subunidad D1 presenta una baja dispersión en los registros de Calcio y Magnesio, mientras que la subunidad D2 mantiene valores casi constantes en todos los registros. Se observan diferentes texturas, con secciones de estratificación fina, intervalos masivos e intervalos con deformación sin-sedimentaria. Las litologías identificadas en esta unidad son calizas, calizas parcialmente dolomitizadas y dolomías. Los componentes principales son Calcio 26.53 % y Magnesio 16.85 %, en promedio. Ver Tabla 15.

Tabla 15 caracterización geológica de la secuencia Cretácica del pozo Yaxcopoil-1, Yucatán. Intervalo 1425.48m – 1510.4 m

UNIDAD			h (m)		#M	Prof (m)	%Ca	%Mg	%Si	%Al	REGISTRO		TIPO DE ROCA						
A			4.39		595	1425.48	26.72	16.47	0.84	0.57	LI	Ca,Mg, Sr, RQ	Anhidrita Calizas Dolomías						
					580	1429.87													
B	B1	S1	50.9	29.15	579	1429.97	32.08	24.56	12.01	1.57	0.64	LS	Ca,Mg, Sr, RQ	Calizas Calizas parcialmente dolomitizadas					
					395	1455.56													
		S2			355	1461.45													
					327	1465.39													
	B2	S1		21.75	394	1455.78	39.61	8.28	4.55	1.98	0.77	0.91	LS		Ca,Mg, Sr, Si, Al, Fe, K, RQ				
					356	1461.37													
		S2			326	1465.51													
					221	1481.67													
C	C1	11.56	6.24	220	1481.73	31.83	34.76	5.37	6.95	5.45	1.79	LS	Calizas Margas						
				158	1487.97														
	C2		5.32	157	1488.05									28.90	3.79	13.69	3.06	LS	Ca, Si, Al, Fe, K, SM
				96	1493.37														
D	D1	16.69	3.53	95	1493.49	26.53	28.60	16.85	15.78	1.42	1.58	0.56	Calizas Calizas parcialmente dolomitizadas Dolomías						
				62	1497.02														
	D2		13.16	61	1497.24							24.46		17.92	1.26	0.53	0.49	LS	Ca, Si, Al, Fe, K, RQ
				1	1510.4														

Tabla 16 Relación Subintervalos – unidades

SI	IMAGEN	U
1		A
2		B1
3		
4		B2
5		
6		B1
7		B2
8		C1
9		C2
10		D1
11		D2

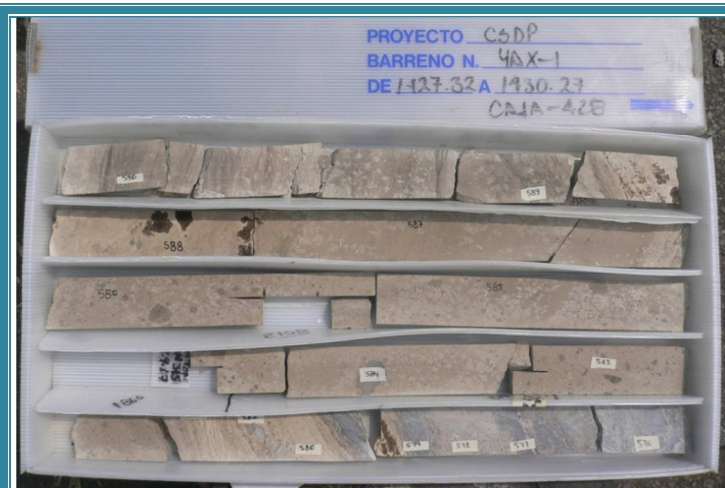
ANEXO I

Registro fotográfico de los núcleos

Anexo I Registro fotográfico de los núcleos en caja



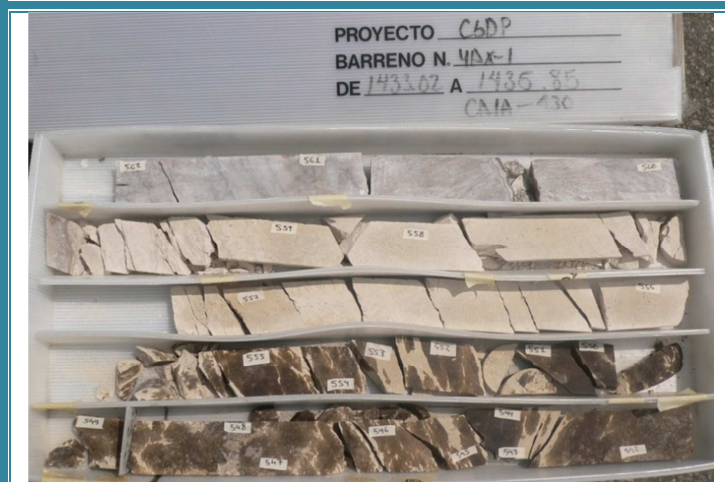
Fotografía de núcleos I Caja 427



Fotografía de núcleos II Caja 428



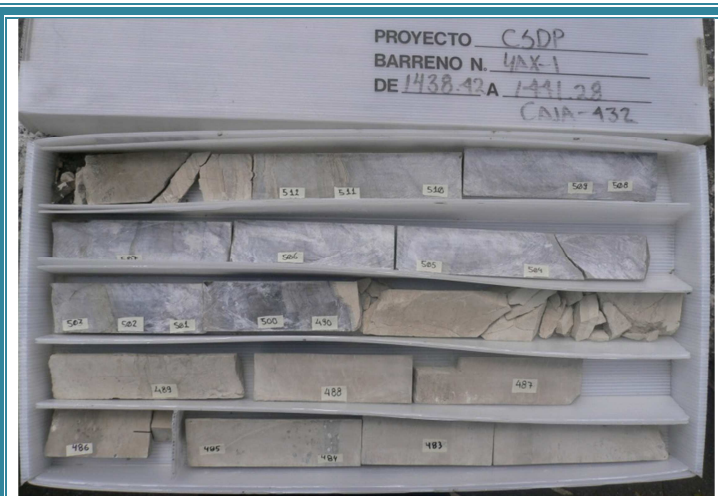
Fotografía de núcleos III Caja 429



Fotografía de núcleos IV Caja 430



Fotografía de núcleos V Caja 431



Fotografía de núcleos VI Caja 432

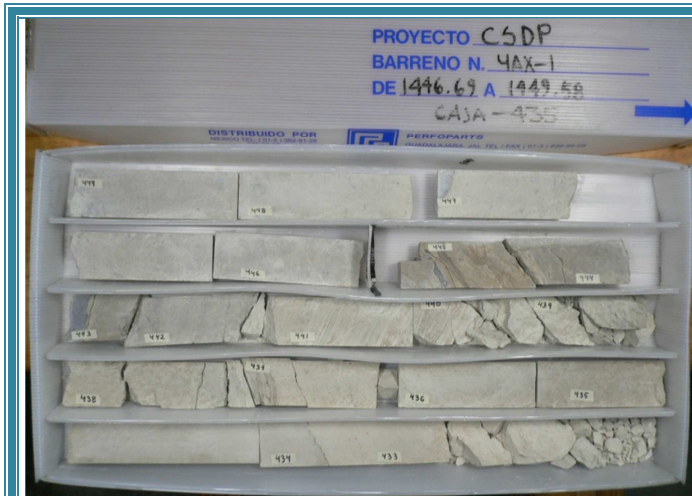


Fotografía de núcleos VII Caja 433



Fotografía de núcleos VIII Caja 434

Registros geofísicos y caracterización de la secuencia Cretácica del pozo Yaxcopoil-1, Yucatán.



Fotografía de núcleos IX Caja 435



Fotografía de núcleos X Caja 436



Fotografía de núcleos XI Caja 437



Fotografía de núcleos XII Caja 438



Fotografía de núcleos XIII Caja 439



Fotografía de núcleos XIV Caja 440



Fotografía de núcleos XV Caja 441



Fotografía de núcleos XVI Caja 442



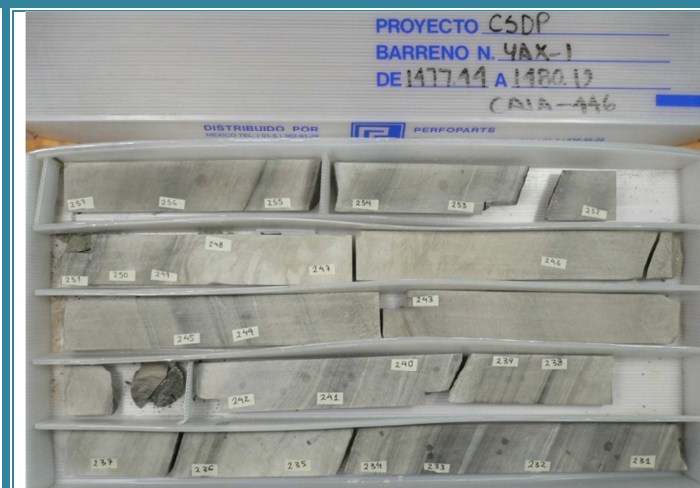
Fotografía de núcleos XVII Caja 443



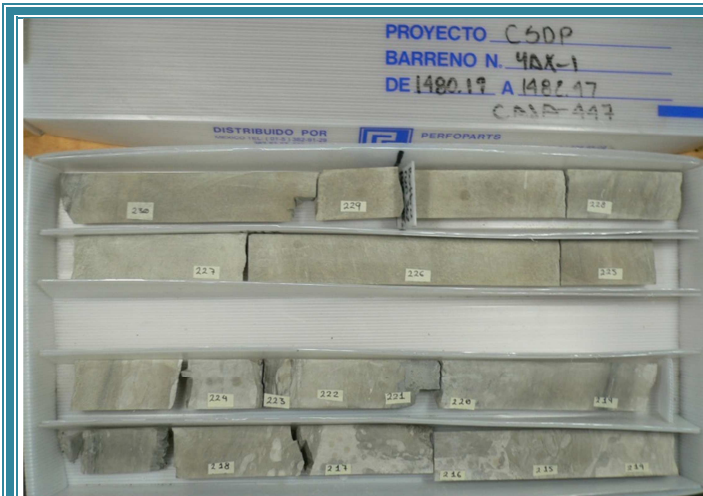
Fotografía de núcleos XVIII Caja 444



Fotografía de núcleos XIX Caja 445



Fotografía de núcleos XX Caja 446



Fotografía de núcleos XXI Caja 447



Fotografía de núcleos XXII Caja 448



Fotografía de núcleos XXIII Caja 449



Fotografía de núcleos XXIV Caja 450

Registros geofísicos y caracterización de la secuencia Cretácica del pozo Yaxcopoil-1, Yucatán.



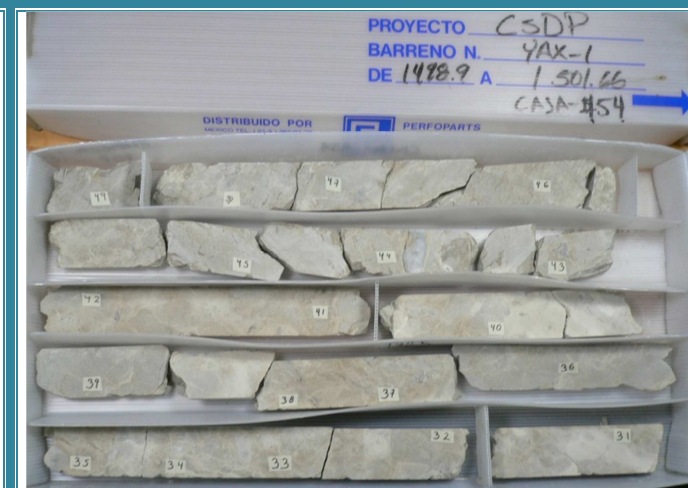
Fotografía de núcleos XXV Caja 451



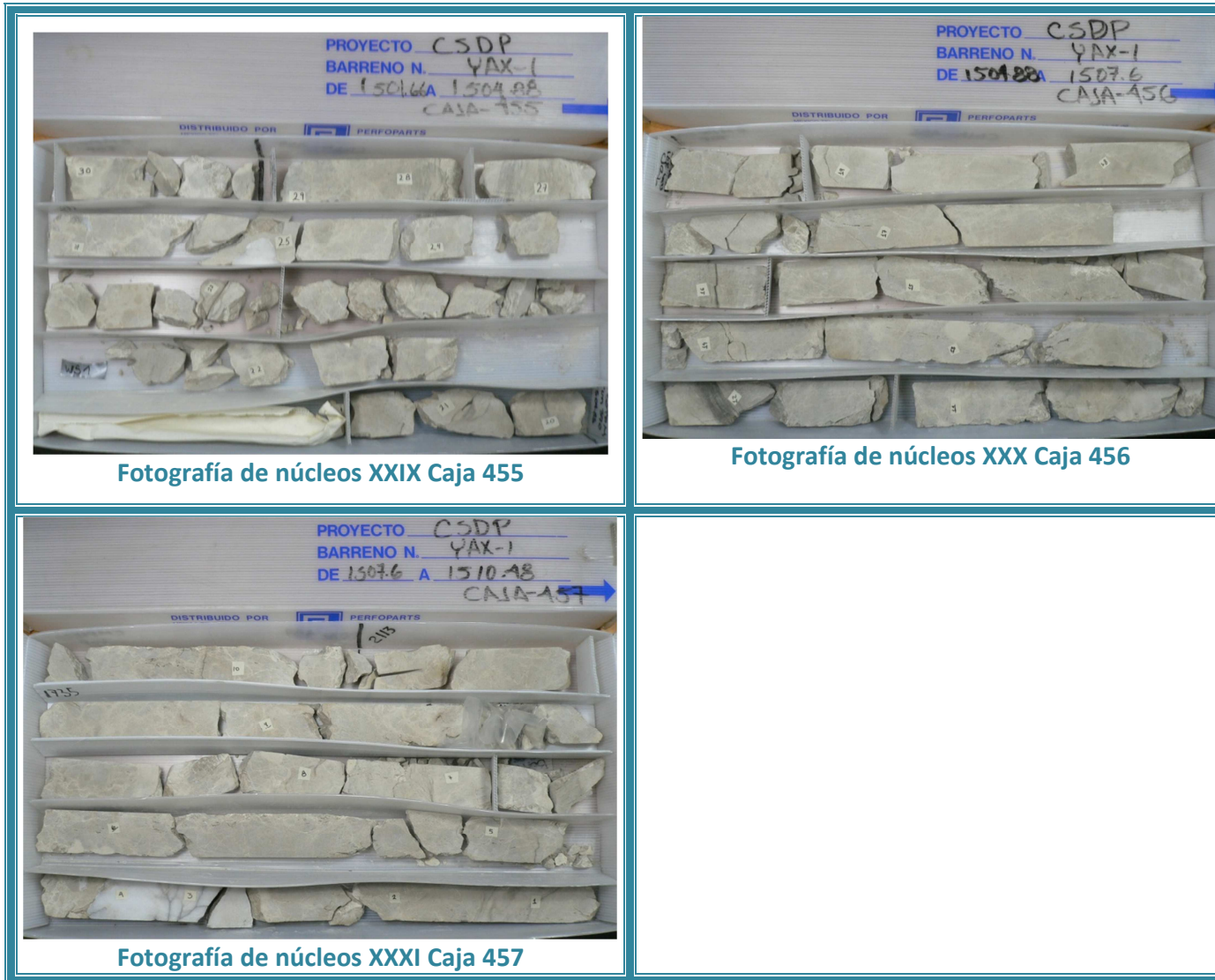
Fotografía de núcleos XXVI Caja 452



Fotografía de núcleos XXVII Caja 453



Fotografía de núcleos XXVIII Caja 454



Fotografía de núcleos XXIX Caja 455

Fotografía de núcleos XXX Caja 456

Fotografía de núcleos XXXI Caja 457

ANEXO II

Registro de susceptibilidad magnética

Anexo II Registro de susceptibilidad magnética de la roca

#M	PROF (m)	SM	#M	PROF (m)	SM	#M	PROF (m)	SM
595	1425.48	-1	554	1434.91	-0.7	513	1438.33	-0.9
594	1425.6	-1.1	553	1434.95	-0.7	512	1438.66	-1.2
593	1426.45	-1	552	1435.01	-1	511	1438.71	-1.3
592	1426.85	-1	551	1435.08	-0.8	510	1438.8	-1.5
591	1427.27	-0.7	550	1435.13	-1	509	1438.94	-1.5
590	1427.39	-1.1	549	1435.32	-0.8	508	1438.97	-1.3
589	1427.77	-1	548	1435.46	-0.8	507	1439.08	-0.8
588	1428.03	-1.1	547	1435.49	-1	506	1439.23	-1.2
587	1428.26	-1.1	546	1435.58	-0.8	505	1439.37	-1.2
586	1428.58	-1.3	545	1435.65	-1.1	504	1439.47	-2.2
585	1428.94	-1	544	1435.68	-0.8	503	1439.6	-1.2
584	1429.35	-1.3	543	1435.69	-1	502	1439.66	-1.2
583	1429.58	-0.9	542	1435.8	-0.2	501	1439.71	-1.9
582	1429.76	-1.2	541	1435.9	-1.5	500	1439.75	-1.5
581	1429.82	-1.1	540	1436.02	-1.3	499	1439.8	-0.8
580	1429.87	-1.4	539	1436.17	-1.6	498	1439.85	-0.8
579	1429.97	-1.6	538	1436.3	-0.5	497	1439.95	-0.5
578	1430.01	-1.4	537	1436.36	-1	496	1440.14	-0.7
577	1430.07	-1.4	536	1436.42	-0.8	495	1440.2	-0.4
576	1430.19	-1.2	535	1436.47	-1.1	494	1440.26	-0.5
575	1430.29	-1.2	534	1436.52	-1.2	493	1440.33	-1
574	1430.37	-1.5	533	1436.56	-0.6	492	1440.38	-1.2
573	1430.65	-1.4	532	1436.59	-0.9	491	1440.44	-0.8
572	1430.97	-1.1	531	1436.64	-0.8	490	1440.56	-1
571	1431.2	-1.4	530	1436.72	-0.4	489	1440.64	-0.8
570	1431.37	-1.4	529	1436.74	-1.2	488	1440.71	-0.8
569	1431.71	-1.5	528	1436.83	-1.1	487	1440.85	-1
568	1431.96	-1.9	527	1436.87	-1.1	486	1440.94	-0.2
567	1432.19	-1.5	526	1436.94	-1.1	485	1441.01	-0.6
566	1432.42	-1.5	525	1436.97	-1.3	484	1441.12	-0.7
565	1432.49	-1.5	524	1437.09	-1.1	483	1441.25	-0.6
564	1432.7	-1.3	523	1437.17	-2	482	1441.29	-0.2
563	1432.91	-1.1	522	1437.22	-0.7	481	1441.38	-0.5
562	1433.06	-1.2	521	1437.32	-0.8	480	1441.48	-0.8
561	1433.23	-1.3	520	1437.44	-1.4	479	1441.56	-1
560	1433.55	-1.4	519	1437.58	-1.3	478	1441.65	-1.2
559	1433.85	-0.8	518	1437.63	-1.6	477	1441.91	-1.4
558	1433.97	-1	517	1437.67	-1.7	476	1442.27	-1.5
557	1434.3	-0.8	516	1437.79	-1.3	475	1442.54	-1.4
556	1434.67	-1.1	515	1437.85	-1.1	474	1442.8	-0.7
555	1434.84	-1	514	1437.97	-1.3	473	1443.08	-1.3

Registros geofísicos y caracterización de la secuencia Cretácica del pozo Yaxcopoil-1, Yucatán.

#M	PROF (m)	SM
472	1443.28	-0.7
471	1443.41	-0.8
470	1443.46	-0.7
469	1443.51	0.8
468	1443.56	-0.2
467	1443.82	-0.9
466	1443.95	-0.7
465	1444.03	-0.5
464	1444.53	-1.5
463	1444.68	-0.5
462	1444.8	-0.9
461	1444.9	-0.9
460	1445.14	-0.9
459	1445.29	-0.9
458	1445.43	-0.8
457	1445.51	-0.5
456	1445.67	-1.2
455	1445.86	-0.6
454	1446.21	-0.6
453	1446.26	-0.7
452	1446.44	-0.9
451	1446.59	-0.9
450	1446.67	-1
449	1446.73	-0.7
448	1446.93	-1.1
447	1447.1	-1
446	1447.44	-1
445	1447.59	-0.7
444	1447.73	-0.8
443	1447.79	-0.3
442	1447.87	-0.8
441	1448.01	-0.7
440	1448.13	-0.5
439	1448.24	0.3
438	1448.4	-0.5
437	1448.58	-0.6
436	1448.73	-0.9
435	1448.89	-0.9
434	1449.2	-0.8
433	1449.3	-0.6
432	1449.61	-0.8
431	1449.81	-1

#M	PROF (m)	SM
430	1449.88	-0.8
429	1449.94	-0.7
428	1450.03	-0.7
427	1450.13	-0.7
426	1450.3	-0.6
425	1450.47	-0.6
424	1450.74	-0.7
423	1451.12	-0.7
422	1451.23	-0.7
421	1451.32	-0.9
420	1451.47	-1.6
419	1451.68	-1
418	1451.8	-0.8
417	1451.87	-1.3
416	1451.97	-1.1
415	1452.13	-0.4
414	1452.22	-0.8
413	1452.3	-1
412	1452.55	-1
411	1452.8	-0.9
410	1452.89	-1
409	1452.98	-1.1
408	1453.12	-0.8
407	1453.32	-0.8
406	1453.49	-0.1
405	1453.87	-0.6
404	1454.07	-0.7
403	1454.25	-0.9
402	1454.36	-0.9
401	1454.57	-0.8
400	1454.74	-0.5
399	1454.79	-0.5
398	1454.87	-0.7
397	1454.97	-0.7
396	1455.25	-1
395	1455.56	-0.2
394	1455.78	-1.4
393	1456.11	-1.2
392	1456.34	-1.3
391	1456.56	-0.9
390	1456.7	-1.4
389	1456.86	-1.1

#M	PROF (m)	SM
388	1457.06	-1
387	1457.32	-1.1
386	1457.46	-1.1
385	1457.74	-1.2
384	1457.86	-0.6
383	1458.02	-1
382	1458.17	-1.1
381	1458.26	-0.9
380	1458.34	-1
379	1458.44	-0.9
378	1458.54	-0.7
377	1458.67	-0.3
376	1458.81	-1.3
375	1459	-1.2
374	1459.09	-1.1
373	1459.18	-0.6
372	1459.3	-0.8
371	1459.39	-0.6
370	1459.51	-0.5
369	1459.65	-0.6
368	1459.81	-0.8
367	1459.97	-0.5
366	1460.12	-0.7
365	1460.21	-1.2
364	1460.35	-0.7
363	1460.44	-1.1
362	1460.6	-1
361	1460.77	-1
360	1460.84	-1
359	1460.98	-1
358	1461.1	0.3
357	1461.26	-1.1
356	1461.37	-0.6
355	1461.45	-0.9
354	1461.67	-1.5
353	1461.86	-1.4
352	1461.97	-1.3
351	1462.18	-1.1
350	1462.26	-0.4
349	1462.35	-1.3
348	1462.41	-1.3
347	1462.46	-1.3

Registros geofísicos y caracterización de la secuencia Cretácica del pozo Yaxcopoil-1, Yucatán.

#M	PROF (m)	SM
346	1462.63	-1.2
345	1462.92	-1.3
344	1463.08	-0.7
343	1463.31	-0.2
342	1463.49	-0.1
341	1463.64	-0.9
340	1463.78	-0.7
339	1463.84	-0.7
338	1463.92	-0.8
337	1464	-0.6
336	1464.1	-1.1
335	1464.24	-1
334	1464.37	-0.7
333	1464.43	-0.9
332	1464.53	-0.7
331	1464.57	-1.1
330	1464.72	-1
329	1464.84	-1.2
328	1465.22	-1
327	1465.39	-1.1
326	1465.51	-1
325	1465.66	-0.9
324	1465.8	-1.1
323	1466.05	-1
322	1466.24	-0.3
321	1466.35	-0.5
320	1466.48	-0.8
319	1466.55	-1.2
318	1466.67	-1.4
317	1466.81	-1.2
316	1466.85	-1
315	1467.23	-1
314	1467.33	-0.9
313	1467.39	-1
312	1467.42	-1.1
311	1467.52	-0.8
310	1467.64	-1.1
309	1467.75	-1.4
308	1467.84	-1.1
307	1467.88	-1.2
306	1468.08	-0.9
305	1468.22	-0.9

#M	PROF (m)	SM
304	1468.38	-1.1
303	1468.65	-1.2
302	1468.85	-1.1
301	1468.94	-1
300	1469.12	-0.9
299	1469.28	-1.1
298	1469.36	-1
297	1469.48	-1
296	1469.61	-0.9
295	1469.72	-0.9
294	1469.83	-0.5
293	1469.97	-0.8
292	1470.02	-0.9
291	1470.15	-0.8
290	1470.22	-0.6
289	1470.5	-1.1
288	1470.73	-0.9
287	1471.12	-1
286	1471.27	-0.8
285	1471.42	-1
284	1471.52	-0.8
283	1471.63	-1.1
282	1471.76	-1.2
281	1472.02	-1
280	1472.22	-1
279	1472.7	-0.9
278	1473.05	-0.9
277	1473.31	-0.8
276	1473.76	-1.1
275	1473.87	-0.9
274	1474.24	-1.2
273	1474.44	-1.2
272	1474.62	-1.1
271	1474.87	-1.5
270	1475.07	-1.3
269	1475.26	-1
268	1475.38	-0.7
267	1475.5	-1.2
266	1475.56	-0.9
265	1475.74	-1.5
264	1476.07	-1.1
263	1476.43	-1

#M	PROF (m)	SM
262	1476.78	-1.4
261	1477.06	-1.3
260	1477.24	-1.1
259	1477.35	-0.2
258	1477.37	-0.5
257	1477.44	-1.1
256	1477.49	-1
255	1477.55	-1.1
254	1477.63	-1.1
253	1477.72	-0.2
252	1477.85	-2
251	1477.92	-0.9
250	1477.97	-1
249	1478.01	-1.1
248	1478.06	-1.3
247	1478.15	-1.5
246	1478.37	-1.3
245	1478.58	0.2
244	1478.63	-1
243	1478.8	-1.2
242	1479.18	-1
241	1479.26	-1.5
240	1479.33	-0.6
239	1479.43	-1.4
238	1479.47	-0.2
237	1479.63	-0.5
236	1479.72	-0.6
235	1479.81	-1.2
234	1479.88	-0.9
233	1479.94	-1.1
232	1480.03	-1.2
231	1480.13	-0.4
230	1480.28	-0.9
229	1480.48	-0.6
228	1480.72	-0.9
227	1480.93	-0.5
226	1481.13	-1.1
225	1481.31	-1.3
224	1481.5	-1
223	1481.55	-1.1
222	1481.61	-1.3
221	1481.67	-1

Registros geofísicos y caracterización de la secuencia Cretácica del pozo Yaxcopoil-1, Yucatán.

#M	PROF (m)	SM
220	1481.73	-1.1
219	1481.87	-1.2
218	1482.04	-1.5
217	1482.14	-1.6
216	1482.25	-2
215	1482.34	-1.6
214	1482.43	-1.8
213	1482.47	-1.5
212	1482.53	-1.4
211	1482.79	-1.5
210	1482.94	-1.7
209	1483.04	-1.3
208	1483.17	-1.4
207	1483.33	-1.3
206	1483.45	-1
205	1483.6	-0.9
204	1483.74	-0.3
203	1483.81	-0.8
202	1483.87	-0.1
201	1483.98	-0.06
200	1484.07	-0.5
199	1484.14	-0.6
198	1484.23	1.2
197	1484.3	0.6
196	1484.45	0.6
195	1484.56	-0.8
194	1484.62	-0.9
193	1484.64	0.1
192	1484.76	-1
191	1484.83	-0.8
190	1484.85	-0.5
189	1485.03	-1.1
188	1485.09	-0.9
187	1485.12	-0.9
186	1485.21	1.1
185	1485.44	-1.4
184	1485.46	1.7
183	1485.5	1.4
182	1485.52	-1.1
181	1485.56	-1.1
180	1485.64	-1
179	1485.75	-1.5

#M	PROF (m)	SM
178	1485.83	-0.8
177	1485.9	0.1
176	1486	0.1
175	1486.08	-0.5
174	1486.14	0.1
173	1486.19	-1.3
172	1486.29	0.3
171	1486.39	-0.9
170	1486.53	-1
169	1486.63	-0.6
168	1486.76	0.4
167	1486.82	0.7
166	1486.97	-1
165	1487.01	-0.8
164	1487.11	1.4
163	1487.18	-0.2
162	1487.24	-0.7
161	1487.39	-0.3
160	1487.66	-0.2
159	1487.74	-1.2
158	1487.97	-0.3
157	1488.05	-0.3
156	1488.13	-0.7
155	1488.18	-0.9
154	1488.22	-0.1
153	1488.26	-1
152	1488.28	1.7
151	1488.32	-0.7
150	1488.48	-1.2
149	1488.57	-1.1
148	1488.75	-0.9
147	1488.79	-1.4
146	1488.85	-0.2
145	1489.02	-0.9
144	1489.13	-1.8
143	1489.26	4
142	1489.34	-0.7
141	1489.46	-0.5
140	1489.55	-0.5
139	1489.66	-1
138	1489.77	0.7
137	1489.89	-0.2

#M	PROF (m)	SM
136	1489.97	4.3
135	1490.06	2.2
134	1490.17	4
133	1490.38	1
132	1490.47	2.7
131	1490.53	-0.3
130	1490.59	-0.8
129	1490.67	-0.4
128	1490.75	-1
127	1490.81	9.9
126	1490.85	11.9
125	1490.91	-0.3
124	1490.97	-1.5
123	1491.02	-1.4
122	1491.08	-1.1
121	1491.17	-1.4
120	1491.3	0.1
119	1491.32	-1.1
118	1491.37	-1.2
117	1491.44	-1
116	1491.51	15.9
115	1491.59	-0.3
114	1491.71	3.2
113	1491.76	-1
112	1491.81	3
111	1491.91	-1.1
110	1492	-0.9
109	1492.09	-1
108	1492.24	1.1
107	1492.36	7.4
106	1492.45	1.2
105	1492.55	11.7
104	1492.68	4.6
103	1492.74	5.3
102	1492.81	0.1
101	1492.89	4.4
100	1493	-0.2
99	1493.1	-1.5
98	1493.2	-1.5
97	1493.31	3.9
96	1493.37	-0.7
95	1493.49	-0.8

Registros geofísicos y caracterización de la secuencia Cretácica del pozo Yaxcopoil-1, Yucatán.

#M	PROF (m)	SM	#M	PROF (m)	SM	#M	PROF (m)	SM
94	1493.58	-1	61	1497.24	-0.7	28	1502.17	-0.5
93	1493.67	-0.7	60	1497.33	-0.8	27	1502.33	-0.3
92	1493.74	-1.1	59	1497.59	-0.3	26	1502.44	-0.6
91	1493.83	-0.8	58	1497.66	-0.6	25	1502.66	-1.1
90	1493.94	-0.9	57	1497.74	-1.1	24	1502.83	-1
89	1494.01	-0.9	56	1497.93	-0.8	23	1503.23	-0.3
88	1494.09	-1.2	55	1498.09	-1	22	1503.92	-1
87	1494.2	-1.2	54	1498.16	-1.3	21	1504.72	-1.5
86	1494.3	-0.6	53	1498.26	-1.2	20	1504.84	0.1
85	1494.4	-1.1	52	1498.4	-0.7	19	1504.95	-1.2
84	1494.47	-1	51	1498.44	-0.5	18	1505.24	-1.1
83	1494.65	-1.1	50	1498.53	0.1	17	1505.58	-0.3
82	1494.73	-0.6	49	1498.97	-0.6	16	1505.88	-0.8
81	1494.84	-1	48	1499.08	-0.5	15	1506.11	-0.3
80	1494.89	-1.2	47	1499.18	-0.2	14	1506.49	-1.2
79	1494.96	-0.5	46	1499.39	-0.2	13	1506.76	-0.2
78	1495.03	-0.3	45	1499.65	-0.4	12	1507.08	0.4
77	1495.09	-0.7	44	1499.8	-0.4	11	1507.31	-1.4
76	1495.21	0.6	43	1499.95	0.1	10	1507.68	-1.4
75	1495.28	0.5	42	1500.03	-0.2	9	1508.32	-1.2
74	1495.35	-1.1	41	1500.25	-0.3	8	1508.96	-1.7
73	1495.48	-0.1	40	1500.4	-0.5	7	1509.12	-1.7
72	1495.64	-0.9	39	1500.58	0.5	6	1509.38	-1.5
71	1495.77	-1.1	38	1500.76	-0.4	5	1509.79	-1.4
70	1495.84	-0.8	37	1500.85	-0.2	4	1509.96	-1.8
69	1495.9	-0.7	36	1501.02	-0.4	3	1510.04	-1.8
68	1496.01	-0.9	35	1501.15	1.8	2	1510.25	-1.1
67	1496.09	-0.7	34	1501.23	1.5	1	1510.4	-1.2
66	1496.31	-0.9	33	1501.32	-0.1			
65	1496.49	-0.9	32	1501.57	0.3			
64	1496.57	-0.9	31	1501.62	-0.5			
63	1496.61	-1	30	1501.82	-0.7			
62	1497.02	-0.6	29	1502.05	-0.7			

#M - Número de muestra

PROF (m) – Profundidad (m)

SM – Susceptibilidad magnética de la roca en el punto de interés

ANEXO III

Registro fotográfico del análisis químico

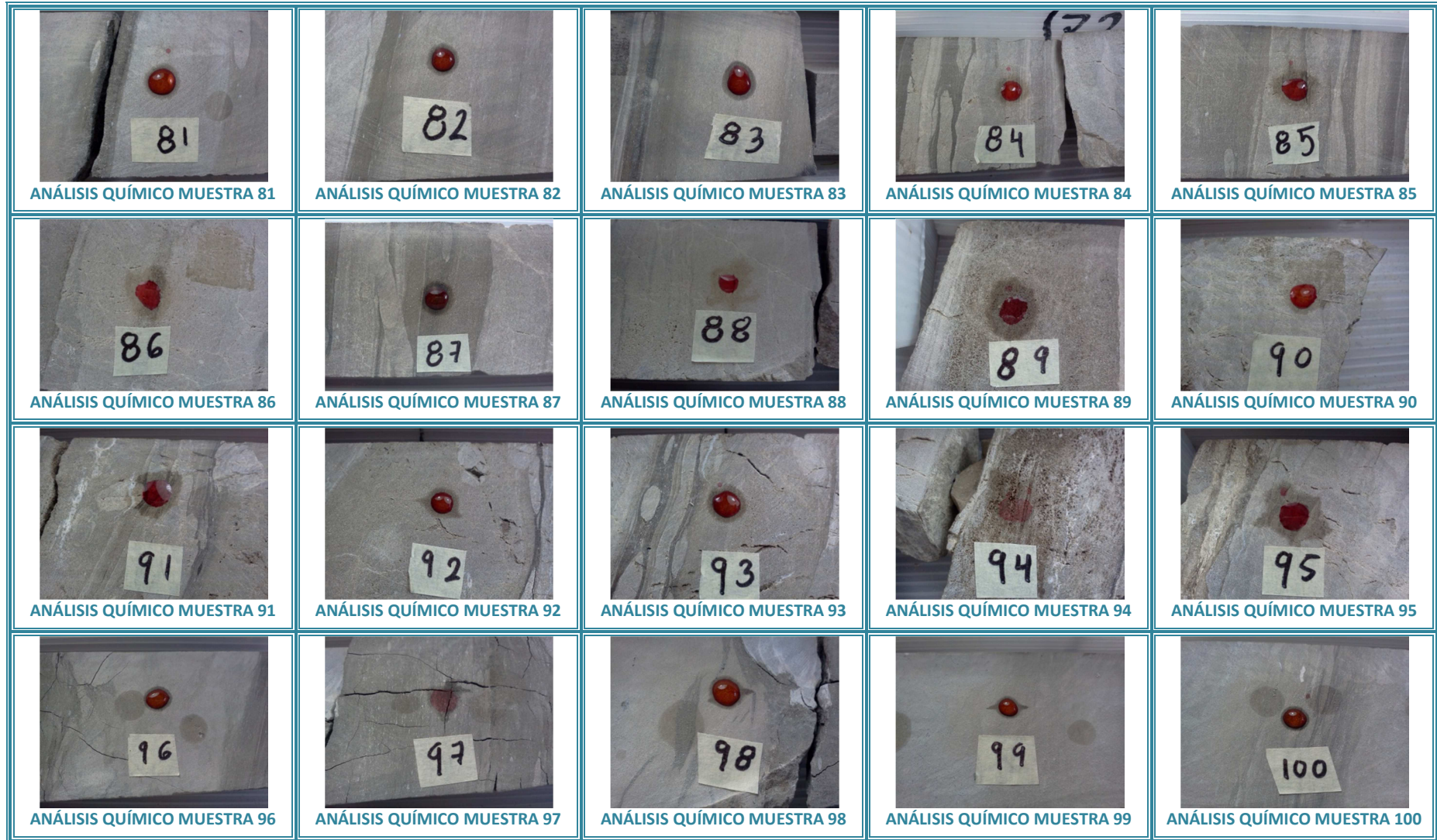
Anexo III Registro fotográfico del análisis químico





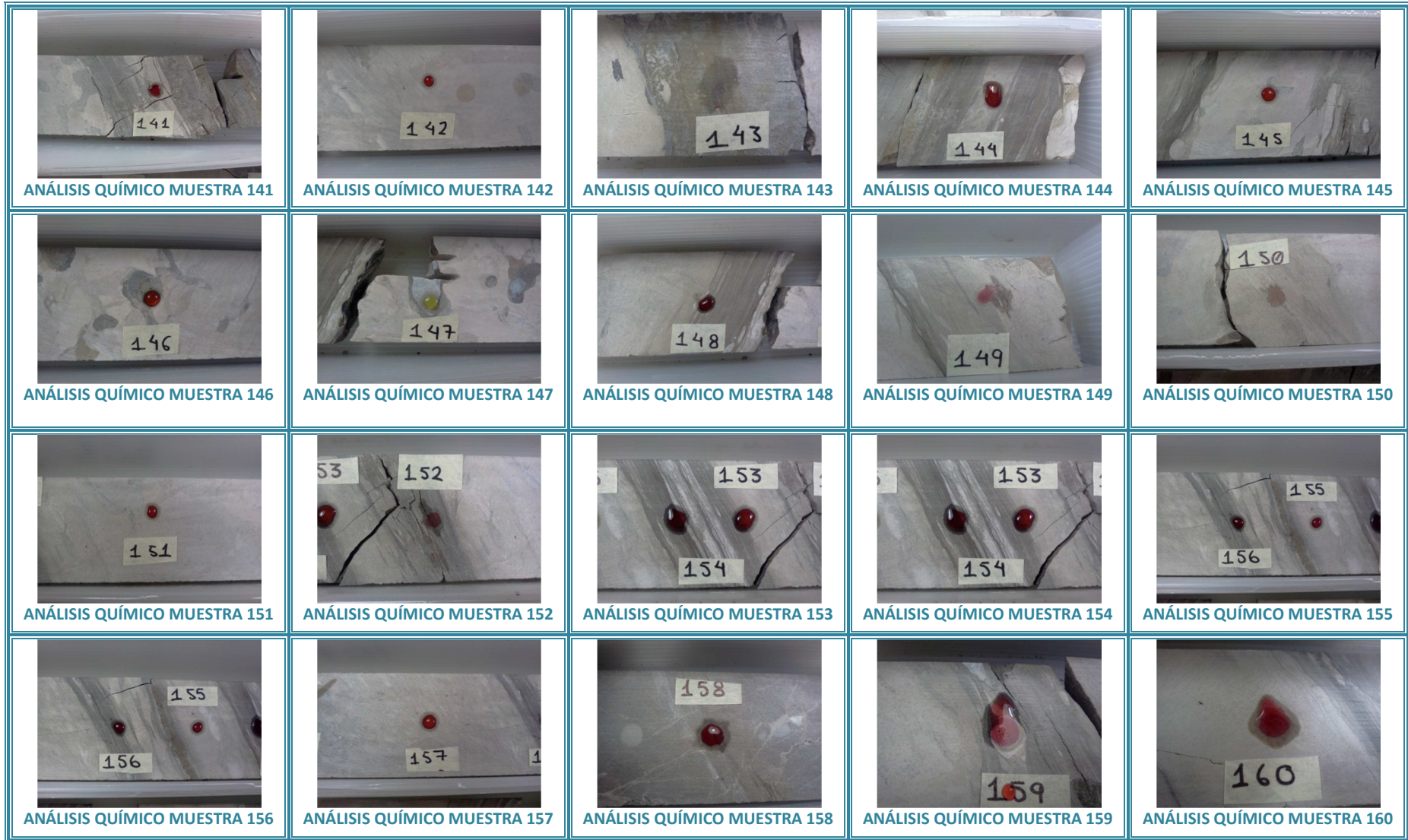




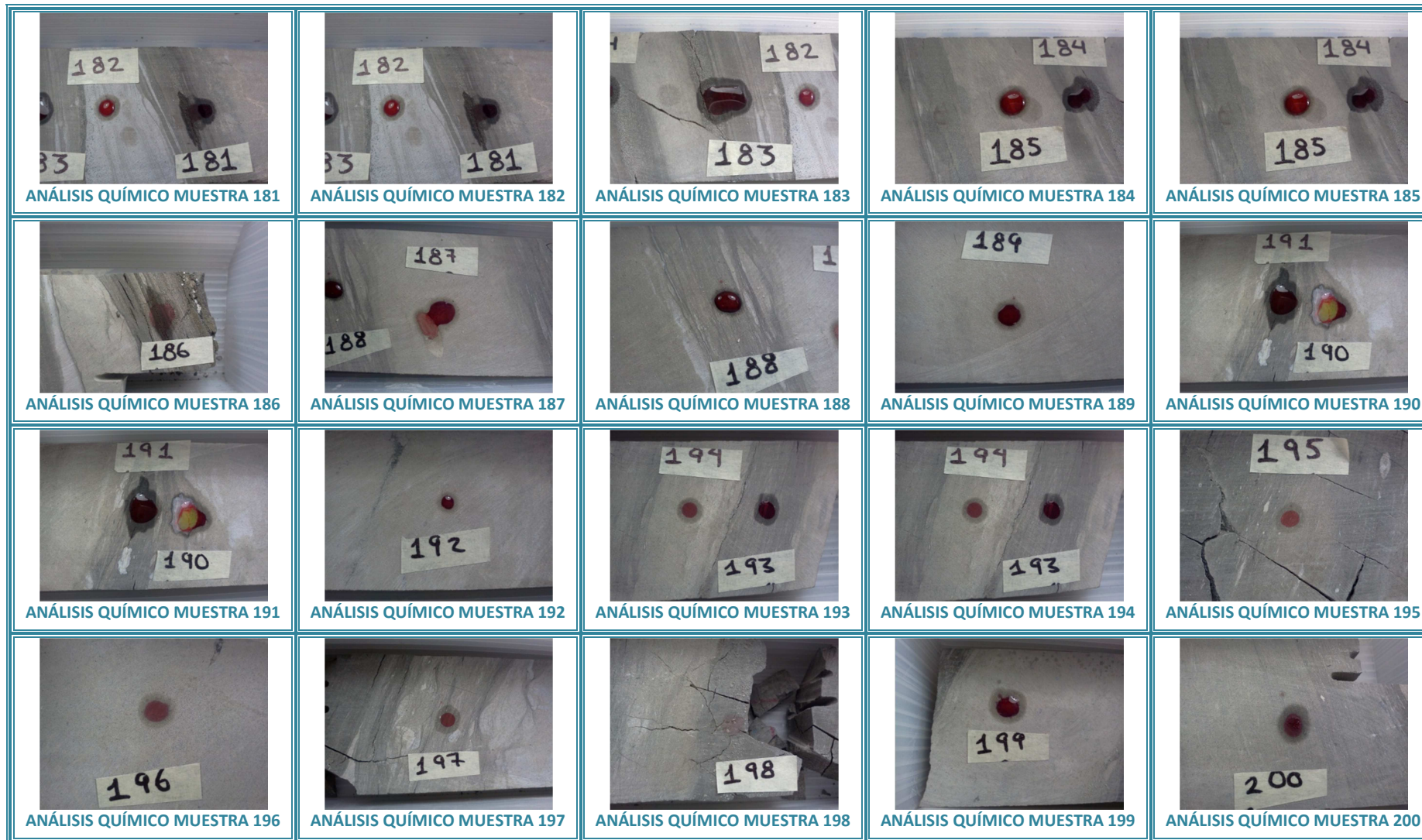


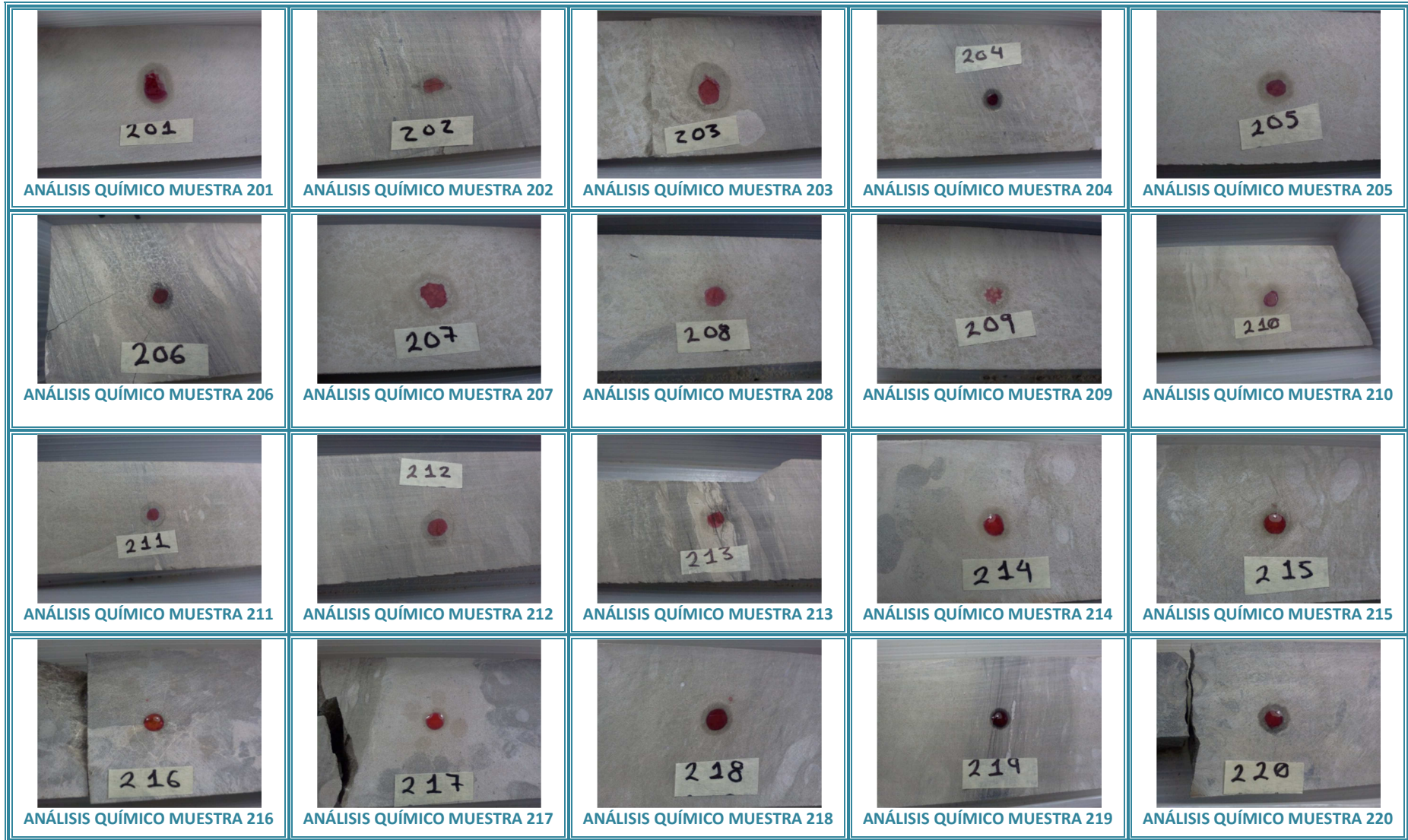






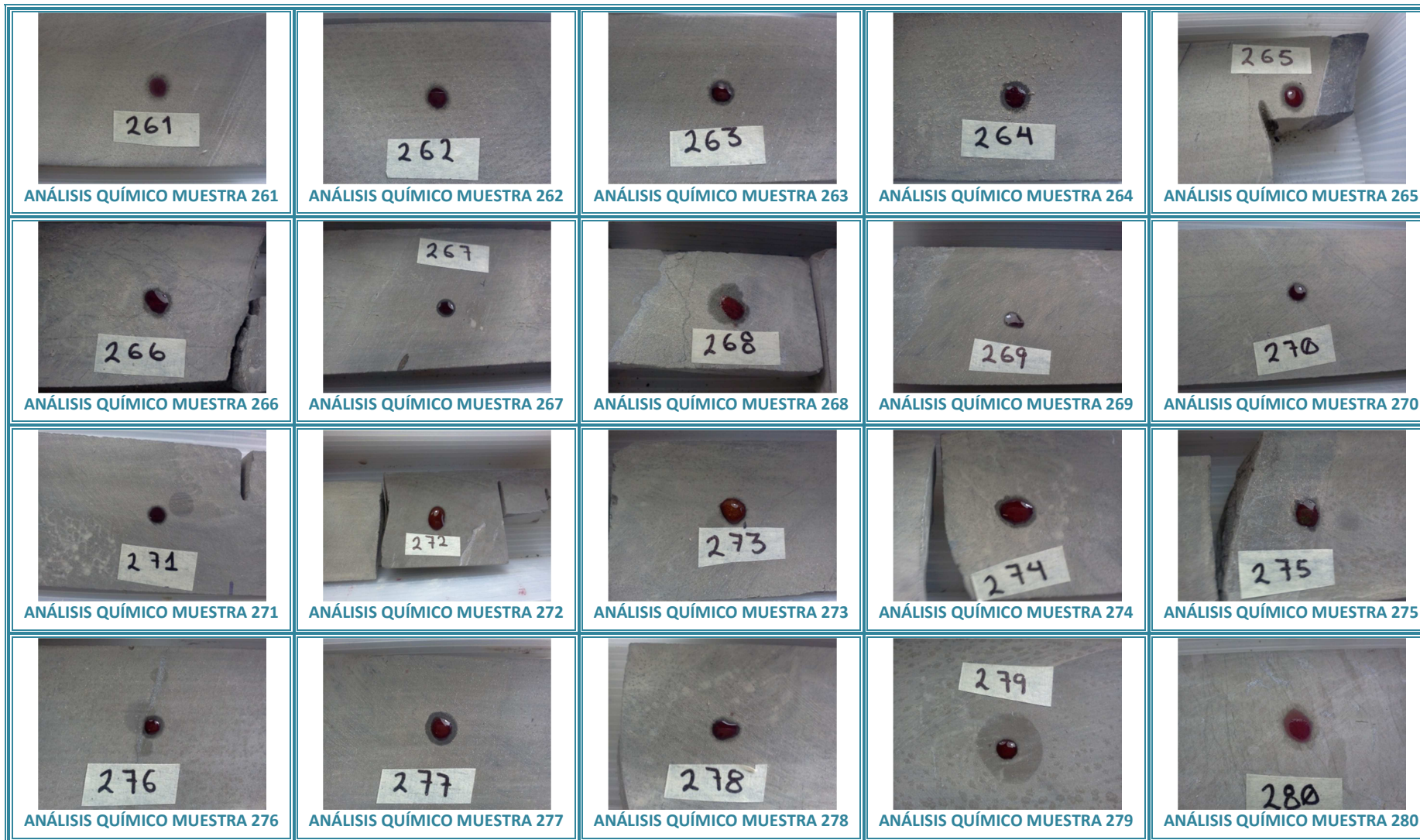




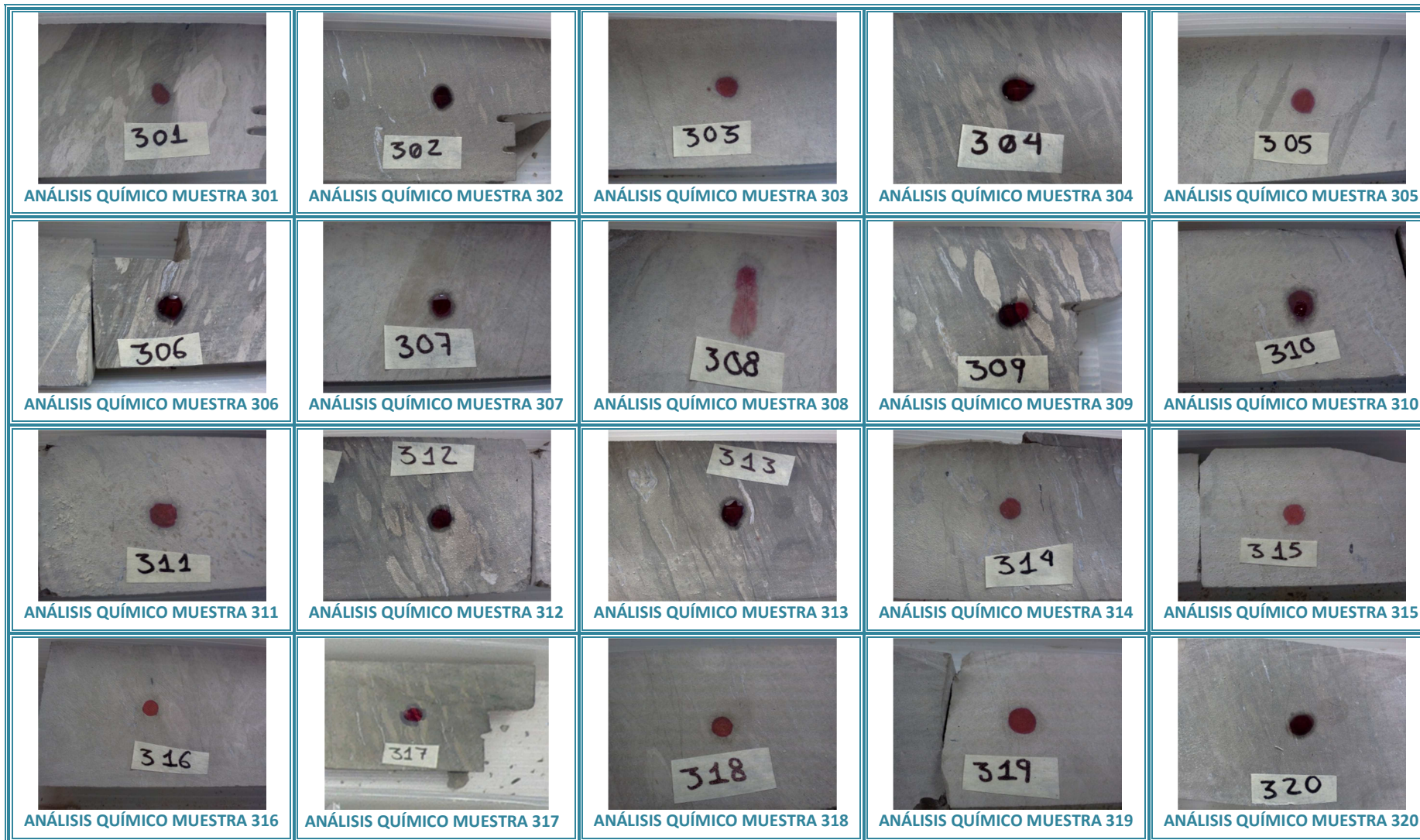


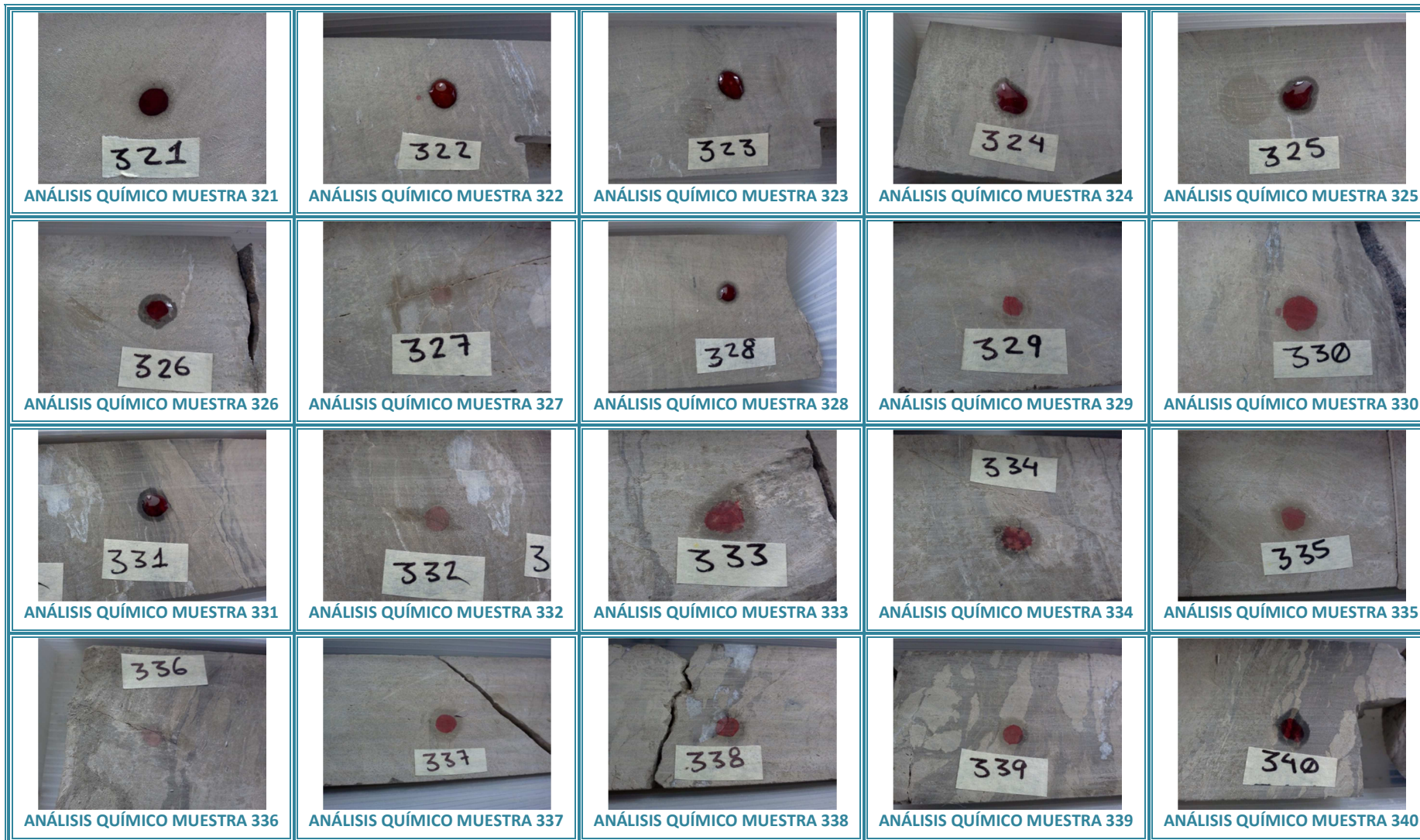


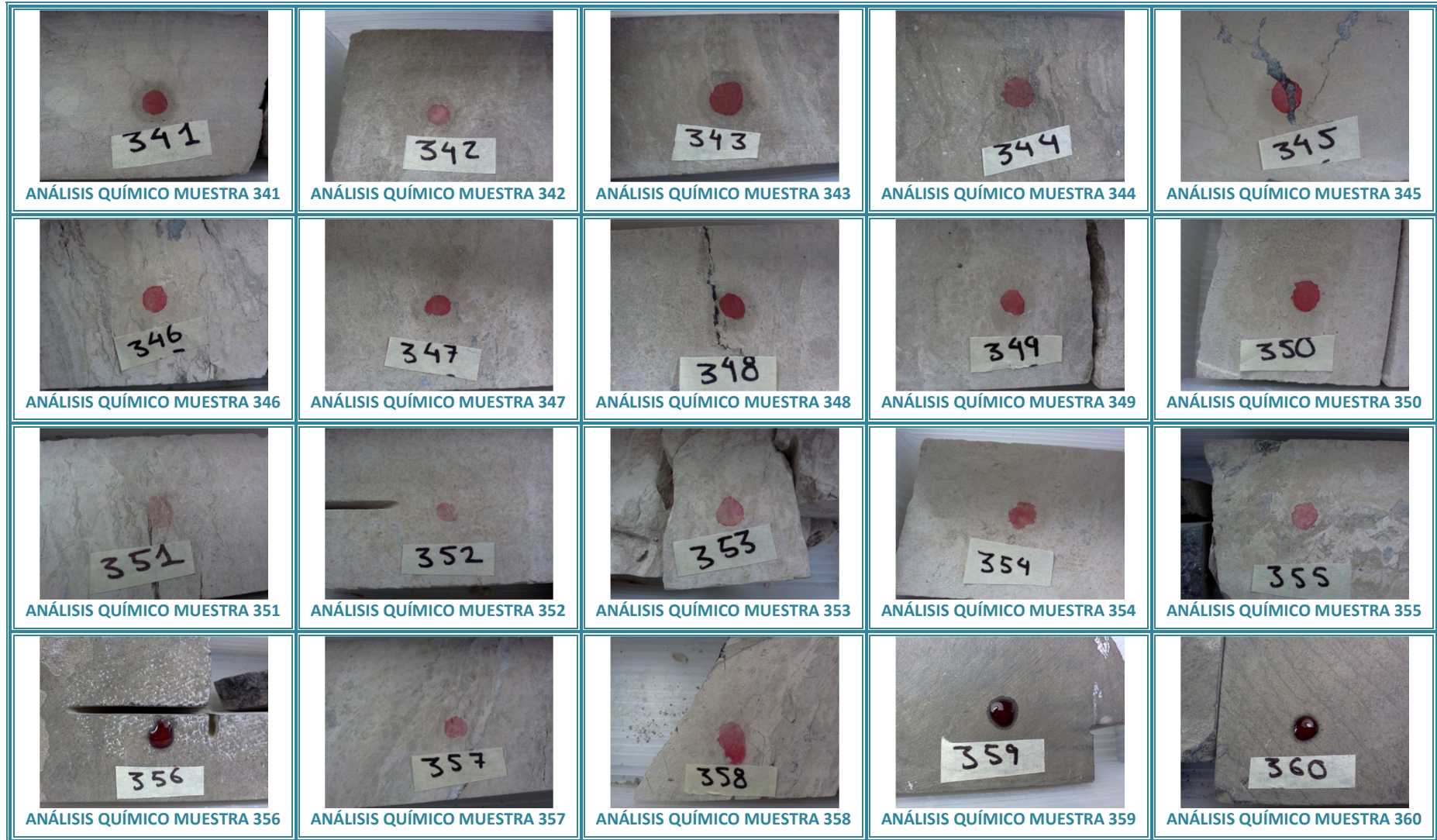


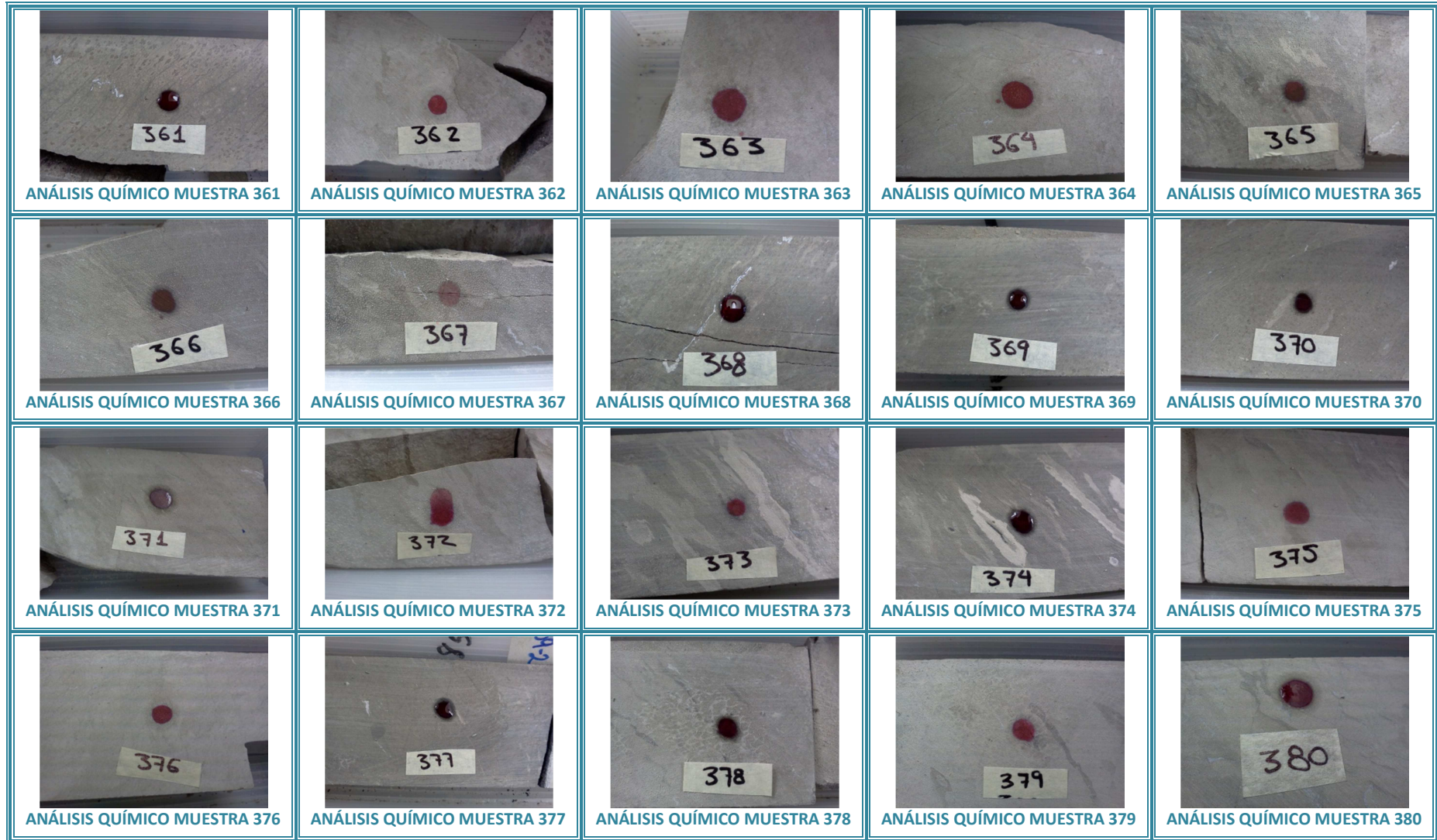


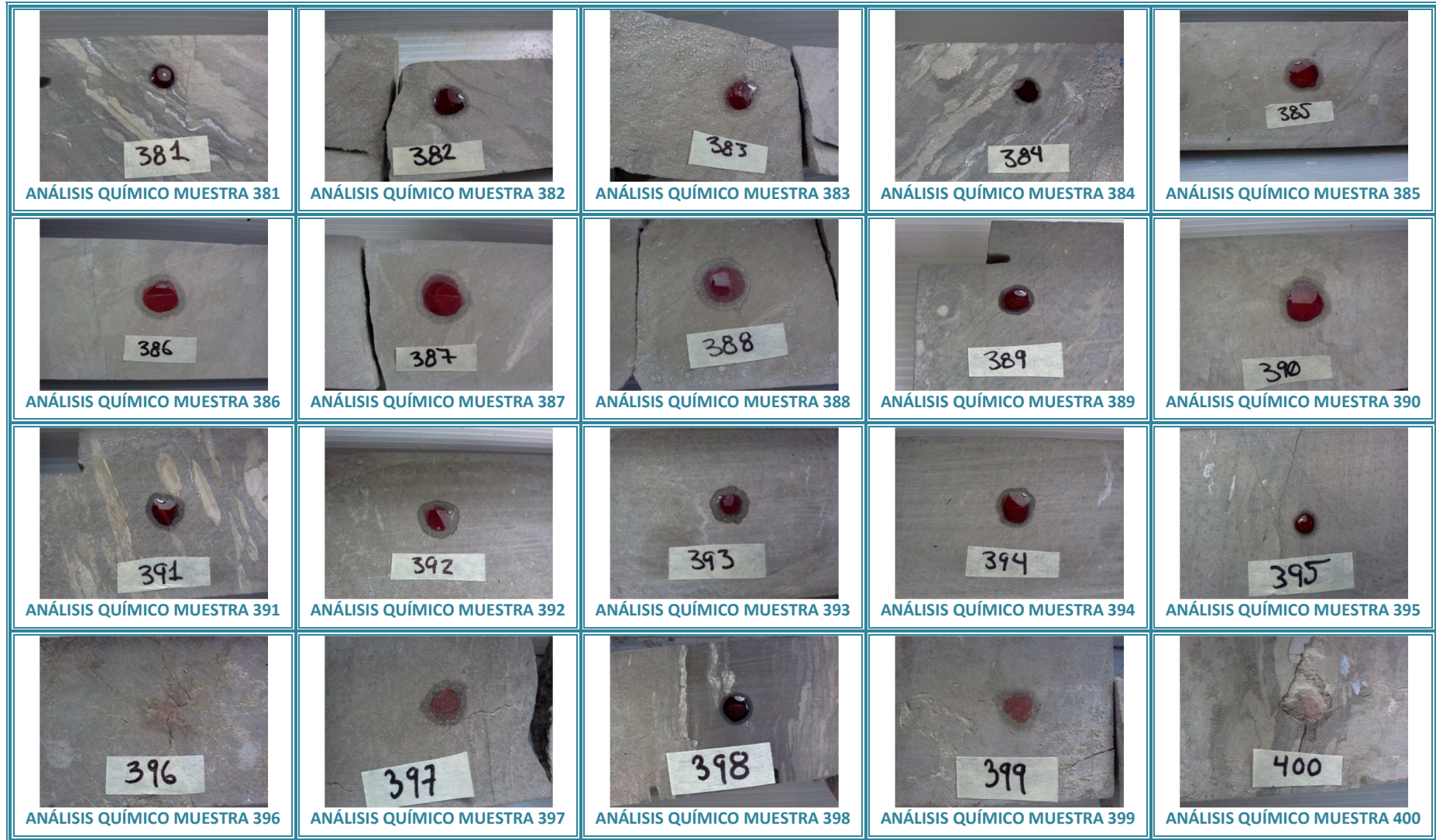


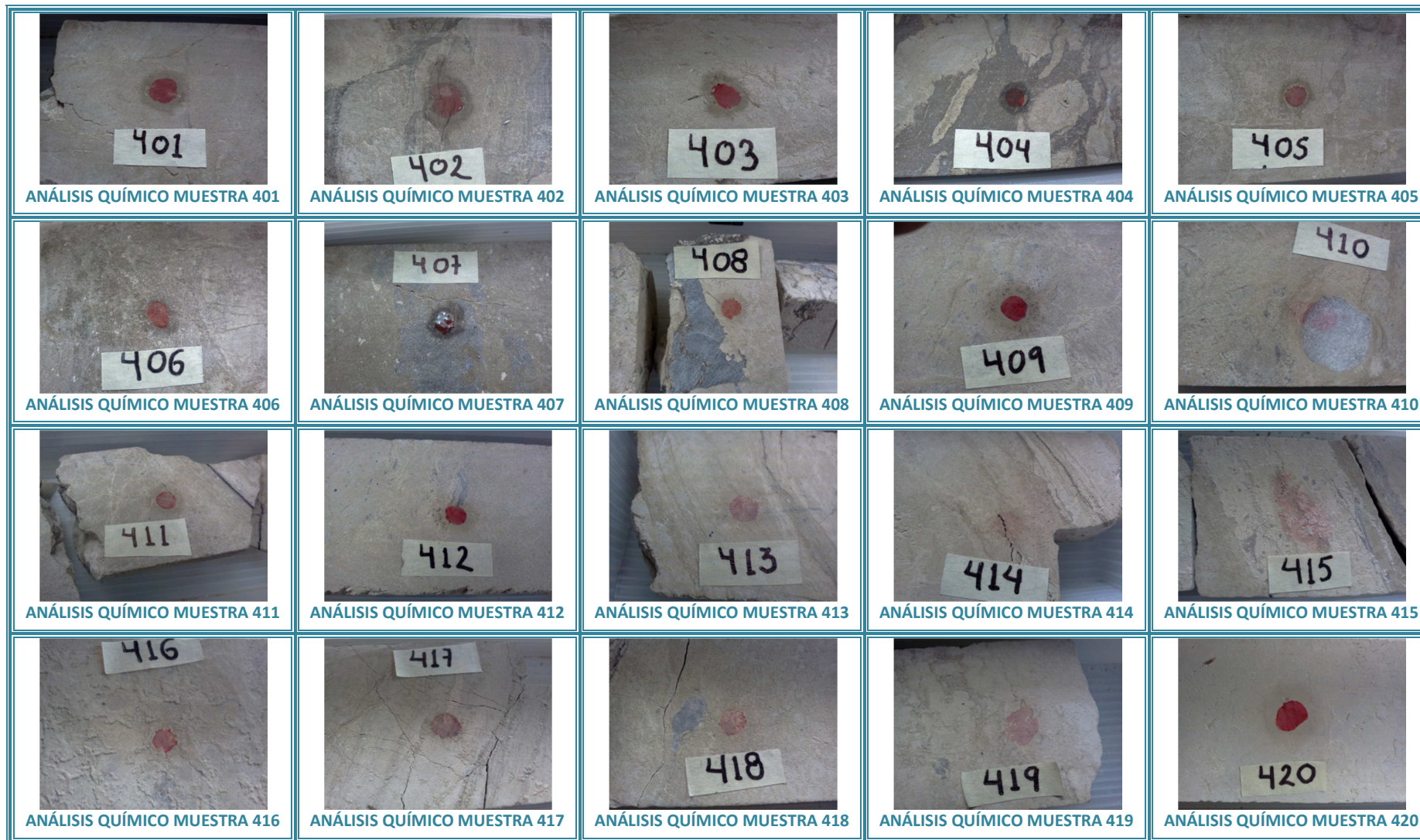


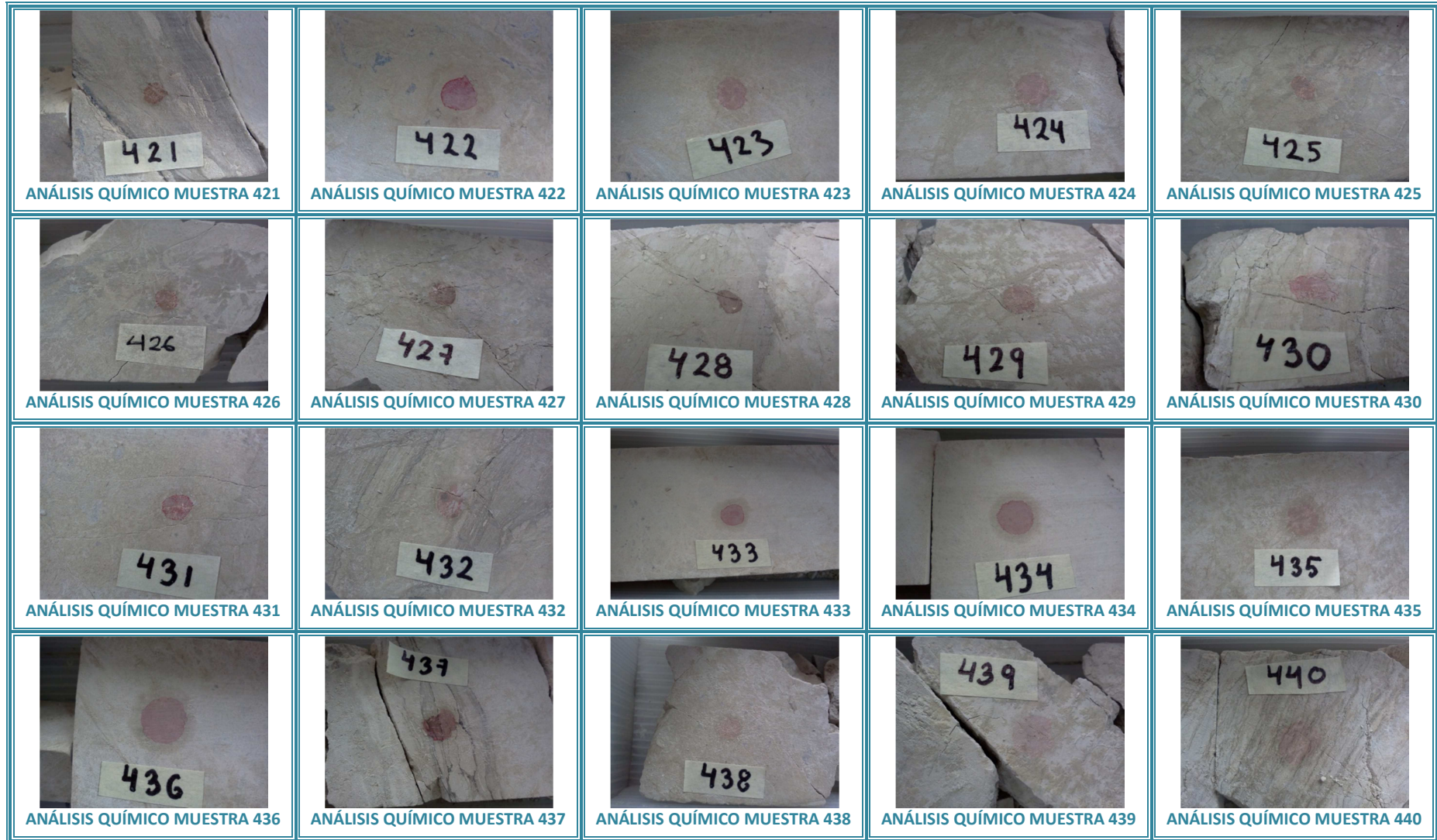


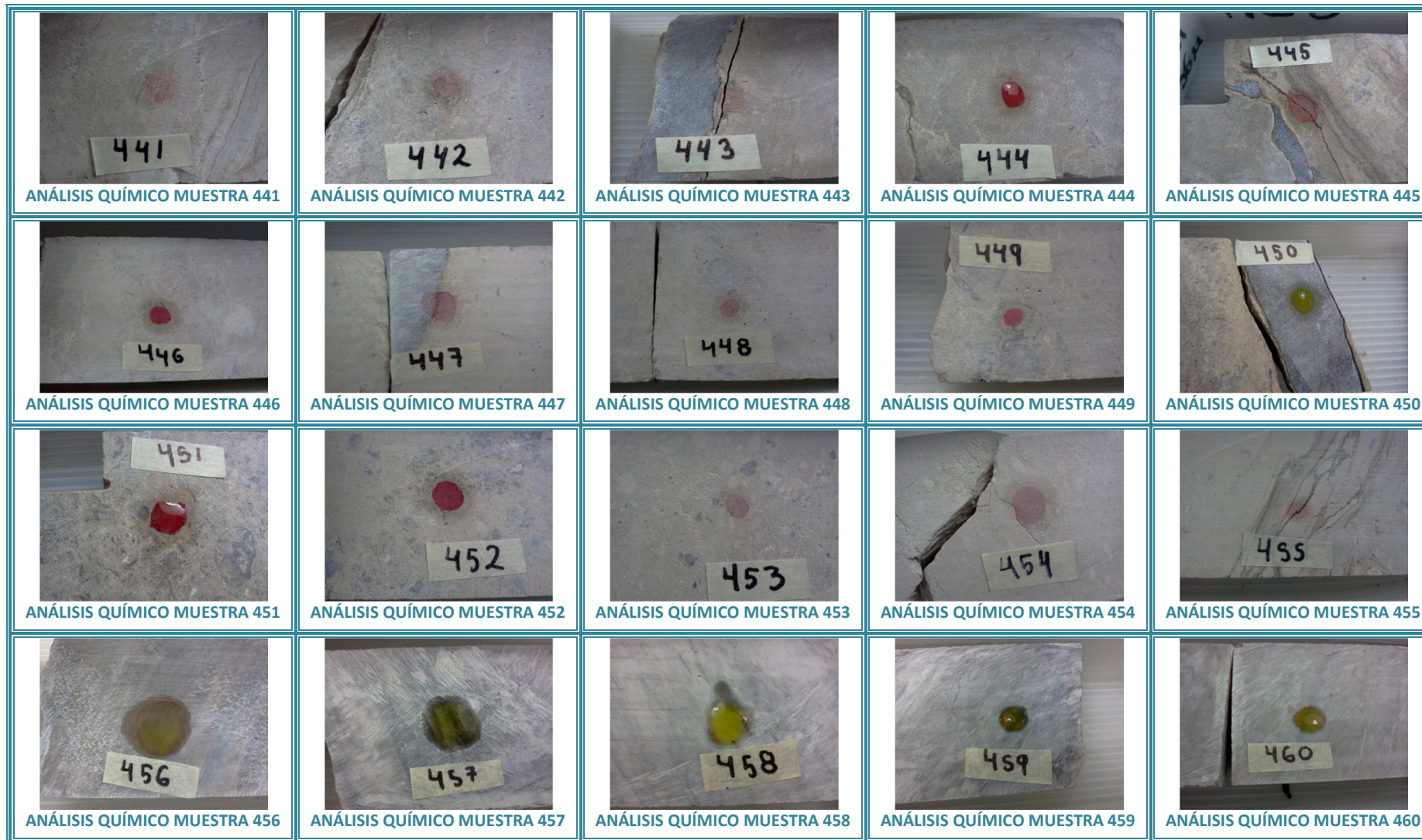


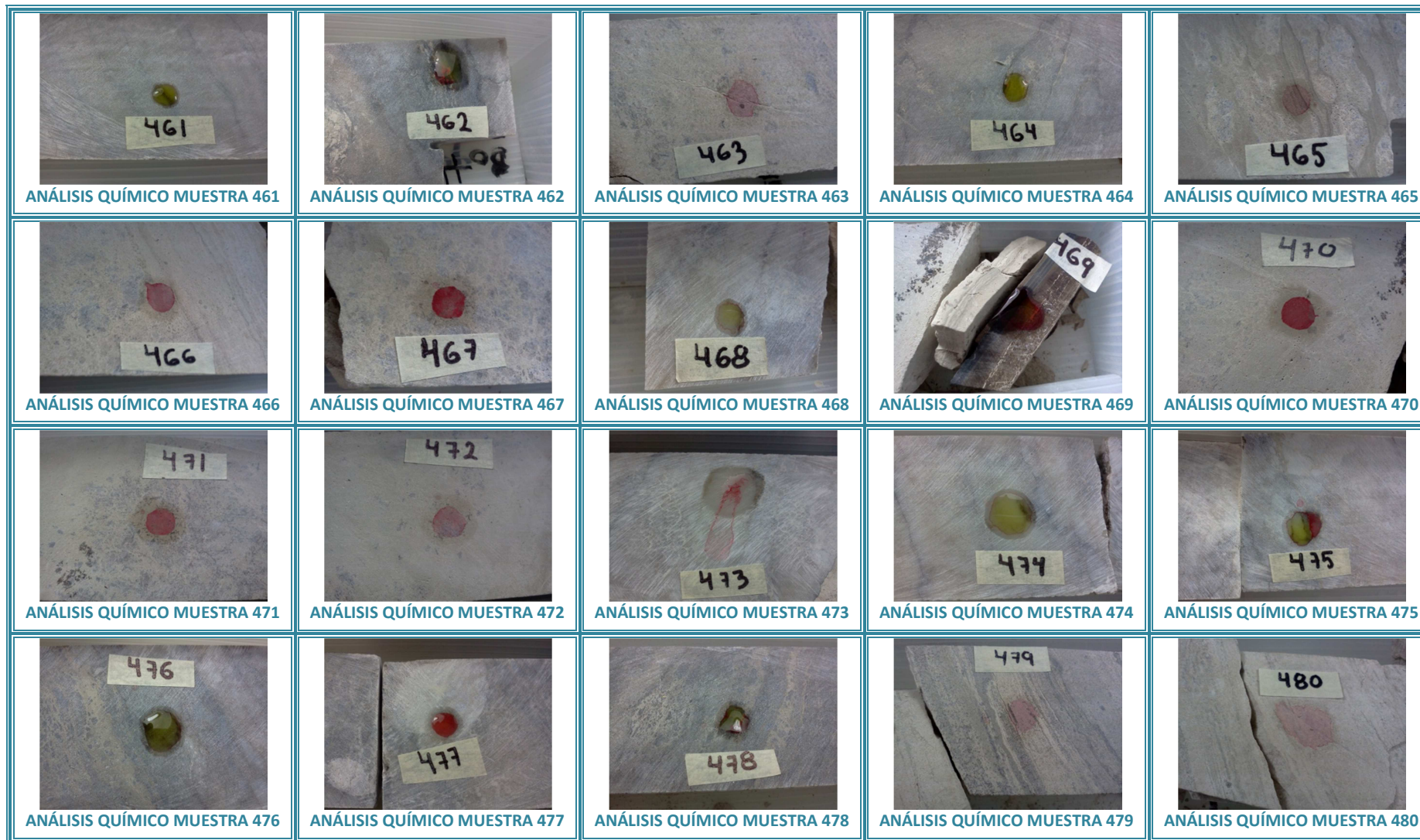






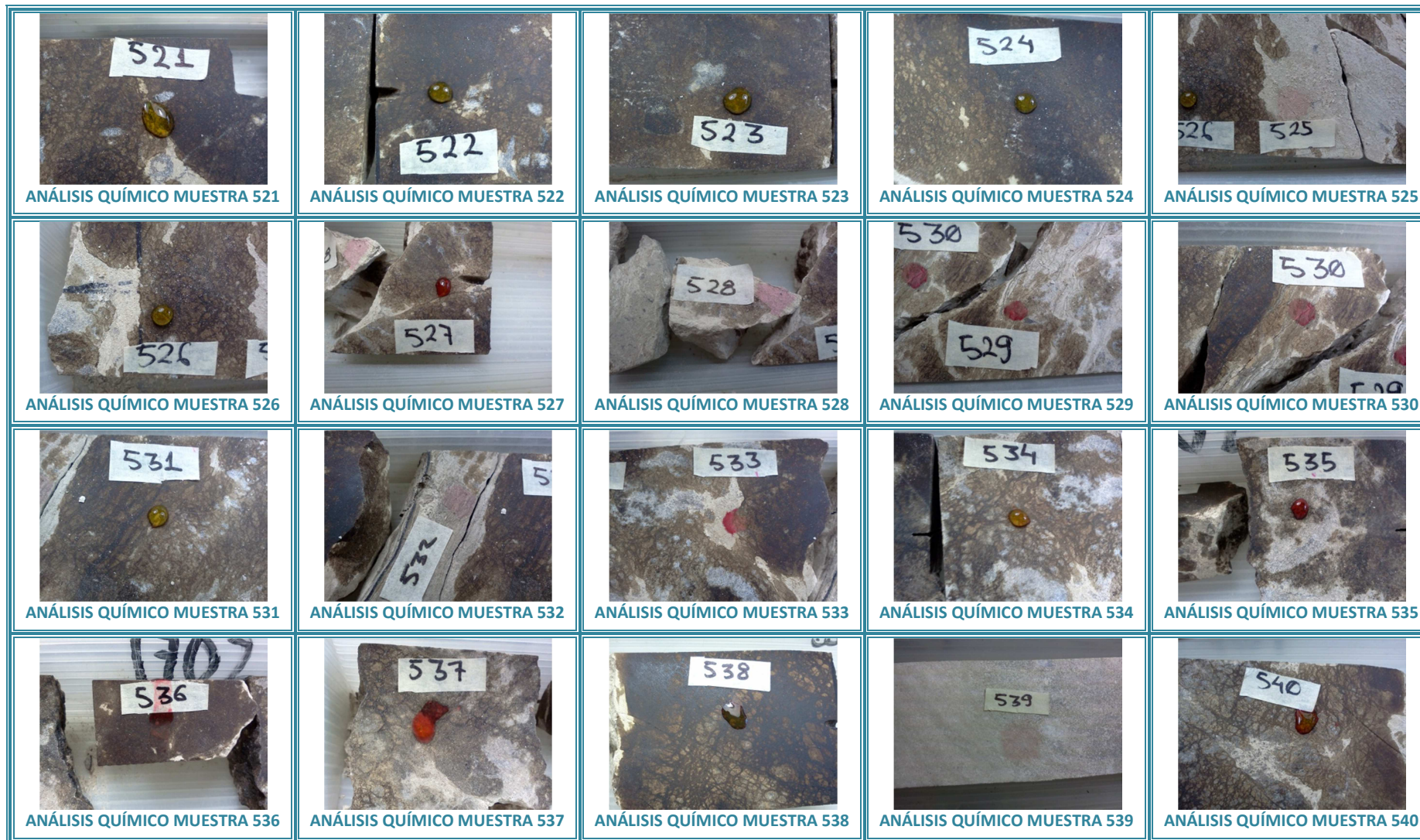


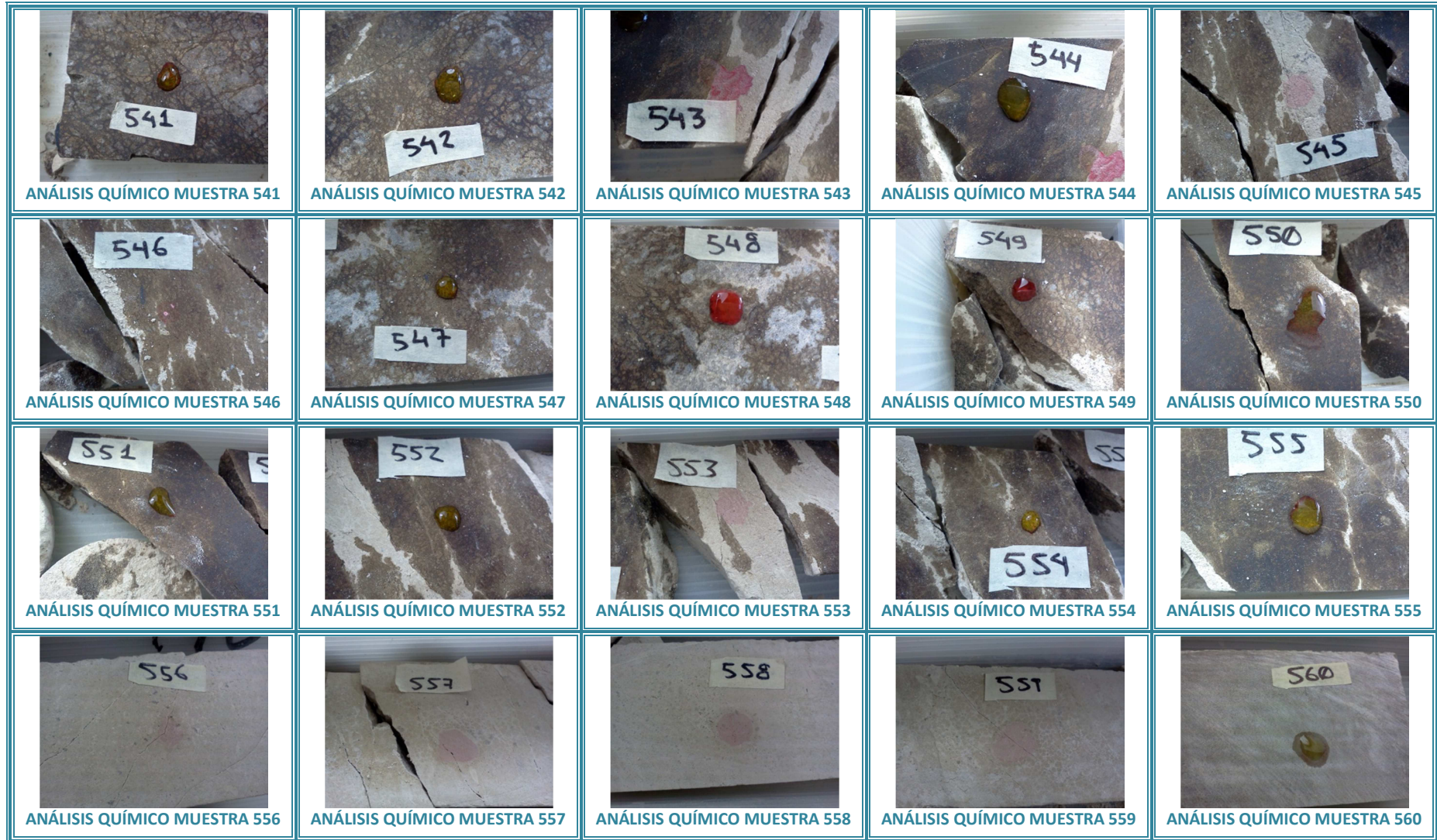




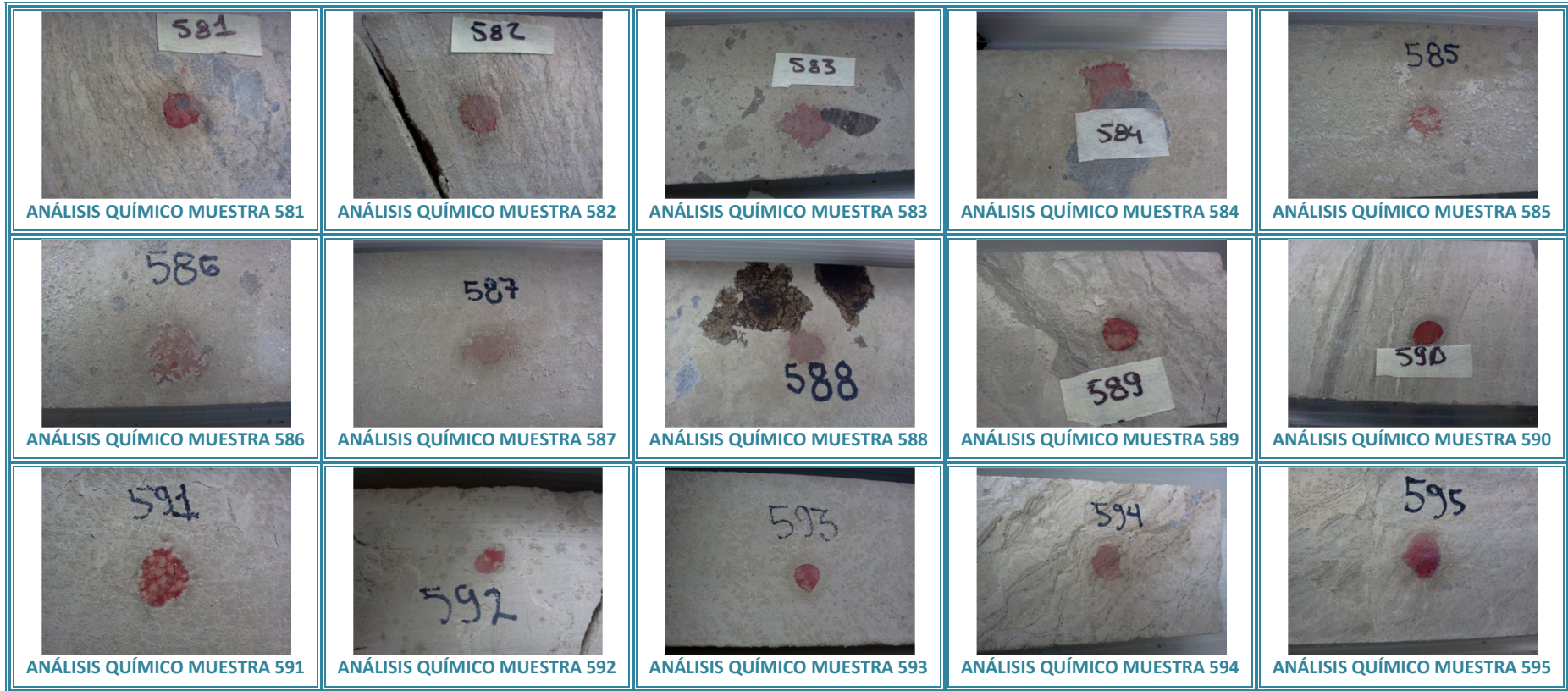












ANEXO IV

Registro del porcentaje de reacción química

Anexo IV Registro del porcentaje de reacción química

#M	PROF (m)	%RQ	#M	PROF (m)	%RQ	#M	PROF (m)	%RQ
595	1425.48	80	556	1434.67	60	517	1437.67	80
594	1425.6	60	555	1434.84	20	516	1437.79	20
593	1426.45	60	554	1434.91	0	515	1437.85	20
592	1426.85	60	553	1434.95	60	514	1437.97	80
591	1427.27	80	552	1435.01	0	513	1438.33	60
590	1427.39	80	551	1435.08	0	512	1438.66	80
589	1427.77	80	550	1435.13	20	511	1438.71	80
588	1428.03	60	549	1435.32	80	510	1438.8	20
587	1428.26	60	548	1435.46	40	509	1438.94	20
586	1428.58	60	547	1435.49	0	508	1438.97	20
585	1428.94	60	546	1435.58	60	507	1439.08	80
584	1429.35	60	545	1435.65	60	506	1439.23	0
583	1429.58	60	544	1435.68	0	505	1439.37	0
582	1429.76	60	543	1435.69	60	504	1439.47	0
581	1429.82	80	542	1435.8	0	503	1439.6	80
580	1429.87	60	541	1435.9	40	502	1439.66	0
579	1429.97	0	540	1436.02	80	501	1439.71	0
578	1430.01	20	539	1436.17	60	500	1439.75	0
577	1430.07	20	538	1436.3	0	499	1439.8	0
576	1430.19	0	537	1436.36	40	498	1439.85	0
575	1430.29	0	536	1436.42	60	497	1439.95	60
574	1430.37	20	535	1436.47	80	496	1440.14	60
573	1430.65	20	534	1436.52	0	495	1440.2	60
572	1430.97	20	533	1436.56	80	494	1440.26	60
571	1431.2	0	532	1436.59	60	493	1440.33	60
570	1431.37	20	531	1436.64	0	492	1440.38	60
569	1431.71	0	530	1436.72	80	491	1440.44	60
568	1431.96	20	529	1436.74	80	490	1440.56	60
567	1432.19	0	528	1436.83	60	489	1440.64	60
566	1432.42	20	527	1436.87	40	488	1440.71	60
565	1432.49	0	526	1436.94	0	487	1440.85	60
564	1432.7	20	525	1436.97	60	486	1440.94	60
563	1432.91	0	524	1437.09	0	485	1441.01	60
562	1433.06	0	523	1437.17	0	484	1441.12	60
561	1433.23	0	522	1437.22	0	483	1441.25	60
560	1433.55	0	521	1437.32	0	482	1441.29	60
559	1433.85	60	520	1437.44	0	481	1441.38	60
558	1433.97	60	519	1437.58	80	480	1441.48	60
557	1434.3	60	518	1437.63	80	479	1441.56	60

Registros geofísicos y caracterización de la secuencia Cretácica del pozo Yaxcopoil-1, Yucatán.

#M	PROF (m)	%RQ	#M	PROF (m)	%RQ	#M	PROF (m)	%RQ
478	1441.65	20	436	1448.73	60	394	1455.78	100
477	1441.91	80	435	1448.89	60	393	1456.11	100
476	1442.27	0	434	1449.2	60	392	1456.34	80
475	1442.54	20	433	1449.3	60	391	1456.56	100
474	1442.8	0	432	1449.61	60	390	1456.7	80
473	1443.08	60	431	1449.81	60	389	1456.86	100
472	1443.28	60	430	1449.88	60	388	1457.06	80
471	1443.41	60	429	1449.94	60	387	1457.32	100
470	1443.46	80	428	1450.03	60	386	1457.46	100
469	1443.51	80	427	1450.13	60	385	1457.74	100
468	1443.56	20	426	1450.3	60	384	1457.86	100
467	1443.82	80	425	1450.47	60	383	1458.02	100
466	1443.95	80	424	1450.74	60	382	1458.17	100
465	1444.03	80	423	1451.12	60	381	1458.26	100
464	1444.53	20	422	1451.23	60	380	1458.34	100
463	1444.68	60	421	1451.32	60	379	1458.44	80
462	1444.8	40	420	1451.47	80	378	1458.54	100
461	1444.9	0	419	1451.68	60	377	1458.67	100
460	1445.14	0	418	1451.8	60	376	1458.81	80
459	1445.29	0	417	1451.87	80	375	1459	80
458	1445.43	0	416	1451.97	60	374	1459.09	100
457	1445.51	0	415	1452.13	60	373	1459.18	80
456	1445.67	40	414	1452.22	60	372	1459.3	80
455	1445.86	60	413	1452.3	60	371	1459.39	100
454	1446.21	60	412	1452.55	80	370	1459.51	100
453	1446.26	60	411	1452.8	60	369	1459.65	100
452	1446.44	80	410	1452.89	60	368	1459.81	100
451	1446.59	80	409	1452.98	80	367	1459.97	80
450	1446.67	0	408	1453.12	60	366	1460.12	100
449	1446.73	60	407	1453.32	100	365	1460.21	100
448	1446.93	60	406	1453.49	60	364	1460.35	100
447	1447.1	60	405	1453.87	60	363	1460.44	80
446	1447.44	40	404	1454.07	80	362	1460.6	80
445	1447.59	60	403	1454.25	60	361	1460.77	100
444	1447.73	40	402	1454.36	60	360	1460.84	100
443	1447.79	60	401	1454.57	80	359	1460.98	100
442	1447.87	60	400	1454.74	60	358	1461.1	80
441	1448.01	60	399	1454.79	60	357	1461.26	80
440	1448.13	60	398	1454.87	100	356	1461.37	100
439	1448.24	60	397	1454.97	80	355	1461.45	60
438	1448.4	60	396	1455.25	60	354	1461.67	60
437	1448.58	60	395	1455.56	100	353	1461.86	60

Registros geofísicos y caracterización de la secuencia Cretácica del pozo Yaxcopoil-1, Yucatán.

#M	PROF (m)	%RQ	#M	PROF (m)	%RQ	#M	PROF (m)	%RQ
352	1461.97	60	310	1467.64	100	268	1475.38	100
351	1462.18	60	309	1467.75	100	267	1475.5	100
350	1462.26	80	308	1467.84	60	266	1475.56	100
349	1462.35	80	307	1467.88	100	265	1475.74	100
348	1462.41	80	306	1468.08	100	264	1476.07	100
347	1462.46	80	305	1468.22	80	263	1476.43	100
346	1462.63	80	304	1468.38	100	262	1476.78	100
345	1462.92	80	303	1468.65	80	261	1477.06	100
344	1463.08	80	302	1468.85	100	260	1477.24	100
343	1463.31	80	301	1468.94	80	259	1477.35	100
342	1463.49	60	300	1469.12	80	258	1477.37	100
341	1463.64	80	299	1469.28	100	257	1477.44	100
340	1463.78	100	298	1469.36	100	256	1477.49	100
339	1463.84	80	297	1469.48	100	255	1477.55	100
338	1463.92	80	296	1469.61	100	254	1477.63	100
337	1464	80	295	1469.72	100	253	1477.72	100
336	1464.1	60	294	1469.83	100	252	1477.85	100
335	1464.24	80	293	1469.97	100	251	1477.92	100
334	1464.37	80	292	1470.02	80	250	1477.97	100
333	1464.43	80	291	1470.15	60	249	1478.01	100
332	1464.53	60	290	1470.22	60	248	1478.06	100
331	1464.57	100	289	1470.5	80	247	1478.15	80
330	1464.72	80	288	1470.73	60	246	1478.37	80
329	1464.84	80	287	1471.12	60	245	1478.58	100
328	1465.22	100	286	1471.27	100	244	1478.63	100
327	1465.39	60	285	1471.42	60	243	1478.8	100
326	1465.51	100	284	1471.52	100	242	1479.18	80
325	1465.66	100	283	1471.63	100	241	1479.26	100
324	1465.8	100	282	1471.76	100	240	1479.33	100
323	1466.05	100	281	1472.02	60	239	1479.43	100
322	1466.24	100	280	1472.22	80	238	1479.47	100
321	1466.35	100	279	1472.7	100	237	1479.63	80
320	1466.48	100	278	1473.05	100	236	1479.72	60
319	1466.55	80	277	1473.31	100	235	1479.81	80
318	1466.67	80	276	1473.76	100	234	1479.88	100
317	1466.81	80	275	1473.87	100	233	1479.94	100
316	1466.85	60	274	1474.24	100	232	1480.03	80
315	1467.23	80	273	1474.44	100	231	1480.13	100
314	1467.33	80	272	1474.62	100	230	1480.28	80
313	1467.39	100	271	1474.87	100	229	1480.48	80
312	1467.42	100	270	1475.07	100	228	1480.72	80
311	1467.52	80	269	1475.26	100	227	1480.93	60

Registros geofísicos y caracterización de la secuencia Cretácica del pozo Yaxcopoil-1, Yucatán.

#M	PROF (m)	%RQ	#M	PROF (m)	%RQ	#M	PROF (m)	%RQ
226	1481.13	60	184	1485.46	80	142	1489.34	80
225	1481.31	80	183	1485.5	100	141	1489.46	80
224	1481.5	100	182	1485.52	60	140	1489.55	80
223	1481.55	80	181	1485.56	100	139	1489.66	80
222	1481.61	80	180	1485.64	80	138	1489.77	100
221	1481.67	100	179	1485.75	100	137	1489.89	80
220	1481.73	100	178	1485.83	80	136	1489.97	20
219	1481.87	100	177	1485.9	80	135	1490.06	100
218	1482.04	100	176	1486	100	134	1490.17	100
217	1482.14	40	175	1486.08	80	133	1490.38	40
216	1482.25	40	174	1486.14	80	132	1490.47	80
215	1482.34	80	173	1486.19	60	131	1490.53	80
214	1482.43	80	172	1486.29	80	130	1490.59	80
213	1482.47	80	171	1486.39	80	129	1490.67	60
212	1482.53	80	170	1486.53	60	128	1490.75	20
211	1482.79	80	169	1486.63	80	127	1490.81	80
210	1482.94	80	168	1486.76	80	126	1490.85	0
209	1483.04	80	167	1486.82	80	125	1490.91	80
208	1483.17	80	166	1486.97	80	124	1490.97	80
207	1483.33	80	165	1487.01	80	123	1491.02	80
206	1483.45	100	164	1487.11	80	122	1491.08	80
205	1483.6	80	163	1487.18	100	121	1491.17	80
204	1483.74	100	162	1487.24	80	120	1491.3	80
203	1483.81	80	161	1487.39	80	119	1491.32	80
202	1483.87	60	160	1487.66	80	118	1491.37	60
201	1483.98	80	159	1487.74	80	117	1491.44	80
200	1484.07	100	158	1487.97	80	116	1491.51	60
199	1484.14	100	157	1488.05	80	115	1491.59	60
198	1484.23	60	156	1488.13	100	114	1491.71	100
197	1484.3	80	155	1488.18	80	113	1491.76	40
196	1484.45	80	154	1488.22	100	112	1491.81	0
195	1484.56	60	153	1488.26	80	111	1491.91	80
194	1484.62	80	152	1488.28	80	110	1492	80
193	1484.64	100	151	1488.32	80	109	1492.09	60
192	1484.76	100	150	1488.48	60	108	1492.24	80
191	1484.83	100	149	1488.57	60	107	1492.36	80
190	1484.85	20	148	1488.75	100	106	1492.45	80
189	1485.03	100	147	1488.79	0	105	1492.55	80
188	1485.09	100	146	1488.85	80	104	1492.68	80
187	1485.12	80	145	1489.02	80	103	1492.74	100
186	1485.21	80	144	1489.13	80	102	1492.81	60
185	1485.44	80	143	1489.26	60	101	1492.89	80

Registros geofísicos y caracterización de la secuencia Cretácica del pozo Yaxcopoil-1, Yucatán.

#M	PROF (m)	%RQ	#M	PROF (m)	%RQ	#M	PROF (m)	%RQ
100	1493	80	65	1496.49	80	30	1501.82	60
99	1493.1	60	64	1496.57	100	29	1502.05	40
98	1493.2	60	63	1496.61	80	28	1502.17	60
97	1493.31	80	62	1497.02	60	27	1502.33	60
96	1493.37	60	61	1497.24	80	26	1502.44	60
95	1493.49	80	60	1497.33	60	25	1502.66	0
94	1493.58	80	59	1497.59	60	24	1502.83	80
93	1493.67	80	58	1497.66	60	23	1503.23	60
92	1493.74	80	57	1497.74	40	22	1503.92	60
91	1493.83	80	56	1497.93	40	21	1504.72	60
90	1493.94	60	55	1498.09	80	20	1504.84	60
89	1494.01	80	54	1498.16	40	19	1504.95	80
88	1494.09	80	53	1498.26	20	18	1505.24	60
87	1494.2	100	52	1498.4	0	17	1505.58	60
86	1494.3	80	51	1498.44	0	16	1505.88	60
85	1494.4	80	50	1498.53	80	15	1506.11	60
84	1494.47	80	49	1498.97	80	14	1506.49	60
83	1494.65	80	48	1499.08	60	13	1506.76	60
82	1494.73	60	47	1499.18	80	12	1507.08	60
81	1494.84	40	46	1499.39	60	11	1507.31	60
80	1494.89	80	45	1499.65	80	10	1507.68	60
79	1494.96	60	44	1499.8	0	9	1508.32	60
78	1495.03	80	43	1499.95	60	8	1508.96	60
77	1495.09	40	42	1500.03	60	7	1509.12	60
76	1495.21	100	41	1500.25	60	6	1509.38	60
75	1495.28	80	40	1500.4	80	5	1509.79	60
74	1495.35	80	39	1500.58	80	4	1509.96	0
73	1495.48	80	38	1500.76	60	3	1510.04	0
72	1495.64	80	37	1500.85	60	2	1510.25	60
71	1495.77	80	36	1501.02	60	1	1510.4	60
70	1495.84	100	35	1501.15	60			
69	1495.9	100	34	1501.23	60			
68	1496.01	80	33	1501.32	60			
67	1496.09	80	32	1501.57	60			
66	1496.31	80	31	1501.62	60			

#M - Número de muestra

PROF (m) – Profundidad (m)

%RQ – Porcentaje de reacción química asociado

ANEXO V

Registro geoquímico

Anexo V Registro geoquímico

Registro del porcentaje de Sílice

#M	PROF (m)	%Si	#M	PROF (m)	%Si	#M	PROF (m)	%Si
595	1425.48	0.36	555	1434.84	0.55	515	1437.85	0.30
594	1425.6	0.40	554	1434.91	0.16	514	1437.97	0.58
593	1426.45	1.00	553	1434.95	0.56	513	1438.33	0.67
592	1426.85	1.02	552	1435.01	0.45	512	1438.66	0.33
591	1427.27	0.96	551	1435.08	0.96	511	1438.71	0.60
590	1427.39	1.15	550	1435.13	1.37	510	1438.8	0.30
589	1427.77	1.14	549	1435.32	0.96	509	1438.94	0.37
588	1428.03	0.73	548	1435.46	0.31	508	1438.97	0.43
587	1428.26	1.34	547	1435.49	0.40	507	1439.08	0.41
586	1428.58	0.49	546	1435.58	0.48	506	1439.23	0.33
585	1428.94	0.93	545	1435.65	0.53	505	1439.37	0.29
584	1429.35	0.44	544	1435.68	1.29	504	1439.47	0.27
583	1429.58	1.04	543	1435.69	0.60	503	1439.6	0.93
582	1429.76	0.82	542	1435.8	0.54	502	1439.66	0.40
581	1429.82	0.46	541	1435.9	0.82	501	1439.71	0.46
580	1429.87	1.09	540	1436.02	0.90	500	1439.75	0.46
579	1429.97	0.24	539	1436.17	14.20	499	1439.8	0.57
578	1430.01	0.30	538	1436.3	1.97	498	1439.85	0.47
577	1430.07	0.27	537	1436.36	0.54	497	1439.95	1.85
576	1430.19	0.21	536	1436.42	3.02	496	1440.14	1.64
575	1430.29	0.33	535	1436.47	0.50	495	1440.2	0.84
574	1430.37	0.27	534	1436.52	0.36	494	1440.26	0.79
573	1430.65	0.30	533	1436.56	0.42	493	1440.33	0.75
572	1430.97	0.52	532	1436.59	0.64	492	1440.38	1.03
571	1431.2	0.20	531	1436.64	0.53	491	1440.44	1.29
570	1431.37	0.17	530	1436.72	0.49	490	1440.56	0.81
569	1431.71	0.26	529	1436.74	0.41	489	1440.64	1.26
568	1431.96	0.16	528	1436.83	0.44	488	1440.71	1.11
567	1432.19	0.15	527	1436.87	0.42	487	1440.85	1.46
566	1432.42	0.91	526	1436.94	0.36	486	1440.94	21.56
565	1432.49	0.16	525	1436.97	0.67	485	1441.01	1.19
564	1432.7	0.33	524	1437.09	0.70	484	1441.12	1.32
563	1432.91	0.15	523	1437.17	1.03	483	1441.25	0.94
562	1433.06	0.41	522	1437.22	0.96	482	1441.29	2.20
561	1433.23	0.41	521	1437.32	1.57	481	1441.38	0.98
560	1433.55	0.32	520	1437.44	0.98	480	1441.48	0.40
559	1433.85	0.86	519	1437.58	0.35	479	1441.56	0.39
558	1433.97	0.72	518	1437.63	0.40	478	1441.65	0.31
557	1434.3	0.67	517	1437.67	0.48	477	1441.91	0.21
556	1434.67	0.78	516	1437.79	0.45	476	1442.27	0.31

Registros geofísicos y caracterización de la secuencia Cretácica del pozo Yaxcopoil-1, Yucatán.

#M	PROF (m)	%Si	#M	PROF (m)	%Si	#M	PROF (m)	%Si
475	1442.54	0.37	433	1449.3	0.68	391	1456.56	1.16
474	1442.8	0.29	432	1449.61	0.92	390	1456.7	0.87
473	1443.08	0.30	431	1449.81	1.01	389	1456.86	1.58
472	1443.28	0.67	430	1449.88	0.60	388	1457.06	0.82
471	1443.41	0.48	429	1449.94	0.73	387	1457.32	0.76
470	1443.46	0.84	428	1450.03	0.83	386	1457.46	0.74
469	1443.51	4.63	427	1450.13	1.19	385	1457.74	0.92
468	1443.56	0.32	426	1450.3	1.37	384	1457.86	1.68
467	1443.82	0.75	425	1450.47	1.04	383	1458.02	1.99
466	1443.95	1.42	424	1450.74	0.73	382	1458.17	1.58
465	1444.03	0.99	423	1451.12	0.96	381	1458.26	2.25
464	1444.53	0.44	422	1451.23	1.52	380	1458.34	1.89
463	1444.68	0.59	421	1451.32	1.60	379	1458.44	1.72
462	1444.8	0.28	420	1451.47	1.70	378	1458.54	2.62
461	1444.9	0.29	419	1451.68	0.86	377	1458.67	1.61
460	1445.14	0.35	418	1451.8	1.59	376	1458.81	1.11
459	1445.29	0.32	417	1451.87	1.41	375	1459	2.07
458	1445.43	0.32	416	1451.97	1.11	374	1459.09	6.38
457	1445.51	0.42	415	1452.13	0.47	373	1459.18	3.95
456	1445.67	0.36	414	1452.22	0.96	372	1459.3	2.96
455	1445.86	0.94	413	1452.3	1.30	371	1459.39	3.47
454	1446.21	1.07	412	1452.55	1.34	370	1459.51	6.96
453	1446.26	0.84	411	1452.8	1.26	369	1459.65	1.72
452	1446.44	0.52	410	1452.89	1.45	368	1459.81	1.98
451	1446.59	0.45	409	1452.98	1.45	367	1459.97	1.83
450	1446.67	0.44	408	1453.12	1.50	366	1460.12	1.77
449	1446.73	0.41	407	1453.32	1.50	365	1460.21	1.81
448	1446.93	0.53	406	1453.49	1.90	364	1460.35	1.38
447	1447.1	0.47	405	1453.87	1.71	363	1460.44	1.32
446	1447.44	0.49	404	1454.07	3.73	362	1460.6	1.67
445	1447.59	0.92	403	1454.25	1.92	361	1460.77	1.58
444	1447.73	0.39	402	1454.36	1.52	360	1460.84	1.37
443	1447.79	0.48	401	1454.57	1.27	359	1460.98	1.76
442	1447.87	0.83	400	1454.74	9.91	358	1461.1	0.83
441	1448.01	1.04	399	1454.79	3.77	357	1461.26	0.61
440	1448.13	0.71	398	1454.87	8.55	356	1461.37	1.84
439	1448.24	1.68	397	1454.97	2.31	355	1461.45	1.29
438	1448.4	0.69	396	1455.25	2.61	354	1461.67	0.81
437	1448.58	1.03	395	1455.56	13.86	353	1461.86	0.94
436	1448.73	0.46	394	1455.78	1.22	352	1461.97	0.56
435	1448.89	0.53	393	1456.11	0.90	351	1462.18	1.06
434	1449.2	0.62	392	1456.34	0.97	350	1462.26	1.01

Registros geofísicos y caracterización de la secuencia Cretácica del pozo Yaxcopoil-1, Yucatán.

#M	PROF (m)	%Si	#M	PROF (m)	%Si	#M	PROF (m)	%Si
349	1462.35	1.02	307	1467.88	1.31	265	1475.74	6.15
348	1462.41	2.60	306	1468.08	2.35	264	1476.07	2.38
347	1462.46	2.66	305	1468.22	1.52	263	1476.43	1.39
346	1462.63	3.09	304	1468.38	1.85	262	1476.78	1.05
345	1462.92	2.10	303	1468.65	1.34	261	1477.06	0.82
344	1463.08	4.71	302	1468.85	2.88	260	1477.24	0.62
343	1463.31	1.87	301	1468.94	1.70	259	1477.35	5.50
342	1463.49	1.44	300	1469.12	1.49	258	1477.37	1.27
341	1463.64	2.12	299	1469.28	2.42	257	1477.44	0.72
340	1463.78	8.10	298	1469.36	2.23	256	1477.49	1.99
339	1463.84	3.21	297	1469.48	1.92	255	1477.55	1.45
338	1463.92	3.95	296	1469.61	1.86	254	1477.63	1.08
337	1464	1.63	295	1469.72	1.40	253	1477.72	0.98
336	1464.1	2.99	294	1469.83	7.04	252	1477.85	1.18
335	1464.24	1.34	293	1469.97	3.16	251	1477.92	3.40
334	1464.37	13.78	292	1470.02	1.59	250	1477.97	0.84
333	1464.43	5.23	291	1470.15	0.84	249	1478.01	1.63
332	1464.53	10.34	290	1470.22	1.06	248	1478.06	1.10
331	1464.57	2.78	289	1470.5	1.92	247	1478.15	1.42
330	1464.72	1.77	288	1470.73	1.16	246	1478.37	1.69
329	1464.84	1.63	287	1471.12	1.49	245	1478.58	3.14
328	1465.22	3.56	286	1471.27	4.71	244	1478.63	1.11
327	1465.39	1.00	285	1471.42	1.97	243	1478.8	1.04
326	1465.51	2.13	284	1471.52	13.35	242	1479.18	0.71
325	1465.66	1.68	283	1471.63	1.75	241	1479.26	1.61
324	1465.8	1.56	282	1471.76	1.96	240	1479.33	1.11
323	1466.05	1.33	281	1472.02	1.13	239	1479.43	1.61
322	1466.24	1.46	280	1472.22	1.23	238	1479.47	9.21
321	1466.35	1.10	279	1472.7	1.75	237	1479.63	1.57
320	1466.48	12.12	278	1473.05	1.04	236	1479.72	4.91
319	1466.55	1.57	277	1473.31	2.33	235	1479.81	2.83
318	1466.67	1.67	276	1473.76	4.90	234	1479.88	2.57
317	1466.81	2.48	275	1473.87	49.38	233	1479.94	2.71
316	1466.85	2.03	274	1474.24	1.30	232	1480.03	1.75
315	1467.23	1.53	273	1474.44	1.11	231	1480.13	0.71
314	1467.33	1.37	272	1474.62	1.19	230	1480.28	0.63
313	1467.39	2.34	271	1474.87	1.62	229	1480.48	0.70
312	1467.42	2.73	270	1475.07	1.09	228	1480.72	0.93
311	1467.52	1.73	269	1475.26	2.30	227	1480.93	1.06
310	1467.64	1.80	268	1475.38	7.61	226	1481.13	1.10
309	1467.75	2.00	267	1475.5	2.50	225	1481.31	0.83
308	1467.84	1.84	266	1475.56	1.42	224	1481.5	1.08

Registros geofísicos y caracterización de la secuencia Cretácica del pozo Yaxcopoil-1, Yucatán.

#M	PROF (m)	%Si	#M	PROF (m)	%Si	#M	PROF (m)	%Si
223	1481.55	21.67	181	1485.56	3.46	139	1489.66	2.25
222	1481.61	1.80	180	1485.64	2.54	138	1489.77	22.98
221	1481.67	8.95	179	1485.75	8.97	137	1489.89	2.23
220	1481.73	3.26	178	1485.83	4.18	136	1489.97	32.30
219	1481.87	1.83	177	1485.9	11.88	135	1490.06	3.92
218	1482.04	2.04	176	1486	4.88	134	1490.17	5.77
217	1482.14	0.65	175	1486.08	2.27	133	1490.38	20.74
216	1482.25	1.05	174	1486.14	3.67	132	1490.47	3.02
215	1482.34	1.76	173	1486.19	1.06	131	1490.53	3.21
214	1482.43	1.29	172	1486.29	9.33	130	1490.59	5.92
213	1482.47	3.16	171	1486.39	3.33	129	1490.67	2.62
212	1482.53	2.69	170	1486.53	17.37	128	1490.75	46.66
211	1482.79	2.41	169	1486.63	3.66	127	1490.81	1.79
210	1482.94	6.93	168	1486.76	8.15	126	1490.85	35.67
209	1483.04	1.39	167	1486.82	14.73	125	1490.91	26.83
208	1483.17	1.12	166	1486.97	2.86	124	1490.97	55.93
207	1483.33	1.74	165	1487.01	4.96	123	1491.02	27.54
206	1483.45	9.50	164	1487.11	1.75	122	1491.08	2.37
205	1483.6	1.54	163	1487.18	9.34	121	1491.17	1.55
204	1483.74	3.31	162	1487.24	2.37	120	1491.3	6.50
203	1483.81	2.51	161	1487.39	4.81	119	1491.32	59.76
202	1483.87	7.40	160	1487.66	1.45	118	1491.37	0.81
201	1483.98	1.75	159	1487.74	5.62	117	1491.44	2.05
200	1484.07	6.86	158	1487.97	3.15	116	1491.51	24.49
199	1484.14	1.71	157	1488.05	3.51	115	1491.59	3.36
198	1484.23	22.21	156	1488.13	17.83	114	1491.71	30.99
197	1484.3	11.61	155	1488.18	23.85	113	1491.76	1.60
196	1484.45	2.09	154	1488.22	13.15	112	1491.81	31.06
195	1484.56	12.11	153	1488.26	19.10	111	1491.91	1.21
194	1484.62	4.20	152	1488.28	22.66	110	1492	16.67
193	1484.64	11.60	151	1488.32	2.75	109	1492.09	1.21
192	1484.76	1.05	150	1488.48	5.99	108	1492.24	5.27
191	1484.83	15.99	149	1488.57	7.52	107	1492.36	25.34
190	1484.85	6.15	148	1488.75	6.76	106	1492.45	15.00
189	1485.03	1.02	147	1488.79	1.23	105	1492.55	23.17
188	1485.09	2.10	146	1488.85	6.41	104	1492.68	14.86
187	1485.12	1.06	145	1489.02	1.03	103	1492.74	22.33
186	1485.21	20.63	144	1489.13	16.65	102	1492.81	2.64
185	1485.44	1.79	143	1489.26	30.42	101	1492.89	14.95
184	1485.46	12.91	142	1489.34	1.07	100	1493	5.95
183	1485.5	12.97	141	1489.46	13.75	99	1493.1	3.85
182	1485.52	2.47	140	1489.55	4.73	98	1493.2	4.98

Registros geofísicos y caracterización de la secuencia Cretácica del pozo Yaxcopoil-1, Yucatán.

#M	PROF (m)	%Si	#M	PROF (m)	%Si	#M	PROF (m)	%Si
97	1493.31	25.83	63	1496.61	2.94	29	1502.05	0.97
96	1493.37	3.49	62	1497.02	3.50	28	1502.17	2.04
95	1493.49	1.10	61	1497.24	0.97	27	1502.33	0.68
94	1493.58	0.64	60	1497.33	1.25	26	1502.44	0.57
93	1493.67	0.70	59	1497.59	0.52	25	1502.66	0.47
92	1493.74	0.65	58	1497.66	0.64	24	1502.83	0.29
91	1493.83	3.83	57	1497.74	0.99	23	1503.23	0.65
90	1493.94	1.13	56	1497.93	0.95	22	1503.92	0.35
89	1494.01	0.26	55	1498.09	0.56	21	1504.72	0.48
88	1494.09	0.51	54	1498.16	0.25	20	1504.84	0.59
87	1494.2	0.68	53	1498.26	0.38	19	1504.95	1.01
86	1494.3	0.37	52	1498.4	17.13	18	1505.24	1.58
85	1494.4	1.19	51	1498.44	0.34	17	1505.58	1.01
84	1494.47	0.49	50	1498.53	0.53	16	1505.88	1.51
83	1494.65	3.22	49	1498.97	0.75	15	1506.11	1.00
82	1494.73	0.70	48	1499.08	0.43	14	1506.49	1.46
81	1494.84	2.52	47	1499.18	0.43	13	1506.76	1.85
80	1494.89	0.54	46	1499.39	0.50	12	1507.08	9.60
79	1494.96	0.75	45	1499.65	0.64	11	1507.31	0.97
78	1495.03	0.27	44	1499.8	0.29	10	1507.68	1.00
77	1495.09	0.49	43	1499.95	0.29	9	1508.32	0.92
76	1495.21	1.43	42	1500.03	0.56	8	1508.96	1.07
75	1495.28	2.15	41	1500.25	0.53	7	1509.12	0.75
74	1495.35	2.53	40	1500.4	0.43	6	1509.38	1.08
73	1495.48	0.93	39	1500.58	0.34	5	1509.79	0.82
72	1495.64	1.60	38	1500.76	1.99	4	1509.96	0.57
71	1495.77	3.56	37	1500.85	0.86	3	1510.04	0.63
70	1495.84	3.30	36	1501.02	0.81	2	1510.25	2.23
69	1495.9	1.15	35	1501.15	0.81	1	1510.4	1.82
68	1496.01	1.51	34	1501.23	0.61			
67	1496.09	2.11	33	1501.32	0.60			
66	1496.31	1.22	32	1501.57	0.88			
65	1496.49	1.52	31	1501.62	1.08			
64	1496.57	4.19	30	1501.82	1.76			

#M - Número de muestra

PROF (m) – Profundidad (m)

%Si – Porcentaje de Sílice de la roca en el punto de interés

Registro del porcentaje de Aluminio

#M	PROF (m)	%Al	#M	PROF (m)	%Al	#M	PROF (m)	%Al
595	1425.48	0.59	554	1434.91	0.09	513	1438.33	0.36
594	1425.6	0.51	553	1434.95	0.34	512	1438.66	0.25
593	1426.45	0.66	552	1435.01	0.29	511	1438.71	0.49
592	1426.85	0.58	551	1435.08	0.41	510	1438.8	0.35
591	1427.27	0.66	550	1435.13	0.67	509	1438.94	0.36
590	1427.39	0.47	549	1435.32	0.32	508	1438.97	0.31
589	1427.77	0.67	548	1435.46	0.24	507	1439.08	0.35
588	1428.03	0.43	547	1435.49	0.19	506	1439.23	0.48
587	1428.26	0.67	546	1435.58	0.32	505	1439.37	0.42
586	1428.58	0.47	545	1435.65	0.20	504	1439.47	0.28
585	1428.94	0.61	544	1435.68	0.58	503	1439.6	0.52
584	1429.35	0.38	543	1435.69	0.26	502	1439.66	0.29
583	1429.58	0.76	542	1435.8	0.21	501	1439.71	0.35
582	1429.76	0.63	541	1435.9	0.26	500	1439.75	0.73
581	1429.82	0.39	540	1436.02	0.29	499	1439.8	0.58
580	1429.87	0.65	539	1436.17	0.18	498	1439.85	0.29
579	1429.97	0.26	538	1436.3	0.47	497	1439.95	0.75
578	1430.01	0.47	537	1436.36	0.07	496	1440.14	0.67
577	1430.07	0.33	536	1436.42	0.98	495	1440.2	0.36
576	1430.19	0.47	535	1436.47	0.24	494	1440.26	0.59
575	1430.29	0.39	534	1436.52	0.13	493	1440.33	0.63
574	1430.37	0.27	533	1436.56	0.18	492	1440.38	0.36
573	1430.65	0.31	532	1436.59	0.34	491	1440.44	0.48
572	1430.97	0.30	531	1436.64	0.17	490	1440.56	0.36
571	1431.2	0.14	530	1436.72	0.34	489	1440.64	0.46
570	1431.37	0.29	529	1436.74	0.22	488	1440.71	0.48
569	1431.71	0.21	528	1436.83	0.27	487	1440.85	0.52
568	1431.96	0.28	527	1436.87	0.30	486	1440.94	0.16
567	1432.19	0.31	526	1436.94	0.36	485	1441.01	0.51
566	1432.42	0.45	525	1436.97	0.32	484	1441.12	0.52
565	1432.49	0.27	524	1437.09	0.36	483	1441.25	0.37
564	1432.7	0.46	523	1437.17	0.51	482	1441.29	0.36
563	1432.91	0.16	522	1437.22	0.35	481	1441.38	0.41
562	1433.06	0.25	521	1437.32	0.55	480	1441.48	0.31
561	1433.23	0.46	520	1437.44	0.44	479	1441.56	0.28
560	1433.55	0.23	519	1437.58	0.43	478	1441.65	0.25
559	1433.85	0.53	518	1437.63	0.41	477	1441.91	0.15
558	1433.97	0.55	517	1437.67	0.30	476	1442.27	0.28
557	1434.3	0.62	516	1437.79	0.56	475	1442.54	0.29
556	1434.67	0.41	515	1437.85	0.47	474	1442.8	0.36
555	1434.84	0.13	514	1437.97	0.30	473	1443.08	0.50

Registros geofísicos y caracterización de la secuencia Cretácica del pozo Yaxcopoil-1, Yucatán.

#M	PROF (m)	%AI
472	1443.28	0.30
471	1443.41	0.34
470	1443.46	0.36
469	1443.51	1.41
468	1443.56	0.41
467	1443.82	0.39
466	1443.95	0.44
465	1444.03	0.43
464	1444.53	0.42
463	1444.68	0.38
462	1444.8	0.42
461	1444.9	0.40
460	1445.14	0.59
459	1445.29	0.45
458	1445.43	0.27
457	1445.51	0.31
456	1445.67	0.50
455	1445.86	0.41
454	1446.21	0.47
453	1446.26	0.46
452	1446.44	0.50
451	1446.59	0.63
450	1446.67	0.57
449	1446.73	0.40
448	1446.93	0.30
447	1447.1	0.45
446	1447.44	0.34
445	1447.59	0.55
444	1447.73	0.35
443	1447.79	0.39
442	1447.87	0.45
441	1448.01	0.42
440	1448.13	0.34
439	1448.24	0.57
438	1448.4	0.40
437	1448.58	0.55
436	1448.73	0.33
435	1448.89	0.41
434	1449.2	0.43
433	1449.3	0.28
432	1449.61	0.55
431	1449.81	0.52

#M	PROF (m)	%AI
430	1449.88	0.36
429	1449.94	0.59
428	1450.03	0.45
427	1450.13	0.74
426	1450.3	0.49
425	1450.47	0.52
424	1450.74	0.74
423	1451.12	0.43
422	1451.23	0.42
421	1451.32	0.71
420	1451.47	0.68
419	1451.68	0.60
418	1451.8	0.88
417	1451.87	0.62
416	1451.97	0.33
415	1452.13	0.24
414	1452.22	0.33
413	1452.3	0.73
412	1452.55	0.55
411	1452.8	0.51
410	1452.89	0.73
409	1452.98	0.68
408	1453.12	0.99
407	1453.32	0.87
406	1453.49	0.70
405	1453.87	0.61
404	1454.07	1.19
403	1454.25	0.76
402	1454.36	0.69
401	1454.57	0.53
400	1454.74	2.95
399	1454.79	1.19
398	1454.87	2.25
397	1454.97	0.82
396	1455.25	1.13
395	1455.56	3.85
394	1455.78	0.63
393	1456.11	0.70
392	1456.34	0.66
391	1456.56	0.82
390	1456.7	0.66
389	1456.86	0.82

#M	PROF (m)	%AI
388	1457.06	0.66
387	1457.32	0.64
386	1457.46	1.08
385	1457.74	0.68
384	1457.86	0.60
383	1458.02	0.88
382	1458.17	0.74
381	1458.26	0.95
380	1458.34	0.82
379	1458.44	0.84
378	1458.54	1.03
377	1458.67	0.61
376	1458.81	0.49
375	1459	0.74
374	1459.09	1.77
373	1459.18	1.28
372	1459.3	1.12
371	1459.39	1.18
370	1459.51	1.89
369	1459.65	0.79
368	1459.81	0.86
367	1459.97	0.77
366	1460.12	0.71
365	1460.21	0.71
364	1460.35	0.60
363	1460.44	0.71
362	1460.6	0.59
361	1460.77	0.79
360	1460.84	0.58
359	1460.98	0.75
358	1461.1	0.38
357	1461.26	0.51
356	1461.37	0.75
355	1461.45	0.76
354	1461.67	0.48
353	1461.86	0.59
352	1461.97	0.36
351	1462.18	0.50
350	1462.26	0.40
349	1462.35	0.63
348	1462.41	0.93
347	1462.46	0.88

Registros geofísicos y caracterización de la secuencia Cretácica del pozo Yaxcopoil-1, Yucatán.

#M	PROF (m)	%AI	#M	PROF (m)	%AI	#M	PROF (m)	%AI
346	1462.63	0.99	304	1468.38	0.83	262	1476.78	0.69
345	1462.92	0.80	303	1468.65	0.82	261	1477.06	0.44
344	1463.08	1.60	302	1468.85	1.09	260	1477.24	0.44
343	1463.31	0.75	301	1468.94	0.88	259	1477.35	1.75
342	1463.49	0.64	300	1469.12	0.73	258	1477.37	0.70
341	1463.64	0.89	299	1469.28	0.79	257	1477.44	0.47
340	1463.78	2.49	298	1469.36	0.96	256	1477.49	0.61
339	1463.84	1.16	297	1469.48	0.87	255	1477.55	0.86
338	1463.92	1.51	296	1469.61	0.85	254	1477.63	0.60
337	1464	0.61	295	1469.72	0.96	253	1477.72	0.60
336	1464.1	1.01	294	1469.83	2.22	252	1477.85	0.71
335	1464.24	0.68	293	1469.97	1.25	251	1477.92	1.37
334	1464.37	4.07	292	1470.02	0.87	250	1477.97	0.46
333	1464.43	1.54	291	1470.15	0.72	249	1478.01	0.76
332	1464.53	3.24	290	1470.22	0.72	248	1478.06	0.56
331	1464.57	0.94	289	1470.5	0.78	247	1478.15	0.66
330	1464.72	0.69	288	1470.73	0.89	246	1478.37	0.73
329	1464.84	0.66	287	1471.12	0.79	245	1478.58	1.19
328	1465.22	1.31	286	1471.27	1.42	244	1478.63	0.62
327	1465.39	0.48	285	1471.42	1.04	243	1478.8	0.68
326	1465.51	0.98	284	1471.52	3.60	242	1479.18	0.50
325	1465.66	0.95	283	1471.63	0.69	241	1479.26	0.67
324	1465.8	0.79	282	1471.76	0.88	240	1479.33	0.54
323	1466.05	0.75	281	1472.02	0.60	239	1479.43	0.71
322	1466.24	0.68	280	1472.22	0.56	238	1479.47	2.47
321	1466.35	0.57	279	1472.7	0.85	237	1479.63	0.55
320	1466.48	3.47	278	1473.05	0.63	236	1479.72	1.67
319	1466.55	0.85	277	1473.31	1.01	235	1479.81	0.98
318	1466.67	0.73	276	1473.76	1.60	234	1479.88	0.98
317	1466.81	1.04	275	1473.87	0.10	233	1479.94	0.94
316	1466.85	0.84	274	1474.24	0.68	232	1480.03	0.78
315	1467.23	0.83	273	1474.44	0.63	231	1480.13	0.47
314	1467.33	0.68	272	1474.62	0.69	230	1480.28	0.64
313	1467.39	0.91	271	1474.87	0.79	229	1480.48	0.64
312	1467.42	1.20	270	1475.07	0.68	228	1480.72	0.51
311	1467.52	0.91	269	1475.26	0.64	227	1480.93	0.87
310	1467.64	0.85	268	1475.38	3.03	226	1481.13	0.62
309	1467.75	0.88	267	1475.5	0.98	225	1481.31	0.67
308	1467.84	0.92	266	1475.56	0.51	224	1481.5	0.59
307	1467.88	1.04	265	1475.74	2.34	223	1481.55	6.37
306	1468.08	1.00	264	1476.07	0.77	222	1481.61	1.01
305	1468.22	0.65	263	1476.43	0.79	221	1481.67	3.05

Registros geofísicos y caracterización de la secuencia Cretácica del pozo Yaxcopoil-1, Yucatán.

#M	PROF (m)	%AI	#M	PROF (m)	%AI	#M	PROF (m)	%AI
220	1481.73	1.36	178	1485.83	1.27	136	1489.97	9.46
219	1481.87	0.92	177	1485.9	3.79	135	1490.06	0.72
218	1482.04	0.82	176	1486	1.35	134	1490.17	0.76
217	1482.14	0.63	175	1486.08	0.87	133	1490.38	0.48
216	1482.25	0.62	174	1486.14	1.50	132	1490.47	0.77
215	1482.34	0.70	173	1486.19	0.66	131	1490.53	1.02
214	1482.43	0.70	172	1486.29	3.04	130	1490.59	1.66
213	1482.47	1.13	171	1486.39	1.32	129	1490.67	0.48
212	1482.53	0.84	170	1486.53	5.56	128	1490.75	0.09
211	1482.79	0.83	169	1486.63	1.49	127	1490.81	0.57
210	1482.94	0.48	168	1486.76	2.57	126	1490.85	10.56
209	1483.04	0.77	167	1486.82	4.78	125	1490.91	7.51
208	1483.17	0.69	166	1486.97	1.06	124	1490.97	0.26
207	1483.33	0.95	165	1487.01	1.58	123	1491.02	0.62
206	1483.45	2.99	164	1487.11	1.00	122	1491.08	0.77
205	1483.6	1.02	163	1487.18	3.01	121	1491.17	0.67
204	1483.74	1.43	162	1487.24	0.71	120	1491.3	1.90
203	1483.81	1.14	161	1487.39	1.69	119	1491.32	0.21
202	1483.87	2.09	160	1487.66	0.79	118	1491.37	0.66
201	1483.98	0.85	159	1487.74	1.90	117	1491.44	0.87
200	1484.07	2.09	158	1487.97	0.91	116	1491.51	7.09
199	1484.14	0.87	157	1488.05	0.80	115	1491.59	1.46
198	1484.23	7.19	156	1488.13	5.23	114	1491.71	9.50
197	1484.3	3.55	155	1488.18	7.20	113	1491.76	0.71
196	1484.45	0.90	154	1488.22	4.02	112	1491.81	10.71
195	1484.56	3.73	153	1488.26	5.62	111	1491.91	0.67
194	1484.62	1.74	152	1488.28	7.13	110	1492	5.09
193	1484.64	3.45	151	1488.32	0.52	109	1492.09	0.59
192	1484.76	0.71	150	1488.48	0.97	108	1492.24	1.49
191	1484.83	4.87	149	1488.57	0.50	107	1492.36	7.93
190	1484.85	0.91	148	1488.75	0.59	106	1492.45	4.47
189	1485.03	0.77	147	1488.79	0.73	105	1492.55	6.64
188	1485.09	0.83	146	1488.85	0.57	104	1492.68	4.04
187	1485.12	0.78	145	1489.02	0.80	103	1492.74	6.90
186	1485.21	6.54	144	1489.13	4.39	102	1492.81	0.87
185	1485.44	0.87	143	1489.26	8.96	101	1492.89	4.69
184	1485.46	4.14	142	1489.34	0.64	100	1493	1.72
183	1485.5	3.86	141	1489.46	4.00	99	1493.1	0.97
182	1485.52	1.14	140	1489.55	1.70	98	1493.2	1.63
181	1485.56	1.05	139	1489.66	0.88	97	1493.31	7.71
180	1485.64	0.77	138	1489.77	7.82	96	1493.37	0.99
179	1485.75	0.42	137	1489.89	0.98	95	1493.49	0.39

Registros geofísicos y caracterización de la secuencia Cretácica del pozo Yaxcopoil-1, Yucatán.

#M	PROF (m)	%Al	#M	PROF (m)	%Al	#M	PROF (m)	%Al
94	1493.58	0.28	61	1497.24	0.46	28	1502.17	0.82
93	1493.67	0.24	60	1497.33	0.55	27	1502.33	0.37
92	1493.74	0.26	59	1497.59	0.09	26	1502.44	0.20
91	1493.83	1.14	58	1497.66	0.19	25	1502.66	0.14
90	1493.94	0.39	57	1497.74	0.30	24	1502.83	0.18
89	1494.01	0.23	56	1497.93	0.38	23	1503.23	0.29
88	1494.09	0.20	55	1498.09	0.27	22	1503.92	0.22
87	1494.2	0.44	54	1498.16	0.22	21	1504.72	0.18
86	1494.3	0.23	53	1498.26	0.12	20	1504.84	0.33
85	1494.4	0.54	52	1498.4	4.07	19	1504.95	0.52
84	1494.47	0.32	51	1498.44	0.32	18	1505.24	0.67
83	1494.65	1.15	50	1498.53	0.28	17	1505.58	0.48
82	1494.73	0.39	49	1498.97	0.41	16	1505.88	0.68
81	1494.84	1.07	48	1499.08	0.30	15	1506.11	0.50
80	1494.89	0.53	47	1499.18	0.33	14	1506.49	0.67
79	1494.96	0.49	46	1499.39	0.22	13	1506.76	0.57
78	1495.03	0.51	45	1499.65	0.18	12	1507.08	3.14
77	1495.09	0.31	44	1499.8	0.19	11	1507.31	0.45
76	1495.21	0.52	43	1499.95	0.08	10	1507.68	0.42
75	1495.28	0.73	42	1500.03	0.37	9	1508.32	0.43
74	1495.35	0.79	41	1500.25	0.27	8	1508.96	0.53
73	1495.48	0.36	40	1500.4	0.35	7	1509.12	0.38
72	1495.64	0.55	39	1500.58	0.00	6	1509.38	0.43
71	1495.77	0.72	38	1500.76	0.78	5	1509.79	0.29
70	1495.84	0.93	37	1500.85	0.42	4	1509.96	0.58
69	1495.9	0.19	36	1501.02	0.37	3	1510.04	0.67
68	1496.01	0.63	35	1501.15	0.35	2	1510.25	0.71
67	1496.09	0.75	34	1501.23	0.25	1	1510.4	0.69
66	1496.31	0.38	33	1501.32	0.32			
65	1496.49	0.51	32	1501.57	0.34			
64	1496.57	1.33	31	1501.62	0.63			
63	1496.61	0.94	30	1501.82	0.71			
62	1497.02	0.73	29	1502.05	0.41			

#M - Número de muestra

PROF (m) – Profundidad (m)

%Al – Porcentaje de Aluminio de la roca en el punto de interés

Registro del porcentaje de Hierro

#M	PROF (m)	%Fe
595	1425.48	0.01
594	1425.6	0.02
593	1426.45	0.03
592	1426.85	0.02
591	1427.27	0.02
590	1427.39	0.04
589	1427.77	0.04
588	1428.03	0.02
587	1428.26	0.03
586	1428.58	0.01
585	1428.94	0.02
584	1429.35	0.01
583	1429.58	0.02
582	1429.76	0.02
581	1429.82	0.00
580	1429.87	0.01
579	1429.97	0.00
578	1430.01	0.00
577	1430.07	0.00
576	1430.19	0.00
575	1430.29	0.01
574	1430.37	0.01
573	1430.65	0.00
572	1430.97	0.01
571	1431.2	0.00
570	1431.37	0.00
569	1431.71	0.00
568	1431.96	0.00
567	1432.19	0.01
566	1432.42	0.01
565	1432.49	0.00
564	1432.7	0.01
563	1432.91	0.00
562	1433.06	0.00
561	1433.23	0.00
560	1433.55	0.00
559	1433.85	0.04
558	1433.97	0.03
557	1434.3	0.03
556	1434.67	0.02
555	1434.84	0.00

#M	PROF (m)	%Fe
554	1434.91	0.00
553	1434.95	0.01
552	1435.01	0.01
551	1435.08	0.01
550	1435.13	0.01
549	1435.32	0.01
548	1435.46	0.00
547	1435.49	0.01
546	1435.58	0.01
545	1435.65	0.01
544	1435.68	0.01
543	1435.69	0.00
542	1435.8	0.00
541	1435.9	0.00
540	1436.02	0.00
539	1436.17	0.00
538	1436.3	0.01
537	1436.36	0.01
536	1436.42	0.05
535	1436.47	0.01
534	1436.52	0.00
533	1436.56	0.00
532	1436.59	0.01
531	1436.64	0.01
530	1436.72	0.02
529	1436.74	0.01
528	1436.83	0.00
527	1436.87	0.01
526	1436.94	0.00
525	1436.97	0.01
524	1437.09	0.01
523	1437.17	0.02
522	1437.22	0.01
521	1437.32	0.02
520	1437.44	0.01
519	1437.58	0.01
518	1437.63	0.01
517	1437.67	0.01
516	1437.79	0.01
515	1437.85	0.01
514	1437.97	0.01

#M	PROF (m)	%Fe
513	1438.33	0.01
512	1438.66	0.00
511	1438.71	0.01
510	1438.8	0.00
509	1438.94	0.01
508	1438.97	0.01
507	1439.08	0.02
506	1439.23	0.00
505	1439.37	0.00
504	1439.47	0.01
503	1439.6	0.07
502	1439.66	0.01
501	1439.71	0.01
500	1439.75	0.01
499	1439.8	0.01
498	1439.85	0.01
497	1439.95	0.09
496	1440.14	0.11
495	1440.2	0.03
494	1440.26	0.02
493	1440.33	0.02
492	1440.38	0.02
491	1440.44	0.02
490	1440.56	0.02
489	1440.64	0.04
488	1440.71	0.04
487	1440.85	0.01
486	1440.94	0.08
485	1441.01	0.01
484	1441.12	0.04
483	1441.25	0.01
482	1441.29	0.02
481	1441.38	0.01
480	1441.48	0.00
479	1441.56	0.00
478	1441.65	0.01
477	1441.91	0.00
476	1442.27	0.00
475	1442.54	0.00
474	1442.8	0.00
473	1443.08	0.01

Registros geofísicos y caracterización de la secuencia Cretácica del pozo Yaxcopoil-1, Yucatán.

#M	PROF (m)	%Fe
472	1443.28	0.01
471	1443.41	0.01
470	1443.46	0.01
469	1443.51	0.40
468	1443.56	0.01
467	1443.82	0.00
466	1443.95	0.02
465	1444.03	0.01
464	1444.53	0.01
463	1444.68	0.01
462	1444.8	0.01
461	1444.9	0.01
460	1445.14	0.01
459	1445.29	0.01
458	1445.43	0.02
457	1445.51	0.02
456	1445.67	0.01
455	1445.86	0.04
454	1446.21	0.03
453	1446.26	0.02
452	1446.44	0.01
451	1446.59	0.00
450	1446.67	0.01
449	1446.73	0.00
448	1446.93	0.01
447	1447.1	0.02
446	1447.44	0.00
445	1447.59	0.00
444	1447.73	0.01
443	1447.79	0.01
442	1447.87	0.02
441	1448.01	0.02
440	1448.13	0.02
439	1448.24	0.15
438	1448.4	0.02
437	1448.58	0.12
436	1448.73	0.00
435	1448.89	0.02
434	1449.2	0.00
433	1449.3	0.01
432	1449.61	0.05
431	1449.81	0.02

#M	PROF (m)	%Fe
430	1449.88	0.02
429	1449.94	0.02
428	1450.03	0.05
427	1450.13	0.03
426	1450.3	0.03
425	1450.47	0.03
424	1450.74	0.02
423	1451.12	0.01
422	1451.23	0.02
421	1451.32	0.04
420	1451.47	0.02
419	1451.68	0.01
418	1451.8	0.04
417	1451.87	0.04
416	1451.97	0.01
415	1452.13	0.00
414	1452.22	0.01
413	1452.3	0.03
412	1452.55	0.02
411	1452.8	0.01
410	1452.89	0.02
409	1452.98	0.01
408	1453.12	0.10
407	1453.32	0.08
406	1453.49	0.03
405	1453.87	0.03
404	1454.07	0.12
403	1454.25	0.05
402	1454.36	0.06
401	1454.57	0.03
400	1454.74	0.28
399	1454.79	0.10
398	1454.87	0.35
397	1454.97	0.06
396	1455.25	0.24
395	1455.56	1.15
394	1455.78	0.04
393	1456.11	0.03
392	1456.34	0.04
391	1456.56	0.04
390	1456.7	0.03
389	1456.86	0.09

#M	PROF (m)	%Fe
388	1457.06	0.04
387	1457.32	0.03
386	1457.46	0.04
385	1457.74	0.04
384	1457.86	0.14
383	1458.02	0.05
382	1458.17	0.04
381	1458.26	0.09
380	1458.34	0.06
379	1458.44	0.06
378	1458.54	0.16
377	1458.67	0.09
376	1458.81	0.04
375	1459	0.06
374	1459.09	0.23
373	1459.18	0.17
372	1459.3	0.09
371	1459.39	0.10
370	1459.51	0.22
369	1459.65	0.09
368	1459.81	0.07
367	1459.97	0.05
366	1460.12	0.04
365	1460.21	0.04
364	1460.35	0.04
363	1460.44	0.04
362	1460.6	0.03
361	1460.77	0.05
360	1460.84	0.04
359	1460.98	0.08
358	1461.1	0.02
357	1461.26	0.01
356	1461.37	0.09
355	1461.45	0.03
354	1461.67	0.01
353	1461.86	0.02
352	1461.97	0.00
351	1462.18	0.04
350	1462.26	0.02
349	1462.35	0.01
348	1462.41	0.03
347	1462.46	0.03

Registros geofísicos y caracterización de la secuencia Cretácica del pozo Yaxcopoil-1, Yucatán.

#M	PROF (m)	%Fe
346	1462.63	0.07
345	1462.92	0.05
344	1463.08	0.57
343	1463.31	0.04
342	1463.49	0.03
341	1463.64	0.03
340	1463.78	0.34
339	1463.84	0.11
338	1463.92	0.12
337	1464	0.04
336	1464.1	0.05
335	1464.24	0.02
334	1464.37	0.60
333	1464.43	0.16
332	1464.53	0.52
331	1464.57	0.06
330	1464.72	0.14
329	1464.84	0.04
328	1465.22	1.52
327	1465.39	0.02
326	1465.51	0.06
325	1465.66	0.07
324	1465.8	0.03
323	1466.05	0.03
322	1466.24	0.04
321	1466.35	0.02
320	1466.48	0.66
319	1466.55	0.04
318	1466.67	0.06
317	1466.81	0.09
316	1466.85	0.14
315	1467.23	0.05
314	1467.33	0.07
313	1467.39	0.09
312	1467.42	0.10
311	1467.52	0.07
310	1467.64	0.05
309	1467.75	0.06
308	1467.84	0.07
307	1467.88	0.03
306	1468.08	0.11
305	1468.22	0.12

#M	PROF (m)	%Fe
304	1468.38	0.06
303	1468.65	0.03
302	1468.85	0.15
301	1468.94	0.07
300	1469.12	0.03
299	1469.28	0.10
298	1469.36	0.06
297	1469.48	0.07
296	1469.61	0.10
295	1469.72	0.29
294	1469.83	0.53
293	1469.97	0.19
292	1470.02	0.04
291	1470.15	0.03
290	1470.22	0.06
289	1470.5	0.08
288	1470.73	0.05
287	1471.12	0.05
286	1471.27	0.32
285	1471.42	0.13
284	1471.52	0.48
283	1471.63	0.09
282	1471.76	0.09
281	1472.02	0.04
280	1472.22	0.04
279	1472.7	0.15
278	1473.05	0.03
277	1473.31	0.14
276	1473.76	0.22
275	1473.87	0.03
274	1474.24	0.04
273	1474.44	0.03
272	1474.62	0.03
271	1474.87	0.05
270	1475.07	0.04
269	1475.26	0.09
268	1475.38	0.39
267	1475.5	0.17
266	1475.56	0.02
265	1475.74	0.50
264	1476.07	0.14
263	1476.43	0.06

#M	PROF (m)	%Fe
262	1476.78	0.03
261	1477.06	0.03
260	1477.24	0.01
259	1477.35	0.64
258	1477.37	0.13
257	1477.44	0.01
256	1477.49	0.05
255	1477.55	0.03
254	1477.63	0.04
253	1477.72	0.01
252	1477.85	0.03
251	1477.92	0.08
250	1477.97	0.02
249	1478.01	0.06
248	1478.06	0.02
247	1478.15	0.01
246	1478.37	0.03
245	1478.58	0.09
244	1478.63	0.03
243	1478.8	0.03
242	1479.18	0.01
241	1479.26	0.09
240	1479.33	0.02
239	1479.43	0.05
238	1479.47	3.32
237	1479.63	0.01
236	1479.72	2.52
235	1479.81	0.07
234	1479.88	0.20
233	1479.94	0.54
232	1480.03	0.20
231	1480.13	0.03
230	1480.28	0.02
229	1480.48	0.02
228	1480.72	0.03
227	1480.93	0.06
226	1481.13	0.04
225	1481.31	0.02
224	1481.5	0.08
223	1481.55	3.37
222	1481.61	0.14
221	1481.67	1.16

Registros geofísicos y caracterización de la secuencia Cretácica del pozo Yaxcopoil-1, Yucatán.

#M	PROF (m)	%Fe
220	1481.73	0.28
219	1481.87	0.12
218	1482.04	0.08
217	1482.14	0.00
216	1482.25	0.03
215	1482.34	0.06
214	1482.43	0.04
213	1482.47	0.20
212	1482.53	0.10
211	1482.79	0.11
210	1482.94	0.01
209	1483.04	0.04
208	1483.17	0.04
207	1483.33	0.09
206	1483.45	1.60
205	1483.6	0.14
204	1483.74	0.42
203	1483.81	0.25
202	1483.87	1.01
201	1483.98	0.13
200	1484.07	0.90
199	1484.14	0.13
198	1484.23	6.05
197	1484.3	1.89
196	1484.45	0.24
195	1484.56	1.84
194	1484.62	0.57
193	1484.64	1.81
192	1484.76	0.05
191	1484.83	3.26
190	1484.85	0.31
189	1485.03	0.10
188	1485.09	0.23
187	1485.12	0.03
186	1485.21	4.85
185	1485.44	0.06
184	1485.46	1.94
183	1485.5	2.65
182	1485.52	0.32
181	1485.56	0.10
180	1485.64	0.08
179	1485.75	0.06

#M	PROF (m)	%Fe
178	1485.83	1.09
177	1485.9	1.79
176	1486	0.49
175	1486.08	0.17
174	1486.14	0.94
173	1486.19	0.04
172	1486.29	1.70
171	1486.39	0.60
170	1486.53	3.63
169	1486.63	0.51
168	1486.76	1.72
167	1486.82	3.34
166	1486.97	0.54
165	1487.01	0.72
164	1487.11	0.21
163	1487.18	1.76
162	1487.24	0.12
161	1487.39	1.03
160	1487.66	0.05
159	1487.74	0.82
158	1487.97	0.30
157	1488.05	0.11
156	1488.13	2.97
155	1488.18	5.30
154	1488.22	1.60
153	1488.26	3.00
152	1488.28	5.11
151	1488.32	0.05
150	1488.48	0.89
149	1488.57	0.10
148	1488.75	0.08
147	1488.79	0.08
146	1488.85	0.07
145	1489.02	0.09
144	1489.13	1.62
143	1489.26	5.63
142	1489.34	0.07
141	1489.46	2.74
140	1489.55	0.85
139	1489.66	0.19
138	1489.77	6.69
137	1489.89	1.83

#M	PROF (m)	%Fe
136	1489.97	6.09
135	1490.06	0.24
134	1490.17	0.24
133	1490.38	0.23
132	1490.47	0.30
131	1490.53	0.32
130	1490.59	0.90
129	1490.67	0.17
128	1490.75	0.01
127	1490.81	0.03
126	1490.85	4.69
125	1490.91	2.16
124	1490.97	0.03
123	1491.02	0.03
122	1491.08	0.06
121	1491.17	0.03
120	1491.3	0.53
119	1491.32	0.05
118	1491.37	0.03
117	1491.44	0.11
116	1491.51	4.86
115	1491.59	0.78
114	1491.71	5.76
113	1491.76	0.13
112	1491.81	8.24
111	1491.91	0.06
110	1492	2.37
109	1492.09	0.04
108	1492.24	0.60
107	1492.36	5.05
106	1492.45	1.91
105	1492.55	4.05
104	1492.68	2.91
103	1492.74	3.93
102	1492.81	0.35
101	1492.89	3.06
100	1493	1.07
99	1493.1	0.34
98	1493.2	0.41
97	1493.31	5.29
96	1493.37	0.45
95	1493.49	0.07

Registros geofísicos y caracterización de la secuencia Cretácica del pozo Yaxcopoil-1, Yucatán.

#M	PROF (m)	%Fe
94	1493.58	0.01
93	1493.67	0.01
92	1493.74	0.01
91	1493.83	0.47
90	1493.94	0.05
89	1494.01	0.02
88	1494.09	0.00
87	1494.2	0.02
86	1494.3	0.03
85	1494.4	0.09
84	1494.47	0.03
83	1494.65	0.16
82	1494.73	0.03
81	1494.84	0.26
80	1494.89	0.02
79	1494.96	0.04
78	1495.03	0.01
77	1495.09	0.07
76	1495.21	0.19
75	1495.28	0.23
74	1495.35	0.20
73	1495.48	0.06
72	1495.64	0.16
71	1495.77	0.45
70	1495.84	0.26
69	1495.9	0.13
68	1496.01	0.10
67	1496.09	0.25
66	1496.31	0.08
65	1496.49	0.12
64	1496.57	0.58
63	1496.61	0.27
62	1497.02	0.28

#M	PROF (m)	%Fe
61	1497.24	0.04
60	1497.33	0.08
59	1497.59	0.02
58	1497.66	0.05
57	1497.74	0.02
56	1497.93	0.02
55	1498.09	0.02
54	1498.16	0.00
53	1498.26	0.00
52	1498.4	1.73
51	1498.44	0.00
50	1498.53	0.03
49	1498.97	0.05
48	1499.08	0.02
47	1499.18	0.02
46	1499.39	0.03
45	1499.65	0.08
44	1499.8	0.00
43	1499.95	0.01
42	1500.03	0.03
41	1500.25	0.04
40	1500.4	0.03
39	1500.58	0.04
38	1500.76	0.15
37	1500.85	0.05
36	1501.02	0.05
35	1501.15	0.06
34	1501.23	0.03
33	1501.32	0.06
32	1501.57	0.18
31	1501.62	0.05
30	1501.82	0.12
29	1502.05	0.05

#M	PROF (m)	%Fe
28	1502.17	0.42
27	1502.33	0.04
26	1502.44	0.02
25	1502.66	0.01
24	1502.83	0.01
23	1503.23	0.07
22	1503.92	0.01
21	1504.72	0.03
20	1504.84	0.03
19	1504.95	0.08
18	1505.24	0.06
17	1505.58	0.05
16	1505.88	0.13
15	1506.11	0.04
14	1506.49	0.10
13	1506.76	0.09
12	1507.08	4.00
11	1507.31	0.07
10	1507.68	0.03
9	1508.32	0.03
8	1508.96	0.07
7	1509.12	0.02
6	1509.38	0.03
5	1509.79	0.02
4	1509.96	0.01
3	1510.04	0.01
2	1510.25	0.06
1	1510.4	0.04

#M - Número de muestra

PROF (m) – Profundidad (m)

%Fe – Porcentaje de Hierro de la roca en el punto de interés

Registro del porcentaje de Potasio

#M	PROF (M)	%K
595	1425.48	0.05
594	1425.6	0.04
593	1426.45	0.06
592	1426.85	0.10
591	1427.27	0.07
590	1427.39	0.10
589	1427.77	0.10
588	1428.03	0.03
587	1428.26	0.07
586	1428.58	0.02
585	1428.94	0.05
584	1429.35	0.03
583	1429.58	0.04
582	1429.76	0.05
581	1429.82	0.01
580	1429.87	0.04
579	1429.97	0.01
578	1430.01	0.01
577	1430.07	0.02
576	1430.19	0.00
575	1430.29	0.00
574	1430.37	0.00
573	1430.65	0.00
572	1430.97	0.00
571	1431.2	0.00
570	1431.37	0.02
569	1431.71	0.00
568	1431.96	0.00
567	1432.19	0.00
566	1432.42	0.03
565	1432.49	0.01
564	1432.7	0.01
563	1432.91	0.01
562	1433.06	0.03
561	1433.23	0.10
560	1433.55	0.05
559	1433.85	0.07
558	1433.97	0.10
557	1434.3	0.09
556	1434.67	0.05
555	1434.84	0.05

#M	PROF (M)	%K
554	1434.91	0.02
553	1434.95	0.04
552	1435.01	0.05
551	1435.08	0.12
550	1435.13	0.12
549	1435.32	0.11
548	1435.46	0.03
547	1435.49	0.05
546	1435.58	0.09
545	1435.65	0.05
544	1435.68	0.11
543	1435.69	0.06
542	1435.8	0.06
541	1435.9	0.03
540	1436.02	0.04
539	1436.17	0.02
538	1436.3	0.11
537	1436.36	0.03
536	1436.42	0.11
535	1436.47	0.02
534	1436.52	0.02
533	1436.56	0.03
532	1436.59	0.06
531	1436.64	0.07
530	1436.72	0.07
529	1436.74	0.04
528	1436.83	0.04
527	1436.87	0.05
526	1436.94	0.04
525	1436.97	0.07
524	1437.09	0.08
523	1437.17	0.07
522	1437.22	0.06
521	1437.32	0.07
520	1437.44	0.05
519	1437.58	0.02
518	1437.63	0.02
517	1437.67	0.02
516	1437.79	0.02
515	1437.85	0.01
514	1437.97	0.04

#M	PROF (M)	%K
513	1438.33	0.04
512	1438.66	0.04
511	1438.71	0.06
510	1438.8	0.01
509	1438.94	0.02
508	1438.97	0.02
507	1439.08	0.02
506	1439.23	0.05
505	1439.37	0.02
504	1439.47	0.01
503	1439.6	0.11
502	1439.66	0.02
501	1439.71	0.02
500	1439.75	0.14
499	1439.8	0.06
498	1439.85	0.07
497	1439.95	0.19
496	1440.14	0.24
495	1440.2	0.08
494	1440.26	0.06
493	1440.33	0.04
492	1440.38	0.07
491	1440.44	0.07
490	1440.56	0.07
489	1440.64	0.11
488	1440.71	0.12
487	1440.85	0.04
486	1440.94	0.02
485	1441.01	0.05
484	1441.12	0.13
483	1441.25	0.05
482	1441.29	0.04
481	1441.38	0.06
480	1441.48	0.02
479	1441.56	0.03
478	1441.65	0.02
477	1441.91	0.01
476	1442.27	0.00
475	1442.54	0.01
474	1442.8	0.01
473	1443.08	0.01

Registros geofísicos y caracterización de la secuencia Cretácica del pozo Yaxcopoil-1, Yucatán.

#M	PROF (M)	%K
472	1443.28	0.03
471	1443.41	0.02
470	1443.46	0.04
469	1443.51	0.65
468	1443.56	0.02
467	1443.82	0.02
466	1443.95	0.06
465	1444.03	0.04
464	1444.53	0.01
463	1444.68	0.04
462	1444.8	0.01
461	1444.9	0.01
460	1445.14	0.01
459	1445.29	0.02
458	1445.43	0.02
457	1445.51	0.05
456	1445.67	0.02
455	1445.86	0.10
454	1446.21	0.08
453	1446.26	0.05
452	1446.44	0.02
451	1446.59	0.03
450	1446.67	0.00
449	1446.73	0.02
448	1446.93	0.03
447	1447.1	0.02
446	1447.44	0.01
445	1447.59	0.03
444	1447.73	0.03
443	1447.79	0.02
442	1447.87	0.05
441	1448.01	0.07
440	1448.13	0.07
439	1448.24	0.25
438	1448.4	0.08
437	1448.58	0.14
436	1448.73	0.03
435	1448.89	0.03
434	1449.2	0.03
433	1449.3	0.04
432	1449.61	0.11
431	1449.81	0.05

#M	PROF (M)	%K
430	1449.88	0.06
429	1449.94	0.08
428	1450.03	0.13
427	1450.13	0.05
426	1450.3	0.08
425	1450.47	0.08
424	1450.74	0.05
423	1451.12	0.04
422	1451.23	0.07
421	1451.32	0.08
420	1451.47	0.05
419	1451.68	0.05
418	1451.8	0.04
417	1451.87	0.16
416	1451.97	0.07
415	1452.13	0.05
414	1452.22	0.05
413	1452.3	0.08
412	1452.55	0.06
411	1452.8	0.05
410	1452.89	0.05
409	1452.98	0.06
408	1453.12	0.24
407	1453.32	0.24
406	1453.49	0.24
405	1453.87	0.19
404	1454.07	0.80
403	1454.25	0.20
402	1454.36	0.25
401	1454.57	0.16
400	1454.74	2.15
399	1454.79	0.69
398	1454.87	1.70
397	1454.97	0.35
396	1455.25	0.55
395	1455.56	3.41
394	1455.78	0.25
393	1456.11	0.16
392	1456.34	0.16
391	1456.56	0.19
390	1456.7	0.15
389	1456.86	0.40

#M	PROF (M)	%K
388	1457.06	0.19
387	1457.32	0.11
386	1457.46	0.07
385	1457.74	0.16
384	1457.86	0.28
383	1458.02	0.32
382	1458.17	0.27
381	1458.26	0.37
380	1458.34	0.29
379	1458.44	0.26
378	1458.54	0.52
377	1458.67	0.30
376	1458.81	0.17
375	1459	0.38
374	1459.09	1.51
373	1459.18	0.99
372	1459.3	0.68
371	1459.39	0.74
370	1459.51	1.66
369	1459.65	0.35
368	1459.81	0.36
367	1459.97	0.31
366	1460.12	0.27
365	1460.21	0.22
364	1460.35	0.18
363	1460.44	0.17
362	1460.6	0.23
361	1460.77	0.28
360	1460.84	0.19
359	1460.98	0.24
358	1461.1	0.05
357	1461.26	0.02
356	1461.37	0.25
355	1461.45	0.08
354	1461.67	0.03
353	1461.86	0.06
352	1461.97	0.02
351	1462.18	0.08
350	1462.26	0.05
349	1462.35	0.03
348	1462.41	0.07
347	1462.46	0.07

Registros geofísicos y caracterización de la secuencia Cretácica del pozo Yaxcopoil-1, Yucatán.

#M	PROF (M)	%K
346	1462.63	0.14
345	1462.92	0.17
344	1463.08	1.33
343	1463.31	0.17
342	1463.49	0.17
341	1463.64	0.22
340	1463.78	1.64
339	1463.84	0.52
338	1463.92	0.65
337	1464	0.18
336	1464.1	0.41
335	1464.24	0.15
334	1464.37	3.07
333	1464.43	0.97
332	1464.53	2.06
331	1464.57	0.43
330	1464.72	0.23
329	1464.84	0.22
328	1465.22	0.77
327	1465.39	0.15
326	1465.51	0.40
325	1465.66	0.34
324	1465.8	0.22
323	1466.05	0.18
322	1466.24	0.22
321	1466.35	0.13
320	1466.48	2.91
319	1466.55	0.23
318	1466.67	0.25
317	1466.81	0.44
316	1466.85	0.38
315	1467.23	0.25
314	1467.33	0.20
313	1467.39	0.42
312	1467.42	0.41
311	1467.52	0.28
310	1467.64	0.33
309	1467.75	0.31
308	1467.84	0.32
307	1467.88	0.26
306	1468.08	0.44
305	1468.22	0.26

#M	PROF (M)	%K
304	1468.38	0.27
303	1468.65	0.19
302	1468.85	0.65
301	1468.94	0.34
300	1469.12	0.24
299	1469.28	0.48
298	1469.36	0.37
297	1469.48	0.41
296	1469.61	0.38
295	1469.72	0.31
294	1469.83	1.57
293	1469.97	0.51
292	1470.02	0.27
291	1470.15	0.14
290	1470.22	0.19
289	1470.5	0.30
288	1470.73	0.19
287	1471.12	0.27
286	1471.27	1.16
285	1471.42	0.51
284	1471.52	3.35
283	1471.63	0.31
282	1471.76	0.33
281	1472.02	0.17
280	1472.22	0.16
279	1472.7	0.40
278	1473.05	0.16
277	1473.31	0.50
276	1473.76	1.39
275	1473.87	0.03
274	1474.24	0.17
273	1474.44	0.16
272	1474.62	0.16
271	1474.87	0.24
270	1475.07	0.15
269	1475.26	0.23
268	1475.38	0.73
267	1475.5	0.45
266	1475.56	0.23
265	1475.74	1.34
264	1476.07	0.46
263	1476.43	0.20

#M	PROF (M)	%K
262	1476.78	0.14
261	1477.06	0.12
260	1477.24	0.06
259	1477.35	1.17
258	1477.37	0.14
257	1477.44	0.08
256	1477.49	0.29
255	1477.55	0.28
254	1477.63	0.14
253	1477.72	0.13
252	1477.85	0.12
251	1477.92	0.63
250	1477.97	0.10
249	1478.01	0.26
248	1478.06	0.09
247	1478.15	0.09
246	1478.37	0.14
245	1478.58	0.65
244	1478.63	0.13
243	1478.8	0.11
242	1479.18	0.03
241	1479.26	0.19
240	1479.33	0.10
239	1479.43	0.19
238	1479.47	2.81
237	1479.63	0.08
236	1479.72	1.76
235	1479.81	0.39
234	1479.88	0.45
233	1479.94	0.55
232	1480.03	0.29
231	1480.13	0.07
230	1480.28	0.09
229	1480.48	0.07
228	1480.72	0.08
227	1480.93	0.15
226	1481.13	0.13
225	1481.31	0.08
224	1481.5	0.18
223	1481.55	5.10
222	1481.61	0.30
221	1481.67	0.96

Registros geofísicos y caracterización de la secuencia Cretácica del pozo Yaxcopoil-1, Yucatán.

#M	PROF (M)	%K
220	1481.73	0.79
219	1481.87	0.38
218	1482.04	0.27
217	1482.14	0.04
216	1482.25	0.12
215	1482.34	0.23
214	1482.43	0.15
213	1482.47	0.59
212	1482.53	0.42
211	1482.79	0.38
210	1482.94	0.06
209	1483.04	0.18
208	1483.17	0.13
207	1483.33	0.24
206	1483.45	2.22
205	1483.6	0.22
204	1483.74	0.71
203	1483.81	0.54
202	1483.87	1.72
201	1483.98	0.27
200	1484.07	1.64
199	1484.14	0.27
198	1484.23	4.99
197	1484.3	2.36
196	1484.45	0.44
195	1484.56	3.37
194	1484.62	0.89
193	1484.64	2.50
192	1484.76	0.15
191	1484.83	3.62
190	1484.85	0.41
189	1485.03	0.17
188	1485.09	0.39
187	1485.12	0.15
186	1485.21	4.85
185	1485.44	0.32
184	1485.46	2.91
183	1485.5	3.01
182	1485.52	0.37
181	1485.56	0.54
180	1485.64	0.15
179	1485.75	0.07

#M	PROF (M)	%K
178	1485.83	0.56
177	1485.9	2.34
176	1486	0.52
175	1486.08	0.17
174	1486.14	0.54
173	1486.19	0.07
172	1486.29	1.95
171	1486.39	0.70
170	1486.53	4.63
169	1486.63	0.74
168	1486.76	2.00
167	1486.82	3.31
166	1486.97	0.59
165	1487.01	1.05
164	1487.11	0.30
163	1487.18	2.08
162	1487.24	0.20
161	1487.39	0.95
160	1487.66	0.12
159	1487.74	1.13
158	1487.97	0.36
157	1488.05	0.23
156	1488.13	4.06
155	1488.18	5.76
154	1488.22	2.73
153	1488.26	4.45
152	1488.28	5.47
151	1488.32	0.12
150	1488.48	0.54
149	1488.57	0.24
148	1488.75	0.18
147	1488.79	0.09
146	1488.85	0.19
145	1489.02	0.16
144	1489.13	3.77
143	1489.26	7.86
142	1489.34	0.16
141	1489.46	3.30
140	1489.55	1.04
139	1489.66	0.39
138	1489.77	5.87
137	1489.89	0.49

#M	PROF (M)	%K
136	1489.97	8.59
135	1490.06	0.26
134	1490.17	0.25
133	1490.38	0.22
132	1490.47	0.44
131	1490.53	0.61
130	1490.59	1.15
129	1490.67	0.17
128	1490.75	0.03
127	1490.81	0.15
126	1490.85	8.84
125	1490.91	6.33
124	1490.97	0.13
123	1491.02	0.20
122	1491.08	0.15
121	1491.17	0.09
120	1491.3	1.27
119	1491.32	0.09
118	1491.37	0.04
117	1491.44	0.24
116	1491.51	7.03
115	1491.59	0.51
114	1491.71	8.02
113	1491.76	0.15
112	1491.81	8.56
111	1491.91	0.18
110	1492	3.79
109	1492.09	0.12
108	1492.24	1.05
107	1492.36	6.35
106	1492.45	3.25
105	1492.55	5.71
104	1492.68	3.53
103	1492.74	5.27
102	1492.81	0.48
101	1492.89	3.22
100	1493	1.08
99	1493.1	0.76
98	1493.2	0.84
97	1493.31	6.41
96	1493.37	0.63
95	1493.49	0.18

Registros geofísicos y caracterización de la secuencia Cretácica del pozo Yaxcopoil-1, Yucatán.

#M	PROF (M)	%K
94	1493.58	0.07
93	1493.67	0.04
92	1493.74	0.07
91	1493.83	0.72
90	1493.94	0.10
89	1494.01	0.03
88	1494.09	0.06
87	1494.2	0.06
86	1494.3	0.03
85	1494.4	0.21
84	1494.47	0.05
83	1494.65	0.67
82	1494.73	0.10
81	1494.84	0.54
80	1494.89	0.08
79	1494.96	0.13
78	1495.03	0.04
77	1495.09	0.06
76	1495.21	0.11
75	1495.28	0.20
74	1495.35	0.29
73	1495.48	0.11
72	1495.64	0.25
71	1495.77	0.39
70	1495.84	0.47
69	1495.9	0.15
68	1496.01	0.13
67	1496.09	0.22
66	1496.31	0.11
65	1496.49	0.21
64	1496.57	0.80
63	1496.61	0.51
62	1497.02	0.56

#M	PROF (M)	%K
61	1497.24	0.08
60	1497.33	0.17
59	1497.59	0.07
58	1497.66	0.06
57	1497.74	0.11
56	1497.93	0.08
55	1498.09	0.07
54	1498.16	0.00
53	1498.26	0.03
52	1498.4	3.87
51	1498.44	0.01
50	1498.53	0.04
49	1498.97	0.13
48	1499.08	0.05
47	1499.18	0.05
46	1499.39	0.07
45	1499.65	0.12
44	1499.8	0.02
43	1499.95	0.04
42	1500.03	0.07
41	1500.25	0.04
40	1500.4	0.06
39	1500.58	0.00
38	1500.76	0.24
37	1500.85	0.10
36	1501.02	0.06
35	1501.15	0.08
34	1501.23	0.05
33	1501.32	0.07
32	1501.57	0.14
31	1501.62	0.11
30	1501.82	0.14
29	1502.05	0.07

#M	PROF (M)	%K
28	1502.17	0.35
27	1502.33	0.07
26	1502.44	0.04
25	1502.66	0.00
24	1502.83	0.03
23	1503.23	0.08
22	1503.92	0.02
21	1504.72	0.08
20	1504.84	0.05
19	1504.95	0.11
18	1505.24	0.11
17	1505.58	0.09
16	1505.88	0.24
15	1506.11	0.10
14	1506.49	0.18
13	1506.76	0.18
12	1507.08	3.11
11	1507.31	0.13
10	1507.68	0.06
9	1508.32	0.06
8	1508.96	0.07
7	1509.12	0.05
6	1509.38	0.05
5	1509.79	0.05
4	1509.96	0.01
3	1510.04	0.01
2	1510.25	0.05
1	1510.4	0.07

#M - Número de muestra

PROF (m) – Profundidad (m)

%K – Porcentaje de Potasio de la roca en el punto de interés

Registro del porcentaje de Calcio

#M	PROF (m)	%Ca	#M	PROF (m)	%Ca	#M	PROF (m)	%Ca
595	1425.48	41.15	554	1434.91	22.89	513	1438.33	25.47
594	1425.6	24.31	553	1434.95	20.78	512	1438.66	27.80
593	1426.45	23.07	552	1435.01	23.64	511	1438.71	26.26
592	1426.85	37.14	551	1435.08	23.01	510	1438.8	29.05
591	1427.27	30.54	550	1435.13	23.89	509	1438.94	29.74
590	1427.39	37.31	549	1435.32	24.48	508	1438.97	29.37
589	1427.77	29.46	548	1435.46	27.35	507	1439.08	30.18
588	1428.03	25.43	547	1435.49	25.93	506	1439.23	29.95
587	1428.26	25.52	546	1435.58	23.93	505	1439.37	30.62
586	1428.58	11.55	545	1435.65	23.19	504	1439.47	30.21
585	1428.94	14.92	544	1435.68	23.26	503	1439.6	27.44
584	1429.35	29.00	543	1435.69	23.86	502	1439.66	29.96
583	1429.58	24.91	542	1435.8	24.75	501	1439.71	29.84
582	1429.76	20.55	541	1435.9	27.57	500	1439.75	30.30
581	1429.82	28.49	540	1436.02	26.50	499	1439.8	30.45
580	1429.87	24.13	539	1436.17	1.24	498	1439.85	30.38
579	1429.97	30.72	538	1436.3	25.45	497	1439.95	24.56
578	1430.01	29.92	537	1436.36	26.23	496	1440.14	23.75
577	1430.07	28.73	536	1436.42	24.00	495	1440.2	24.15
576	1430.19	30.87	535	1436.47	24.85	494	1440.26	18.67
575	1430.29	30.35	534	1436.52	26.66	493	1440.33	23.39
574	1430.37	30.34	533	1436.56	24.64	492	1440.38	25.28
573	1430.65	29.54	532	1436.59	23.14	491	1440.44	25.36
572	1430.97	29.58	531	1436.64	25.28	490	1440.56	24.76
571	1431.2	29.59	530	1436.72	25.15	489	1440.64	24.89
570	1431.37	29.08	529	1436.74	24.80	488	1440.71	24.82
569	1431.71	29.32	528	1436.83	25.17	487	1440.85	25.58
568	1431.96	29.64	527	1436.87	25.25	486	1440.94	10.44
567	1432.19	30.13	526	1436.94	23.41	485	1441.01	25.32
566	1432.42	25.83	525	1436.97	14.68	484	1441.12	25.07
565	1432.49	29.84	524	1437.09	24.22	483	1441.25	25.43
564	1432.7	27.56	523	1437.17	24.92	482	1441.29	25.06
563	1432.91	30.05	522	1437.22	25.07	481	1441.38	25.46
562	1433.06	30.17	521	1437.32	24.51	480	1441.48	24.23
561	1433.23	30.01	520	1437.44	24.34	479	1441.56	25.52
560	1433.55	30.07	519	1437.58	27.82	478	1441.65	30.17
559	1433.85	16.23	518	1437.63	28.78	477	1441.91	29.18
558	1433.97	22.92	517	1437.67	29.22	476	1442.27	30.19
557	1434.3	19.74	516	1437.79	29.55	475	1442.54	30.50
556	1434.67	23.29	515	1437.85	30.10	474	1442.8	30.46
555	1434.84	23.60	514	1437.97	24.85	473	1443.08	30.04

Registros geofísicos y caracterización de la secuencia Cretácica del pozo Yaxcopoil-1, Yucatán.

#M	PROF (m)	%Ca	#M	PROF (m)	%Ca	#M	PROF (m)	%Ca
472	1443.28	25.92	430	1449.88	16.12	388	1457.06	34.72
471	1443.41	27.77	429	1449.94	18.57	387	1457.32	19.90
470	1443.46	24.96	428	1450.03	23.17	386	1457.46	17.18
469	1443.51	20.36	427	1450.13	16.76	385	1457.74	36.69
468	1443.56	30.59	426	1450.3	19.62	384	1457.86	43.01
467	1443.82	26.02	425	1450.47	17.54	383	1458.02	40.83
466	1443.95	25.26	424	1450.74	16.24	382	1458.17	44.49
465	1444.03	25.26	423	1451.12	22.00	381	1458.26	43.27
464	1444.53	29.39	422	1451.23	22.99	380	1458.34	43.30
463	1444.68	22.86	421	1451.32	17.28	379	1458.44	43.10
462	1444.8	29.58	420	1451.47	20.05	378	1458.54	38.50
461	1444.9	30.53	419	1451.68	20.04	377	1458.67	41.58
460	1445.14	30.39	418	1451.8	11.71	376	1458.81	44.02
459	1445.29	30.40	417	1451.87	22.62	375	1459	43.56
458	1445.43	30.56	416	1451.97	19.40	374	1459.09	38.33
457	1445.51	30.40	415	1452.13	17.62	373	1459.18	40.90
456	1445.67	30.18	414	1452.22	24.72	372	1459.3	41.77
455	1445.86	24.76	413	1452.3	14.49	371	1459.39	43.04
454	1446.21	23.76	412	1452.55	24.32	370	1459.51	37.86
453	1446.26	23.52	411	1452.8	23.36	369	1459.65	41.49
452	1446.44	26.13	410	1452.89	29.44	368	1459.81	41.87
451	1446.59	27.46	409	1452.98	24.61	367	1459.97	43.89
450	1446.67	30.18	408	1453.12	25.63	366	1460.12	44.10
449	1446.73	25.80	407	1453.32	21.78	365	1460.21	44.84
448	1446.93	24.75	406	1453.49	14.30	364	1460.35	44.71
447	1447.1	29.69	405	1453.87	19.16	363	1460.44	45.26
446	1447.44	26.07	404	1454.07	17.15	362	1460.6	44.52
445	1447.59	24.42	403	1454.25	22.66	361	1460.77	40.90
444	1447.73	24.73	402	1454.36	20.07	360	1460.84	43.10
443	1447.79	30.29	401	1454.57	22.10	359	1460.98	43.00
442	1447.87	22.10	400	1454.74	15.62	358	1461.1	25.11
441	1448.01	21.10	399	1454.79	22.23	357	1461.26	22.99
440	1448.13	19.61	398	1454.87	16.03	356	1461.37	42.22
439	1448.24	21.33	397	1454.97	22.33	355	1461.45	23.36
438	1448.4	18.23	396	1455.25	22.76	354	1461.67	24.41
437	1448.58	23.31	395	1455.56	28.17	353	1461.86	19.01
436	1448.73	24.92	394	1455.78	36.98	352	1461.97	19.74
435	1448.89	18.25	393	1456.11	37.31	351	1462.18	24.96
434	1449.2	25.04	392	1456.34	33.30	350	1462.26	21.68
433	1449.3	24.68	391	1456.56	41.60	349	1462.35	23.24
432	1449.61	19.02	390	1456.7	37.14	348	1462.41	24.03
431	1449.81	18.81	389	1456.86	39.54	347	1462.46	21.72

Registros geofísicos y caracterización de la secuencia Cretácica del pozo Yaxcopoil-1, Yucatán.

#M	PROF (m)	%Ca	#M	PROF (m)	%Ca	#M	PROF (m)	%Ca
346	1462.63	13.04	304	1468.38	42.49	262	1476.78	41.73
345	1462.92	26.15	303	1468.65	43.70	261	1477.06	44.28
344	1463.08	13.06	302	1468.85	41.49	260	1477.24	45.77
343	1463.31	23.66	301	1468.94	44.17	259	1477.35	33.91
342	1463.49	24.13	300	1469.12	44.56	258	1477.37	34.38
341	1463.64	24.59	299	1469.28	41.55	257	1477.44	45.21
340	1463.78	18.29	298	1469.36	43.51	256	1477.49	42.91
339	1463.84	21.29	297	1469.48	42.41	255	1477.55	45.04
338	1463.92	23.24	296	1469.61	41.20	254	1477.63	43.92
337	1464	23.98	295	1469.72	39.42	253	1477.72	44.99
336	1464.1	23.79	294	1469.83	37.50	252	1477.85	44.65
335	1464.24	23.34	293	1469.97	41.86	251	1477.92	41.67
334	1464.37	15.29	292	1470.02	44.76	250	1477.97	45.81
333	1464.43	20.78	291	1470.15	23.67	249	1478.01	43.82
332	1464.53	19.16	290	1470.22	25.63	248	1478.06	45.32
331	1464.57	23.04	289	1470.5	43.90	247	1478.15	44.16
330	1464.72	24.74	288	1470.73	35.17	246	1478.37	44.12
329	1464.84	21.10	287	1471.12	41.83	245	1478.58	40.62
328	1465.22	38.67	286	1471.27	38.29	244	1478.63	43.30
327	1465.39	23.34	285	1471.42	37.92	243	1478.8	44.68
326	1465.51	32.59	284	1471.52	28.18	242	1479.18	46.46
325	1465.66	38.82	283	1471.63	42.59	241	1479.26	42.38
324	1465.8	39.46	282	1471.76	41.65	240	1479.33	44.96
323	1466.05	41.02	281	1472.02	41.27	239	1479.43	43.24
322	1466.24	43.73	280	1472.22	44.59	238	1479.47	23.89
321	1466.35	44.53	279	1472.7	38.26	237	1479.63	45.11
320	1466.48	32.37	278	1473.05	41.71	236	1479.72	28.00
319	1466.55	43.89	277	1473.31	39.95	235	1479.81	43.14
318	1466.67	43.56	276	1473.76	36.70	234	1479.88	43.50
317	1466.81	42.16	275	1473.87	4.55	233	1479.94	37.07
316	1466.85	43.15	274	1474.24	43.63	232	1480.03	41.32
315	1467.23	42.91	273	1474.44	43.82	231	1480.13	44.62
314	1467.33	42.83	272	1474.62	44.27	230	1480.28	41.62
313	1467.39	41.35	271	1474.87	43.42	229	1480.48	31.79
312	1467.42	42.43	270	1475.07	44.43	228	1480.72	43.63
311	1467.52	41.03	269	1475.26	42.25	227	1480.93	33.26
310	1467.64	43.45	268	1475.38	18.03	226	1481.13	36.68
309	1467.75	42.15	267	1475.5	41.11	225	1481.31	44.42
308	1467.84	40.67	266	1475.56	44.29	224	1481.5	45.19
307	1467.88	33.37	265	1475.74	37.57	223	1481.55	19.45
306	1468.08	38.76	264	1476.07	39.58	222	1481.61	41.63
305	1468.22	42.61	263	1476.43	42.81	221	1481.67	19.61

Registros geofísicos y caracterización de la secuencia Cretácica del pozo Yaxcopoil-1, Yucatán.

#M	PROF (m)	%Ca	#M	PROF (m)	%Ca	#M	PROF (m)	%Ca
220	1481.73	36.90	178	1485.83	24.35	136	1489.97	1.55
219	1481.87	42.76	177	1485.9	17.70	135	1490.06	23.75
218	1482.04	44.24	176	1486	25.20	134	1490.17	23.09
217	1482.14	46.49	175	1486.08	27.37	133	1490.38	18.88
216	1482.25	31.83	174	1486.14	26.67	132	1490.47	23.84
215	1482.34	39.41	173	1486.19	46.14	131	1490.53	41.97
214	1482.43	42.93	172	1486.29	35.55	130	1490.59	28.12
213	1482.47	41.51	171	1486.39	35.86	129	1490.67	37.71
212	1482.53	42.67	170	1486.53	17.39	128	1490.75	6.67
211	1482.79	41.48	169	1486.63	39.46	127	1490.81	44.01
210	1482.94	42.84	168	1486.76	31.68	126	1490.85	2.38
209	1483.04	41.04	167	1486.82	27.63	125	1490.91	17.22
208	1483.17	37.95	166	1486.97	33.59	124	1490.97	7.84
207	1483.33	30.40	165	1487.01	38.02	123	1491.02	10.05
206	1483.45	33.96	164	1487.11	39.77	122	1491.08	43.14
205	1483.6	38.73	163	1487.18	33.67	121	1491.17	44.62
204	1483.74	41.04	162	1487.24	32.41	120	1491.3	36.89
203	1483.81	38.35	161	1487.39	34.66	119	1491.32	1.70
202	1483.87	36.61	160	1487.66	39.80	118	1491.37	45.98
201	1483.98	44.02	159	1487.74	37.15	117	1491.44	43.75
200	1484.07	37.11	158	1487.97	24.73	116	1491.51	7.37
199	1484.14	43.82	157	1488.05	40.06	115	1491.59	44.15
198	1484.23	7.83	156	1488.13	24.46	114	1491.71	5.46
197	1484.3	33.54	155	1488.18	13.38	113	1491.76	45.74
196	1484.45	43.54	154	1488.22	30.26	112	1491.81	1.92
195	1484.56	24.76	153	1488.26	22.14	111	1491.91	45.58
194	1484.62	40.41	152	1488.28	15.94	110	1492	25.86
193	1484.64	33.00	151	1488.32	41.60	109	1492.09	44.97
192	1484.76	45.49	150	1488.48	38.41	108	1492.24	40.28
191	1484.83	25.44	149	1488.57	40.41	107	1492.36	13.68
190	1484.85	31.45	148	1488.75	40.28	106	1492.45	30.87
189	1485.03	44.47	147	1488.79	45.23	105	1492.55	15.74
188	1485.09	41.52	146	1488.85	41.72	104	1492.68	26.26
187	1485.12	44.78	145	1489.02	45.42	103	1492.74	20.40
186	1485.21	17.22	144	1489.13	25.90	102	1492.81	43.05
185	1485.44	42.67	143	1489.26	2.60	101	1492.89	29.76
184	1485.46	28.19	142	1489.34	45.37	100	1493	40.54
183	1485.5	26.63	141	1489.46	28.48	99	1493.1	40.84
182	1485.52	42.90	140	1489.55	39.87	98	1493.2	41.78
181	1485.56	23.54	139	1489.66	44.78	97	1493.31	11.92
180	1485.64	24.78	138	1489.77	13.98	96	1493.37	42.02
179	1485.75	22.61	137	1489.89	30.44	95	1493.49	24.41

Registros geofísicos y caracterización de la secuencia Cretácica del pozo Yaxcopoil-1, Yucatán.

#M	PROF (m)	%Ca	#M	PROF (m)	%Ca	#M	PROF (m)	%Ca
94	1493.58	23.34	61	1497.24	25.79	28	1502.17	24.15
93	1493.67	24.33	60	1497.33	24.27	27	1502.33	24.49
92	1493.74	24.61	59	1497.59	24.35	26	1502.44	24.72
91	1493.83	20.98	58	1497.66	28.10	25	1502.66	29.70
90	1493.94	24.42	57	1497.74	24.81	24	1502.83	24.87
89	1494.01	25.22	56	1497.93	25.16	23	1503.23	24.83
88	1494.09	24.39	55	1498.09	24.84	22	1503.92	24.95
87	1494.2	24.64	54	1498.16	26.76	21	1504.72	24.88
86	1494.3	25.65	53	1498.26	24.65	20	1504.84	25.00
85	1494.4	29.97	52	1498.4	3.75	19	1504.95	24.79
84	1494.47	25.50	51	1498.44	28.74	18	1505.24	24.51
83	1494.65	37.95	50	1498.53	24.92	17	1505.58	24.69
82	1494.73	41.90	49	1498.97	24.49	16	1505.88	22.27
81	1494.84	36.80	48	1499.08	24.90	15	1506.11	25.08
80	1494.89	43.36	47	1499.18	25.18	14	1506.49	24.15
79	1494.96	40.50	46	1499.39	24.67	13	1506.76	24.27
78	1495.03	36.87	45	1499.65	24.51	12	1507.08	11.53
77	1495.09	25.42	44	1499.8	29.73	11	1507.31	25.03
76	1495.21	24.98	43	1499.95	24.04	10	1507.68	24.81
75	1495.28	24.31	42	1500.03	24.15	9	1508.32	24.62
74	1495.35	23.34	41	1500.25	25.00	8	1508.96	25.01
73	1495.48	23.90	40	1500.4	25.00	7	1509.12	24.63
72	1495.64	44.56	39	1500.58	17.90	6	1509.38	24.84
71	1495.77	41.12	38	1500.76	23.10	5	1509.79	25.02
70	1495.84	39.02	37	1500.85	24.28	4	1509.96	29.64
69	1495.9	24.50	36	1501.02	24.45	3	1510.04	30.14
68	1496.01	25.14	35	1501.15	24.31	2	1510.25	24.44
67	1496.09	24.44	34	1501.23	24.67	1	1510.4	24.59
66	1496.31	24.54	33	1501.32	24.73			
65	1496.49	24.34	32	1501.57	24.39			
64	1496.57	22.52	31	1501.62	25.15			
63	1496.61	23.54	30	1501.82	24.93			
62	1497.02	21.80	29	1502.05	25.03			

#M - Número de muestra

PROF (m) – Profundidad (m)

%Ca – Porcentaje de Calcio de la roca en el punto de interés

Registro del porcentaje de Magnesio

#M	PROF (m)	%Mg	#M	PROF (m)	%Mg	#M	PROF (m)	%Mg
595	1425.48	11.77	554	1434.91	18.98	513	1438.33	19.72
594	1425.6	23.16	553	1434.95	18.65	512	1438.66	13.95
593	1426.45	21.26	552	1435.01	21.02	511	1438.71	14.54
592	1426.85	10.82	551	1435.08	19.43	510	1438.8	8.21
591	1427.27	10.25	550	1435.13	20.23	509	1438.94	6.03
590	1427.39	9.26	549	1435.32	15.53	508	1438.97	10.53
589	1427.77	13.55	548	1435.46	14.15	507	1439.08	2.45
588	1428.03	25.97	547	1435.49	16.04	506	1439.23	3.91
587	1428.26	22.13	546	1435.58	17.07	505	1439.37	4.84
586	1428.58	11.50	545	1435.65	14.96	504	1439.47	2.59
585	1428.94	12.91	544	1435.68	14.33	503	1439.6	14.68
584	1429.35	10.72	543	1435.69	15.54	502	1439.66	0.59
583	1429.58	22.00	542	1435.8	16.22	501	1439.71	5.87
582	1429.76	18.62	541	1435.9	11.79	500	1439.75	4.80
581	1429.82	18.22	540	1436.02	14.86	499	1439.8	0.79
580	1429.87	21.30	539	1436.17	0.82	498	1439.85	4.12
579	1429.97	4.27	538	1436.3	16.39	497	1439.95	20.54
578	1430.01	10.30	537	1436.36	16.55	496	1440.14	20.56
577	1430.07	18.61	536	1436.42	12.68	495	1440.2	20.16
576	1430.19	6.33	535	1436.47	16.14	494	1440.26	14.37
575	1430.29	5.61	534	1436.52	15.59	493	1440.33	14.39
574	1430.37	5.02	533	1436.56	16.86	492	1440.38	20.57
573	1430.65	4.20	532	1436.59	17.93	491	1440.44	19.76
572	1430.97	5.04	531	1436.64	18.06	490	1440.56	19.51
571	1431.2	4.11	530	1436.72	18.57	489	1440.64	18.30
570	1431.37	5.55	529	1436.74	20.34	488	1440.71	17.26
569	1431.71	1.68	528	1436.83	19.80	487	1440.85	18.98
568	1431.96	3.00	527	1436.87	17.68	486	1440.94	3.65
567	1432.19	4.32	526	1436.94	18.95	485	1441.01	18.67
566	1432.42	22.73	525	1436.97	10.61	484	1441.12	20.58
565	1432.49	1.75	524	1437.09	16.99	483	1441.25	14.98
564	1432.7	17.11	523	1437.17	14.57	482	1441.29	18.97
563	1432.91	4.16	522	1437.22	17.16	481	1441.38	19.49
562	1433.06	2.65	521	1437.32	16.99	480	1441.48	19.91
561	1433.23	3.48	520	1437.44	17.74	479	1441.56	11.40
560	1433.55	3.30	519	1437.58	15.41	478	1441.65	5.38
559	1433.85	8.70	518	1437.63	12.06	477	1441.91	2.35
558	1433.97	18.33	517	1437.67	4.78	476	1442.27	1.89
557	1434.3	17.74	516	1437.79	9.35	475	1442.54	5.55
556	1434.67	21.38	515	1437.85	7.83	474	1442.8	3.26
555	1434.84	19.94	514	1437.97	18.32	473	1443.08	2.11

Registros geofísicos y caracterización de la secuencia Cretácica del pozo Yaxcopoil-1, Yucatán.

#M	PROF (m)	%Mg	#M	PROF (m)	%Mg	#M	PROF (m)	%Mg
472	1443.28	17.18	430	1449.88	11.67	388	1457.06	4.41
471	1443.41	16.67	429	1449.94	14.33	387	1457.32	0.00
470	1443.46	15.55	428	1450.03	17.02	386	1457.46	3.14
469	1443.51	14.18	427	1450.13	11.52	385	1457.74	4.61
468	1443.56	4.58	426	1450.3	10.68	384	1457.86	2.03
467	1443.82	12.59	425	1450.47	11.81	383	1458.02	4.82
466	1443.95	17.03	424	1450.74	10.65	382	1458.17	6.58
465	1444.03	19.37	423	1451.12	13.06	381	1458.26	4.15
464	1444.53	8.35	422	1451.23	15.79	380	1458.34	5.12
463	1444.68	10.57	421	1451.32	9.70	379	1458.44	4.50
462	1444.8	4.42	420	1451.47	14.92	378	1458.54	7.28
461	1444.9	5.68	419	1451.68	12.13	377	1458.67	2.43
460	1445.14	5.68	418	1451.8	15.30	376	1458.81	0.81
459	1445.29	1.87	417	1451.87	16.51	375	1459	4.16
458	1445.43	0.02	416	1451.97	10.59	374	1459.09	1.79
457	1445.51	1.09	415	1452.13	11.37	373	1459.18	1.46
456	1445.67	7.11	414	1452.22	17.36	372	1459.3	4.53
455	1445.86	18.50	413	1452.3	10.48	371	1459.39	2.75
454	1446.21	14.78	412	1452.55	17.65	370	1459.51	2.68
453	1446.26	13.53	411	1452.8	18.27	369	1459.65	2.08
452	1446.44	15.22	410	1452.89	5.76	368	1459.81	3.20
451	1446.59	18.59	409	1452.98	15.48	367	1459.97	5.27
450	1446.67	3.94	408	1453.12	7.26	366	1460.12	3.12
449	1446.73	18.28	407	1453.32	9.28	365	1460.21	4.39
448	1446.93	19.34	406	1453.49	9.19	364	1460.35	5.83
447	1447.1	11.74	405	1453.87	12.78	363	1460.44	2.68
446	1447.44	16.00	404	1454.07	9.79	362	1460.6	4.66
445	1447.59	15.86	403	1454.25	15.88	361	1460.77	5.01
444	1447.73	17.53	402	1454.36	10.58	360	1460.84	4.34
443	1447.79	5.50	401	1454.57	14.89	359	1460.98	3.63
442	1447.87	15.65	400	1454.74	9.85	358	1461.1	18.91
441	1448.01	14.12	399	1454.79	16.15	357	1461.26	16.41
440	1448.13	15.22	398	1454.87	8.59	356	1461.37	5.33
439	1448.24	15.28	397	1454.97	15.06	355	1461.45	15.74
438	1448.4	14.41	396	1455.25	16.62	354	1461.67	19.15
437	1448.58	17.20	395	1455.56	3.80	353	1461.86	14.61
436	1448.73	18.20	394	1455.78	5.62	352	1461.97	14.54
435	1448.89	13.73	393	1456.11	3.88	351	1462.18	20.73
434	1449.2	17.86	392	1456.34	8.29	350	1462.26	14.08
433	1449.3	16.72	391	1456.56	3.18	349	1462.35	16.86
432	1449.61	14.26	390	1456.7	4.33	348	1462.41	15.90
431	1449.81	9.68	389	1456.86	4.65	347	1462.46	12.03

Registros geofísicos y caracterización de la secuencia Cretácica del pozo Yaxcopoil-1, Yucatán.

#M	PROF (m)	%Mg	#M	PROF (m)	%Mg	#M	PROF (m)	%Mg
346	1462.63	6.85	304	1468.38	5.31	262	1476.78	2.05
345	1462.92	13.68	303	1468.65	5.83	261	1477.06	5.06
344	1463.08	8.76	302	1468.85	4.09	260	1477.24	6.46
343	1463.31	16.63	301	1468.94	3.50	259	1477.35	8.64
342	1463.49	18.37	300	1469.12	4.08	258	1477.37	14.73
341	1463.64	18.15	299	1469.28	2.23	257	1477.44	3.86
340	1463.78	12.46	298	1469.36	7.92	256	1477.49	4.08
339	1463.84	16.37	297	1469.48	2.22	255	1477.55	3.91
338	1463.92	14.31	296	1469.61	5.46	254	1477.63	4.24
337	1464	17.71	295	1469.72	4.72	253	1477.72	4.80
336	1464.1	19.76	294	1469.83	4.28	252	1477.85	5.30
335	1464.24	15.89	293	1469.97	4.90	251	1477.92	4.02
334	1464.37	11.81	292	1470.02	8.85	250	1477.97	4.65
333	1464.43	15.94	291	1470.15	3.07	249	1478.01	4.83
332	1464.53	14.41	290	1470.22	0.79	248	1478.06	6.02
331	1464.57	15.52	289	1470.5	5.01	247	1478.15	7.26
330	1464.72	19.50	288	1470.73	0.00	246	1478.37	6.43
329	1464.84	11.50	287	1471.12	4.99	245	1478.58	4.25
328	1465.22	5.69	286	1471.27	2.28	244	1478.63	3.99
327	1465.39	16.71	285	1471.42	4.73	243	1478.8	5.48
326	1465.51	2.28	284	1471.52	1.57	242	1479.18	4.27
325	1465.66	4.47	283	1471.63	1.58	241	1479.26	5.25
324	1465.8	8.57	282	1471.76	4.16	240	1479.33	5.17
323	1466.05	8.38	281	1472.02	2.27	239	1479.43	3.34
322	1466.24	4.81	280	1472.22	5.19	238	1479.47	0.36
321	1466.35	3.20	279	1472.7	3.91	237	1479.63	5.30
320	1466.48	4.01	278	1473.05	1.90	236	1479.72	3.70
319	1466.55	4.94	277	1473.31	3.57	235	1479.81	5.29
318	1466.67	5.32	276	1473.76	1.67	234	1479.88	4.80
317	1466.81	4.32	275	1473.87	0.00	233	1479.94	2.28
316	1466.85	5.54	274	1474.24	6.70	232	1480.03	2.80
315	1467.23	5.53	273	1474.44	5.39	231	1480.13	4.29
314	1467.33	5.37	272	1474.62	2.51	230	1480.28	6.91
313	1467.39	2.75	271	1474.87	4.72	229	1480.48	4.02
312	1467.42	4.84	270	1475.07	6.12	228	1480.72	3.88
311	1467.52	2.87	269	1475.26	3.38	227	1480.93	1.54
310	1467.64	4.34	268	1475.38	8.72	226	1481.13	4.67
309	1467.75	4.19	267	1475.5	5.45	225	1481.31	3.83
308	1467.84	2.78	266	1475.56	3.49	224	1481.5	3.70
307	1467.88	5.87	265	1475.74	4.02	223	1481.55	0.25
306	1468.08	2.66	264	1476.07	4.48	222	1481.61	4.13
305	1468.22	4.63	263	1476.43	4.74	221	1481.67	8.08

Registros geofísicos y caracterización de la secuencia Cretácica del pozo Yaxcopoil-1, Yucatán.

#M	PROF (m)	%Mg	#M	PROF (m)	%Mg	#M	PROF (m)	%Mg
220	1481.73	5.35	178	1485.83	19.97	136	1489.97	0.00
219	1481.87	3.16	177	1485.9	12.76	135	1490.06	17.02
218	1482.04	4.94	176	1486	16.08	134	1490.17	17.22
217	1482.14	7.54	175	1486.08	21.01	133	1490.38	9.91
216	1482.25	18.40	174	1486.14	20.22	132	1490.47	15.27
215	1482.34	9.49	173	1486.19	5.22	131	1490.53	2.24
214	1482.43	7.22	172	1486.29	3.74	130	1490.59	10.04
213	1482.47	2.99	171	1486.39	8.30	129	1490.67	9.90
212	1482.53	2.23	170	1486.53	0.00	128	1490.75	1.01
211	1482.79	3.30	169	1486.63	4.14	127	1490.81	3.62
210	1482.94	5.89	168	1486.76	5.33	126	1490.85	0.00
209	1483.04	4.75	167	1486.82	2.78	125	1490.91	0.58
208	1483.17	4.74	166	1486.97	12.52	124	1490.97	0.00
207	1483.33	1.81	165	1487.01	5.98	123	1491.02	3.02
206	1483.45	5.09	164	1487.11	8.14	122	1491.08	5.76
205	1483.6	3.52	163	1487.18	4.41	121	1491.17	6.00
204	1483.74	6.38	162	1487.24	9.94	120	1491.3	3.74
203	1483.81	5.02	161	1487.39	6.57	119	1491.32	0.00
202	1483.87	2.75	160	1487.66	5.67	118	1491.37	3.72
201	1483.98	4.50	159	1487.74	6.12	117	1491.44	6.15
200	1484.07	3.75	158	1487.97	19.78	116	1491.51	0.00
199	1484.14	3.89	157	1488.05	8.49	115	1491.59	3.87
198	1484.23	0.00	156	1488.13	1.43	114	1491.71	0.00
197	1484.3	1.90	155	1488.18	0.34	113	1491.76	4.70
196	1484.45	2.64	154	1488.22	2.64	112	1491.81	0.00
195	1484.56	1.84	153	1488.26	1.00	111	1491.91	5.13
194	1484.62	3.12	152	1488.28	0.99	110	1492	3.13
193	1484.64	1.52	151	1488.32	5.52	109	1492.09	4.72
192	1484.76	5.99	150	1488.48	5.46	108	1492.24	0.40
191	1484.83	1.73	149	1488.57	3.90	107	1492.36	0.82
190	1484.85	5.08	148	1488.75	4.16	106	1492.45	1.45
189	1485.03	7.36	147	1488.79	6.46	105	1492.55	0.00
188	1485.09	5.29	146	1488.85	4.68	104	1492.68	0.00
187	1485.12	5.77	145	1489.02	6.96	103	1492.74	0.23
186	1485.21	1.46	144	1489.13	0.00	102	1492.81	1.71
185	1485.44	5.22	143	1489.26	0.00	101	1492.89	2.38
184	1485.46	5.09	142	1489.34	3.70	100	1493	2.14
183	1485.5	3.06	141	1489.46	1.18	99	1493.1	2.73
182	1485.52	8.52	140	1489.55	4.13	98	1493.2	3.99
181	1485.56	18.63	139	1489.66	3.91	97	1493.31	0.00
180	1485.64	20.97	138	1489.77	2.83	96	1493.37	2.96
179	1485.75	17.07	137	1489.89	11.53	95	1493.49	19.16

Registros geofísicos y caracterización de la secuencia Cretácica del pozo Yaxcopoil-1, Yucatán.

#M	PROF (m)	%Mg	#M	PROF (m)	%Mg	#M	PROF (m)	%Mg
94	1493.58	16.27	61	1497.24	17.53	28	1502.17	20.56
93	1493.67	18.94	60	1497.33	21.20	27	1502.33	20.22
92	1493.74	18.52	59	1497.59	15.71	26	1502.44	19.14
91	1493.83	15.25	58	1497.66	7.80	25	1502.66	3.42
90	1493.94	19.76	57	1497.74	19.14	24	1502.83	21.07
89	1494.01	20.49	56	1497.93	20.33	23	1503.23	21.64
88	1494.09	18.80	55	1498.09	20.08	22	1503.92	21.69
87	1494.2	22.46	54	1498.16	3.66	21	1504.72	20.38
86	1494.3	23.39	53	1498.26	20.39	20	1504.84	22.50
85	1494.4	14.35	52	1498.4	1.75	19	1504.95	21.22
84	1494.47	22.10	51	1498.44	6.66	18	1505.24	23.23
83	1494.65	7.55	50	1498.53	21.36	17	1505.58	21.71
82	1494.73	8.24	49	1498.97	20.34	16	1505.88	16.41
81	1494.84	8.72	48	1499.08	19.76	15	1506.11	22.32
80	1494.89	6.78	47	1499.18	22.90	14	1506.49	19.13
79	1494.96	7.24	46	1499.39	21.12	13	1506.76	19.84
78	1495.03	15.24	45	1499.65	21.21	12	1507.08	6.78
77	1495.09	20.56	44	1499.8	5.44	11	1507.31	22.62
76	1495.21	20.08	43	1499.95	17.84	10	1507.68	20.64
75	1495.28	18.85	42	1500.03	22.54	9	1508.32	20.75
74	1495.35	17.66	41	1500.25	20.23	8	1508.96	21.37
73	1495.48	19.28	40	1500.4	20.98	7	1509.12	20.09
72	1495.64	5.61	39	1500.58	11.53	6	1509.38	20.59
71	1495.77	4.93	38	1500.76	19.80	5	1509.79	20.72
70	1495.84	5.61	37	1500.85	21.18	4	1509.96	2.34
69	1495.9	15.21	36	1501.02	19.84	3	1510.04	0.70
68	1496.01	19.65	35	1501.15	18.65	2	1510.25	21.53
67	1496.09	21.59	34	1501.23	19.13	1	1510.4	19.22
66	1496.31	19.32	33	1501.32	17.00			
65	1496.49	17.88	32	1501.57	20.69			
64	1496.57	18.55	31	1501.62	21.89			
63	1496.61	15.11	30	1501.82	22.13			
62	1497.02	13.30	29	1502.05	21.79			

#M - Número de muestra

PROF (m) – Profundidad (m)

%Mg – Porcentaje de Magnesio de la roca en el punto de interés

Registro del porcentaje de Estroncio

#M	PROF(m)	%Sr
595	1425.48	0.01
594	1425.6	0.00
593	1426.45	0.01
592	1426.85	0.02
591	1427.27	0.01
590	1427.39	0.02
589	1427.77	0.01
588	1428.03	0.00
587	1428.26	0.00
586	1428.58	0.01
585	1428.94	0.01
584	1429.35	0.09
583	1429.58	0.02
582	1429.76	0.01
581	1429.82	0.07
580	1429.87	0.01
579	1429.97	0.11
578	1430.01	0.10
577	1430.07	0.08
576	1430.19	0.12
575	1430.29	0.11
574	1430.37	0.11
573	1430.65	0.11
572	1430.97	0.11
571	1431.2	0.11
570	1431.37	0.10
569	1431.71	0.11
568	1431.96	0.11
567	1432.19	0.10
566	1432.42	0.15
565	1432.49	0.12
564	1432.7	0.08
563	1432.91	0.12
562	1433.06	0.11
561	1433.23	0.12
560	1433.55	0.12
559	1433.85	0.01
558	1433.97	0.01
557	1434.3	0.01
556	1434.67	0.01
555	1434.84	0.01

#M	PROF(m)	%Sr
554	1434.91	0.01
553	1434.95	0.01
552	1435.01	0.01
551	1435.08	0.01
550	1435.13	0.01
549	1435.32	0.02
548	1435.46	0.09
547	1435.49	0.06
546	1435.58	0.01
545	1435.65	0.01
544	1435.68	0.01
543	1435.69	0.01
542	1435.8	0.03
541	1435.9	0.09
540	1436.02	0.06
539	1436.17	0.01
538	1436.3	0.04
537	1436.36	0.05
536	1436.42	0.01
535	1436.47	0.02
534	1436.52	0.07
533	1436.56	0.02
532	1436.59	0.01
531	1436.64	0.02
530	1436.72	0.02
529	1436.74	0.00
528	1436.83	0.01
527	1436.87	0.02
526	1436.94	0.01
525	1436.97	0.01
524	1437.09	0.01
523	1437.17	0.03
522	1437.22	0.02
521	1437.32	0.01
520	1437.44	0.01
519	1437.58	0.10
518	1437.63	0.09
517	1437.67	0.09
516	1437.79	0.09
515	1437.85	0.10
514	1437.97	0.01

#M	PROF(m)	%Sr
513	1438.33	0.02
512	1438.66	0.07
511	1438.71	0.06
510	1438.8	0.10
509	1438.94	0.11
508	1438.97	0.10
507	1439.08	0.13
506	1439.23	0.13
505	1439.37	0.12
504	1439.47	0.11
503	1439.6	0.08
502	1439.66	0.11
501	1439.71	0.11
500	1439.75	0.11
499	1439.8	0.10
498	1439.85	0.11
497	1439.95	0.01
496	1440.14	0.01
495	1440.2	0.01
494	1440.26	0.01
493	1440.33	0.04
492	1440.38	0.00
491	1440.44	0.00
490	1440.56	0.01
489	1440.64	0.00
488	1440.71	0.01
487	1440.85	0.04
486	1440.94	0.02
485	1441.01	0.01
484	1441.12	0.01
483	1441.25	0.02
482	1441.29	0.01
481	1441.38	0.01
480	1441.48	0.01
479	1441.56	0.08
478	1441.65	0.10
477	1441.91	0.10
476	1442.27	0.11
475	1442.54	0.11
474	1442.8	0.11
473	1443.08	0.11

Registros geofísicos y caracterización de la secuencia Cretácica del pozo Yaxcopoil-1, Yucatán.

#M	PROF(m)	%Sr
472	1443.28	0.01
471	1443.41	0.08
470	1443.46	0.01
469	1443.51	0.00
468	1443.56	0.10
467	1443.82	0.05
466	1443.95	0.01
465	1444.03	0.01
464	1444.53	0.09
463	1444.68	0.02
462	1444.8	0.10
461	1444.9	0.11
460	1445.14	0.11
459	1445.29	0.12
458	1445.43	0.11
457	1445.51	0.14
456	1445.67	0.13
455	1445.86	0.01
454	1446.21	0.01
453	1446.26	0.01
452	1446.44	0.10
451	1446.59	0.07
450	1446.67	0.09
449	1446.73	0.03
448	1446.93	0.00
447	1447.1	0.10
446	1447.44	0.03
445	1447.59	0.02
444	1447.73	0.02
443	1447.79	0.10
442	1447.87	0.01
441	1448.01	0.01
440	1448.13	0.01
439	1448.24	0.01
438	1448.4	0.01
437	1448.58	0.01
436	1448.73	0.01
435	1448.89	0.01
434	1449.2	0.01
433	1449.3	0.01
432	1449.61	0.01
431	1449.81	0.01

#M	PROF(m)	%Sr
430	1449.88	0.01
429	1449.94	0.01
428	1450.03	0.01
427	1450.13	0.01
426	1450.3	0.01
425	1450.47	0.01
424	1450.74	0.01
423	1451.12	0.01
422	1451.23	0.01
421	1451.32	0.01
420	1451.47	0.00
419	1451.68	0.00
418	1451.8	0.01
417	1451.87	0.01
416	1451.97	0.01
415	1452.13	0.01
414	1452.22	0.00
413	1452.3	0.01
412	1452.55	0.01
411	1452.8	0.01
410	1452.89	0.08
409	1452.98	0.03
408	1453.12	0.07
407	1453.32	0.09
406	1453.49	0.01
405	1453.87	0.01
404	1454.07	0.01
403	1454.25	0.01
402	1454.36	0.01
401	1454.57	0.01
400	1454.74	0.00
399	1454.79	0.00
398	1454.87	0.01
397	1454.97	0.01
396	1455.25	0.01
395	1455.56	0.02
394	1455.78	0.03
393	1456.11	0.04
392	1456.34	0.04
391	1456.56	0.04
390	1456.7	0.04
389	1456.86	0.04

#M	PROF(m)	%Sr
388	1457.06	0.04
387	1457.32	0.04
386	1457.46	0.04
385	1457.74	0.04
384	1457.86	0.04
383	1458.02	0.04
382	1458.17	0.04
381	1458.26	0.04
380	1458.34	0.04
379	1458.44	0.04
378	1458.54	0.03
377	1458.67	0.04
376	1458.81	0.03
375	1459	0.05
374	1459.09	0.04
373	1459.18	0.04
372	1459.3	0.04
371	1459.39	0.05
370	1459.51	0.04
369	1459.65	0.04
368	1459.81	0.05
367	1459.97	0.05
366	1460.12	0.05
365	1460.21	0.05
364	1460.35	0.04
363	1460.44	0.04
362	1460.6	0.04
361	1460.77	0.04
360	1460.84	0.04
359	1460.98	0.03
358	1461.1	0.01
357	1461.26	0.01
356	1461.37	0.03
355	1461.45	0.05
354	1461.67	0.01
353	1461.86	0.01
352	1461.97	0.01
351	1462.18	0.01
350	1462.26	0.01
349	1462.35	0.00
348	1462.41	0.01
347	1462.46	0.01

Registros geofísicos y caracterización de la secuencia Cretácica del pozo Yaxcopoil-1, Yucatán.

#M	PROF(m)	%Sr
346	1462.63	0.01
345	1462.92	0.04
344	1463.08	0.01
343	1463.31	0.01
342	1463.49	0.01
341	1463.64	0.01
340	1463.78	0.00
339	1463.84	0.01
338	1463.92	0.03
337	1464	0.01
336	1464.1	0.01
335	1464.24	0.01
334	1464.37	0.00
333	1464.43	0.01
332	1464.53	0.00
331	1464.57	0.00
330	1464.72	0.01
329	1464.84	0.00
328	1465.22	0.02
327	1465.39	0.00
326	1465.51	0.03
325	1465.66	0.04
324	1465.8	0.03
323	1466.05	0.03
322	1466.24	0.04
321	1466.35	0.04
320	1466.48	0.03
319	1466.55	0.04
318	1466.67	0.04
317	1466.81	0.04
316	1466.85	0.04
315	1467.23	0.04
314	1467.33	0.03
313	1467.39	0.04
312	1467.42	0.04
311	1467.52	0.04
310	1467.64	0.04
309	1467.75	0.04
308	1467.84	0.04
307	1467.88	0.03
306	1468.08	0.04
305	1468.22	0.04

#M	PROF(m)	%Sr
304	1468.38	0.04
303	1468.65	0.04
302	1468.85	0.04
301	1468.94	0.05
300	1469.12	0.04
299	1469.28	0.05
298	1469.36	0.05
297	1469.48	0.04
296	1469.61	0.04
295	1469.72	0.04
294	1469.83	0.03
293	1469.97	0.04
292	1470.02	0.04
291	1470.15	0.04
290	1470.22	0.05
289	1470.5	0.05
288	1470.73	0.04
287	1471.12	0.05
286	1471.27	0.04
285	1471.42	0.04
284	1471.52	0.03
283	1471.63	0.04
282	1471.76	0.05
281	1472.02	0.05
280	1472.22	0.04
279	1472.7	0.05
278	1473.05	0.05
277	1473.31	0.05
276	1473.76	0.03
275	1473.87	0.00
274	1474.24	0.05
273	1474.44	0.05
272	1474.62	0.05
271	1474.87	0.05
270	1475.07	0.03
269	1475.26	0.04
268	1475.38	0.01
267	1475.5	0.04
266	1475.56	0.04
265	1475.74	0.03
264	1476.07	0.04
263	1476.43	0.04

#M	PROF(m)	%Sr
262	1476.78	0.05
261	1477.06	0.03
260	1477.24	0.03
259	1477.35	0.03
258	1477.37	0.02
257	1477.44	0.03
256	1477.49	0.04
255	1477.55	0.03
254	1477.63	0.04
253	1477.72	0.04
252	1477.85	0.03
251	1477.92	0.04
250	1477.97	0.02
249	1478.01	0.04
248	1478.06	0.02
247	1478.15	0.03
246	1478.37	0.04
245	1478.58	0.08
244	1478.63	0.03
243	1478.8	0.04
242	1479.18	0.02
241	1479.26	0.03
240	1479.33	0.03
239	1479.43	0.03
238	1479.47	0.08
237	1479.63	0.03
236	1479.72	0.02
235	1479.81	0.03
234	1479.88	0.03
233	1479.94	0.03
232	1480.03	0.03
231	1480.13	0.03
230	1480.28	0.04
229	1480.48	0.03
228	1480.72	0.03
227	1480.93	0.03
226	1481.13	0.04
225	1481.31	0.04
224	1481.5	0.03
223	1481.55	0.02
222	1481.61	0.03
221	1481.67	0.01

Registros geofísicos y caracterización de la secuencia Cretácica del pozo Yaxcopoil-1, Yucatán.

#M	PROF(m)	%Sr
220	1481.73	0.02
219	1481.87	0.04
218	1482.04	0.04
217	1482.14	0.03
216	1482.25	0.01
215	1482.34	0.02
214	1482.43	0.03
213	1482.47	0.05
212	1482.53	0.05
211	1482.79	0.04
210	1482.94	0.24
209	1483.04	0.03
208	1483.17	0.03
207	1483.33	0.04
206	1483.45	0.04
205	1483.6	0.04
204	1483.74	0.04
203	1483.81	0.04
202	1483.87	0.04
201	1483.98	0.04
200	1484.07	0.04
199	1484.14	0.05
198	1484.23	0.02
197	1484.3	0.03
196	1484.45	0.04
195	1484.56	0.03
194	1484.62	0.03
193	1484.64	0.03
192	1484.76	0.04
191	1484.83	0.03
190	1484.85	0.06
189	1485.03	0.04
188	1485.09	0.03
187	1485.12	0.03
186	1485.21	0.02
185	1485.44	0.03
184	1485.46	0.03
183	1485.5	0.02
182	1485.52	0.04
181	1485.56	0.00
180	1485.64	0.00
179	1485.75	0.00

#M	PROF(m)	%Sr
178	1485.83	0.01
177	1485.9	0.01
176	1486	0.01
175	1486.08	0.01
174	1486.14	0.01
173	1486.19	0.03
172	1486.29	0.03
171	1486.39	0.02
170	1486.53	0.02
169	1486.63	0.04
168	1486.76	0.03
167	1486.82	0.03
166	1486.97	0.02
165	1487.01	0.04
164	1487.11	0.04
163	1487.18	0.03
162	1487.24	0.02
161	1487.39	0.03
160	1487.66	0.04
159	1487.74	0.04
158	1487.97	0.01
157	1488.05	0.03
156	1488.13	0.03
155	1488.18	0.02
154	1488.22	0.03
153	1488.26	0.02
152	1488.28	0.02
151	1488.32	0.04
150	1488.48	0.03
149	1488.57	0.04
148	1488.75	0.03
147	1488.79	0.05
146	1488.85	0.03
145	1489.02	0.04
144	1489.13	0.03
143	1489.26	0.01
142	1489.34	0.05
141	1489.46	0.03
140	1489.55	0.03
139	1489.66	0.04
138	1489.77	0.02
137	1489.89	0.02

#M	PROF(m)	%Sr
136	1489.97	0.01
135	1490.06	0.11
134	1490.17	0.01
133	1490.38	0.02
132	1490.47	0.00
131	1490.53	0.05
130	1490.59	0.02
129	1490.67	0.03
128	1490.75	0.32
127	1490.81	0.04
126	1490.85	0.00
125	1490.91	0.02
124	1490.97	0.01
123	1491.02	0.00
122	1491.08	0.03
121	1491.17	0.04
120	1491.3	0.04
119	1491.32	0.00
118	1491.37	0.04
117	1491.44	0.04
116	1491.51	0.00
115	1491.59	0.03
114	1491.71	0.01
113	1491.76	0.03
112	1491.81	0.00
111	1491.91	0.04
110	1492	0.02
109	1492.09	0.04
108	1492.24	0.03
107	1492.36	0.01
106	1492.45	0.03
105	1492.55	0.02
104	1492.68	0.02
103	1492.74	0.02
102	1492.81	0.04
101	1492.89	0.02
100	1493	0.03
99	1493.1	0.03
98	1493.2	0.03
97	1493.31	0.01
96	1493.37	0.04
95	1493.49	0.00

Registros geofísicos y caracterización de la secuencia Cretácica del pozo Yaxcopoil-1, Yucatán.

#M	PROF(m)	%Sr
94	1493.58	0.00
93	1493.67	0.00
92	1493.74	0.00
91	1493.83	0.00
90	1493.94	0.00
89	1494.01	0.00
88	1494.09	0.00
87	1494.2	0.00
86	1494.3	0.00
85	1494.4	0.01
84	1494.47	0.00
83	1494.65	0.02
82	1494.73	0.03
81	1494.84	0.02
80	1494.89	0.03
79	1494.96	0.02
78	1495.03	0.01
77	1495.09	0.00
76	1495.21	0.01
75	1495.28	0.01
74	1495.35	0.01
73	1495.48	0.01
72	1495.64	0.03
71	1495.77	0.03
70	1495.84	0.03
69	1495.9	0.00
68	1496.01	0.01
67	1496.09	0.01
66	1496.31	0.00
65	1496.49	0.00
64	1496.57	0.00
63	1496.61	0.01
62	1497.02	0.00

#M	PROF(m)	%Sr
61	1497.24	0.02
60	1497.33	0.00
59	1497.59	0.00
58	1497.66	0.08
57	1497.74	0.00
56	1497.93	0.00
55	1498.09	0.00
54	1498.16	0.07
53	1498.26	0.01
52	1498.4	0.01
51	1498.44	0.08
50	1498.53	0.00
49	1498.97	0.00
48	1499.08	0.01
47	1499.18	0.01
46	1499.39	0.00
45	1499.65	0.00
44	1499.8	0.12
43	1499.95	0.00
42	1500.03	0.00
41	1500.25	0.00
40	1500.4	0.00
39	1500.58	0.00
38	1500.76	0.00
37	1500.85	0.00
36	1501.02	0.00
35	1501.15	0.00
34	1501.23	0.01
33	1501.32	0.01
32	1501.57	0.00
31	1501.62	0.00
30	1501.82	0.00
29	1502.05	0.00

#M	PROF(m)	%Sr
28	1502.17	0.00
27	1502.33	0.00
26	1502.44	0.01
25	1502.66	0.11
24	1502.83	0.00
23	1503.23	0.00
22	1503.92	0.00
21	1504.72	0.00
20	1504.84	0.00
19	1504.95	0.00
18	1505.24	0.00
17	1505.58	0.00
16	1505.88	0.01
15	1506.11	0.00
14	1506.49	0.00
13	1506.76	0.00
12	1507.08	0.00
11	1507.31	0.00
10	1507.68	0.00
9	1508.32	0.00
8	1508.96	0.00
7	1509.12	0.00
6	1509.38	0.00
5	1509.79	0.00
4	1509.96	0.09
3	1510.04	0.09
2	1510.25	0.00
1	1510.4	0.00

#M - Número de muestra

PROF (m) – Profundidad (m)

%Sr – Porcentaje de Estroncio de la roca en el punto de interés

Bibliografía

Bibliografía

- Adams, A.E., Mackenzie, W.S., y Guilford, C., 1997, "Atlas de Rocas Sedimentarias", Masson.
- Alvarez, M. "Clasificación de las rocas carbonatadas." Comisión Nacional de Energía Nuclear de México. 1966.
- Arellano Gil "Apuntes de Geología de Yacimientos", UNAM. F.I. 2002.
- Books, Tulsa, Oklahoma. 1992. Mahmood Akbar, Ali H. Alghamdi, Allen D., Canegie A., R.D. Chourasiya, S. D. Russell y R. Netherwood, 2001, "Evaluación de yacimientos carbonatados", Schlumberger Oil Field Review.
- Bratton T., D.V. Canh, Nguyen V. Duc, P. Gillepie, Bingjian Li, R. Marcinew, B. Montaron, R. Nelson, D. Schoderbek y L. Sonnerland, 2006, "La naturaleza de los yacimientos naturalmente fracturados", Oilfield Review.
- Castro, G. V. (Mayo del 2012). Magnetismo Ambiental de los Ultimos 17 000 años en el Lago Zirahúen, Michoacan México. Tesis de Doctorado Facultad de Ingeniería.
- Carrillo Bravo, J. M. (1984). Evaluacion de Formaciones en México. México, D. F.: Schlumberger.
- Choquette, P. W., and L. C. Pray., 1970 "Geologic nomenclature and classification of porosity in sedimentary carbonates" AAPG Bull.
- Dunham, R. J. 1962. "Classification of carbonate rocks according to depositional texture". In Ham, W. E. Classification of carbonate rocks. American Association of Petroleum Geologists Memoir.
- Francisco, A. C. (1985). *Apuntes de Registros Geofísicos de Pozos*. División de Ingeniería en Ciencias de la Tierra.
- Guillemot Jacques. "Geología del petróleo". 2da edición, Madrid, Editorial PennWell
- López-Ramos, E., 1973, Estudio geológico de la península de Yucatán, Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros, Boletín.
- Lucino Buenaventura Amaya Santiago, "Apuntes de la asignatura de geología de yacimientos naturalmente fracturados". Tesis de Licenciatura, Facultad de Ingeniería, UNAM 2010
- Ortiz Alemán Carlos, U. F. (2002). *Investigaciones geofísicas sobre cráteres de impacto y el cráter de Chicxulub. Cuaderno del Instituto de Geofísica*.
- Padilla y Sanchez, R,J. Evolución geológica del Sureste Mexicano desde el Mesozoico hasta el presente en el contexto regional del Golfo de México. Bol. Sociedad Geológica Mexicana, Tomo LIX, No 1, 2007, p. 19-42.
- PEMEX Anuario Estadístico, 2005-2006, 2009-2011.
- PEMEX Las reservas de Hidrocarburos de México, 2012.

- Rosenfeld, Joshua H. El potencial económico del Bloque de Yucatán en México, Guatemala y Belice. Bol. Sociedad Geológica Mexicana, Tomo LV, No 1, 2002, p. 30-37.
- Urrutia Fucugauchi Jaime, C. Z. (2011). The Chicxulub Multi-Ring Impact Cráter, Yucatan Carbonate Platform, Gulf of México. Geofísica Iternacional.
- Urrutia Fucugauchi Jaime, M. J. (2004). The Chicxulub Scientific Drilling Project. Meteoritics & Planet Science 39, 787-790.
- Urrutia Fucugauchi Jaime, T. G. (1996). Initial Results of the UNAM Scientific Drilling Program on the Chicxulub Impact Structure: Rock Magnetic Properties of UNAM-7 Tekax Borehole. Geofísica Internacional, Vol. 35, Num 2.
- Vargas Castro Priscila Esther, "Análisis de la Secuencia Terciaria en el Cráter de Chicxulub, Yucatán a partir de Núcleos del Pozo Yaxcopoil -1". Tesina de Licenciatura, Facultad de Ingeniería, UNAM 2011

- *[http://www.cedip.edu.mx/tomos/tomo06.pdf](http://www.cedip. Francisco, A. C. (1985). Apuntes de Registros Geofísicos de Pozos. División de Ingeniería en Ciencias de la Tierra.</i>• <i><a href=). (s.f.).*
- *<http://www.niton.com/en/niton-analyzers-products/xl3/xl3t>. (s.f.).*
- *Ortiz Alemán Carlos, U. F. (2002). Investigaciones geofísicas sobre crateres de impacto y el cráter de Chicxulub. Cuaderno del Instituto de Geofísica.*
- *<edu.mx/tomos/tomo06.pdf>. (s.f.).*
- *<http://www.niton.com/en/niton-analyzers-products/xl3/xl3t>. (s.f.).*
- *<http://www.limarino.com.ar/Curso%20Ingenieria/Modulo%205.pdf>*