

## *VII. ANÁLISIS DE RESULTADOS*

---

### VII.1 DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA DE LA COLUMNA LITOLÓGICA

Se muestran a continuación los resultados obtenidos de los estudios realizados por petrografía y fluorescencia de rayos X (FRX). Los primeros estudios se enfocaron en la interpretación de 16 láminas delgadas. Todas estas láminas resultaron ser de origen calcáreo y contenido de foraminíferos en su mayoría plantónicos.

Con base en lo mencionado (capítulo VI.2), relacionado a la petrografía y a la descripción de parámetros para la identificación de las rocas carbonatadas, se observaron dos variaciones texturales que reflejan condiciones de depósito en un ambiente de baja energía.

La secuencia comienza con un wackestone con matriz micrítica donde la cantidad de organismos varía de menos a más hacia la base.

A partir de los 404.57 m se pudo observar una caliza tipo de color grisáceo a pardo clara con una porosidad de un 15% del total de la roca presentando algunos fragmentos de color negro (pedernal).

Conforme se fue avanzando, el incremento del pedernal fue en aumento, la caliza se presenta de color blanco a cremoso.

A partir de los 410.83 m la caliza tipo sigue siendo de color gris clara o gris oscura. En esta secuencia se presenta una fractura recristalizada por calcita. El pedernal concentrado en la caliza tiene espesores de 1 a 2 cm

Para los 414.35 m la caliza tipo sigue siendo de color gris clara a gris oscura, sólo que el pedernal comienza a reducir sus espesores de 0.5 a 1 cm y comienzan a aparecer incrustaciones de calcita recristalizada.

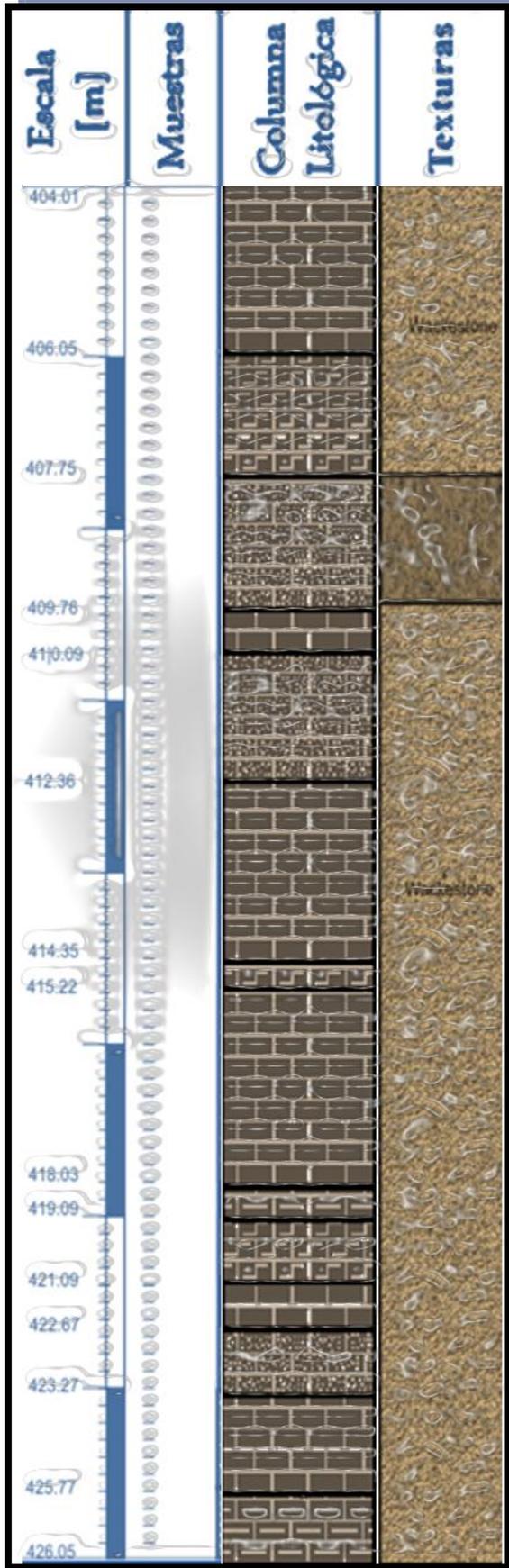
En el metro 418.3 la caliza es de color gris oscuro con pequeños fragmentos de pedernal.

Cerca de los 426 m el pedernal comienza a cubrir gran parte de la caliza.

Esta secuencia de roca cambia de mudstone a wackestone, donde los fragmentos de foraminíferos tanto planctónicos como bentónicos se presentan en la columna.

Debido a que los microorganismos observados en las láminas delgadas de este trabajo, se encuentran fragmentados fue difícil la identificación de los mismos.

A continuación se presentan y describen a detalle la columna litológica analizada y las fotomicrografías obtenidas en el laboratorio.



1.-Caliza de color gris claro donde se observa un incremento de procesos de silicificación en forma de horizontes irregulares y macrofósiles.

2.-Caliza de color gris claro con incremento de material silíceo (pedernal) con estructura laminar y lenticular.

3.-Caliza con cambios de coloración (con respecto a la caliza anterior) y segregaciones de pedernal

4.-Se presentan intercalaciones de caliza con arenisca calcárea. La roca cambia de color a blanco grisáceo, incrementando el contenido de carbonato de calcio.

5.-Intercalaciones de caliza de color oscuro con caliza de color blanco grisáceo en donde se encuentran estructuras alargadas que indican rasgos de Bioclastos. Algunas oquedades están rellenas por calcita.

6.-Aumento del proceso de silicificación.

7.-Presencia en la roca de manchas de aceite y menos contenido de carbonato de calcio. Cambiando a una caliza masiva de color negro a caliza de color blanco con contenido arcilloso.

8.-Horizonte arcilloso con 3 cm de espesor aproximadamente.

9.-Caliza con sílice que presenta estructura reticular.

10.-Caliza de color blanco.

11.-Arenisca de grano fino (arenisca de grano fino)

12.-Se observan concreciones de caliza masiva con aureolas de color gris oscuro con rasgos de porosidad. Se incrementa el contenido de sílice (PYAX217).

13.-Caliza de color gris claro

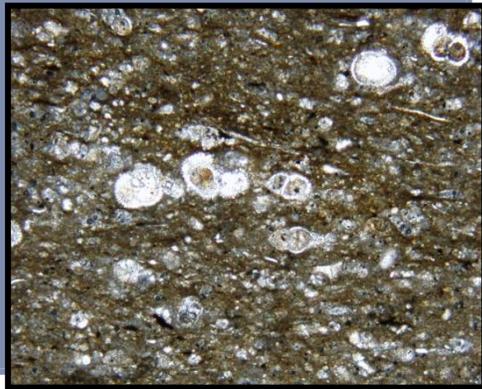
14.-Unidad con mayor contenido de arcilla.

## VII.2. ANALISIS DE MICROFOTOGRAFÍAS

No de Muestra: Pyax-216

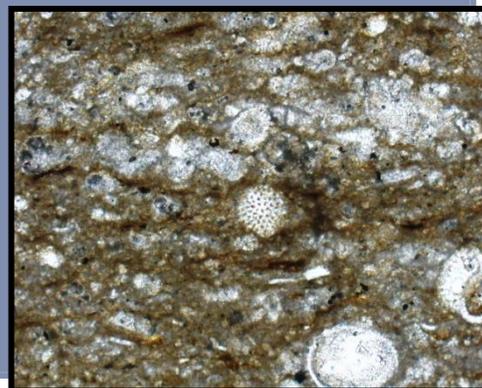
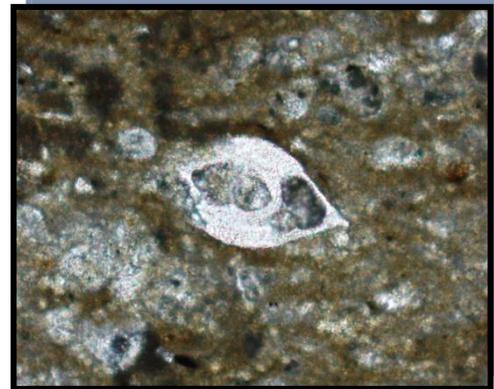
Profundidad: 426.17 m

Nombre: Wackestone de bioclastos de foraminíferos planctónicos



Wackestone en matriz micrítica con algunos bioclastos con cámaras de foraminíferos.  
(luz polarizada paralela 5X)

Cámaras de foraminífero rellenos de material micrítico.  
(luz polarizada paralela 10X)



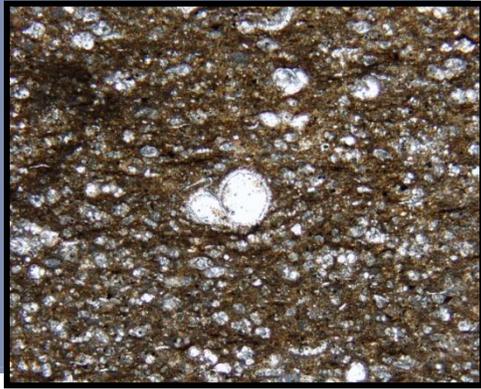
Foraminífero planctónico, tipo globigerínido.  
(luz paralela 10X, S/N)

**OBSERVACIONES:** Se encontraron en lámina, foraminíferos planctónicos tipo globigerínidos y radiolarios en cortes transversales. Presentan pequeños fragmentos de óxidos de Fe.

No de Muestra: Pyax-217

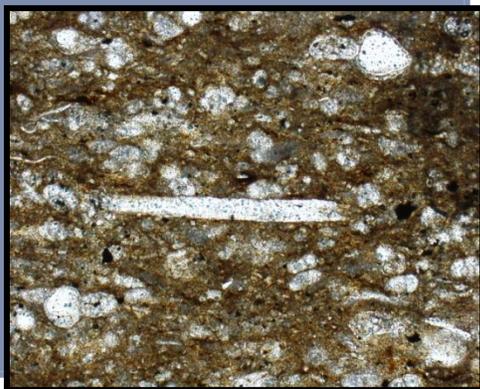
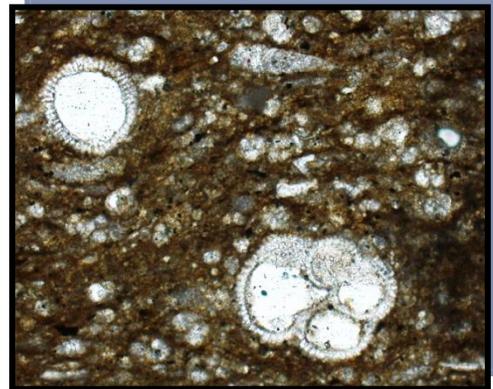
Profundidad: 425.77 m

Nombre: Wackestone de foraminíferos planctónicos



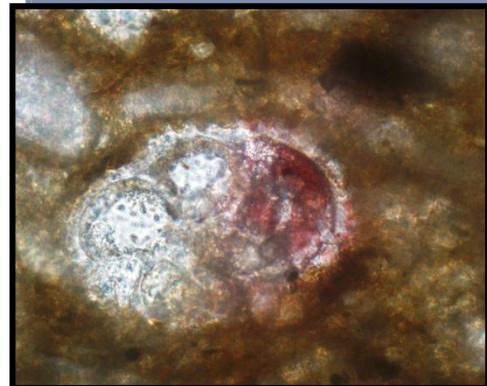
Textura general de wackestone de foraminífero planctónico  
(luz polarizada paralela, 5X)

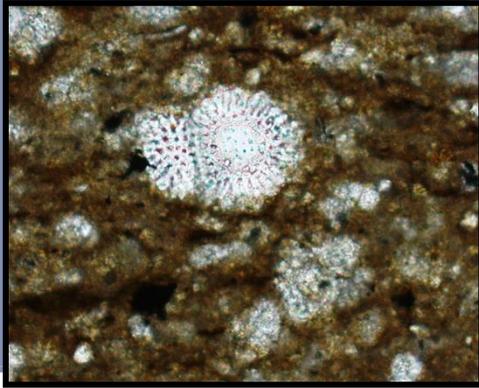
Foraminíferos planctónicos tipo *Globigerínido*,  
(luz paralela, 10X)



Fragmento de espícula de *Equinodermo*  
(luz paralela, 10X)

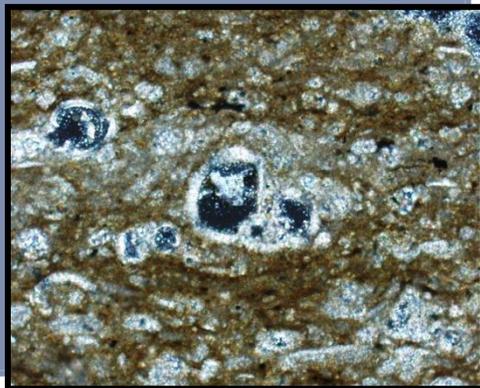
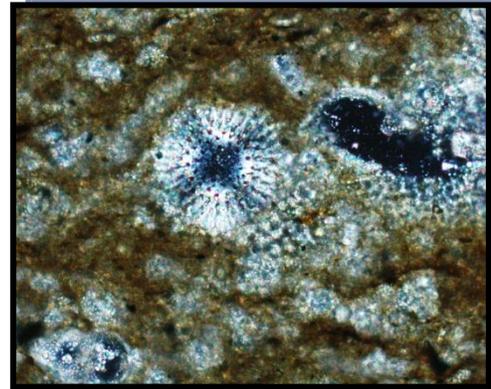
Foraminífero planctónico tipo *Globigerínido*  
(luz paralela, 20X)





Foraminífero planctónico tipo *Globigerinido*,  
presentando reemplazamiento de Si.  
(luz paralela, 10X)

*Cámara foraminífero planctónico*  
(luz paralela 20X)



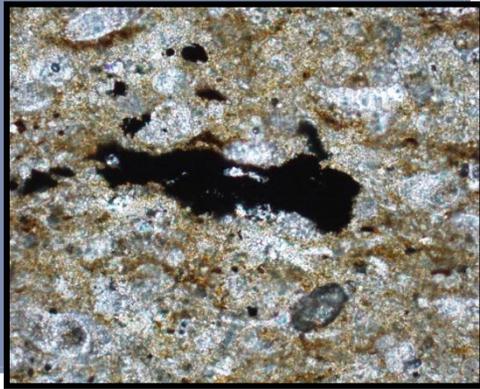
*Foraminífero planctónico tipo Globigerinido*  
(luz paralela, 10X)

**Observaciones:** En esta lámina se pueden encontrar Foraminíferos planctónicos, con pequeños fragmentos de óxidos de Fierro. De la misma forma se observan tanto microforaminíferos y macroforaminíferos; predominan en este intervalo los microforaminíferos.

No de Muestra: Pyax-219

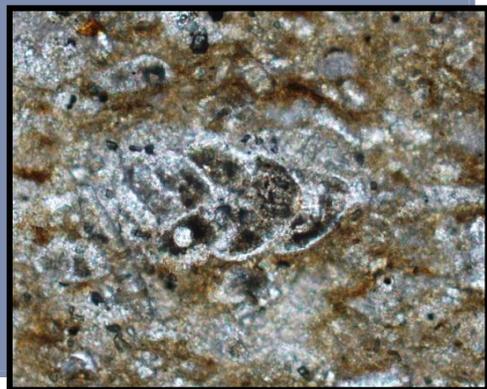
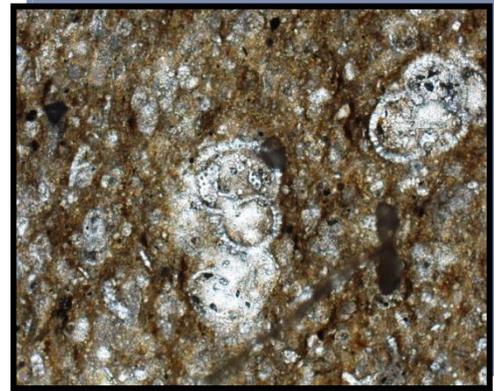
Profundidad: 421.9 m

Nombre: Wackestone de bioclastos con foraminíferos planctónicos



Textura general de Wackestone con segregaciones de minerales de hierro en una matriz arcillosa

Foraminífero planctónico con dos cámaras tipo *Globigerínido*.  
(luz paralela, 10X)



Foraminífero con varias cámaras, se incrementa el contenido de matriz  
(luz paralela, 10X)

**Observaciones:** Textura de Wackestone de bioclastos con foraminíferos planctónicos donde en la matriz se encuentran diseminados sedimentos de FeO; esto por reemplazamiento de la matriz original, los foraminíferos planctónicos predominan. Hay incremento de material arcilloso. Presencia de laminaciones de óxidos de hierro.

No de Muestra: Pyax-220

No de Muestra: Pyax-221

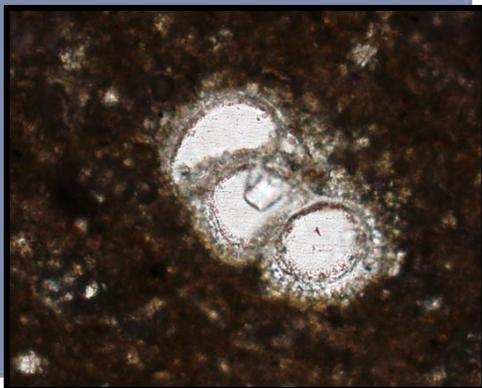
Profundidad: 418.3 m

Nombre: Wackestone de foraminíferos planctónicos

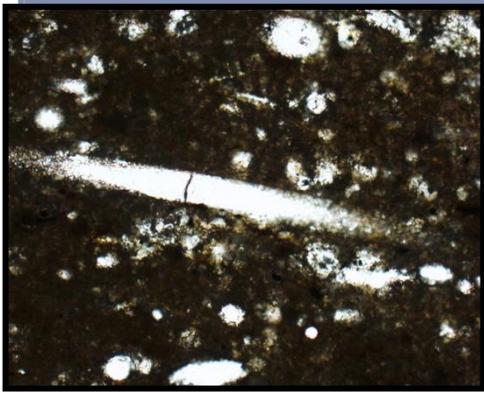


Textura general de Wackestone  
(luz paralela, 5X)

Macroforaminífero tipo Bivalvo (luz  
paralela, 10X)

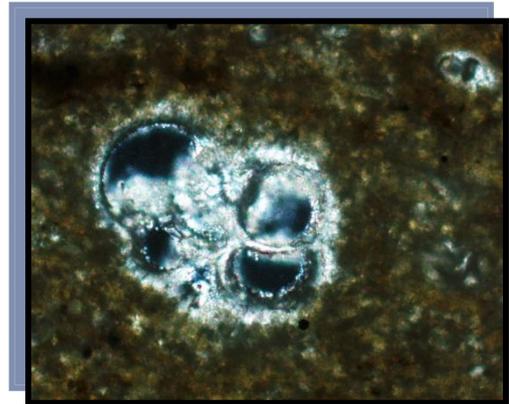


Foraminífero planctónico con tres cámaras tipo  
Globigerínido. (luz paralela, 10X)



Otros rasgos de bioclastos de mayor tamaño como Espícula de Equinodermo (luz paralela, 5X)

Foraminífero planctónico con tres cámaras tipo Globigerínido, en una matriz arcillosa (luz paralela, 5X)

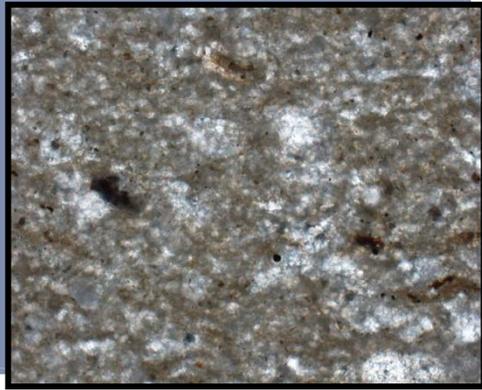


**Observaciones:** Esta lámina presenta filamentos de FeO, los bioclastos se encuentran remplazados por Si, posiblemente por diagénesis, encontrándose los foraminíferos planctónicos en su mayoría.

No de Muestra: Pyax-223

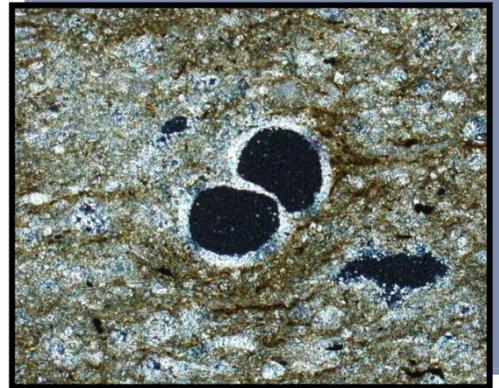
Profundidad: 417.13 m

Nombre: Wackestone de foraminíferos planctónicos

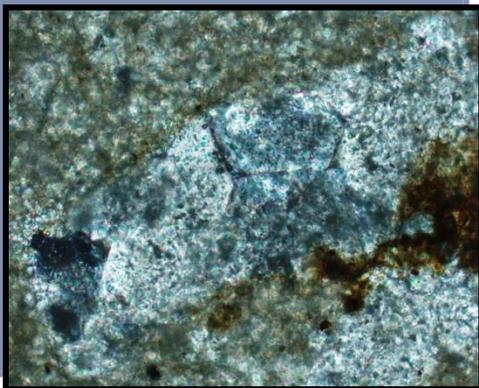


Textura general de Wackestone  
(luz paralela, 5X)

Molde de cámaras de foraminíferos  
plantónicos, con porosidad móldica  
(luz paralela, 10X)



Presencia de FeO por efectos de la  
diagénesis, en la matriz arcillosa.  
(luz paralela, 5X)

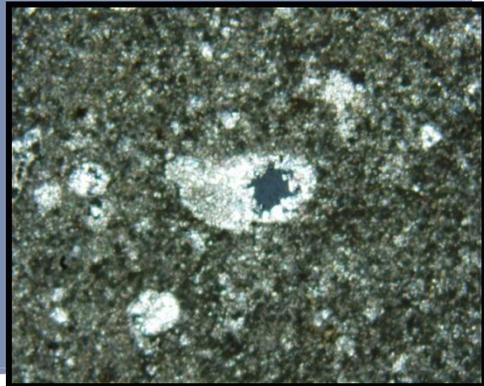


**Observaciones:** Las características de esta lámina son las diferentes laminaciones que se notan a simple vista. La matriz es muy arcillosa en lo que la micrita prevalece en cámaras de bioclastos sin rellenar (incremento de porosidad). Caliza muy arcillosa. Los clastos de sílice se encuentran en las laminaciones del material micrítico.

No de Muestra: Pyax-225

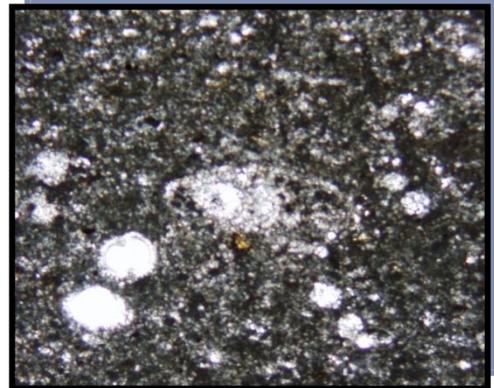
Profundidad: 414.35 m

Nombre: Wackestone de bioclastos con foraminíferos planctónicos



Molde de cámaras de foraminíferos, presentando oquedades rellenas por micrita (luz paralela, 5X)

Presencia de macrofósil con varias microfósiles. Presencia de FeO (luz paralela, 10X)



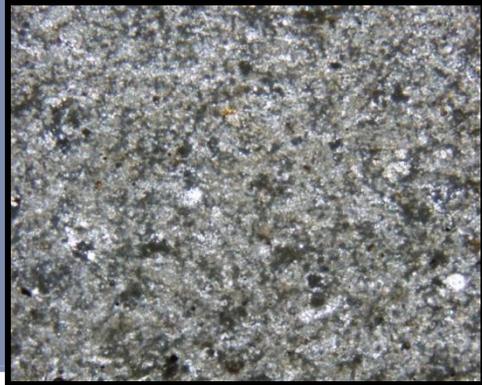
Textura arcillosa con intrusiones de FeO (luz paralela, 5X, S/N)

**Observaciones:** En esta lámina hay presencia de material evaporítico. La diagénesis es posterior a la depositación, se incrementa el material ferroso; existen sólo los moldes de los bioclastos ya que presentan oquedades rellenas de micrita y silice.

No de Muestra: Pyax-227

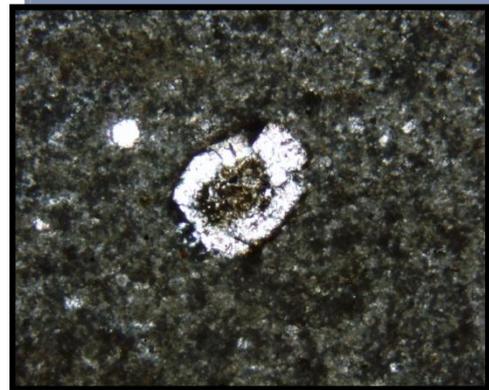
Profundidad: 410.83 m

Nombre: Wackestone de bioclastos con intercalaciones de sílice

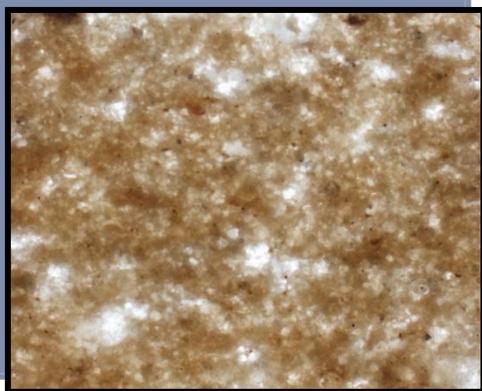


Textura general de Wackestone  
(luz paralela, 5X)

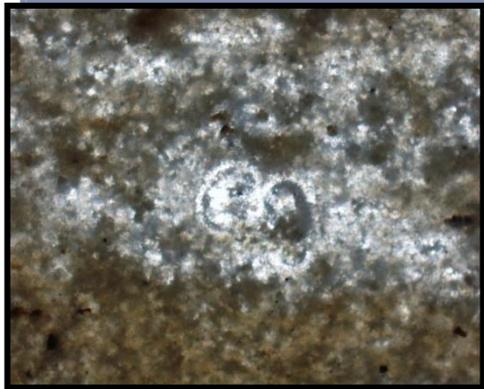
Mineral de Cuarzo retrabajado.  
(luz paralela, 5X, C/N)



### Segunda Textura



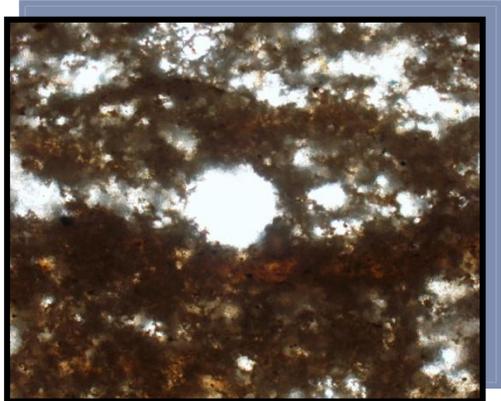
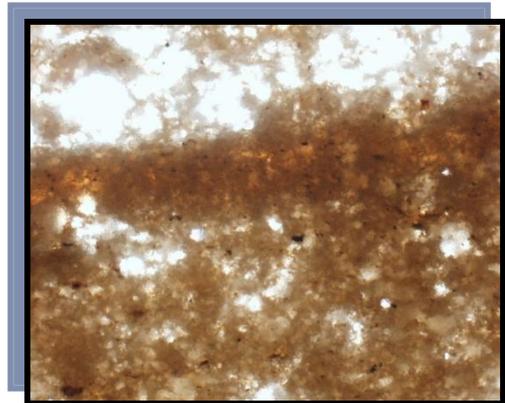
Silicita con matriz calcárea (introducción del Si)



Bioclastos de foraminíferos planctónicos rellenos por sílice.

### Tercer Textura

Wackestone de bioclastos con matriz silícea  
(luz paralela, 5X)



Proceso de diagénesis por reemplazamiento de sílice en las cámaras de foraminíferos  
(luz paralela, 5X)

**Observaciones:** Esta lámina presenta tres cambios texturales; 1) El wackestone de textura principal, 2) Proceso de diagénesis con infiltraciones de sílice 3) El sílice al introducirse al wackestone entra como fluido y lo separa formando la silicita.

La parte más profunda tiene la misma secuencia que la roca anterior, siendo la parte más somera.

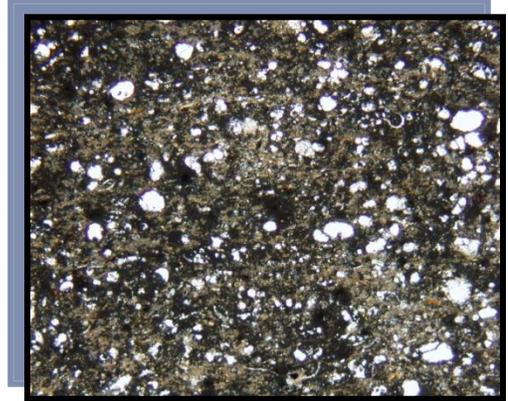
Dentro de la parte del sílice hay fracturamiento en forma: a) Horizontal, b) discontinua, afectando la parte de la caliza pero con menor grado. La presencia de los Bioclastos es menor ya que el Si los recubrió o simplemente al introducirse este los elimino de la muestra.

No de Muestra: Pyax-229

Profundidad: 407.24 m

Nombre: Wackestone-Packestone de bioclaastos de foraminíferos planctónicos

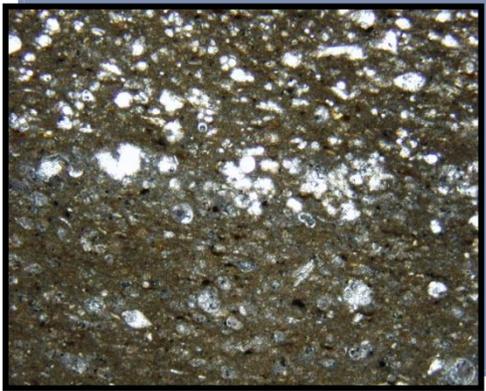
Textura en General (luz paralela, 5X)



Macrofósil relleno de Sílice (luz paralela, 5X)

Fragmento de Braquiópodo (luz paralela, 5X)





Textura de wackestone a packestone de foraminíferos planctónicos. (luz paralela, 5X)

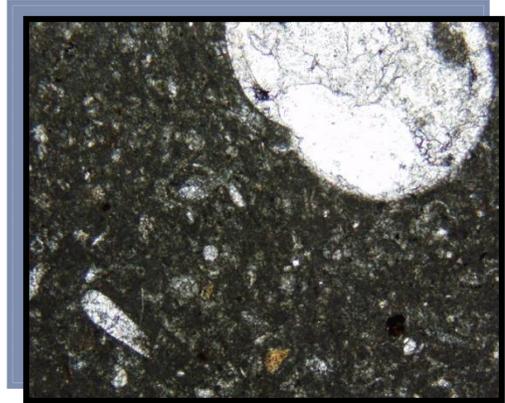
**Observaciones:** Esta lamina presenta dos texturas de wackestone de foraminíferos planctónicos a packestone de foraminíferos planctónicos donde la parte de Wackestone los bioclastos son pocos en comparación con la parte textural del packestone.

No de Muestra: Pyax-231

Profundidad: 404.57 m

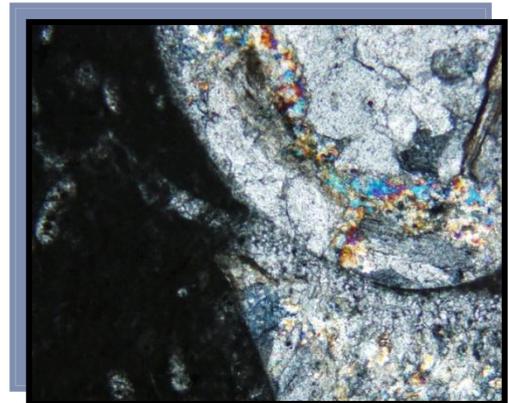
Nombre: Wackestone de bioclastos con macroforaminíferos y fragmentos de braquiópodos

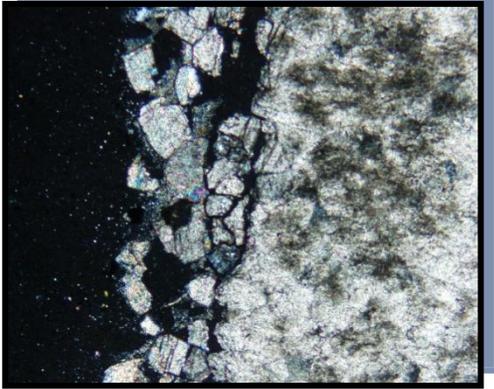
Textura en General de wackestone



Tipo Braquiópodo con proceso de Cementación (luz paralela, 5X)

Tipo Braquiópodo con proceso de cementación.  
(luz paralela, 5X)





(luz paralela, 5X, S/N)

Fragmento alargado de bioclasto reemplazado por sílice.(luz paralela, 5X)



Observaciones: Los macrofósiles predominan en esta lámina, en donde la presencia del Braquiópodo de 2 cm de ancho muestra un proceso de cementación y silicificación, la presencia de material ferroso es casi nula para esta parte de la columna.

### VII.3. ANÁLISIS GEOQUÍMICOS

En lo que respecta a los análisis químicos de fluorescencia de rayos X, para la determinación de los elementos mayores se utilizó el programa de cómputo MIRMOD.QAN con muestra fundida y para la determinación de los elementos traza el programa TRZ98.QAN con muestra prensada, obteniéndose los resultados mostrados en las siguientes tablas.

Conforme a esta técnica se puede obtener la composición general para cada una de las muestras en términos de sus óxidos mayores y de algunos elementos traza. En las tablas (I y II) se presentan los resultados de FRX para 9 muestras obtenidas del intervalo en estudio.

Los elementos mayores, que se analizaron son: SiO<sub>2</sub>, TiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MnO, MgO, CaO, Na<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O y P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>.

En donde CaO es el principal componente en las muestras, el MgO y SiO<sub>2</sub>, siendo los siguientes en proporción y en general los demás restantes se presentan en proporciones bajas menores a 2% (en peso) con un comportamiento muy similar.

Tabla (I). Resultados de los análisis por FRX para elementos mayores en 9 muestras de la secuencia carbonatada el pozo Yaxcopoil-1.

Profundidad [m]	Muestra	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
*	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
404.57	YAX231	1.704	0.012	0.543	0.207	0.003	3.19	51.069	0.1	0.038	0.035
407.24	YAX229	24.847	0.016	1.194	0.313	0.01	0.819	38.516	0.428	0.141	0.068
410.83	YAX227	26.991	0.017	0.614	0.163	0.001	1.641	37.792	0.332	0.076	0.047
414.35	YAX225	12.825	0.046	3.937	0.485	0.019	1.798	42.225	0.65	0.28	0.046
417.13	YAX223	9.124	0.042	1.652	0.442	0.014	4.016	42.335	0.446	0.303	0.482
418.3	YAX221	29.958	0.02	0.727	0.249	0.006	2.547	35.002	0.219	0.114	0.043

421.9	YAX219	16.845	0.043	1.595	0.542	0.011	1.497	41.425	0.505	0.315	0.173
425.77	YAX217	14.584	0.039	1.764	0.5	0.01	1.846	42.106	0.644	0.261	0.133
426.17	YAX216	47.729	0.012	0.646	0.178	0.009	0.776	27.39	0.132	0.084	0.038

Tomando en cuenta que el objetivo principal para este trabajo es el conocer las variaciones verticales de estos elementos desde la cima a la base de la secuencia, se pueden hacer dos importantes observaciones:

1.- El CaO se mantiene en un comportamiento constante desde la cima ~404.57 m, en donde se pueden observar las variaciones en la concentración y la disminución en la parte base de la columna ~426.17

2.- El contenido de MgO tiene un comportamiento inverso al CaO y el SiO<sub>2</sub> muestra diversas variaciones. (Figuras Geoquímica I)

En cuanto a los resultados obtenidos para los elementos traza: Rb, Sr, Ba, Y, Zr, Nb, V, Cr, Ni, Cu, Zn, Th y Pb (Tabla II), el elemento más abundante y característico de rocas carbonatadas es el Sr, el cual se presenta con 1299 ppm en la cima y 561 en la base de la columna.

Tabla (II) Resultados de los análisis por FRX para elementos traza en 9 muestras de la secuencia carbonatada del pozo Yaxcopoil-1.

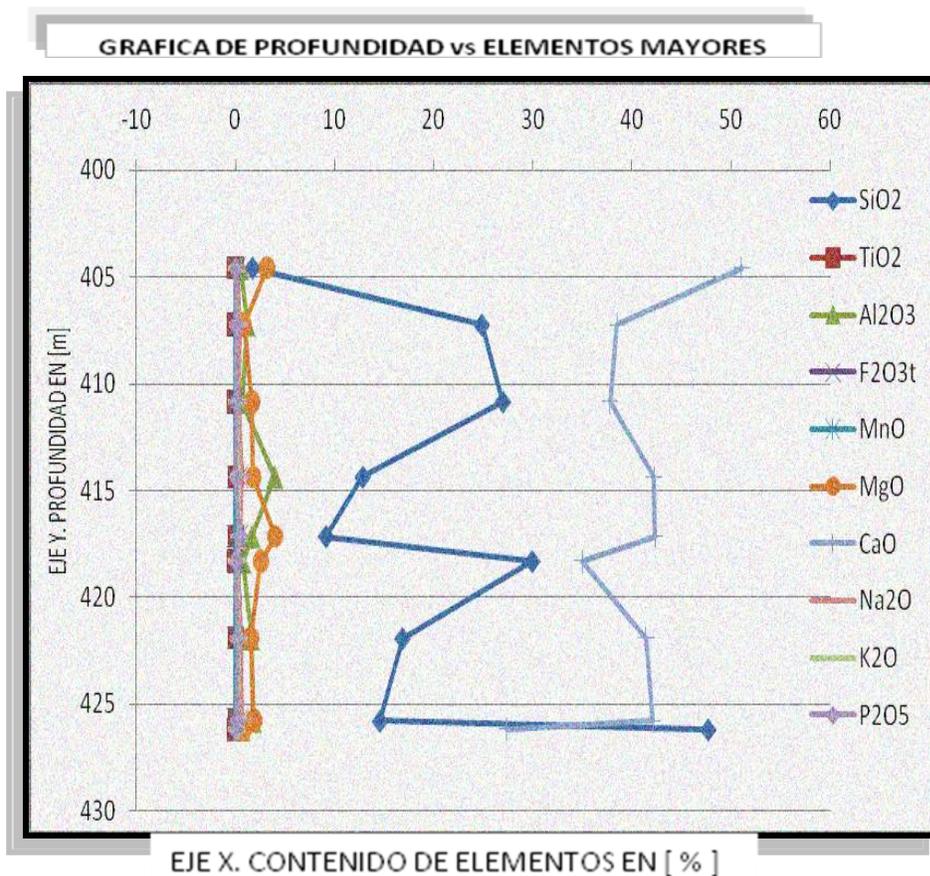
Profundidad [m]	Muestra	Rb	Sr	Ba	Y	Zr	Nb	V	Cr	Co	Ni	Cu	Zn	Th	Pb
404.57	YAX231	3	1299	4	1	108	< 1	27	-8	6	4	<1	1	<3	<5
407.24	YAX229	6	919	25	5	87	< 1	32	18	6	22	10	32	<3	<5
410.83	YAX227	4	1289	12	2	119	< 1	30	13	4	14	6	18	<3	<5
414.35	YAX225	6	2548	2097	3	203	< 1	31	5	8	11	3	14	<3	<5
417.13	YAX223	7	1112	9	8	98	< 1	101	60	7	28	11	40	<3	<5
418.3	YAX221	5	936	8	5	86	< 1	34	21	6	21	9	36	<3	<5

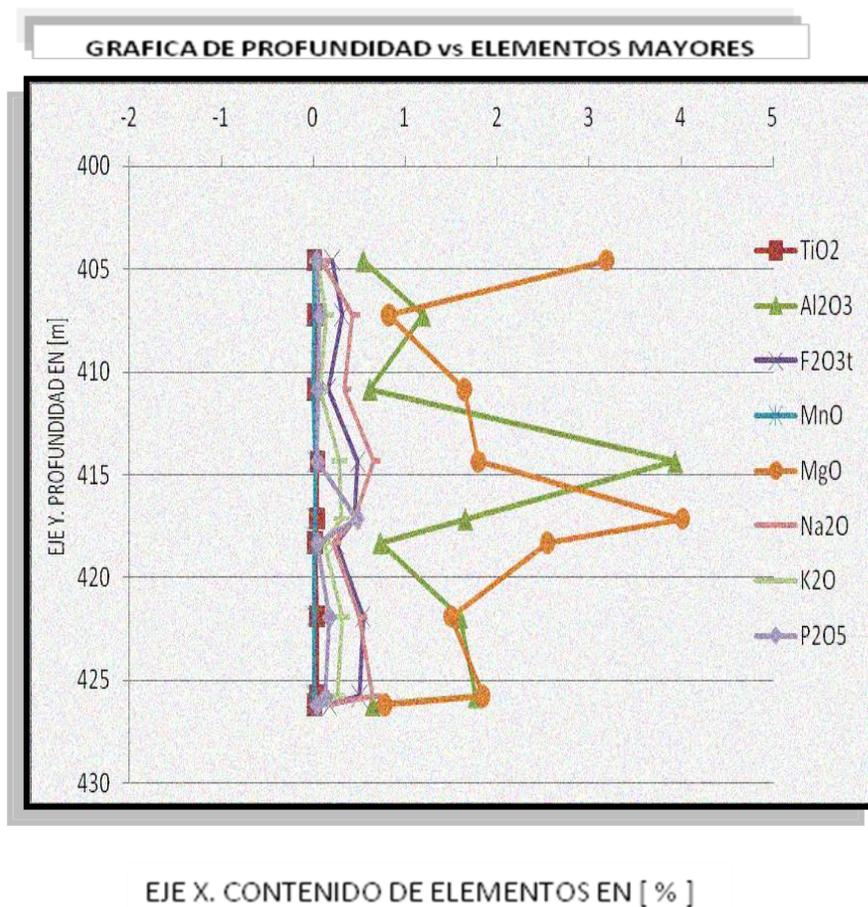
421.9	YAX219	9	960	7	7	87	< 1	64	43	9	33	13	61	<3	<5
425.77	YAX217	8	732	13	7	81	< 1	74	46	7	34	13	61	<3	<5
426.17	YAX216	4	561	9	3	73	< 1	25	15	9	14	9	16	<3	5

Nota: Los valores dados en partes por millón (ppm). El símbolo < indica los valores obtenidos por debajo del límite de detección. Profundidad (Prof.).

Para el caso de los elementos traza restantes: Zn, Cr, V, Cu, Zr y Rb, se observa un proceso de variaciones y en particular en la parte de en medio de la columna (414m; Yax 225), hay cambios notables en cuanto a las ppm que se tiene en los demás elementos. Este aumento es bastante considerable que los demás, como podemos observar a continuación.(Figuras Geoquímica II)

#### ELEMENTOS MAYORES(Figuras Geoq. II)





Los principales componentes de acuerdo a este estudio en base a los elementos mayores muestran una relación entre los elementos CaO, MgO y el SiO<sub>2</sub> en el que se muestra las variaciones de estos elementos en tanto base, cima como en la parte central de la columna.

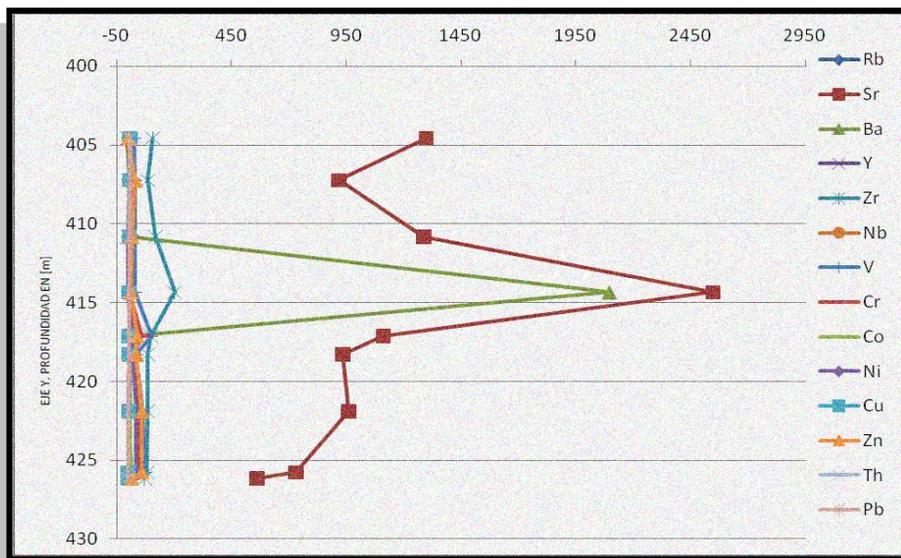
➤ Yax 231; el contenido de CaO tiene un mayor porcentaje (51.069) en relación con el SiO<sub>2</sub> lo que nos indica una mayor aportación de material calcáreo esto por caparazones y esqueletos de animales marinos, así como la desintegración y acumulación de algas. En cuanto al material SiO<sub>2</sub>, se observa un bajo aporte ya que en la parte más somera el aporte de este componente es de entre 2 y 4 mg de Si/l.

- Yax 223; el contenido de CaO (42.335) se mantiene con un alto porcentaje que los otros dos componentes SiO<sub>2</sub> (9.124) y Mg (4.016). Para el caso del SiO<sub>2</sub> la presencia de material de FeO nos determina un proceso diagenético lo cual pudiera ser por sepultamiento de lagunas rocas o por la descomposición mineralógica de algunos elementos. Al entrar en contacto el magnesio desplaza al calcio presentando una mayor porosidad.
- Yax 216; La concentración del SiO<sub>2</sub> en la parte mas profunda de la secuencia nos indica un proceso diagenético.

En cuanto a la petrografía de estas muestras se observan considerablemente los cambios en cuanto a los procesos de dolomitización y procesos diagenéticos ya que los cambios texturales en estas nos indican diversos cambios de base a cima. El conjunto de valores de los elementos traza están influenciados por la procedencia, grado de alteración y diagénesis, grado de selección de la roca, como de factores paleoceanográficos y paleoclimáticos. También por posibles actividades hidrotermales y cambios en los aportes. Estos cambios químicos probablemente ocurren durante el transporte, algunos elementos llegan a ser concentrados en los componentes arcillosos.

# ELEMENTOS TRAZA (Figuras Geoquímica I)

**GRAFICA DE PROFUNDIDAD vs ELEMENTOS TRAZAS.**



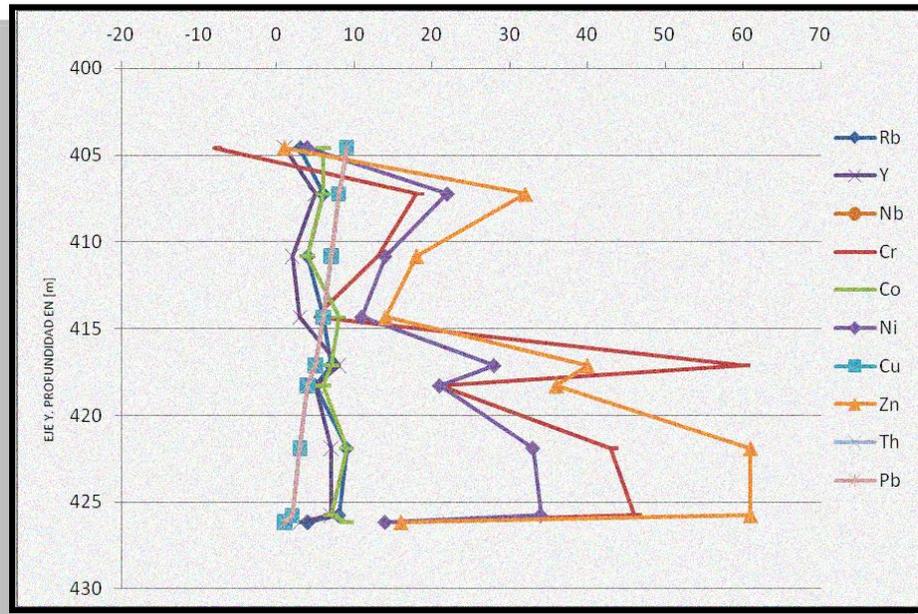
EJE X. TRAZAS EN [ppm]

**GRAFICA DE PROFUNDIDAD vs ELEMENTOS TRAZAS.**



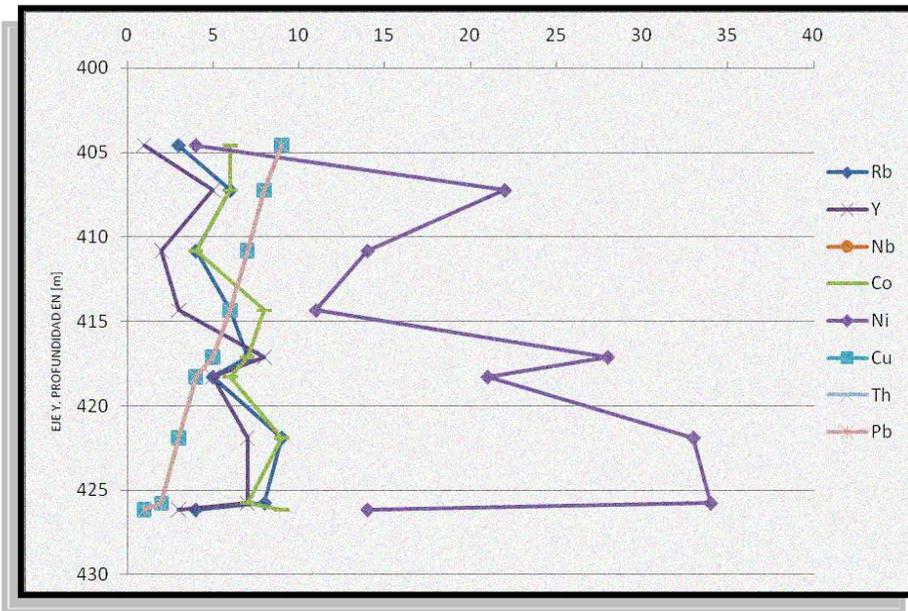
EJE X. TRAZAS EN [ppm]

### GRAFICA DE PROFUNDIDAD vs ELEMENTOS TRAZAS.



EJE X. TRAZAS EN [ppm]

### GRAFICA DE PROFUNDIDAD vs ELEMENTOS TRAZAS.



EJE X. TRAZAS EN [ppm]