



UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN
NICOLAS DE HIDALGO



INSTITUTO DE INVESTIGACIONES METALURGICAS

MAESTRÍA EN GEOCIENCIAS Y PLANIFICACIÓN DEL TERRITORIO

ESTUDIO DE DEPÓSITOS DE TSUNAMIS EN LAS LAGUNAS COSTERAS DE
COLIMA Y JALISCO, MÉXICO.

TÉSIS

Que para obtener el grado de:

MAESTRO EN GEOCIENCIAS Y PLANIFICACIÓN DEL
TERRITORIO

Presenta:

Biól. Luis Matilde García Montes

Director de Tesis: Doctor en Geología Estructural

. Víctor Hugo Garduño Monroy

Co-director de tesis: Dr. Mikhail Ostrooumov

Morelia, Michoacán, Agosto del 2015.

AGRADECIMIENTOS

Gracias a la vida por regalarme tanto...

Gracias a la vida por enseñarme tanto...

Agradezco todo el apoyo y entusiasmo que se me ha brindado para la realización de ésta tesis, en especial al Dr. Víctor Hugo Garduño Monroy que me a enseñado a cruzar barreras, a ser constante y sobre todo a contribuir para que ese granito de arena genere un impacto en las sucesivas investigaciones y sea para bien en la sociedad. Así mismo, al comité de sinodales, al Dr. Mikhail Ostrooumov, a la Dr.a Isabel Israde Alcántara, al Dr. Gabriel Vázquez Castro, al Mtro. Felipe García Tenorio y a la Dra Diana Cinthia Soria Caballero, por sus valiosos comentarios, sugerencias e interpretación de los resultados obtenidos para que se realizara este trabajo de investigación.

También quiero agradecer a la Mtra. Catalina Mejía por su gran apoyo brindado en campo, a la Mtra. Remedios Cisneros por su ayuda en la realización de Espectroscopia de Infrarroja, a la Mtra. Victoria Luke por su ayuda en la realización de Difracción de Rayos X, y al Ing. Francisco Solorio por su ayuda en el microscopio Electrónico de Barrido y al Mtro. Rodrigo Velázquez Durán por su apoyo en el análisis de COT y CIT.

Agradezco a todos los investigadores, a mi familia y amigos que siempre han creído en mí y que de alguna forma han pasado a formar parte de esta tesis y de mi gran aprendizaje adquirido; a todos mis más sinceros agradecimientos.

DEDICATORIA

A mis padres Luisa Montes Alvarado y Nicolás García López, que me dieron la libertad de conocer mi vida en la vida y que a través de su gran amistad, confianza y apoyo he logrado concluir mis estudios.

A mis hermanos: Adán, Leticia, Isabel, Eva y Nicolás; a mis otros hermanos Rito, Trini, y † Arturo; a mis otros hermanos: Abel y † Antonio, que siempre me han dado su confianza y me han apoyado en mis proyectos inculcándome la superación y por tener un lugar muy especial para mí.

A Catalina por ser la persona que ha compartido el camino de la alegría, de felicidad, de tropiezos y de superación.

A mi hija Leslie que ha sido una razón principal para continuar con mis proyectos.

A mis amigos y maestros de la facultad de Biología y de la maestría en Geociencias que siempre han estado en el lugar y momento adecuado: Ricardo Zepeda, zeferino Anaya, Martín Mejía, Martin Zendejas, Edmundo López, Miguel Morales, Erna López, Erika Garduño, Felipe León, Rubén López Gregorio Vázquez, Paco, Alfonso Mata, Adelino Arciga, Edel, Alejandro Pineda, Alberto Orozco, Nahúm Efrén, Saúl Rivera, Arecio Meza, Lorena Hernández, Adrián García, Paloma Salazar,...

**Ver el mundo,
afrontar peligros,
traspasar muros,
acercarse a los demás,
ser sabio,
encontrarse así mismo y sentir.
Ése es el propósito de la vida.**

CONTENIDO

1- ABSTRACT	15
1.1- RESUMEN.....	16
2- INTRODUCCIÓN.....	18
3- ANTECEDENTES.....	20
3.1- Grandes Terremotos del Siglo XX.....	20
3.2- Estudios en México.....	24
3.3- Estudios de susceptibilidad magnética.....	26
3.4- Estudios de diatomeas.....	27
3.5- Estudios geoquímicos: Carbono Orgánico Total (COT) y Carbono Inorgánico Total (CIT).....	27
3.6- Sismos y tsunamis locales.....	28
4- OBJETIVOS.....	31
4.1- Objetivo General.....	31
4.2- Objetivos particulares.....	31
5- HIPOTESIS.....	31
6- PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN.....	32
7- JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	32
8- ÁREA DE ESTUDIO.....	34
8.1- Características litológicas del área costera de Colima y Jalisco.....	35
8.2- Características geológicas del Bloque Jalisco.....	36
8.3- Características morfológicas del relieve.....	37
8.4- Caracterización tectónica del Oeste de México.....	38
8.5- Rasgos tectónicos del Rift de Colima.....	41

8.6- Rasgos tectónicos del Rift de Chapala.....	42
8.7- Rasgos tectónicos del Rift de Tepic-Zacoalco.....	42
9- ORIGEN DE LAS LAGUNAS COSTERAS.....	43
10- GEOFORMAS QUE GUARDAN EL REGISTRO DE LA PALEOSISMICIDAD COSTERA.....	44
11- METODOLOGIA.....	45
11.1- Criterios de selección para el trabajo de campo y ubicación de los sitios de muestreo.....	45
11.1.1- Obtención de muestras.....	46
11.1.2- Trabajo de laboratorio.....	46
11.1.3- Litología y estructuras sedimentarias.....	48
11.1.4- Muestreo de los núcleos.....	48
11.1.5- Técnica para el análisis de diatomeas.....	48
11.1.6- Limpieza y Separación de Ostrácodos.....	49
11.1.7- Control cronológico ^{14}C	50
11.1.8- Susceptibilidad Magnética.....	50
11.1.9- Fluorescencia de Rayos X.....	51
11.2- Técnica para calcular el porcentaje de carbono total.....	52
11.2.1- Método de Difracción de Rayos X.....	52
11.2.2- Espectroscopia Infrarroja (EIR).....	53
11.2.3- Microscopía Electrónica de Barrido (MEB).....	54
12- RESULTADOS.....	55
12.1- Estratigrafía.....	55
12.1.1- NÚC-I-LC-14-12-13.....	55
12.1.2- NÚC-II-LC-14-12-13.....	57
12.1.3- NÚC-VI-LC-16-12-13.....	59

12.1.4- NÚC-III-LLB-15-12-13.....	61
12.1.5- NÚC-IV-LLC-15-12-13.....	63
12.1.6- NÚC-V-LBN-16-12-13.....	65
12.1.7- Gasterópodos, bivalvos y diatomeas.....	67
12.1.8- Susceptibilidad Magnética.....	70
12.1.9-NÚC-I-LC-14-12-13.....	70
12.2- NÚC-II- LC-14-12-13.....	71
12.2.1- NÚC-VI-LC-16-12-13.....	72
12.2.2- NÚC-III-LLB-15-12-13.....	73
12.2.3- NÚC-IV-LLC-15-12-13.....	74
12.2.4- NÚC-V-LBN-16-12-13.....	75
12.2.5- Fechamientos con ^{14}C	76
12.2.6- Fechamientos con ^{14}C NÚC-II-LC-14-12-13.....	77
12.2.7- Fechamientos con ^{14}C NÚC-VI-LC-16-12-13.....	78
12.2.8- Fechamientos con ^{14}C NÚC-IV-LLC-15-12-13.....	78
12.2.9- GEOQUÍMICA.....	80
12.3- Fluorescencia de Rayos X.....	80
12.3.1- FRX NUC-I-LC-14-12-13.....	80
12.3.2- FRX NÚC-II-LC-14-12-13.....	83
12.3.3- FRX NÚC-VI-LC-16-12-13.....	86
12.3.4- FRX NÚC-III-LLB-15-12-13.....	89
12.3.5- FRX NÚC-IV-LLC-15-12-13.....	92
12.3.6- FRX NÚC-V-LBN-16-12-13.....	95
12.3.7- CONTENIDO DE CARBONO ORGÁNICO E INORGÁNICO (COT y CIT).....	98

12.3.8- COT y CIT NUC-I-LC-14-12-13.....	98
12.3.9- COT y CIT NÚC-II-LC-14-12-13.....	100
12.4- COT y CIT NÚC-VI-LC-16-12-13.....	102
12.4.1- COT y CIT NÚC-III-LLB-15-12-13.....	103
12.4.2- COT y CIT NÚC-IV-LLC-15-12-13.....	105
12.4.3- COT y CIT NÚC-V-LBN-16-12-13.....	106
12.4.4- MINERALOGÍA.....	108
12.4.5- Difractogramas de DRX NUC-I-LC-14-12-13.....	109
12.4.6- Difractogramas de DRX NUC-II-LC-14-12-13.....	111
12.4.7- Difractogramas de DRX NUC-VI-LC-16-12-13.....	114
12.4.8- Difractogramas de DRX NUC-III-LLB-15-12-13.....	117
12.4.9- Difractogramas de DRX NÚC-IV-LLC-15-12-13.....	119
12.5- Difractogramas de DRX NÚC-V-LBN-16-12-13.....	122
12.5.1- ESPECTROSCOPIA DE INFRARROJA (EIR).....	123
12.5.2- Espectrogramas de Infrarroja NUC-I-LC-14-12-13.....	124
12.5.3- Espectrogramas de Infrarroja NUC-II-LC-14-12-13.....	126
12.5.4- Espectrogramas de Infrarroja NUC-VI-LC-16-12-13.....	128
12.5.5- Espectrogramas de Infrarroja NUC-III-LLB-15-12-13.....	130
12.5.6- Espectrogramas de Infrarroja NÚC-IV-LLC-15-12-13.....	132
12.5.7- Espectrogramas de Infrarroja NÚC-V-LBN-16-12-13.....	134
12.5.8- MICROSCOPÍA ELECTRÓNICA DE BARRIDO (MEB).....	135
12.5.9- MEB NUC-I-LC-14-12-13.....	135
12.6- MEB NÚC-II-LC-14-12-13.....	136
12.6.1- MEB NÚC-VI-LC-16-12-13.....	137
12.6.2- MEB NÚC-III-LLB-15-12-13.....	139

12.6.3- MEB NÚC-IV-LLC-15-12-13.....	140
12.6.4- MEB NÚC-V-LBN-16-12-13.....	141
13- DISCUSIÓN E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS.....	142
13.1- Relación mineralógica.....	143
13.2- Relación geoquímica.....	144
13.3- Relación de susceptibilidad magnética.....	146
13.4- Relación de COT y CIT.....	149
13.5- Relación ^{14}C	152
13.6- Relación de gasterópodos, bivalvos y diatomeas.....	154
14- CONCLUSIONES.....	155
15- LITERATURA CONSULTADA.....	159
16- ANEXOS.....	172

INDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Grandes sismos mundiales con magnitud (Mw) mayor a 8.0 que han generado tsunamis a partir del siglo XX.....	20
Cuadro 2. Geoformas que guardan el registro paleosismológico en la costa.	45
Cuadro 3. Presenta los objetivos de los proxies utilizados en esta investigación.....	47
Cuadro 4. Especies de gasterópodos y bivalvos encontrados en los seis núcleos.....	68
Cuadro 5. Listado de diatomeas encontradas en los núcleos: NÚC-I-LC-14-12-13 y NÚC-III-LLB-15-12-13.....	69
Cuadro 6. Fechas obtenidas a través de ^{14}C AMS en años AD, de los cinco depósitos de tsunamis.....	77
Cuadro 7. Porcentajes de los elementos mayores obtenidos a través de la FRX en los sedimentos del núcleo NÚC-I-LC-14-12-13.....	80
Cuadro 8. Porcentajes de los elementos mayores obtenidos a través de la FRX en los sedimentos del núcleo NÚC-II-LC-14-12-13.....	83

Cuadro 9. Porcentajes de los elementos mayores obtenidos a través de la FRX en los sedimentos del núcleo NÚC-VI-LC-16-12-13.....	86
Cuadro 10. Porcentajes de los elementos mayores obtenidos a través de la FRX en los sedimentos del núcleo NÚC-III-LLB-15-12-13.....	89
Cuadro 11. Porcentajes de los elementos mayores obtenidos a través de la FRX en los sedimentos del núcleo NÚC-IV-LLC-15-12-13.....	92
Cuadro 12. Porcentajes de los elementos mayores obtenidos a través de la FRX en los sedimentos del núcleo NÚC-V-LBN-16-12-13.....	95
Cuadro 13. COT y CIT del NUC-I-LC-14-12-13.....	98
Cuadro 14. COT y CIT del NÚC-II-LC-14-12-13.....	100
Cuadro 15. COT y CIT del NÚC-VI-LC-16-12-13.....	102
Cuadro 16. COT y CIT del NÚC-III-LLB-15-12-13.....	103
Cuadro 17. COT y CIT del NÚC-IV-LLC-15-12-13.....	105
Cuadro 18. COT y CIT del NÚC-V-LBN-16-12-13.....	106
Cuadro 19. Presenta la correlación de los principales óxidos con valores elevados en los depósitos de tsunamis.....	145

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Extracción de los núcleos en la laguna Barra de Navidad, Jalisco.....	17
Figura 2. Núcleo de sedimentos extraído en la costa oriental de Sumatra Indonesia, en el cual identifican cuatro depósitos de tsunamis.....	21
Figura 3. Muestra una unidad arenosa que evidencia un depósito provocado por la inundación de un tsunami en una laguna de Wairoa, Nueva Zelanda.....	22
Figura 4. Presenta seis facies arenosas con características granulométricas y contenido fósil que permitieron identificarlos como depósitos de tsunamis.....	22
Figura 5. Presenta un nivel arenoso de origen tsunamigénico en contacto basal erosivo con arenas limosas en la laguna costera Los Patos, Venezuela.....	23
Figura 6. Muestra el depósito de arenas bien seleccionadas del tsunami ocurrido en Tailandia en el 2004.....	23

Figura 7. Depósitos de sedimentos en contacto erosivo asociados al tsunami de Camaná, Perú, 2001.....	24
Figura 8. Trinchera en el estuario Palo Verde, Cuyutlán, Colima, en la cual se encuentra el registro de dos unidades de arena que corresponden a dos depósitos de tsunamis.....	25
Figura 9. Núcleos extraídos en la laguna “El Potosí”, Guerrero. En la cual muestran dos depósitos de tsunamis.....	26
Figura 10. Mapa sismotectónico de predominancia de tsunamis lejanos y locales, a lo largo de la costa del Pacífico de México.....	30
Figura 11. Mapa de la área de estudio y de muestreo en las lagunas costeras de Cuyutlán, La Boquita y La Chacala, Playa del Oro, Colima y Barra de Navidad, Jalisco.....	35
Figura 12. Mapa tectónico de la región oeste de México.....	38
Figura 13. Esquema regional del punto triple del occidente del CVTM, del Bloque Jalisco y del Complejo Volcánico de Colima.....	41
Figura 14. Presenta el área de distribución de los núcleos en las lagunas de Cuyutlán, La Boquita y La Chacala, Playa del Oro, en el Estado de Colima y la Laguna Barra de Navidad en el Estado de Jalisco.....	46
Figura 15. Escaneo de los núcleos de sedimento con un sensor en forma de anillo modelo (MS2C) de 100 y 72 mm de diámetro, en frecuencias de 470 y 4700 Hz para la Susceptibilidad magnética.....	51
Figura 16 a) Muestra el registro fotográfico y b) la columna estratigráfica del NÚC-I-LC-14-12-13.....	56
Figura 17 a) Muestra el registro fotográfico y b) muestra la columna estratigráfica del NÚC-II-LC-14-12-13.....	58
Figura 18 a) Muestra el registro fotográfico y 6 b) muestra la columna estratigráfica del NÚC-VI-LC-16-12-13.....	60
Figura 19 a) Muestra el registro fotográfico y b) muestra la columna estratigráfica del NÚC-III-LLB-15-12-13.....	62
Figura 20 a) Muestra el registro fotográfico y 8 b) muestra la columna estratigráfica del NÚC-IV-LLC-15-12-13.....	64
Figura 21 a) Muestra el registro fotográfico y 9 b) muestra la columna estratigráfica del NÚC-V-LBN-16-12-13.....	66

Figura 22 a) presenta el registro fotográfico, b) Columna estratigráfica y c) Gráfica de Susceptibilidad magnética del núcleo NÚC-I-LC-14-12-13.....	70
Figura 23 a) Muestra el registro fotográfico, b) Columna estratigráfica, c) y Gráfica de Susceptibilidad magnética del NÚC-II- LC-14-12-13.....	71
Figura 24 a) Se observa el registro fotográfico, b) Columna estratigráfica y c) Gráfica de Susceptibilidad magnética del NÚC-VI-LC-16-12-13.....	72
Figura 25 a) Se muestra el registro fotográfico, b) Columna estratigráfica y c) Gráfica de Susceptibilidad magnética del NÚC-III-LLB-15-12-13.....	73
Figura 26 a) Se presenta el registro fotográfico, b) Columna estratigráfica y c) Gráfica de Susceptibilidad magnética del NÚC-IV-LLC-15-12-13.....	74
Figura 27 a) Se observa el registro fotográfico del núcleo, b) Columna estratigráfica del núcleo y c) Gráfica de Susceptibilidad magnética del NÚC-V-LBN-16-12-13.....	75
Figura 28. Correlación de los depósitos de tsunamis de acuerdo a las edades obtenidas con ^{14}C	79
Figura 29. Concentración en óxidos de elementos mayores en (%) en el NÚC-I-LC-14-12-13, determinadas mediante FRX.....	82
Figura 30. Concentración en óxidos de elementos mayores en (%) en el NÚC-II-LC-14-12-13, determinadas mediante FRX.....	85
Figura 31. Concentración en óxidos de elementos mayores en (%) en el NÚC-VI-LC-16-12-13, determinadas mediante FRX.....	88
Figura 32. Concentración en óxidos de elementos mayores en (%) en el NÚC-III-LLB-15-12-13, determinadas mediante FRX.....	91
Figura 33. Concentración en óxidos de elementos mayores en (%) en el NÚC-IV-LLC-15-12-13, determinadas mediante FRX.....	94
Figura 34. Concentración en óxidos de elementos mayores en (%) en el NÚC-V-LBN-16-12-13, determinadas mediante FRX.....	97
Figura 35. Concentración de COT y CIT en (%) en el NÚC-I-LC-14-12-13.....	99
Figura 36. Concentración de COT y CIT en (%) en el NÚC-II-LC-14-12-13.....	101
Figura 37. Concentración de COT y CIT en (%) en el NÚC-VI-LC-16-12-13.....	103
Figura 38. Concentración de COT y CIT en (%) en el NÚC-III-LLB-15-12-13.....	104

Figura 39. Concentración de COT y CIT en (%) en el NÚC-IV-LLC-15-12-13.....	106
Figura 40. Concentración de COT y CIT en (%) en el NÚC-V-LBN-16-12-13.....	107
Figura 41. Difractogramas de Difracción de Rayos X obtenidos en el NÚC-I-LC-14-12-13.....	109
Figura 42. Difractogramas de Difracción de Rayos X obtenidos en el NÚC-II-LC-14-12-13.....	111
Figura 43. Difractogramas de Difracción de Rayos X obtenidos en el NÚC-VI-LC-16-12-13.....	114
Figura 44. Difractogramas de Difracción de Rayos X obtenidos en el NÚC-III-LLB-15-12-13.....	117
Figura 45. Difractogramas de Difracción de Rayos X obtenidos en el NÚC-IV-LLC-15-12-13.....	119
Figura 46. Difractogramas de Difracción de Rayos X obtenidos en el NÚC-V-LBN-16-12-13.....	122
Figura 47. Espectrogramas de Espectroscopia de Infrarroja obtenidos en el NÚC-I-LC-14-12-13.....	124
Figura 48. Espectrogramas de Espectroscopia de Infrarroja obtenidos en el NÚC-II-LC-14-12-13.....	126
Figura 49. Espectrogramas de Espectroscopia de Infrarroja obtenidos en el NÚC-VI-LC-16-12-13.....	128
Figura 50. Espectrogramas de Espectroscopia de Infrarroja obtenidos en el NÚC-III-LLB-15-12-13.....	130
Figura 51. Espectrogramas de Espectroscopia de Infrarroja obtenidos en el NÚC-IV-LLC-15-12-13.....	132
Figura 52. Espectrogramas de Espectroscopia de Infrarroja obtenidos en el NÚC-V-LBN-16-12-13.....	134
Figura 53. a) Columna estratigráfica, b) y c) espectrograma y fotografía del MEB a 36 cm y 124 cm de profundidad NÚC-I-LC-14-12-13.....	136
Figura 54. a) Columna estratigráfica, b), c) y d) espectrograma y fotografía del MEB correspondiente a los 49 cm, 107 cm, y 132 cm de profundidad del NÚC-II-LC-14-12-13.....	137

Figura 55. a) Columna estratigráfica, b), c), y d), espectrograma y fotografía del MEB correspondiente a los 68, 125 y 141 cm de profundidad del NÚC-VI-LC-16-12-13.....	138
Figura 56. a) Columna estratigráfica, b), y c), espectrograma y fotografía del MEB correspondiente a los 50 y 87 cm de profundidad NÚC-III-LLB-15-12-13.....	139
Figura 57. a) Columna estratigráfica y b), espectrograma y fotografía del MEB correspondiente a los 75 cm de profundidad NÚC-IV-LLC-15-12-13.....	140
Figura 58. a) Columna estratigráfica, b) y c), espectrograma y fotografía del MEB correspondiente a los 45 y 79 cm de profundidad NÚC-V-LBN-16-12-13.....	141
Figura 59. Correlación de Susceptibilidad Magnética en los núcleos: NÚC-II-LC-14-12-13, NÚC-VI-LC-16-12-13 y NÚC-IV-LLC-15-12-13.....	150
Figura 60. Correlación en porcentajes de COT y CIT en los núcleos: NÚC-II-LC-14-12-13, NÚC-VI-LC-16-12-13 y NÚC-IV-LLC-15-12-13.....	151
Figura 61. Correlación de las fechas obtenidas en los cinco depósitos de tsunamis en años después de Dios.....	153

1- ABSTRACT:

This Thesis is based on a paleo-seismological study, to observe tsunamigenic events that are preserved in the sedimentary records left by the ancient earthquakes of great magnitude. This is based on evidence of abrupt environmental changes in the stratigraphy of the sediments in coastal lagoons generated by earthquakes (paleosismos), and prehistoric tsunamis (paleotsunamis).

In this job six cores were extracted in four coastal lagoons of the states of Colima and Jalisco, with the main objective of using different geochemical and mineralogical proxies including the stratigraphy and identification of microfossils (gastropods, bivalves and diatoms), so that through the interpretation of these results to identify and / or discard paleotsunamis deposits.

These cores were distributed as follows: three cores in Laguna Cuyutlán, a core in the Laguna La Boquita, a core in the Laguna La Chacala, Playa del Oro, Colima, and a core in Laguna Barra de Navidad, Jalisco; overall sediment facies are represented by clay, silt, sand and a few lithic, usually presenting transitional contacts, but are also common discordant and erosive contacts, particularly those related to tsunami deposits.

From the opening of each of the cores in two halves identify managed through stratigraphy and mineralogical and geochemical techniques, the cores two, called the NUC-II-LC-14/12/13 Laguna Cuyutlán, Colima, in its present stratigraphic column from 136 cm to 119 cm deep, the tsunami first deposit with a thickness of 17 centimeters and is dated AD 517 + - 87 years. 111 centimeter on 97.5 centimeter tsunami second deposit with a thickness of 13.5 centimeters is presenting a date of AD 879 + -103 years.

Likewise, the core six marked with the NÚC-VI-LC-13-12-16 Laguna Cuyutlán, Colima, two key tsunami deposits were identified in the stratigraphic column showing their first deposit of tsunami from the 142 centimeter centimeter 139 with a thickness of 4 centimeters, and was dated AD 518 + -88 years. Subsequently, towards the top of the core, from 138 cm to 127 cm second tsunami deposit with a thickness of 11 centimeters displayed, showing a date of AD 1808 + -143 years.

Similarly in the four core marked with the NÚC-IV-LLC-15-12-13 key tsunami deposit ranging from 80 cm to 73 cm, with a thickness of 13 centimeters it was also identified in the stratigraphic column showing a date of AD 1815 + -136 years.

1.1- RESUMEN:

El presente trabajo se enfoca en un estudio paleo-sismológico, para observar eventos tsunamigénicos que se encuentran preservados en los registros sedimentarios que han dejado los antiguos sísmos de gran magnitud. Esto se basa en evidencias ambientales de cambios abruptos en la estratigrafía de los sedimentos en las lagunas costeras generados por sísmos (paleosísmos), y tsunamis prehistóricos (paleotsunamis).

Se extrajeron seis núcleos en cuatro lagunas costeras de los Estados de Colima y Jalisco, teniendo como objetivo principal el de utilizar diferentes proxies geoquímicos y mineralógicos incluyendo la estratigrafía y la identificación de microfósiles (gasterópodos, bivalvos y diatomeas), para que a través de la interpretación de estos resultados poder identificar y/o descartar depósitos de paleotsunamis.

Estos núcleos se distribuyeron de la siguiente manera: tres núcleos en la Laguna Cuyutlán, un núcleo en la Laguna La Boquita, un núcleo en la Laguna La Chacala, Playa del Oro, Colima, y un núcleo en la Laguna Barra de Navidad, Jalisco; en general los sedimentos están representados por facies de arcillas, limos, arenas y escasos líticos, presentando contactos generalmente transicionales, aunque también son comunes los contactos discordantes y erosivos, particularmente los relacionados a depósitos de tsunamis.

A partir de su apertura de cada uno de los núcleos en dos mitades se logró identificar a través de la estratigrafía y las técnicas geoquímicas y mineralógicas, que el núcleo dos (NÚC-II-LC-14-12-13) de la Laguna Cuyutlán, Colima, en su columna estratigráfica presenta desde el centímetro 136 al centímetro 119 de profundidad, el primer depósito de tsunami con un espesor de 17 centímetros y se encuentra fechado en 517+-87 años AD. Sucesivamente del centímetro 111 al centímetro 97.5 se encuentra el segundo depósito de tsunami con un espesor de 13.5 centímetros presentando una fecha de 879+-103 años AD.

Así mismo, el núcleo seis (NÚC-VI-LC-16-12-13) de la Laguna Cuyutlán, Colima, se identificaron dos depósitos de tsunamis en su columna estratigráfica mostrando su primer depósito de tsunami desde el centímetro 142 al centímetro 139 con un espesor de 4 centímetros, y que fue fechado en 518+-88 años AD. Sucesivamente, hacia la cima del núcleo, a partir del centímetro 138 al centímetro 127 se muestra el segundo depósito de tsunami con un espesor de 11 centímetros, presentando una fecha de 1808+-143 años AD.

En el núcleo cuatro (NÚC-IV-LLC-15-12-13), también se identificó en su columna estratigráfica un depósito de tsunami que va del centímetro 80 al centímetro 73, con un espesor de 13 centímetros presentando una fecha de 1815+-136 años AD.

Por lo tanto se concluye que en la Laguna Cuyutlán, Colima, se ha visto afectada por dos grandes eventos tsunamigénicos y la Laguna La Chacala, Colima se han visto afectada por lo menos en una ocasión por un tsunami de gran magnitud.



Figura 1. Extracción de los núcleos en la laguna Barra de Navidad, Jalisco, mostrándose hacia el fondo de la imagen la barra que separa la laguna del mar.

2- INTRODUCCIÓN

En la historia de la humanidad los fenómenos naturales han ocasionado daños devastadores. Uno de los fenómenos más catastróficos son los tsunamis, que han ocurrido en diferentes partes del planeta, el pasado en el Océano Índico en 2004, y el reciente tsunami del 11 de Marzo de 2011, en Tohoku, Japón, (Mimura, *et al.*, 2011).

El tsunami del Océano Índico dio lugar a nuevas investigaciones para entender mejor el origen y comportamiento de los tsunamis (Kanamori, 2006; Stein, 2006; Satake, *et al.*, 2007; Lagos & Cisternas, 2008). Este tsunami mostró el elevado costo de desconocer el pasado de los territorios que han sido afectados por tsunamis (Lagos & Cisternas, 2008).

Los tsunamis son una serie de olas, que se generan en un océano u otros cuerpos de agua y son provocados por terremotos, deslizamientos de tierra, erupción volcánica o impacto de meteoritos (Mcmurtry *et al.* 2004, Dabrio & Polo 2005, Holland and Webster (2007). Los tsunamis generan grandes daños cuando chocan contra las costas. La costa es la interface entre dos de los medios más importantes de la Tierra, y sobre ella sucede gran cantidad de procesos directamente ligados a la población que vive en una franja de aproximadamente 60 km de la línea de la costa. Así mismo, las características propias de la línea de costa y áreas adyacentes, como su forma, estructura, topografía y perfil pueden limitar o favorecer la afectación provocada por tsunamis; solo algunos sismos son capaces de generar tsunamis los cuales han dejado una huella en el registro geológico de las costas, éstas se pueden estudiar con la Paleosismología (estudio de los antiguos sismos) (Minoura *et al.*, 1996).

Los estudios paleosismológicos a nivel mundial han probado ser de gran utilidad para la estimación del potencial sismogénico (determinación de los sismos máximos probables sobre una falla dada y su correspondiente período de retorno), de los accidentes tectónicos de actividad sísmica moderada, tanto en magnitud como de frecuencia, permite explicar el periodo de observación más allá de la sismicidad instrumental (Ramírez 2011). Los registros de tsunamis brindan a largo plazo información para la predicción de peligros ante tsunamis, esto se puede realizar estudiando depósitos de tsunamis prehistóricos.

Los estudios de depósitos de tsunamis prehistóricos se pueden realizar mediante el análisis de los sedimentos y la bioestratigrafía (Pinegina *et al.*, 2003). Actualmente no se conoce el periodo de recurrencia de grandes eventos en muchas zonas del mundo y aunque estos fenómenos no son frecuentes, sus daños son devastadores.

Las características de tormenta y flujo de tsunami son relevantes por el transporte de sedimento y deposición incluyen altura de onda (ola) y período, número de ondas (olas), profundidad del flujo y duración, velocidades acuáticas y estructura de la capa límite. Las

características de los depósitos que son útiles para la comparación incluyen composición del depósito y grosor, distancia de transporte por el sedimento de la orilla, continuidad lateral, distribución del tamaño del grano, estructuras sedimentarias y tendencias verticales dentro del depósito (Morton *et al.*, 2007).

Los asentamientos humanos en las zonas costeras, han aumentado considerablemente en las últimas décadas, las Naciones Unidas estiman que dos tercios de la población mundial viven a menos de 100 km de la línea de costa (Bloom, 1998). En 1994, se estimó que el 33.5% de la población mundial vivía en un rango de elevación de cero a 100 metros sobre el nivel del mar.

Por lo tanto, existe una estrecha relación entre la disminución de la población al incrementar la altitud, y sólo las personas de mediana edad viven por arriba de los 194 metros sobre el nivel del mar, ya que muchos de los peligros geofísicos que perjudican a la humanidad se generan a mayor altitud. Si se evalúa en comparación el peligro de los riesgos costeros con los peligros geofísicos a mayor altitud, sólo en las grandes ciudades costeras la población será más vulnerable a ser impactada por un evento tsunamigénico, por lo que el número de personas afectadas será sustancialmente mayor. Esto estaría reflejando que el balance de los beneficios y peligros que la población humana posee en diferentes altitudes, depende de factores físicos, biológicos, económicos e históricos (Cohen y Small, 1998).

3- ANTECEDENTES

Los estudios de Paleosismicidad de grandes terremotos que ocasionan un tsunami cuentan con gran aceptación a nivel mundial pero aún existen muy pocos trabajos (Goff *et al.*, 2011). Los primeros estudios que se realizaron en los años ochenta son los de Atwater, en las costas de Estados Unidos y Dawson en Europa (Lagos & Cisternas 2004). Estos trabajos, han sido seguidos por una serie de detallados estudios relativos a depósitos de tsunamis pasados en las costas del pacífico de Estados Unidos y Canadá (Atwater & Moore 1992; Clague & Bobrowsky, 1994; Hutchinson & McMillan, 1997; Clague & Bobrowsky, 1999; Clague *et al.*, 2000). La mayoría de estas investigaciones han reportado registros sedimentarios de tsunamis pasados y se observa los patrones contrastantes de deposición entre áreas sísmicamente activas (Costa Pacífica de Estados Unidos y Canadá, Japón, Islas Kuril, Península de Kamchatka y Oceanía) y las áreas pasivas (Costas de Europa).

3.1- Grandes Terremotos del Siglo XX

Los grandes terremotos son considerados aquellos cuya magnitud (M_w) es mayor a 8.0, según Gutenberg y Richter en su obra “Sismicidad de la Tierra” que incluyen los catálogos de los grandes terremotos ocurridos de 1897 a 1952 (Kanamori 1978). Por lo tanto en el cuadro 1, se presenta el registro de los sismos históricos a partir del año de 1906 que han tenido una magnitud (M_w) mayor a 8.0 y que han generado grandes tsunamis en diferentes partes del Planeta.

Lugar del Epicentro	Magnitud	Fecha
Chile, Valdivia	9.5	22 de mayo, 1960
Indonesia, norte Sumatra	9.3	26 de diciembre, 2004
Estados Unidos, Alaska	9.2	28 de marzo, 1964
Japón, Costa de Honshu	9.0 – 9.2	11 de marzo, 2011
Rusia, Península de Kamchatka	9.0	4 de noviembre, 1952
Andrean of Islas, Alaska	8.6	9 de marzo de 1957
Assam, Tibet	8.6	15 de Agosto de 1950
Sur Sumatra, Indonesia	8.5	12 de Septiembre del 2007
Indonesia, Aceh	8.9	11 de abril, 2012
Ecuador y Colombia, frente costas de Esmeraldas	8.8	31 de enero, 1906
Chile, Cauquenes	8.8	27 de febrero, 2010
Banda Sea, Indonesia	8.5	1 de Febrero de 1938
Borde de Chile – Argentina	8.5	11 de noviembre 1922
Estados Unidos, Islas Rata (Alaska)	8.7	4 de febrero, 1965
Norte Sumatra, Indonesia	8.6	28 de marzo del 2005
Japón	9.0	11 de Marzo del 2011

Cuadro 1. Presenta los grandes sismos mundiales con magnitud (M_w) mayor a 8.0 que han generado tsunamis a partir del siglo XX.

El 22 de Mayo de 1960, tuvo lugar en el sur de Chile el sismo de mayor magnitud habido en el planeta en tiempos modernos (Mw 9.5), liberado el 35% de la energía de todos los terremotos del siglo XX, debido a la fuerza con la que fue liberada la energía que había sido acumulada por 385 años (Cisternas et al., 2005).

Este terremoto es el registro más grande en la historia instrumental (Kanamori 1977) que causó un tsunami con alturas de ola promedio de 10 a 15 metros (Cisternas et al., 2005), por un periodo de 12 a 15, minutos. (Atwater et al, 1999., Lagos & Cisternas, 2004). También impactó la zona de subducción de Kamchatka-Kuril, registrando una altura de onda máxima de 5 metros (Pinegina et al., 2003).

París *et al.*, 2007, Muestran un modelo deposicional para tsunamis y concluyen que los depósitos generados por el tsunami el 26 de Diciembre del 2004, representa un caso de estudio para la interpretación de los sedimentos costeros asociados a tsunamis.

Wassmer *et al.*, 2010. Aplicaron la anisotropía de susceptibilidad magnética (ASM), en un núcleo de sedimentos logrando identificar cuatro depósitos de tsunamis. Esta técnica aplicada ayudó a reconstruir la dirección de flujo que prevalece durante la sedimentación, así como la dirección de inundación de las olas, fig. 2.

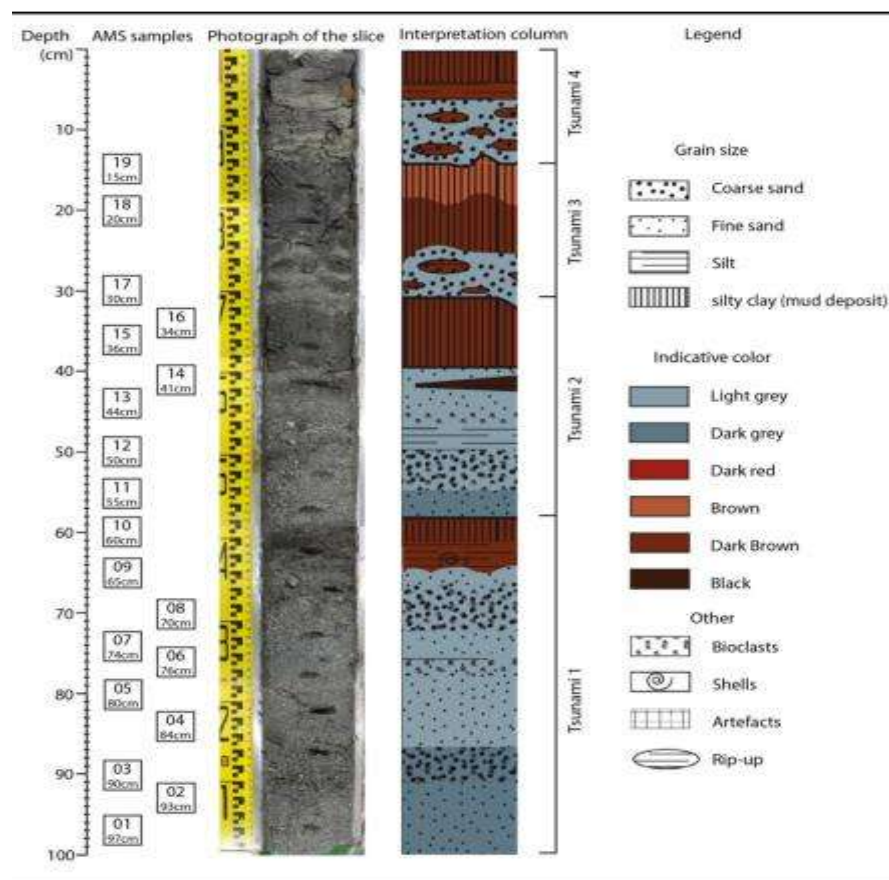


Figura 2. Presenta un núcleo de sedimentos con un metro de profundidad extraído en la costa oriental de Sumatra Indonesia, en el cual a través de la Anisotropía AMS de susceptibilidad magnética y la caracterización morfológica del grano y el análisis de microfósiles lograron reconstruir la dirección de flujo de las olas; así como identificar cuatro depósitos de tsunamis.

Chagué-Goff *et al.*, 2002. Realizaron un estudio en una laguna costera de Wairoa, Nueva Zelanda, que mediante los análisis sedimentológicos, geoquímicos, y micropaleontológicos obtuvieron como resultado un aumento significativo de Na y Na/Rb y una disminución de Fe y Cr en una unidad arenosa y variaciones S, que indican un cambio de agua salobre en agua dulce con la presencia de diatomeas marinas y gradación normal que evidencian la existencia de un tsunami, cuya edad aproximada es de 6300 A.P. fig. 3.



Figura 3. Muestra una unidad arenosa que evidencia un depósito provocado por la inundación de un tsunami en una laguna de Wairoa, Nueva Zelanda.

Pozo *et al.*, 2008. Realizaron un estudio mineralógico de las facies sedimentarias depositadas durante el Pleistoceno-Holoceno superior, en la Península Ibérica, (Parque Nacional Doñana); utilizando técnicas de DRX y ME, identificaron seis facies arenosas cortadas erosivamente. Concluyen que el incremento de ilita en las facies FA-5, confirma junto a criterios sedimentológicos y paleontológicos, la identificación de depósitos de tsunamis, fig. 4.

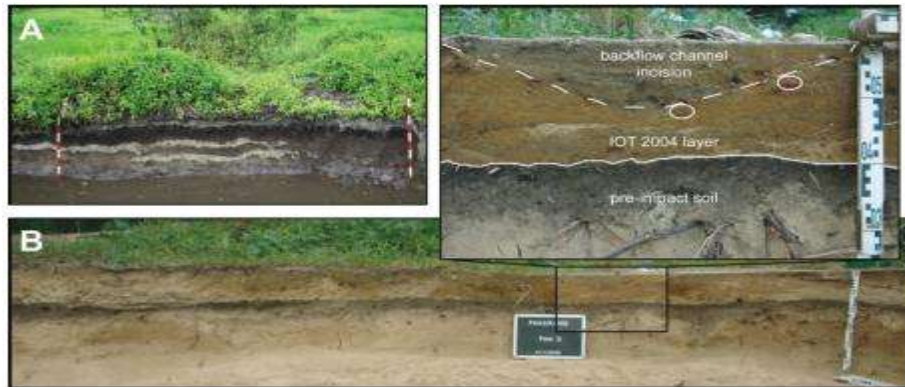


Figura 6. Muestra el depósito de arenas bien seleccionadas del tsunami ocurrido en Tailandia en el 2004.

Cisternas y Lagos 2002. En el tsunami ocurrido el 23 de Junio del 2001, generado por un terremoto de magnitud 8.1, afectó el Sur de Perú. De acuerdo a las investigaciones realizadas tres semanas después de ocurrido el evento, se estableció que el depósito presentaba una amplia y continua distribución de sedimentos compuestos en su mayoría por arena, grava y fangos. La presencia de *Ripple marks* evidencia la dirección del flujo laminar hacia el mar, además se asocia con una capa superior de magnetita. Finalmente, concluyen que las plantas, los *ripple marks* y la selección de un solo tipo de mineral (magnetita), indican que se ha tratado de un fuerte flujo, unidireccional hacia el mar, fig. 7.



Figura 7. Depósitos de sedimentos en contacto erosivo asociados al tsunami de Camaná, Perú, 2001, que presenta erosión laminar con provocada por un fuerte flujo unidireccional, Cisternas y Lagos (2002).

3.2- Estudios en México

El estudio de la actividad sísmica en México es relativamente reciente, sin embargo las observaciones tienen antecedentes remotos. En la época de la colonia, la descripción de los temblores las llevaron a cabo principalmente los frailes. El registro más antiguo que existe para México es el que ocurrió en el siglo XV y finaliza a principios del siglo XIX, con la implementación de la etapa instrumental a través de la instalación de la red Sismológica

Nacional (García & Suarez 1996). La mayoría de los catálogos de eventos sísmicos presentan una carencia de información acerca de eventos de gran magnitud, por lo que es necesario realizar estudios paleosismológicos para aportar información de eventos pasados y con qué magnitud y de cuando ocurrió y así poder realizar probabilidades de algún otro evento (Ramírez et al., 2007; Ramírez, 2011).

El primer tsunami en México, del que se tiene noticia ocurrió en 1787 en las costas de Guerrero y Oaxaca. Donde algunos investigadores han expuesto que este maremoto ha sido el que ha generado las olas más altas registradas hasta la fecha en nuestro país (Ramírez et al., 2007; Ramírez 2011).

Los eventos sísmicos mayores de ($M > 8$) en la zona de subducción de México se confirma con el gran sismo de Jalisco de 1932 ($M_w = 8.1$), el evento de Colima y Jalisco ($M_w = 8$) y el sismo de Michoacán 1985 ($M_w = 8.1$) (Ramírez Herrera et al., 2009); este último devastó áreas densamente pobladas de la Ciudad de México.

Para las costas de Cuyutlán, Colima, Corona & Ramírez-Herrera (2012), realizaron un trabajo enfocado a la caracterización del tsunami acontecido el 22 de Junio de 1932. Concluyendo que el tsunami se ajusta a un patrón de comportamiento característico de tsunamis generados por deslizamiento submarino.

Ramírez-Herrera *et al* (2014), reportan dos depósitos de tsunamis en el Estuario Palo Verde, Cuyutlán. El primer evento corresponde a un tsunami que ocurrió alrededor de 1,300 CE (1,284-1,389 CE), presenta un contacto basal abrupto, cantos rodados de 12 mm de diámetro dispersos en toda la unidad, así como estructuras de flama indicando una licuefacción. Sin embargo no presenta alta susceptibilidad magnética. El segundo evento está asociado con el terremoto del 22 de Junio de 1,932 con M_w 6.9. Muestra un contacto basal abrupto y alta susceptibilidad magnética que indica una entrada de detrítos, inclusión de intraclastos asociados con una alta energía. Geoquímicamente ambos eventos no muestran una clara evidencia de elementos indicadores de alta salinidad como Cl y S, fig. 8.

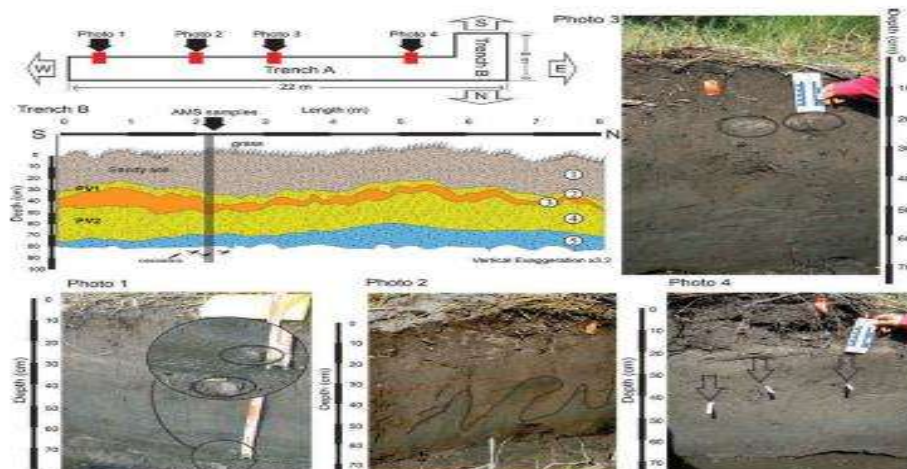


Figura 8. Presenta una trinchera en el estuario Palo Verde, Cuyutlán, Colima, en la cual se encuentra el registro de dos unidades de arena que corresponden a dos depósitos de tsunamis, marcados como PV1 y PV2, y que además presentan estructuras de flamas provocadas por una licuefacción.

Mejía, A. C. (2015). Reporta dos eventos tsunamigénicos en los sedimentos obtenidos a través de dos núcleos en la laguna costera “El Potosí”, Guerrero. El primer depósito de tsunami presenta una edad de 2740-2490 A.P. Está compuesto por sedimentos limo-arcillosos con un contacto basal erosivo. Geoquímicamente reporta alto contenido de Fe_2O_3 , Al_2O_3 , Na_2O , CaO y bajo contenido de COT. Mineralógicamente encuentra minerales como la ilita, montmorillonita, halloysita de 7 y 10 °A, así como pirita, azufre y cloro.; mientras que el segundo evento presenta estructuras de licuefacción que podría deberse a un terremoto con magnitud $M_w \geq 6$, ocurrido aproximadamente en 1715-1565 A.P. se presenta en la fig. 9.

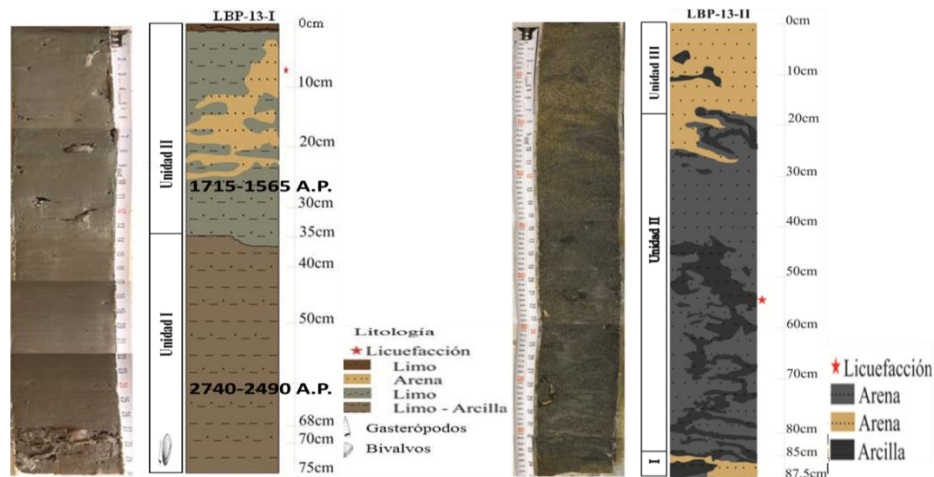


Figura 9. Presenta los núcleos extraídos en la laguna “El Potosí”, Guerrero. En la cual muestran dos depósitos de tsunamis con estructuras arenosas y que a través de la mineralogía y geoquímica se comprueba que corresponde a una incursión marina.

3.3- Estudios de susceptibilidad magnética

Thompson y Oldfield, (1986), realizaron la susceptibilidad magnética para ver el grado de magnetización en la muestra e inferir fuentes de aporte, ya que en algunos minerales en especial ferromagnesianos y el retrabajamiento por distintos tipos de eventos generan mayor magnetización de la muestra.

Thompson *et al*, (1975), consideran que aumentos en los valores de susceptibilidad magnética indican procesos de erosión, en donde la acumulación de minerales magnéticos es por la reducida cubierta vegetal, lluvias intensas u otros fenómenos naturales tales como inestabilidad de los suelos y solifluxión así como tsunamis o deslizamientos de masas.

Vázquez-Castro, (2004), los minerales magnéticos son derivados de diferentes fuentes y procesos asociados a la interacción entre la atmosfera, litosfera, hidrósfera y biósfera dando

lugar al depósito de los mismos en diferentes ambientes y a procesos postdeposicionales que pueden modificar a estos minerales.

Todos los tipos de minerales magnéticos encontrados contribuyen al registro sedimentario; sin embargo, en circunstancias específicas el aporte puede ser significativo como en los casos de actividad volcánica o tectónica, de combustión de material fósil y de incendios forestales y de sequía extrema. En condiciones de sedimentación rápida y alta concentración de materia orgánica, se precipitan óxidos de Mn y se presenta la formación de magnetita biogénica (Karlin *et al*, 1987 en Vázquez-Castro, 2004).

3.4- Estudios de diatomeas

Horton *et al.*, (2007) , en los estudios paleoambientales, los cambios relativos del nivel del mar se ven reflejados en las secuencias sedimentarias costeras a pequeña escala y con una alta resolución y composición de especies de diatomeas en las comunidades, ya que responden a factores químicos, físicos y bióticos, muy específicos en el ambiente.

Taffs, (2001); Hassan *et al.*, (2008); Hemphill-Haley y Lewis, (2003), son una herramienta muy útil en el estudio de paleoambientes debido a que sus valvas están formadas por sílice biogénico, lo que permite su preservación y fosilización al brindar las últimas condiciones paleoecológicas que existieron en la depositación del sedimento. Tafft, (2001), especialmente resisten la degradación en condiciones alcalinas, en donde la columna del suelo se humedece y se seca.

Las diatomeas son algas que producen frústulas de sílice, las cuales se conservan a través del tiempo y por su sensibilidad a su entorno (físico o químico) se utilizan como indicadores ambientales (Metcalf, 1994), y para reconstruir paleoambientes (Israde, 1995).

3.5- Estudios geoquímicos: Carbono Orgánico Total (COT) y Carbono Inorgánico Total (CIT)

Roy *et al.*, (2009), la geoquímica de elementos en sedimentos son usados para entender la evolución de la Tierra a través del tiempo, observando la procedencia de elementos por efectos del intemperismo, adsorción, diagénesis y metamorfismo resultando los elementos que se derivan de la degradación de feldespatos y piroxenos en cationes libres como: Ca, Na, K, Fe y Mn.

Vázquez, (2004), el carbono inorgánico (CIT) es uno de los principales nutrientes del metabolismo fotosintético de algas y macrofitas sumergidas, puede estar relacionado a ciertos factores como tasas de precipitación de minerales carbonatados, o la introducción de carbonatos detríticos dentro del sistema, normalmente se encuentra relacionado con la naturaleza del material que conforma la cuenca y con la química de la columna de agua (salinidad y alcalinidad), ya que las sales o minerales favorecen la precipitación de carbonatos; así, su asimilación por el sistema lacustre suele ser por medio del CO₂ y CH₃.

Cuando el CO₂ atmosférico se disuelve en el agua, los iones hidróxilo elevan el pH del agua; el ácido carbónico generado solubiliza la calcita de formaciones rocosas ricas en calcio de la cuenca, provocando un aumento de iones Ca⁺² y HCO₃⁻ que aumentan el pH.

Vázquez, (2004), el carbono orgánico está presente en los sistemas acuáticos principalmente en forma soluble y sus fuentes de procedencia son alóctonas, tanto de la zona litoral como de la zona pelágica y autóctonas de la vegetación acuática sumergida, el contenido de COT en los sedimentos es un indicador de la productividad pasada, es decir, de la biomasa presente en la cuenca. Margalef, (1983), la concentración de carbono inorgánico aumenta cuando la cuenca presenta comunidades de organismos vegetales y animales menos desarrollados y cuando existen las condiciones ambientales que permiten la reducción del espejo de agua, permitiendo al CaCO₃ disuelto precipitarse en los sedimentos lacustres.

3.6- Sismos y tsunamis locales

Históricamente la costa de Cuyutlán, Colima tiene registros de seis tsunamis: 3, 18, 22 y 29 de Junio de 1932, 19 de Septiembre de 1985 y el 9 de Octubre de 1995 (Novosibirsk Tsunami Laboratory (NTL), 2011; National Geophysical Data Center-National Oceanic and atmospheric Administration, 2012, se infirió que la costa de Cuyutlán pudo haber sido afectada por 27 tsunamis en el periodo de 1875 a 2011.

Los tsunamis ocurridos en Noviembre de 1925, que afectaron las costas de Zihuatanejo, Guerrero con olas de 11 metros de altura; en Junio de 1932, un tsunami con olas de 10 metros de altura invadió el poblado de Cuyutlán, Colima; en Septiembre de 1985, Lázaro Cárdenas, Michoacán e Ixtapa Zihuatanejo, Guerrero, se registró un tsunami con olas de 3 metros de altura, y en Octubre de 1995, en varias poblaciones costeras de Colima y Jalisco, también se inundaron con olas de hasta 5 metros de altura. La costa occidental de México en los estados de Nayarit, Jalisco, Colima, Michoacán, Guerrero, Oaxaca y Chiapas está expuesta al arribo de estos tsunamis de origen local (riesgo mayor) (Farreras & Domínguez 2005), mientras que los estados de Sinaloa, Sonora, Baja California Norte y Baja California Sur están expuestos a recibir tsunamis de origen lejano (riesgo menor) fig.10.

Abril 3, 1787:

En la costa de Oaxaca se observó un movimiento inusual del mar, simultáneamente con un sonido amenazador asociado al sismo. Lo mismo ocurrió en la costa de Pochutla y Juquila, donde se estimó una altura de ola de 4 m.

En Colima en 1816, se describe que "el mar se salió más de 600 pasos", (Catálogo de Tsunamis (Maremotos) en la Costa Occidental del México, 1993).

Junio 3, 1932:

El sismo de magnitud Ms=8.2 se localizó cerca de las costas de Colima y Jalisco a (19.5°N, y 104.25°W). El tsunami generado por el sismo fue observado en Manzanillo, Cuyutlán, Barra

de Navidad y San Blas en Nayarit (Catálogo de Tsunamis (Maremotos) en la Costa Occidental del México, 1993).

Junio 18, 1932:

El sismo de magnitud $M_s=7.8$ y epicentro en (19.5°N y 103.5°W), Después de ocurrido el sismo, en Manzanillo se observó que el nivel del mar bajó y posteriormente subió cerca de un metro. (Catálogo de Tsunamis (Maremotos) en la Costa Occidental del México, 1993).

Junio 22, 1932:

El sismo de magnitud $M_s=7.7$ con epicentro localizado cerca de Colima en (19.0°N , y 104.5°W). El tsunami asociado al sismo tuvo una extensión de la inundación horizontal tierra adentro de un kilómetro y avanzó un trayecto de 25 kilómetros desde Ventanas, Manzanillo hasta Salinas de Guasango, Tecomán, Colima. Cuyutlán fue invadido por otras dos olas de tsunami de menor intensidad: una ola durante la noche del 22 de junio y la otra poco después de las 9 de la mañana el día 23 de junio. En esta ocasión el agua sólo llegó aproximadamente a 500 m. de la costa, (Catálogo de Tsunamis (Maremotos) en la Costa Occidental del México, 1993).

Enero 30, 1973:

El sismo de magnitud $M_s=7.5$ se localizó aproximadamente a 110 km. al Sur del volcán de Colima y 160 km. al Sureste de Manzanillo a (18.4°N , y 103.2°W). El pueblo de Tecomán localizado a una distancia de 100 km.

El tsunami se registró con mayor intensidad en Manzanillo: la altura de la ola inicial midió 0.30 m. y la altura máxima fue de 1.13 m. (Catálogo de Tsunamis (Maremotos) en la Costa Occidental del México, 1993).

Marzo 14, 1979:

El sismo de magnitud $M_s=7.6$ ocurrió cerca del pueblo de Petatlán, Guerrero, a (17.3°N , y 101.3°W). El tamaño del área epicentral fue de 1,200 km cuadrados y se localizó totalmente en la región oceánica.

El tsunami asociado al sismo fue registrado en las estaciones mareográficas de Acapulco, Guerrero y Manzanillo, Colima. En Acapulco, la estación mareográfica más cercana al origen del tsunami registró que la ola inicial fue de 0.21 m. y la bajada máxima de 1.31 m. El período entre la primera y segunda cresta del tsunami fue de 30 minutos. En Manzanillo, la altura inicial del tsunami fue de 0.10 m. y la elevación máxima registrada fue de 0.42 m. (Catálogo de Tsunamis (Maremotos) en la Costa Occidental del México, 1993).

Septiembre 20, 1985:

Este sismo de magnitud $M_s=7.5$ Su epicentro se localizó en el océano Pacífico en (17.62°N , y 101.82°W). El sismo fue un evento simple, de un sólo pulso de liberación de esfuerzos. La zona de ruptura fue de 33 km. de ancho por 66 km de largo. La elevación de la ola inicial fue

de 0.43m. y la altura máxima del tsunami fue de 1.20 m. (Catálogo de Tsunamis (Maremotos) en la Costa Occidental del México, 1993).

Octubre 9, 1995:

Sismo de magnitud $M_s=8.0$ en las coordenadas de $(18.74^\circ\text{N}$, y 104.67°W). Afectó las costas de Jalisco y Colima favoreciendo la presencia de tsunamis a lo largo de 120 km. de costas del Pacífico, desde bahía de Tenacatita en Jalisco hasta Manzanillo, Colima. La amplitud máxima fue de 4.5 m, la evidencia de este crecimiento de agua se localizó a 40 km. al Sureste y 80 km. al Noreste de Manzanillo. El tsunami se presentó cuando el mar dejó expuesto 300 m. de suelo marino, después entró como marea alta tierra adentro, alcanzando una altura de entre 2 y 4 m., este fenómeno se repitió entre 3 y 5 veces. La Manzanilla, población ubicada en Jalisco también fue inundada por el tsunami, donde se reportaron corrientes fuertes. En la Boquita, Colima, también se atestiguó el tsunami alcanzando una altura de 4.5 m. (Catálogo de Tsunamis (Maremotos) en la Costa Occidental del México, 1993).

Enero 21, 2003:

Sismo de magnitud $M_s=7.6$, ubicado en $(18.6^\circ\text{N}$, y 104.22°W) frente a las costas de Cuyutlán, Colima, con una duración de 50 segundos a 10 km. de profundidad, las zonas afectadas fueron el estado de Colima y zonas aledañas de Jalisco y Michoacán.

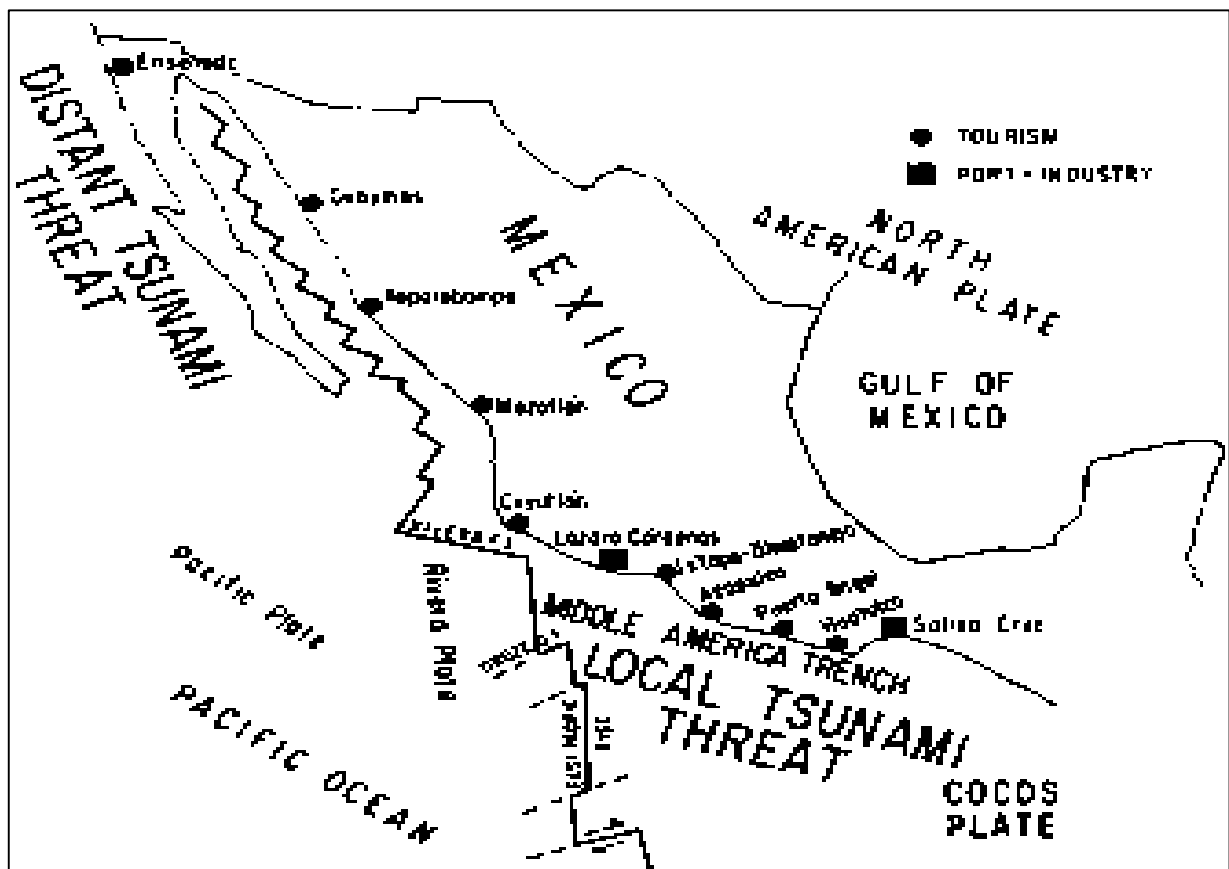


Figura 10. Presenta un escenario sismotectónico y predominancia de tsunamis lejanos y locales, a lo largo de la costa del Pacífico de México (Tomado de: Catalogo de Tsunamis (Maremotos) en la Costa Occidental de México, 1993).

4- OBJETIVOS

4.1- Objetivo General

Identificar eventos sísmicos asociados a depósitos de tsunamis en las secuencias estratigráficas de cuatro lagunas costeras de Colima y Jalisco a través de un análisis de multiproxies y de parámetros que incluyen la estratigrafía, susceptibilidad magnética, mineralogía, geoquímica, isótopo de radio carbono 14 y marcadores biológicos en el contexto paleosismológico.

4.2- Objetivos particulares

- Correlacionar la distribución espacial y temporal; a través de la estratigrafía, geoquímica y mineralogía los eventos de tsunamis ocurridos en las lagunas de Cuyutlán, La Boquita y La Chacala, Colima y Barra de Navidad, Jalisco.
- Identificar cambios en las condiciones ecológicas de las lagunas que puedan estar asociados a los eventos de tsunamis a través del análisis de comunidades de diatomeas, gasterópodos, bivalvos y resultados de mineralogía y geoquímica de los sedimentos para identificar cambios asociados a tsunamis.

5- HIPOTESIS

Las lagunas costeras localizadas en el Sur-Occidente Mexicano presentan las condiciones óptimas para registrar en sus sedimentos la presencia de paleotsunamis que han sido desencadenados por eventos sísmicos relacionados con procesos de subducción y de derrumbes del talud continental.

6- PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN

México se localiza entre cinco placas tectónicas. La placa Norteamericana que comprende la mayor parte del país, la Península de Baja California se encuentra sobre la Placa del Pacífico y Chiapas dentro de la Placa del Caribe, mientras que las placas de Cocos y Rivera se sitúan en el litoral del Pacífico; cuando estas dos últimas placas se mueven hacia las costas del sur del Pacífico de la república Mexicana se produce una colisión con la placa Norteamericana provocando una subducción. Este proceso genera sismos de gran magnitud en las costas de Colima, Michoacán, Guerrero, Oaxaca y Chiapas que hunde una parte de la placa de Cocos bajo la Norteamericana, los cuales, a menudo también generan sismos de gran magnitud que a menudo generan tsunamis. Generalmente cuando ocurre un sismo no se desplaza toda la placa sino una parte del sector que no ha tenido actividad en cierto periodo de tiempo, a estas zonas de movimiento se les llama brechas sísmicas. (Suarez et al., 1990; Anderson & Menking, 1994; Valdés & Novelo 1998). Aunque la sismicidad relacionada con la subducción de la placa Rivera bajo el bloque de Jalisco es relativamente baja, se han documentado seis grandes sismos ($M_s > 7.0$) desde 1837, incluyendo el gran sismo de Jalisco de 1932 ($M_s 8.2$), (Eissler, y McNally 1984). Esta evidencia contradice la hipótesis de que la placa de Rivera subduce de manera asísmica (Nixon, 1982).

Teniendo como antecedente que México se localiza en una región sísmicamente activa a través del Océano Pacífico; aún es difícil comprender que desde tiempos prehistóricos en el mar se han generado fenómenos naturales (terremotos, deslizamientos en masa o impactos de meteoritos), capaces de crear olas de gran tamaño que al entrar en contacto con las costas y liberar toda la energía acumulada, pueden generar grandes daños. Por lo tanto, dichos fenómenos naturales representan una amenaza latente para las poblaciones que residen en zonas costeras (Lagos & Cisternas 2004; Minoura et al., 1996), tal como podría ser el caso de las costas del litoral Pacífico Mexicano.

7- JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

Durante muchos años ha adquirido un potencial interés la reconstrucción paleoambiental de depósitos sedimentarios de edades cuaternarias en áreas litorales actuales, obteniendo información sobre la evolución sedimentológica y geomorfológica de una variedad de depósitos relacionados a tsunamis en diversas localidades, edades y ambientes sedimentarios. El estudio de los eventos tsunamigénicos que ocurrieron en el pasado son importantes por que nos permiten conocer el alcance y los periodos de recurrencia de los tsunamis. Particularmente toma especial importancia el registro de depósitos de tsunamis que pueden presentar un periodo de retorno potencial, lo que hace sugestivo su estudio; no sólo desde el punto de vista sedimentológico, sino por la gran repercusión social en cuanto a la prevención de riesgo geológico que puede representar en el futuro cercano (Pozo *et. al* 2008).

La invasión de las olas tsunamigénicas, cargadas de energía, en el continente pueden dejar impresiones geológicas muy notorias en las áreas costeras. No obstante estos ambientes generalmente tienen un bajo potencial de preservación para este tipo de estructuras. Sin embargo, las lagunas costeras, pueden funcionar eficientemente como trampas de sedimentos, ya que son ambientes relativamente tranquilos (Clifton, 1988; Einsele *et al.*, 1996).

El impacto de las olas tsunamigénicas en la costa, generan depósitos sedimentarios característicos, constituido por material marino transportando, sedimentos continentales y materia orgánica, las cuales pueden quedar preservados en los ambientes lagunares. (Shiki *et al.*, 2008). En ellos, el uso de técnicas geoquímicas y mineralógicas se han convertido en una de las herramientas principales para el estudio de los depósitos sedimentarios relacionados con tsunamis.

Los tsunamis generan grandes daños cuando chocan contra las costas, pero sólo algunos terremotos son capaces de producir tsunamis (Minoura *et al.*, 1996), no obstante estos eventos representan un riesgo permanente para los asentamientos humanos que conviven en sectores potenciales a experimentar este tipo de amenazas (Lagos y Cisternas 2004)

En México el mayor peligro a tsunamis proviene de los sismos que ocurren a lo largo de las costas del Pacífico, entre las Ciudades de Puerto Vallarta, Jalisco y Tapachula, Chiapas. En esta zona no sólo se producen sismos con mayor frecuencia, sino también son los mayores sismos registrados en el país que tuvieron su epicentro en estas ciudades. Estos sismos por su cercanía a las costas representan un grave peligro para las poblaciones costeras, y que también afectan al Valle de México, como se ha constatado durante los grandes sismos de 1911, 1957, 1979 y 1985. Otro ejemplo, es la ciudad de Manzanillo, Colima, en la cual es común la ocurrencia de sismos de diferentes magnitudes la mayoría de los cuales resultan imperceptibles para la mayoría de la población, pero que históricamente tiene el mayor registro de tsunamis para el país. Esta ciudad está ubicada en una zona muy susceptible a la sismicidad, por lo que hace que en toda esta región existan los movimientos telúricos frecuentemente. Esta actividad es el resultado del proceso de subducción que existe entre la Placa de Cocos y la Placa Continental Americana.

Esta investigación genera nuevos datos respecto a los sismos y tsunamis ocurridos en el pasado; a nivel local los resultados aquí presentados servirán de apoyo a las autoridades para formular políticas y ejecutar acciones encaminadas a reducir los niveles de vulnerabilidad ante los eventos sísmicos y tsunamigenéticos y por consiguiente, brinda información relevante para establecer una zona de riesgo sobre la línea costera del litoral de Colima y Jalisco ante la llegada de un posible tsunami. El conocer la probabilidad de recurrencia de los grandes tsunamis que han afectado las costas del Pacífico es un requisito fundamental para cualquier estudio de riesgo, en el país, representando un insumo básico para la planificación y ordenamiento de los asentamientos humanos el borde costero.

8- ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio se localiza en las siguientes lagunas costeras de los Estados de Colima y Jalisco; fig. 11.

Laguna Cuyutlán, Colima; en la cual se extrajeron 3 núcleos:

El núcleo 1 denominado, NUC-I-LC-14-12-13, con las siguientes coordenadas: (599632.00 m E. y 2095238.00 m N. Zona 13 Q), a una distancia de 3.80 km entre la línea de costa y el punto de extracción en la laguna, presentando una altura máxima en la barra de 15 metros.

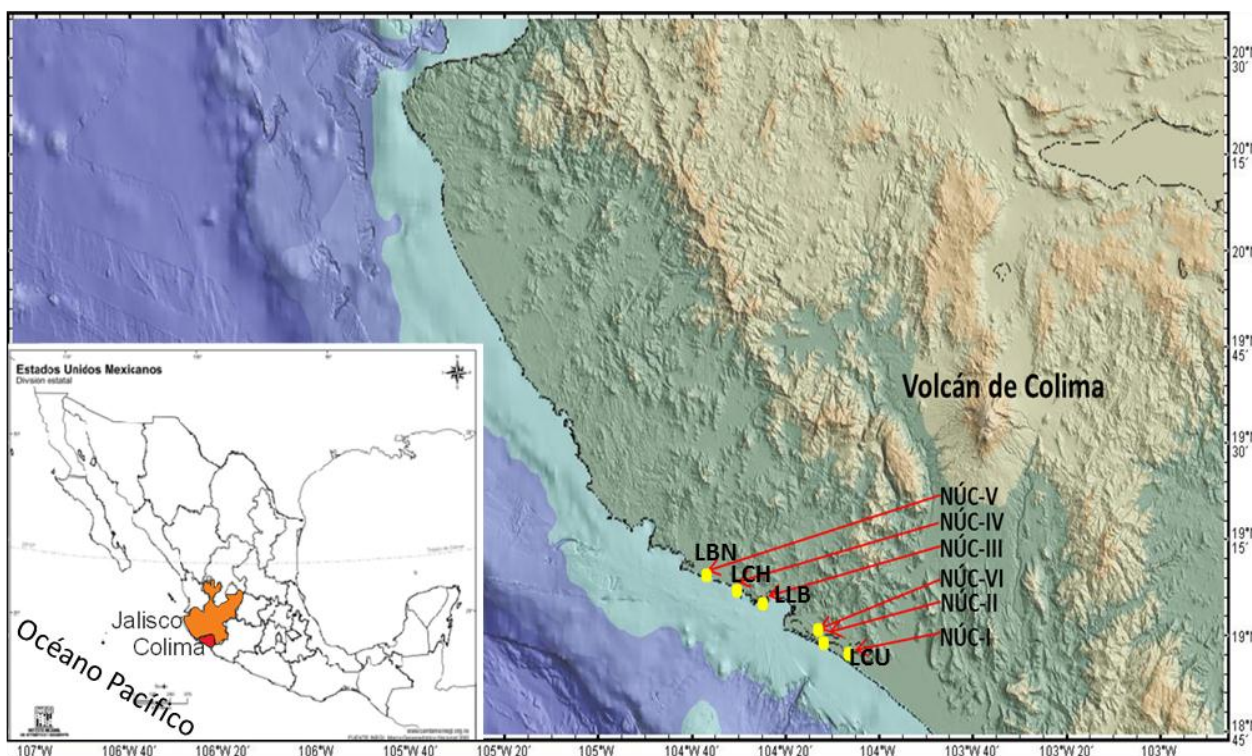
El núcleo 2 denominado, NUC-II-LC-14-12-13, con las siguientes coordenadas (587766.00 m E y 2099869.00 m N. Zona 13 Q), a una distancia de 2.57 km entre la línea de costa y el punto de extracción en la laguna, presentando una altura máxima en la barra de 14 metros.

El núcleo 6 denominado, NUC-VI-LC-16-12-13 con las siguientes coordenadas (582830.00 m E y 2101295.00 m N. Zona 13 Q), a una distancia de 2.70 km entre la línea de costa y el punto de extracción en la laguna, presentando una altura máxima en la barra de 12 metros.

En la laguna La Boquita, Colima, se extrajo el núcleo 3 denominado, NUC-III-LLB-15-12-13 con las siguientes coordenadas (562807.12 m E y 2112874.77 m N. Zona 13 Q), a una distancia de 0.43 km entre la línea de costa y el punto de extracción en la laguna, presentando una altura máxima en la barra de 4 metros.

En la laguna La Chacala, Colima, se extrajo el núcleo 4 denominado, NUC-IV-LLC-15-12-13 con las siguientes coordenadas (548577.70 m E y 2116891.94 m N. Zona 13 Q), a una distancia de 0.79 km entre la línea de costa y el punto de extracción en la laguna, presentando una altura máxima en la barra de 9 metros.

En la laguna Barra de Navidad, Jalisco, se extrajo el núcleo 5 denominado, NUC-V-LBN-16-12-13 con las siguientes coordenadas (534774.00 m E y 2122091.00 m N. Zona 13 Q), a una distancia de 1.92 km entre la línea de costa de la boca de la laguna y el punto de extracción, presentando una altura máxima en la barra de 6 metros; mientras que la distancia desde el



punto de extracción y la línea de costa por la barra lateral es de 2.05 km y la altura máxima es de 17 metros.

Figura 11. Área de estudio y de muestreo en las lagunas costeras de Cuyutlán (LCU), La Boquita (LLB) y La Chacala, Playa del Oro (LCH), Colima y Barra de Navidad (LBN), Jalisco.

8.1- Características litológicas del área costera de Colima y Jalisco

El área de estudio se localiza en los Estados de Colima y Jalisco, en el sureste del bloque Jalisco, de la sub provincia Planicie Costera Discontinua dentro de la provincia Fisiográfica Sierra Madre del Sur (Raiz E. 1964). Esta región está influenciada por la actividad tectónica de la zona de subducción entre las placas de Cocos y Rivera que se sumergen bajo la placa Norteamericana a lo largo de la trinchera Mesoamericana (Singh, *et al.*, 1981; Nixon, 1982; Eissler & MacNally, 1984; Luhr, *et al.*, 1985; Singh, *et al.*, 1985; Ramírez-Herrera, *et al.*, 1999; Ramírez-Herrera, *et al.*, 2010).

La parte de este bloque del Estado de Colima está constituida por un conjunto de sierras menores con ejes en diferentes direcciones. También se presentan múltiples lineamientos; a) lineamientos rectilíneos con direcciones predominantes N-S, NNE-SSW, NE-SW y E-W, que se han interpretado como fallas inactivas; dos lineamientos han sido considerados como extensión de las fallas activas que se encuentran en la depresión de Colima y el otro desviando el río Armería; sin embargo, los depósitos cuaternarios no se encuentran afectados por fallas, pero en algunas zonas presentan arcos circulares asociados con casquetes casi esféricos, que pueden ser evidencias de antiguos colapsos volcánicos.

01.

La subprovincia Planicie Costera Discontinua donde se ubica la llanura costera de Cuyutlán, en el Estado de Colima presenta de NW a SE tramos discontinuos de planicies costeras constituidas por terrenos casi planos a medianamente inclinados, que corresponden, en sentido restringido, a planicies aluviales con abanicos aluviales y conos de deyección a los lados; terrenos subhorizontales de playas lagunares; terrenos largos y angostos conteniendo en su interior barras arenosas de menos de 5 m de altitud, que constituyen a la planicie litoral que separa del océano cuerpos de agua como la Laguna Cuyutlán; por último, entre esta planicie y el océano se encuentra un cordón litoral de lomas entrelazadas, sin arroyos, con menos de 25 msnm, que son los cordones de médanos o planicies eólicas: dentro de las planicies mencionadas en sentido restringido sobresalen cerros de roca cohesiva, denominados “Cerros Islas” rodeados de sedimentos recién depositados durante el cuaternario.

01.

El bloque de Jalisco se puede dividir en dos dominios sobre la base de la litología en las rocas expuestas. Estos se conocen como los dominios del suroeste y noreste (Maillol et al., 2006). Los afloramientos en el dominio al sudoeste son principalmente Cretácico-Paleoceno que corresponden a rocas intrusivas de la serie cálcico-alcálica: así como a sedimentarias y volcánico-sedimentarias del Cretácico (granito y tonalita, 100-60 ma Schaaf, 1995). El batolito de Puerto Vallarta es un granito con alto contenido de sílice ocasionalmente se encuentra con mica blanca. Mientras que los Plagiogranitos, gabros, granitos y granodioritas se encuentran en el plutón de Manzanillo. También las rocas metasedimentarias corresponden al Triásico y Jurásico medio (-130 ma) caracterizadas por turbiditas marinas, que presentan afloramientos en áreas pequeñas y son similares a los encontrados en los terrenos Guerrero (Schaff et al., 1995).

Rev. mex. Geo. Vol. 30. No. 2 México ago. 2013.

8.2- Características geológicas del Bloque Jalisco

El Bloque Jalisco está geológicamente constituido de las rocas más antiguas a las recientes, tres unidades de rocas metamórficas correlacionables con la formación Taxco del Misisípico-Pensilvánico; en otros afloramientos se identifican pizarras carbonosas, calizas foliadas y metareniscas con dos foliaciones bien desarrolladas, correlacionables, con una formación sin nombre formal del Pensilvánico-Pérmico y por último, lavas, lahares y tobas de composición andesítica, correlacionable con la formación Taxco Viejo, del Jurásico Medio. Las unidades estratigráficas están atravesadas por rocas intrusivas agrupadas en el llamado Batolito Tomatlán, el cual tiene tres fases de ascenso de magmas. La primera que se extiende en los Estados de Jalisco, Colima y Michoacán, está constituida por granitos y granodioritas de textura fanerítica de grano grueso, que cortó a las rocas anteriores durante el Cretácico Superior. La segunda fase, está compuesta por tonalitas, dioritas y granodioritas de textura fanerítica de grano medio, que intrusionan a las rocas preexistentes en el Terciario-Paleoceno. La tercera fase de monzonita con textura porfirítica (cristales grandes redondeados por cristales pequeños) y estructuras particulares definen la penetración de magmas a profundidades relativamente someras durante el Oligoceno.

Entre el Paleoceno y el Oligoceno, la región presentó un periodo de fallamiento normal, con la formación de sierras y valles estructurales menores (horsts y grabens), depositándose sedimentos continentales en forma de abanicos aluviales. Los terrenos bajos de fines del Terciario, han sido rellenados con sedimentos fluviales, aluviales y costeros durante el cuaternario y presentan una gran variedad de granulometrías con fragmentos de diámetros desde peñascos hasta arcillas con consistencias desde muy firmes hasta disgregables (INEGI, 2011).

8.3- Características morfológicas del relieve

Los sistemas de topoformas de mayor altura, se localizan al Norte y Sur del Municipio de Manzanillo, con elevaciones del nivel del mar desde 800 a 1600 msnm. las serranías y cerros más importantes son los siguientes: San Buenaventura, El Tigre, El Aguacate, Las Grutas, El Chupadero, El Centinela, Las Tablas, entre otros de menor altura. Respecto a la orografía, a 7.5 km al Suroeste del Cerro del Ocote se encuentra un pequeño grupo de cuatro cerros, tres de ellos alineados en una hilera de unos 8 km de longitud que se orienta de Este a Oeste. El primero es el Cerro de La Espumilla, con 1400 m de altitud, siendo el mayor dentro del territorio de Manzanillo, a su izquierda el Cerro de Los Naranjos con altitud de 1100 m. y en el extremo Oeste un cerro de altitud 940 m. y hacia el Sur se encuentra el Cerro Mina Colorada de 1080 m de altitud.

La morfología costera está compuesta por playas arenosas, cordones de dunas paralelas a la línea de costa que se alzan entre rangos de 6 a 15m sobre el nivel del mar. Tierra adentro se extiende una franja de llanura costera que limita al noreste con franjas de marisma de mangle y de salina, mismas que bordean la Laguna Cuyutlán. Este asentamiento humano tiene vocación turística y salinera, por la extracción de sal. Cuenta con una población de 1038 habitantes y 845 viviendas (Instituto Nacional de Geografía y Estadística (INEGI), 2011). La laguna de Cuyutlán es un cuerpo de agua somero con una superficie de 7,200 ha. y una extensión de 37 kms. medidos sobre su eje principal. Limita en sus márgenes sur-oeste con la ciudad de Manzanillo. Geográficamente se localiza en las coordenadas: 18° 56' y 19° 03' de latitud norte y los 104° 00' y 104° 19' de longitud oeste (INEGI), 2011).

En cuanto al origen: la Plataforma de barrera interna presenta depresiones inundadas en los márgenes internos del borde continental, al que rodean superficies terrígenas en sus márgenes internos y al que protegen del mar barreras arenosas producidas por corrientes y olas. La antigüedad de la formación de la barrera data del establecimiento del nivel del agua actual, dentro de los últimos 5 mil años. Los ejes de orientación paralelos a la costa. Batimétricamente son típicamente muy someros, excepto en los canales erosionados, modificados principalmente por procesos litorales como actividad de huracanes o vientos; se localiza sedimentación terrígena. Esta laguna costera es típica para muchos autores, aparece a lo largo de planicies costeras de bajo relieve con energía de intermedia a alta (Lankford, 1977).

8.4- Caracterización tectónica del Oeste de México

La tectónica del oeste de México se caracteriza por la interacción de las placas de Rivera, Cocos y Norteamérica (DeMets et al., 1990; Stock, 1993; Pardo y Suárez, 1993; DeMets et al., 1994; Pardo y Suárez, 1995). La placa de Rivera, situada al frente a las costas del oeste de México, se encuentra al sur de la zona de fracturas de Tamayo; ésta se genera en uno de los segmentos de la dorsal del Pacífico Oriental y subduce, a partir de la trinchera Mesoamericana, bajo el Bloque de Jalisco; fig.12.

La zona de fractura de Rivera (ZFR) es el límite de esta placa con la placa del Pacífico, en su borde suroeste (Atwater, 1970; DeMets y Stein, 1990; Johnson y Harrison, 1990; Bandy, 1992; Pardo y Suárez, 1993; Michaud et al., 1997; DeMets y Wilson, 1997; Núñez-Cornú y Sánchez-Mora, 1999; DeMets y Traylen, 2000). Por su parte, la placa de Cocos se genera en otro de los segmentos de la dorsal del Pacífico Oriental y subduce en la trinchera Mesoamericana desde las costas de Manzanillo hasta Centroamérica; (Atwater, 1970; Dean y Drake, 1978; Minster y Jordan, 1978; Singh et al., 1981; Cheal y Stewart, 1982; Eissler y McNally, 1984; Luhr et al., 1985; DeMets y Stein, 1990; DeMets y Wilson, 1997; Rutz-López y Núñez Cornú, 2004). La localización precisa del límite oeste entre la placa de Rivera y la placa de Cocos es aún incierto (Singh et al., 1985). Por su parte Bandy et al. (2000), basados en un análisis de datos geológicos y geofísicos dentro del límite de la placa de Cocos y de Rivera, sugieren que el rift sur de Colima se formó en respuesta al esfuerzo producido por la divergencia entre las placas de Cocos y de Rivera a lo largo de la placa que subduce.

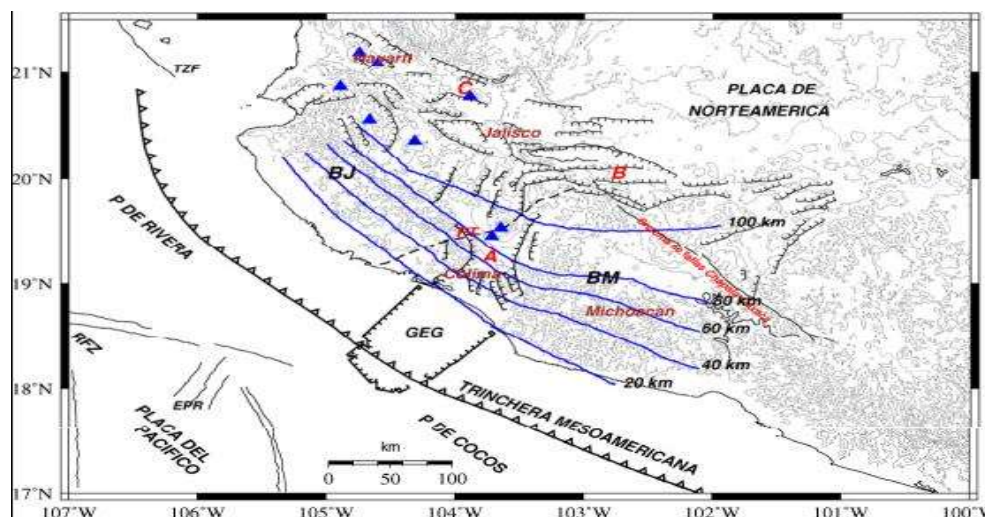


Figura 12. Mapa tectónico de la región oeste de México. Se observan las principales características tectónicas, la Zona de Fracturas de Tamayo (TZF), Zona de fracturas de Rivera (RFZ), Cresta de Pacífico-Cocos (EPR), Graben el Gordo (GEG), Graben de Colima (A), Graben de Chapala (B), Graben de Tepic-Zacoalco (C), Falla de Tamazula (FT), Bloque de Jalisco (BJ), Bloque de Michoacán (BM) y los triángulos azules corresponden a los volcanes de la región (modificada de Rutz-López y Núñez-Cornú 2004). Las líneas azules representan

la profundidad en kilómetros del plano de Wadati-Benioff, de acuerdo a Pardo y Suárez (1995). Las curvas de nivel se encuentran a cada 200 m.

Pérez-Campos *et al.* (2008), Confirmaron que la subducción de la placa de Cocos bajo el centro de México es prácticamente horizontal a partir de una distancia de 250 km desde la trinchera posteriormente, a la latitud de la ciudad de México la placa cambia bruscamente su inclinación, para hundirse en el manto, esto se aprecia en la tomografía sísmica hasta una profundidad 500 km, a partir de la cual la placa de Cocos parece truncarse. Ferrari (2004) asocia este truncamiento a una propagación E-W de un desgarre lateral en la placa de Cocos. Gorbátov y Fukao (2005), con base en un análisis tomográfico de ondas P, describen el desgarre entre la placa de Cocos y la antigua placa de Farallón, ellos sugieren que hay un avance hacia el sureste del antiguo remanente de esta última placa.

León-Soto *et al.* (2009) proponen un desgarre “ascendente” en el límite entre las placas de Cocos y Rivera, el cual sería perpendicular a la trinchera. Esta conclusión se construyó a partir de las mediciones de anisotropía sísmica como se manifiesta por la división de la onda de corte derivados de datos locales S y telesísmicos SKS.

El Bloque de Jalisco se caracteriza por una tectónica extensional provocada por la zona de rift. Así como una tectónica compresional causada por la subducción de la placa de Rivera bajo la placa de Norteamérica (Stock, 1993; Pardo y Suárez, 1995). Bandy y Pardo (1994) describieron el Bloque de Jalisco por medio de la prueba estadística de Fisher o prueba F, para detectar la presencia de un cierre de circuito significativos a un circuito de placa mediante la comparación de la magnitud de los residuos ponderados. Esta prueba F fue aplicada a datos de movimientos de placas derivados de lineamientos de anomalías magnéticas, vectores de deslizamiento de mecanismos focales y azimuts de fallas transformadas. Para verificar la significancia en el cierre de un circuito de placas utilizando los datos mencionados. Los resultados que obtuvieron al utilizar esta técnica del cierre del circuito de placas Rivera-Pacífico-Norteamérica, indican que existe diferencia significativa en el cierre del circuito. Para ello postularon dos interpretaciones: 1) El bloque de Jalisco existe en forma independiente relativo a las placas circundantes, con un movimiento relativo lento (< 5 mm/a) con respecto a Norteamérica; 2). Las diferencias en el cierre del circuito de placas se deben principalmente a efectos de cambios recientes en el movimiento relativo entre las placas de Rivera y Pacífico. En este caso, el bloque de Jalisco sería parte de la placa de Norteamérica Bandy y Pardo, 1994).

En lo que se refiere a la tasa de convergencia entre la placa de Rivera y la placa de Norteamérica existen dos modelos para explicarla. Uno de tasa baja, sugiere un valor de entre 2.0 y 3.3 cm/año, en una ubicación cercana al extremo sur de la zona de subducción de la placa de Rivera y Norteamérica mientras que dicha tasa es de entre 0.6 y 1.7 cm/año en el extremo norte (DeMets y Stein 1990). El segundo modelo propuesto por Bandy (1992) corresponde a una tasa de convergencia alta de 5.0 cm/año cercano al extremo sur de la zona

de subducción de la placa de Rivera y de Norteamérica y de entre 2 y 3 cm/año en el extremo Norte. Por su parte, Kostoglodov y Bandy (1995), basados en relaciones sismotectónicas, proponen que el promedio de la velocidad de convergencia entre las placas de Rivera y Norteamericana favorece el modelo de índice rápido. Por otro lado, la dirección de convergencia entre la placa de Rivera y la placa de Norteamérica se vuelve cada vez más oblicua (Bandy et al., 2005).

Kostoglodov y Bandy (1995) también propusieron que la velocidad de convergencia es variable y aumenta la oblicuidad al noroeste de la zona de subducción. Por su parte, la placa de Cocos subduce con una tasa de convergencia de 4.8 cm/año en una longitud de 104.5° (DeMets et al., 1990).

Yang et al. (2009), basados en un modelo tomográfico de la onda P del manto superior, encontraron que a una profundidad de 150 km existe una clara brecha sísmica entre la placa de Rivera y la de Cocos, la cual aumenta de tamaño con la profundidad. También proponen que la brecha entre ambas placas se encuentra debajo de la parte norte de la fosa tectónica de Colima y podría ser responsable de la ubicación del volcán de Colima. Además encontraron que la placa de Rivera está a unos 140 km de profundidad bajo el lineamiento central volcánico joven de Jalisco. Sus imágenes tomográficas sugieren que las placas de Rivera y la región occidental de la placa de Cocos han sufrido una rotación hacia la trinchera, esto podría explicar la actividad magmática inusual en el Cinturón Volcánico Transmexicano (CVTM), (Yang et al., 2009).

La zona costera se refiere al área próxima a la costa; región geográfica adyacente a la orilla del mar (Bloom, 1998), delimitada por las zonas imprecisas dentro y fuera de la línea de costa (termino definido en base al nivel de la marea). Se extiende unos cientos de metros tierra adentro hasta el límite de un cambio de pendiente o por varios kilómetros en zonas de dunas, o a lo largo de marismas y estuarios. La línea de costa es el límite entre el nivel más bajo de marea y el más alto del oleaje su principal modelador son las olas, generadas por lo general por el viento modificadas por tiempo y espacio por las corrientes que fluyen en todas direcciones, fracturando la roca y tornándola vulnerable (Davidson-Arnott, 2010). Las playas son uno de los sistemas más dinámicos, donde confluyen olas, corrientes y mareas que crean el perfil costero específico, debido al sedimento que van dejando o erosionando a lo largo de la línea de costa (Bloom 1998).

Garduño-Monroy et al., (1998), Presentan los resultados de un estudio microtectónico de la porción meridional del rift de Colima, en el cual fueron determinados cuatro fases de deformación. La fase I corresponde a una serie de fallas laterales izquierdas subverticales con orientaciones de N 120° a N 150° en las calizas del Cretácico Superior; se estima que esta fase corresponde al Terciario Temprano. La fase II se define por fallas laterales e inversas orientadas de N 100° y de N 40° a N/80°, respectivamente; se estima que la edad de esta fase es del Terciario Medio. La fase III se identificó con rocas epiclásticas y fluviolacustres del

complejo Volcánico de Colima (CVC) y coincide con las fallas normales de dirección NE-SW; la edad de esta fase se puede considerar menor a los 20,000 años. La fase IV corresponde al graben de Alseseca-Atenquique (GAA), que afecta productos volcánicos del Paleovolcán de Fuego de Colima, y que podría estar controlando la actividad del volcán de Fuego de Colima. Con base a estos datos se propone que el límite oriental del Bloque Jalisco es diferente al postulado en trabajos previos. Se observa que el límite oriental del Bloque Jalisco obedece a dos estructuras regionales. Por un lado el rift de Colima cambia de geometría al intersectarse con la falla Tamazula, lo cual permite establecer que el CVC se encuentra en la intersección de dos estructuras regionales. Por otro lado, el Nevado de Colima está afectado por un graben que parece responder a la geometría de la falla Tamazula. La nueva geometría propuesta para el Bloque Jalisco, se corrobora con la sismicidad de Manzanillo-Colima, que obedece a un corredor de fallas NE-SW, es decir, a la falla Tamazula, la cual afecta tanto al Bloque Jalisco como al Bloque Michoacán, fig. 13.

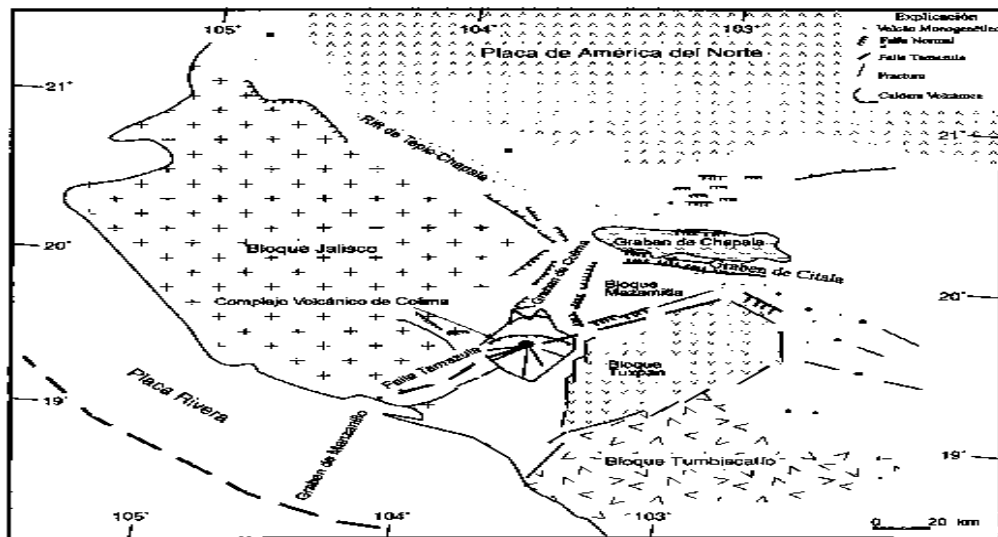


Figura 13. Esquema regional del punto triple del occidente del CVTM, del Bloque Jalisco y del Complejo Volcánico de Colima. Así, mismo se aprecia la posición de la falla Tamazula y sus relaciones regionales con el Bloque Jalisco y con el rift de Colima. También se observa como la Falla Tamazula, está fragmentando el Bloque Michoacán en el Bloque Mazamitla y el Bloque de Tuxpan, Garduño-Monroy et al., (1998).

8.5- Rasgos tectónicos del Rift de Colima

El Rift de Colima es una Estructura que tiene una anchura variable entre 20 y 60 km (Allan 1986). El graben de Colima forma parte de esta estructura y se divide en dos sectores, el graben norte, con dirección norte-sur, y el central, con orientación norestesuroeste Allan (1986) propone, con base en un mapa estructural de la zona del graben de Colima, que el graben está definido por fallas normales paralelas a su dirección. Finalmente, el graben de Colima intersecta otros dos rifts, uno de ellos es el rift de Zacoalco, al noroeste, mientras que

al noreste lo hace con el rift de Citala, para formar una unión triple, a unos 50 km al sur-suroeste de Guadalajara (Allan, 1986; Gómez-Tuena et al., 2007).

El rift de Colima ha sido considerado como la frontera oriental del bloque de Jalisco (Allan et al., 1991; Bandy et al., 1993; Bandy et al., 1995). La ruptura del sur de Colima probablemente se formó en respuesta a la divergencia entre la placa de Cocos y de Rivera con la placa de Norteamérica (Bandy et al., 1995). Los sectores meridional y septentrional del rift parecen estar separados por el complejo volcánico de Colima (Garduño-Monroy et al., 1998), el cual está construido sobre un basamento de andesitas y volcaniclásticos del Cretácico inferior (Cortés et al., 2005).

En lo que respecta a la sismicidad, uno de los reportes más recientes de la actividad tectónica en el graben sur de Colima es el de Pacheco et al. (2003), el cual corresponde a un sismo ocurrido en Marzo del 2000 (Mw 5.3). Ellos consideran que éste representa la primera evidencia de la actividad sísmica cortical al sur del rift de Colima. Otro ejemplo, es el terremoto de Tecmán de 2003 (Mw 7.4); el cual ha causado controversia, ya que para Núñez-Cornú et al. (2004) se trata de un sismo cortical, debido a que la mayoría de sus relocalizaciones de réplicas son corticales, lo que según ellos descarta la hipótesis de un sismo de subducción. Por otra parte Schmitt et al. (2007) determinaron que el sismo del 22 de enero de 2003 (Mw=7.2) es un sismo de subducción con mecanismo de fallamiento inverso, esta conclusión la obtuvieron con base en un estudio de desplazamiento cosísmico, con mediciones de GPS, medidos en 27 sitios en el oeste de México.

8.6- Rasgos tectónicos del Rift de Chapala

Contiene el lago natural de Chapala a 1,500 metros de altitud, 115 km de largo y de 10 a 25 km de ancho. Este graben se extiende 90 km hacia el oriente del punto triple, donde se ensancha y muestra una transición de fallamiento en bloque, a fallamiento en escalón con orientación NEE de fallas transformantes (Luhr et al., 1985).

Urrutia-Fucugauchi y Rosas Elguera (1994), a partir de un estudio paleomagnético, proponen que el Rift de Chapala se desarrolló a principios del Mioceno en una falla transcurrente lateral izquierda dentro de la zona regional de falla Chapala-Tula E-W.

Por su parte Rosas-Elguera y Urrutia Fucugauchi (1998), basados en un estudio estratigráfico y tectónico proponen un modelo para el desarrollo del rift de Chapala que implica una combinación de la deformación extensional lateral izquierda junto con procesos erosivos y volcánicos, los cuales han contribuido a dar forma a la cuenca; sugiriendo que el lago de Chapala es un remanente de un paleo-lago en Jalisco.

8.7- Rasgos tectónicos del Rift de Tepic-Zacoalco

Es una estructura con una orientación NW con un corredor de aproximadamente 50 km de ancho de largo; es uno de los brazos del sistema triple de rift en el oeste de México (Frey et al., 2007). Junto con el rift de Colima y la Faja Volcánica Transmexicana, que limita el bloque de Jalisco con una porción al oeste de México, que puede moverse independientemente desde Norte América (Frey et al., 2007). Urrutia-Fucugauchi y Gonzalez-Morán (2006), por medio de un análisis de imágenes aeromagnéticas sobre el sector noroeste del rift de Tepic-Zacoalco, documentan un patrón de alineamiento NE-SW perpendicular al límite inferido entre el bloque Jalisco y la Sierra Madre Occidental (Urrutia-Fucugauchi y Gonzalez-Morán, 2006). Los estudios detallados estructurales documentan una tectónica esencialmente extensional para los sistemas de fallas del rift Tepic-Zacoalco durante el Plioceno-Cuaternario (Nieto-Obregón et al., 1992; Quintero-Legorreta., *et al.*, 1992; Ferrari et al., 1994; aunque en el Mioceno medio y tardío ocurrió una deformación transcurrente en esta región (Ferrari, 1995). Por otra parte, en base en un estudio geológico y estructural, Ferrari y Rosas-Elguera (2000), concluyen que el rift de Tepic-Zacoalco está constituido por una serie de grabens y semigrabens desarrollados en distintos episodios a partir del Mioceno tardío. Estudios realizados en esta zona muestran que el rift de Tepic-Zacoalco sufrió una extensión dominante con dirección NE durante el Plioceno y Cuaternario (Ferrari, 1995; Rosas-Elguera *et al.*, 1996; Rosas-Elguera y Urrutia Fucugauchi, 1998; Ferrari y Rosas-Elguera, 2000).

El rift de Tepic-Zacoalco es una combinación de diferentes sistemas de fallas desarrolladas durante finales del Mioceno (12-9 ma), Plioceno inferior (5.5 a 3.5 ma), y en menor medida en el Plioceno tardío de la época cuaternaria dividiéndose en tres estructuras (Ferrari y Rosas-Elguera, 2000):

- a) Un brazo noroeste llamado “sistema de fallas Pochotitlán”, que son fallas lítricas pertenecientes a la provincia extensional del Golfo. Estas fallas tienen una orientación NNE y son de fallamiento normal de alto ángulo de inclinación.
- b) Un brazo sur constituido por desprendimiento de fallas ubicadas en el interior del Bloque Jalisco, el cual está formado por el semigraben de Amatlán de Cañas.
- c) Un brazo central hecho de escalones del rift que reactivaron la frontera entre el Bloque Jalisco y la Sierra Madre Occidental, consta de dos grabens desarrollados a lo largo de una zona de deformación transcurrente; hacia el oeste se encuentra el graben de Compostela-Ceboruco que es una depresión compleja asimétrica. Hacia este se encuentra el graben “Plan de Barrancas-Santa Rosa” con una orientación WSW y una depresión de 30 km de ancho.

9- Origen de las lagunas costeras

De acuerdo con Lankford (1976), refiriéndose expresamente a estas cuencas en México, define: “laguna costera”, como una depresión en la zona costera, bajo el nivel de pleamar

media superior, que tiene una conexión permanente o efímera con el mar, pero protegida de éste por algún tipo de barra, debido a esto no hay restricciones para los valores de la salinidad en el interior de la laguna.

Según Lankford (1976), en México se usa indistintamente los términos laguna costera, bahía, sonda, boca, estero, estuario, caleta, laguna o lagunilla para denominar este tipo de cuencas que conforman aproximadamente 1/3 de los 10,000 kilómetros de longitud de costas de México.

En cuanto al origen y efimerismo, los siguientes eventos secuenciales de variación histórica del nivel del mar son el agente principal del origen de las lagunas costeras:

I- Estabilización del nivel de la línea de costa en el Pleistoceno (80,000 A.P.), a aproximadamente 5 a 8 metros sobre el actual, formándose un arrecife, cantil o bordo elevado de depósitos de playa que aún existe actualmente rodeando algunas lagunas costeras y bahías.

II- Descenso del nivel del mar en el Holoceno (18,000 A.P.), por la glaciación de Wisconsin (*transgresión Flandriana*), a razón de un metro cada 100 años, y hasta 130 metros bajo el actual, durante el cual los procesos terrestres y atmosféricos erosionaron valles y cañones formando deltas y planicies costeras.

III- Rápido ascenso (regresión) del nivel del mar a fines del Holoceno (hasta hace 5,000 A.P.), hasta 3 ó 4 metros bajo el actual nivel, durante el cual el agua de mar inunda las planicies y los valles previamente excavados por los ríos y glaciares descendentes. La turbulencia litoral y el oleaje retrabajan los sedimentos costeros, cubren con una capa de arena la plataforma y forman playas en la línea de costa.

IV- Desaceleración de la regresión anterior (desde hace 5,000 hasta la actualidad), en que el nivel del mar sube lentamente (2 milímetros cada año). Los nuevos ríos que ocupan las partes altas de los antiguos valles, transportan sedimentos, forman deltas progresivos en la costa y construyen barras en las bocas de las lagunas costeras.

Por ello, subidas actuales o futuras del nivel del mar producirán nuevas lagunas costeras en los valles altos, con poco sedimento depositado, pero aumentarán los sedimentos por erosión costera. Mientras, que descensos actuales o futuros del nivel del mar producirán nuevas lagunas costeras someras que se llenarán rápidamente con sedimentos arrastrados de las zonas altas.

Las lagunas costeras son por ende fenómenos de origen geológico reciente y de vida corta, estando en permanente alteración por erosión y depósito de sedimentos y por fluctuaciones del nivel del mar de carácter eustático (debidos a cambios del volumen de agua del océano), e isostáticos (debidos a cambios del nivel de la tierra). Además, las descargas de los ríos afluentes y los rangos de las mareas están variando permanentemente, por lo que las lagunas costeras nunca logran alcanzar un estado de equilibrio definitivo Lankford (1976).

10- Geoformas que guardan el registro de la paleosismicidad costera.

Las lagunas y esteros, anteriormente utilizados en otros estudios demuestran que estos sitios tienen potencial para preservar el registro geológico, como se muestra en el siguiente cuadro 2.

Geoforma	Referencia
Cordón litoral	Monecke <i>et al.</i> , 2008; Jankaew <i>et al</i> 2008.
Lagunas	Ramírez-Herrera <i>et al.</i> , 2007; Ramírez-Herrera <i>et al.</i> , 2009; Hutchinson <i>et al.</i> , 2009.
Estero	Cisternas <i>et al.</i> , 2000; Atwater <i>et al</i> 2004.; Cisternas <i>et al.</i> , 2005.
Marismas de manglar	Ramírez-Herrera <i>et al.</i> 2007; Ramírez-Herrera <i>et al.</i> , 2009; Ramírez-Herrera. 2011.

Cuadro 2. Geoformas que guardan el registro paleosismológico en la costa.

11- METODOLOGIA

11.1- Criterios de selección para el trabajo de campo y ubicación de los sitios de muestreo.

Los trabajos paleosismológicos tienen como objetivo el de estudiar y argumentar las huellas estratigráficas que deja un evento de gran magnitud y/o su posible tsunami. Debido a que no es posible que un solo sitio preserve la evidencia, se requieren de múltiples excavaciones exploratorias, para estudios y correlaciones que hagan establecer la historia de grandes terremotos y sus tsunamis (Pinegina, 2003).

Los criterios de selección de los sitios de muestreo para el presente trabajo se basaron en los antecedentes dentro del contexto sismológico de la región, en el escenario costero y en la morfología de barra-laguna.

Se realizó una revisión bibliográfica relacionados con los tsunamis que se generan en las costas dejando registros de cambios de nivel del mar en la costa por su sensibilidad sedimentaria, se utilizaron imágenes de satélite para seleccionar los sitios de muestreo en las lagunas de Cuyutlán, La Boquita, La Chacala y Barra de Navidad, para identificar la morfometría de los cuerpos de agua y los diversos rasgos de la zona en los que se seleccionaron los sitios de muestreo, de los cuales tres pertenecen a la Laguna de Cuyutlán, uno en la laguna La Boquita, uno en la laguna La Chacala y uno en la laguna Barra de Navidad, fig.1.

Además se aplicaron algunos criterios que incluyen la historia sísmica de la región, las marismas y lagunas del área de estudio, que es probable que preserven el depósito de tsunami en su estratigrafía debido a su elevada tasa de sedimentación que las caracterizan y así mismo establecer correlaciones con otros sitios estudiados en la costa del Pacífico Mexicano.

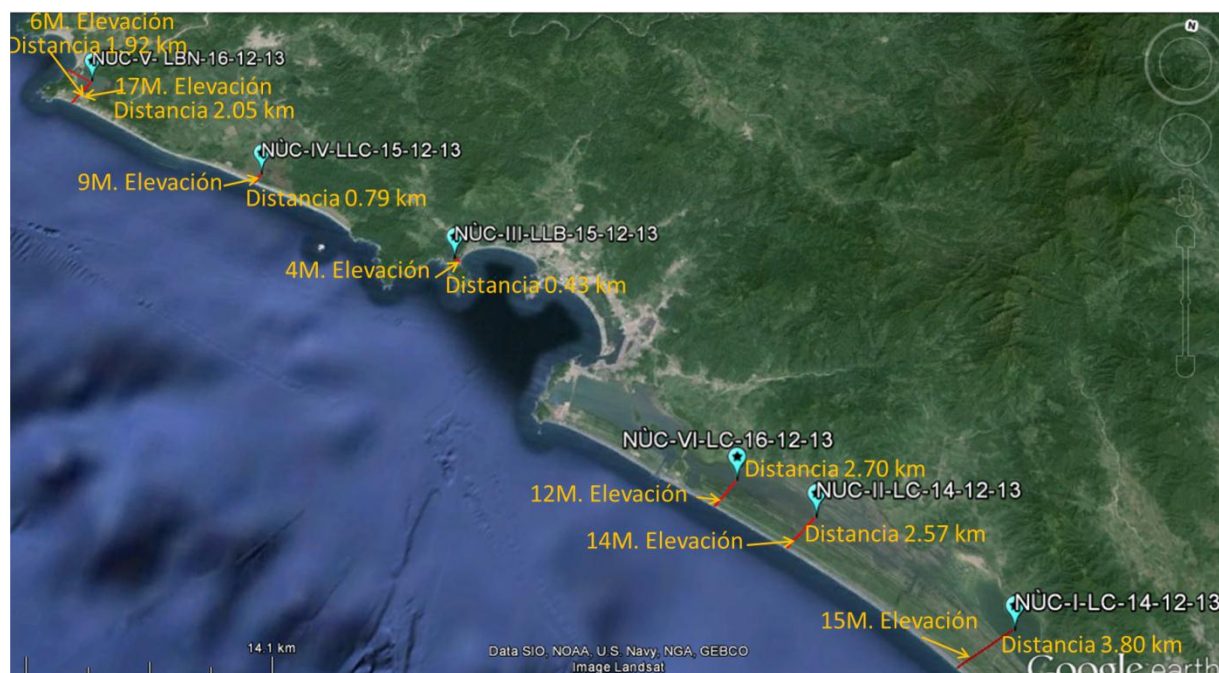


Figura 14. Presenta el área de distribución, la distancia entre la línea de costa y el punto de extracción de cada uno de los núcleos; así mismo se muestra la altura máxima de la barra en las lagunas Cuyutlán, La Boquita y La Chacala, Playa del Oro, en el Estado de Colima y la Laguna Barra de Navidad en el Estado de Jalisco.

11.1.1- Obtención de muestras

Teniendo los puntos de muestreo localizados en una imagen, posteriormente se extrajeron núcleos con una longitud mayor de un metro, usando tubos de PVC de 4" pulgadas de diámetro e introduciéndolo a presión sobre el sedimento lagunar hasta llegar a los sedimentos semiconsolidados que funcionaron como tapón en la base del tubo evitando que se vaciara el material; posteriormente se etiquetaron con la fecha, localidad, base y cima, coordenadas, número de núcleo y longitud, se sellaron con tapas de plástico para evitar la pérdida de material y se extrajo cuidadosamente el agua remanente en las cimas de cada uno de los núcleos, lo que permitió su manejo y transporte al laboratorio evitando la remoción de los sedimentos.

11.1.2- Trabajo de laboratorio

Las muestras obtenidas de los núcleos fueron sometidas a su apertura en mitades y limpieza para proceder a fotografiarlos y a dibujar la columna estratigráfica e identificar los distintos

cambios en el color de acuerdo a la tabla de códigos de Munsell, textura y estratificación de los sedimentos así como posibles evidencias de estructuras asociadas a tsunamis, y marco de contenido biológico (restos calcáreos de bivalvos y gasterópodos, así como restos de madera), llevado a cabo en el Laboratorio del Instituto de Investigaciones Metalúrgicas. Posteriormente se determinó el contenido de carbonatos y materia orgánica a través de la revisión de las distintas facies con ácido clorhídrico (HCl) y peróxido de hidrogeno (H₂O₂), cuyo grado de efervescencia muestra una visión generalizada de los niveles de interés para su fechamiento a través de Radio Carbono (¹⁴C) y para los distintos análisis de; Carbono inorgánico total (CIT), Carbono orgánico total (COT), Susceptibilidad magnética, Difracción de Rayos X, Espectrometría de Infrarrojo, Fluorescencia de Rayos X, Microscopía Electrónica de barrido, y contenidos de Diatomeas, Gasterópodos y bivalvos. Teniendo en cuenta que cada uno de estos proxies tuvo objetivos específicos que han sido sintetizados en el cuadro 3.

Proxi y/o parámetros	Objetivo específico
Carbono orgánico total (COT),	Ver la productividad en biomasa en la cuenca, ya que es autóctono a la vegetación acuática.
Carbono inorgánico total (CIT),	Determinar la procedencia de minerales carbonatados o la introducción de carbonatos detríticos dentro de la cuenca.
Susceptibilidad magnética	Observar la magnetización de los minerales magnéticos alógenicos, que llegan de fuera, acarreados de afuera por erosión y transporte,
Difracción de Rayos X (DRX)	Identificar las especies mineralógicas presentes en cada uno de las muestras para determinar su origen.
Espectrometría de Infrarrojo (EIR)	Identificar los cambios de facies mineralógicas contenidas en las columnas litológicas.
Fluorescencia de Rayos X (FRX)	Obtener información cualitativa y cuantitativa de la composición y origen elemental de los sedimentos.
Microscopía Electrónica de barrido (MEB)	Observar y determinar la morfología de grano, así como el contenido elemental de las muestras apoyado en la interpretación de los resultados de EIR, DRX y FRX.
Radio Carbono (¹⁴ C)	Determinar las fechas en las cuales ocurrieron los tsunamis.
Diatomeas, Gasterópodos y bivalvos	Observar el origen de las especies encontradas y determinar si son autóctonas (si corresponden a las lagunas costeras), ó alóctonas (si corresponden a otros ambientes marinos y fueron depositadas en las lagunas costeras por un tsunami).

Cuadro 3. Muestra los proxies utilizados en esta investigación; así como los objetivos específicos que ayudaron a determinar las diferentes facies en las columnas litológicas de los núcleos.

11.1.3- Litología y estructuras sedimentarias

Los cambios relativos del nivel del mar en la costa del Pacífico de México son el resultado tanto de cambios locales en la elevación de la costa, resultantes de la repetición de sismos (subsistencia y levantamiento cosísmica casi instantáneos) como de la deformación tectónica intersísmica de largo plazo. Por lo tanto se identificaron cambios relativos de nivel del mar registrados en los sedimentos costeros y se compararon sitios con diferentes regímenes tectónicos, que nos proporcionaron información valiosa sobre eventos sísmicos y tsunamis prehistóricos (Ramírez, 2011). La metodología para construir estos eventos ha sido ya establecida y aplicada en diversos sitios en el mundo por (Long & Shennan, 1994; Cundy et al., 2000 entre otros). Dicha metodología incluye la recolección de muestras por núcleos para identificar y fechar las unidades interestratificadas de sedimentos marinos y terrestres en la costa.

11.1.4- Muestreo de los núcleos

Se colocó una cinta métrica en uno de los bordes de cada núcleo para establecer los puntos de muestreo que se llevaron a cabo a cada cambio de facies importantes, posteriormente se utilizó una espátula para tomar una muestra representativa para cada uno de los análisis correspondientes, depositando el material en bolsas de plástico debidamente rotuladas con la clave del núcleo y profundidad a la que fue tomada; obteniendo un total de 49 muestras representativas. Adicionalmente para tener un control cronológico se tomaron 5 muestras de 25 gramos de restos de madera, carbón y gasterópodos.

11.1.5- Técnica para el análisis de diatomeas

Después de cada muestreo, ya en el laboratorio, se procedió al procesamiento del material recolectado de acuerdo con la técnica establecida por Kelly (1998), la cual consta de los siguientes pasos:

Para el análisis de diatomeas se pesó 0.5 gramos de muestra seca y se humedeció ligeramente para verter 20 ml de Peróxido de Hidrogeno (H_2O_2), que permitió extraer toda la materia orgánica, sucesivamente después de tres enjuagues se le agregó al residuo ácido clorhídrico para eliminar carbonatos. Una vez digerido todo el residuo se enjuagó entre cinco y siete veces hasta alcanzar un PH neutro. Se tomó tres micro litros de muestra para su vertido en un porta objetos y se fijaron con nafrax para su observación en un microscopio de 100X.

- Se ocuparon vasos de precipitados limpios y secos, uno por cada muestra procesada.
- Se etiquetaron los vasos de precipitados con cada uno de los sitios muestreados y con la profundidad.
- Se vertió de 0.5 a 1 gramos de muestra a los vasos de precipitados.
- Se les agregó 20 ml de peróxido de hidrógeno al 30%.
- Se colocaron todas las muestras en la parrilla, a temperaturas menores de 100 °C, para que no fracturar las valvas de las diatomeas con la ebullición, permaneciendo así hasta que se produjera la evaporación.
- Después de la efervescencia se agregó más peróxido hasta notar un cambio de coloración en la muestra.
- Una vez notado el cambio se dejó evaporar hasta casi secar, y se retiraron de la parrilla.
- Se dejó enfriar y se agregaron gotas de ácido clorhídrico a cada muestra hasta que se notó la efervescencia de nuevo.
- Cuando no se completó la digestión, se repitió el proceso utilizando unos pocos mililitros de H₂O₂.
- Se calentó hasta que se destruyó totalmente la materia orgánica.
- Una vez procesada la muestra se dejó enfriar y se empezaron los lavados.
- Se despegó la muestra del vaso con un agitador y agua destilada, se vertió en tubos y se aforaron a 5 mililitros.
- En cada enjuague se revisó el pH, el cual tuvo que ser igual a 7, de lo contrario se volvían a enjuagar hasta alcanzar el pH neutro y se procedió a montar las muestras.
- Se vació el total de la muestra en un frasco.
- Se tomó 200 µm de muestra diluida en un cubreobjetos colocándolo en un desecador, una vez seca la muestra se observó su concentración en el microscopio óptico y se procedió al montaje.
- Se montaron las muestras en nafrax (resina con alto índice de refracción) (ZRAX R.I – 1.7 +), fundiendo la resina a temperaturas bajas para evitar burbujas.

Con un microscopio óptico Olympus BX50 a 1000 X de magnificación total se realizó la búsqueda por transectos del total del cubreobjetos determinando la presencia o no de los organismos en cada muestra. Para la identificación de las diatomeas se tomó en cuenta el diámetro, longitud, número de estrías en 10 micras y espinas; en el caso de las centrales. En las diatomeas pennales se tomó en cuenta: la forma de la valva, el largo, ancho y densidad de estrías, número de fíbulas, rafe, rimopórtulas y foltupórtulas etc.

- la morfometría de diatomeas se realizó con el apoyo de un programa: Sigma 5.0.

Para la identificación de diatomeas se utilizó bibliografía especializada como: Krmmer, 1996; 1991 A; 1991 B; Y 1997; Gasse, 1980; Cocquyt, 1998; Prygiel, *et al*, 2000; H. Lange-Bertalot, 2000; Witkowski, 2003; entre otros.

11.1.6- Limpieza y Separación de Ostrácodos

De acuerdo con Soria Caballero, (2010), una fracción se utilizó para estudios micropaleontológicos mediante los cuales se separaron e identificaron microfósiles (gasterópodos y bivalvos) presentes en las muestras de sedimentos de los núcleos. Para estos análisis se realizó una limpieza previa de las muestras, retirando en su mayoría la fracción de arena y arcilla. Por tal razón, se ha incrementado el estudio en asociaciones de microfósiles debido a su extrema sensibilidad a factores de cambio como salinidad (Emeis *et al.*, 2003), disponibilidad de sedimento y condiciones hidrodinámicas, que controlan la evolución costera en los cuerpos de agua (Cooper, 1999; Denys y De Wolf, 1999; Kemp *et al.*, 2009).

11.1.7- Control cronológico ^{14}C

Para este análisis se tomaron 5 muestras de 25 gramos cada una; de la cuales, dos muestras corresponden al núcleo NÚC-II-LC-14-12-13 a una profundidad de 104 cm y 132 cm, de igual forma para el núcleo seis NÚC-VI-LC-16-12-13 se tomaron dos muestras a la profundidad de 128 cm y 142 cm, y para el núcleo cuatro NÚC-IV-LC-15-12-13 sólo se tomó una muestra a la profundidad de 80 cm. las cuales se depositaron en papel aluminio y en bolsas de plástico debidamente rotuladas con la clave de cada núcleo, la profundidad de muestreo y contenido de materia orgánica y/o gasterópodos y bivalvos. Posteriormente fueron enviadas al laboratorio comercial, denominado *Beta Analytic Radiocarbon Dating Laboratory*, en Florida, EEUU, donde fueron fechadas mediante la técnica de ^{14}C por Espectrometría de Masas por Aceleración (AMS), calibrando las edades en fechas calendáricas después de Dios (AD), mediante el programa computacional Calib6.1.1 (Stuiver & Reimer, 1993), asignando una edad media a los alcances de 2σ .

11.1.8- Susceptibilidad Magnética

La susceptibilidad magnética (X) fue medida en un susceptibilímetro de Bartington, MS2, que consta de un sensor en forma de anillo modelo (MS2C) de 100 y 72 mm de diámetro, en frecuencias de 470 y 4700 Hz, fig.15.

En los seis núcleos se midió la susceptibilidad magnética en intervalos de cada 2 cm de distancia. En principio se calibró el sensor y posteriormente se introdujo el núcleo en el anillo y se fue deslizando a cada dos centímetros de distancia desde la cima hasta la base.

La señal detectada por el susceptibilímetro fue transmitida a un equipo de cómputo, con ajuste automático, correspondiente a la diferencia entre el diámetro del anillo y el diámetro del núcleo, obteniéndose así la curva de susceptibilidad magnética ajustada en la computadora a través del programa Bartsoft.

Este análisis se llevó a cabo a temperatura ambiente en el laboratorio interinstitucional de magnetismo natural (LIMNA), U.N.A.M.-U.M.S.N.H. Campus Morelia.



Figura 15. Medida de la (X) de los núcleos de sedimento con un sensor en forma de anillo modelo (MS2C) de 100 mm de diámetro a cada 2 cm de distancia.

11.1.9- Fluorescencia de Rayos X

Esta técnica fue para obtener información cualitativa y cuantitativa de la composición elemental de cada una de las muestras.

Las muestras se pulverizaron en un mortero de ágata, hasta obtener un material homogéneo para posteriormente enviarlas al laboratorio de Fluorescencia de Rayos X, del Instituto de Geología de la UNAM. La determinación de las concentraciones en porcentaje de los óxidos (SiO_2 , TiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MnO , MgO , CaO , Na_2O , K_2O , P_2O_5), se obtuvieron a través de un Espectrómetro previamente calibrado con muestras internacionales de referencia geoquímica, previo al análisis de elementos mayores.

En el Laboratorio de FRX se dispone de un espectrómetro secuencial de rayos X (Siemens SRS 3000) equipado con tubo de rodio y ventana de berilio de 125 micras, utilizado en la determinación de elementos mayores (Si, Ti, Al, Fe, Mn, Mg, Ca, Na, K y P) de muestras de rocas, minerales, sedimentos y suelos. Los errores estimados en las determinaciones son menores a 1% en elementos mayores. En todos los casos las curvas de calibración han sido construidas con estándares emitidos por instituciones de reconocido prestigio internacional.

Preparación de Muestras para su análisis por Fluorescencia de rayos X. El análisis de elementos mayores (SiO_2 , TiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MnO , MgO , CaO , Na_2O , K_2O , P_2O_5), se realiza en muestra fundida (perla). Las perlas son preparadas mezclando 1 g de muestra en polvo con 9 g de mezcla fundente $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$ - LiBO_2 (50:50 wt%). La mezcla es vaciada a un crisol de Pt/5%Au y calentado a ca. 1100°C en un hornillo equipado con quemadores Fisher y moldes para la preparación simultanea de 3 perlas (Fluxy Claisse). Previo al calentamiento se agregan 2 gotas de LiBr en solución acuosa con una concentración

de 250g/L. La solución de LiBr actúa como agente no-mojante, favoreciendo que la perla se desprege del molde durante el proceso de enfriado.

Como complemento del análisis de elementos mayores, se requiere determinar la pérdida por calcinación (PXC), lo cual se hace calentando a 1000°C por una hora, un gramo de muestra en “base seca”, en un crisol de porcelana y dejando enfriar lentamente la muestra hasta temperatura ambiente para obtener el peso total calcinado.

02.

11.2- Técnica para calcular el porcentaje de carbono total (Soria Caballero, 2010)

La medición de la cantidad de COT y CIT se realizó a través de un Coulómetro cuyo principio de funcionamiento se basa en la titulación de una solución de material analizado o por la descomposición de los carbonatos de la muestra al ser atacados con un ácido. Mientras se lleva a cabo la titulación de la muestra, la solución en la celda cambia de color permitiendo el paso de un haz de luz a través de ella, la intensidad del haz atravesando la celda es convertida a una medición de transmitancia con la que a su vez se obtuvo la concentración de carbono en la muestra la cual es reportada en porciento de carbono.

Inicialmente se calibró el coulómetro sin muestra en el horno para determinar la cantidad de Carbono en el aire, posteriormente se midió la muestra estándar (0.020 g de carbonato de calcio, CaCO_3) por duplicado colocando, uno por uno, los estándares pesados dentro del horno a 950°C hasta su total calcinación y lectura final de porcentaje de Carbono Total.

El coulómetro que se usó es un Módulo de Acidificación; primero se procesa un blanco (un tubo solo con agua y ácido) y posteriormente los dos estándares de CaCO_3 (0.020gr) (Razo, 2007). Las muestras se pesaron en una balanza analítica, de 0.019 a 0.022 gr de sedimentos previamente secados, molidos y homogeneizados en un mortero de ágata, Una vez calibrado el coulómetro, se colocaron una a una las muestras en charolas de cerámica previamente esterilizadas que se colocan en el tubo de ensaye con el sedimento disuelto con agua destilada (aprox. 5ml) y se procesaron en el horno, hasta que arrojaron el resultado final a la computadora central del coulómetro.

11.2.1- Método de Difracción de Rayos X

Este método se basa en la difracción de un haz de rayos X que inciden sobre cristales del material analizado. Permite obtener una información detallada sobre la cristalografía de los minerales, así como también sobre la composición de las fases minerales en diferentes sustancias y formaciones naturales.

Se realizó la preparación de la muestras mediante el método de polvo con tamaños de grano de entre 10 y 40 μm ; se pesaron 0.5 gramos de muestra y se colocó en tubos capilares de vidrio. Estos se introdujeron al difractómetro D5000, con espejo Gôebel para muestras no planas, con cámara de alta temperatura de hasta 900 °C y con un generador de Rayos X. desde

el ordenador se controlaron las condiciones de medida obteniéndose así el difractograma, y finalmente con el Software EVA Plus se identificaron las fases mineralógicas presentes en cada una de las muestras.

El diagnóstico y estudio cristaloquímico de los minerales por DRX consiste en identificar todas las fases cristalinas que contienen las sustancias minerales analizadas. Cada fase cristalina está dando un difractograma individual que se caracteriza por las posiciones e intensidades bien definidas de los máximos o líneas reflejadas. Por eso el conjunto registrado de los rayos X reflejados por diferentes ángulos Θ de alguna sustancia cristalina es la constante de esta sustancia independientemente de la composición de la mezcla mineral y de la morfología de los individuos minerales. Sabiendo que con el ángulo inicial del registro y su escala se calculan las posiciones exactas de los máximos y por las tablas especiales se determinan las distancias interplanares (**d** en $\text{\AA}$ o **nanómetros**).

Cuando un haz de rayos X incide en un material sólido, parte de este haz se dispersa en todas direcciones a causa de los electrones asociados a los átomos o iones que encuentra en el trayecto, pero el resto del haz puede dar lugar al fenómeno de difracción de rayos X, que tiene lugar si existe una disposición ordenada de átomos y si se cumplen las condiciones que vienen dadas por la ley de Bragg que relaciona la longitud de onda de los rayos X y la distancia interatómica con el ángulo de incidencia del haz difractado. Si no se cumple la ley de Bragg, la interferencia es de naturaleza no constructiva y el campo del haz difractado es de muy baja intensidad.

Fueron descubiertos por Roentgen en 1895 y posteriormente Von Laue fue el primero en utilizarlos en monocristales para obtener patrones de difracción, por lo que la aplicación fundamental de la DRX es la identificación cualitativa de la composición mineralógica de una muestra cristalina.

Los rayos X al ser irradiados sobre la muestra a analizar se difractan con ángulos que dependen de las distancias interatómicas. Para ello es aplicable la ley de Bragg: $n\lambda = 2d \cdot \sin \Theta$, en la que “d” es la distancia entre los planos interatómicos que producen la difracción.

11.2.2- Espectroscopia Infrarroja (EIR)

Para este análisis se prepararon las muestras utilizando el método de polvo, que consiste en pulverizar las muestras en un mortero de ágata, hasta obtener un tamaño de grano de $40\mu\text{m}$. posteriormente se pesaron 3×10^{-3} g de sedimento y se mezcló con 3×10^{-1} g de Bromuro de Potasio (KBr), cuyas bandas no interfieren con las de la muestra analizada. Posteriormente se colocaron en un dado metálico y éste se prensa a una presión de 20 toneladas durante un minuto para formar una pastilla, que posteriormente se colocaron en el espectrómetro de infrarrojo; el cual realiza un espectrograma para cada muestra analizada, haciendo correcciones para agua H_2O y CO_2 atmosférico.

La absorción de radiación infrarroja por moléculas está asociada a cambios en los estados vibracionales y/o rotacionales. Los modos de vibración de una molécula incluyen deformaciones tipo tracción (elongación) compresión y bandeo. La finalidad de las aplicaciones de la Espectroscopía Infrarroja es la determinación de los grupos funcionales que contiene un determinado mineral, a partir del estudio de los espectros de absorción/transmisión/reflexión en la región espectral determinada.

En el campo mineralógico la EIR permite obtener datos nuevos e importantes sobre las sustancias minerales; así mismo, permite resolver las siguientes tareas mineralógicas:

- Identificación de las sustancias mineralógicas (especies y variedades).
- Estudio cualitativo y cuantitativo de las mezclas minerales.
- Estudio de las particularidades cristalquímicas (SiO_4 , SO_4 , PO_4 , CH_2 , por la cantidad y posición de las bandas de absorción.
- Estudio de isomorfismo y polimorfismo.
- Determinación de las particularidades estructurales (el grado orden-desorden de estructura y deformación de los poliedros).
- Estudio del grado de cristalinidad y de las sustancias amorfas.
- Estudio de transformaciones en los procesos de calentamiento y diferentes reacciones químicas (formación de una nueva sustancia, mezcla de fases, productos intermedios, disociación...).

Así pues, el paso de los rayos Infrarrojos a través de las sustancias origina la excitación de los niveles vibratorios de las moléculas. Si la frecuencia de la radiación infrarroja coincide con la frecuencia de vibración de la molécula, entonces ocurre la absorción de la energía, por lo cual la molécula pasa de un estado vibratorio a otro superior. Esto origina la formación de la banda de absorción en el espectro, la cual se caracteriza por una configuración, intensidad y frecuencia o longitud de onda.

11.2.3- Microscopía Electrónica de Barrido (MEB).

La MEB es una técnica del estudio topográfico de la superficie de los cuerpos sólidos (en particular, minerales y rocas), que sirve como soporte visual para otros análisis. La espectrometría por dispersión de energía de rayos X, combinada con la MEB, permite conocer los elementos químicos que se encuentran en las muestras analizadas y obtener los datos sobre su concentración.

Para este análisis se utilizó una cantidad mínima de sedimento que fue colocada en un porta muestras cilíndrico de Cobre de 15mm de largo por 5mm de diámetro. Posteriormente fueron metalizadas con Cobre (Cu), para proceder a su respectiva observación y determinación de un microanálisis químico elemental.

Las ventajas de los microscopios electrónicos de barrido son las siguientes:

- Posibilidad de observación directa de las muestras masivas sin su preparación especial. Sólo en el caso de los dieléctricos, cuando el material estudiado no es un conductor, se hace una evaporización de las muestras con una capa fina conducida de metal (oro, plata) o de carbón con el espesor 200 Å (sin esta operación en la superficie aparece una carga, que influye sobre la pantalla).
- Caracterización completa del carácter de la estructura de las muestras voluminosas ya que la imagen se caracteriza por la profundidad grande de penetración, la cual es 100 veces más que la de los microscopios ópticos.
- El campo de observación es bastante grande.

12- RESULTADOS

12.1- Estratigrafía

El análisis estratigráfico se llevó a cabo en seis núcleos de sedimentos que corresponden a cuatro lagunas costeras ubicadas en la zona litoral de los estados de Colima y Jalisco. En cada laguna se tomó en cuenta principalmente que los puntos de muestreo se localizaran en la parte distal, así mismo que no estuvieran perturbadas por la presencia de alguna corriente de algún río o escorrentía que pudiera modificar la estratigrafía del piso de la laguna.

Los sedimentos colectados en los núcleos en las cuatro lagunas costeras consisten en partículas que se encuentran en el rango de tamaños de las arcillas, limos, arenas, hasta incluso gravas en algunos núcleos, presentando intercalaciones a manera de estratos en diferentes proporciones a lo largo de las columnas litológicas; haciéndose notar en poca abundancia la presencia de gasterópodos, bivalvos y restos vegetales.

Los contactos entre las diferentes columnas litológicas generalmente se presentan de manera transicional, aunque también predominan los contactos abruptos y erosivos.

A continuación se describe la estratigrafía de los seis núcleos; así mismo, se presentan marcados con una clave que identifica a cada uno de ellos con el número del núcleo, las letras iniciales de la laguna y la fecha en la cual fueron extraídos. También se muestra una escala centimétrica que marca la longitud total de los núcleos y la longitud a la que fueron muestreados para los respectivos análisis, acompañado con el código de colores de acuerdo a la tabla de Munsell.

12.1.1- NÚC-I-LC-14-12-13

Este núcleo fue obtenido en el sector SE de la Laguna de Cuyutlán, Colima en las coordenadas (599632.00 m E. y 2095238.00 m N. Zona 13 Q). Tuvo una longitud de 128 cm, obteniéndose en un tubo de PVC de 4" pulgadas de diámetro. El núcleo se compone de dos unidades; de la base a la cima, fig.16.

UNIDAD I- va de 128 a 25 cm, en su base se observa una estructura de licuefacción de arenas finas con un espesor de 9 cm, de color gris oscuro (5Y 3/2), en la cual se observan gasterópodos de la Sp. *Melanoides tuberculata*, que modifican la estratificación de las arcillas con un color gris (5Y 2.5/1). Transicionalmente pasa de 119 cm a 25 cm a arcillas de color gris (10YR 3/1); Pasando de forma abrupta a la unidad II.

UNIDAD II- Está compuesta por 25 cm, de limos de color marrón (2.5Y 5/3), con pequeños gasterópodos de la Sp. *Elachisina grippi*, con un tamaño de 0.4 cm, así como pequeños fragmentos de madera y estructuras de bioturbación.

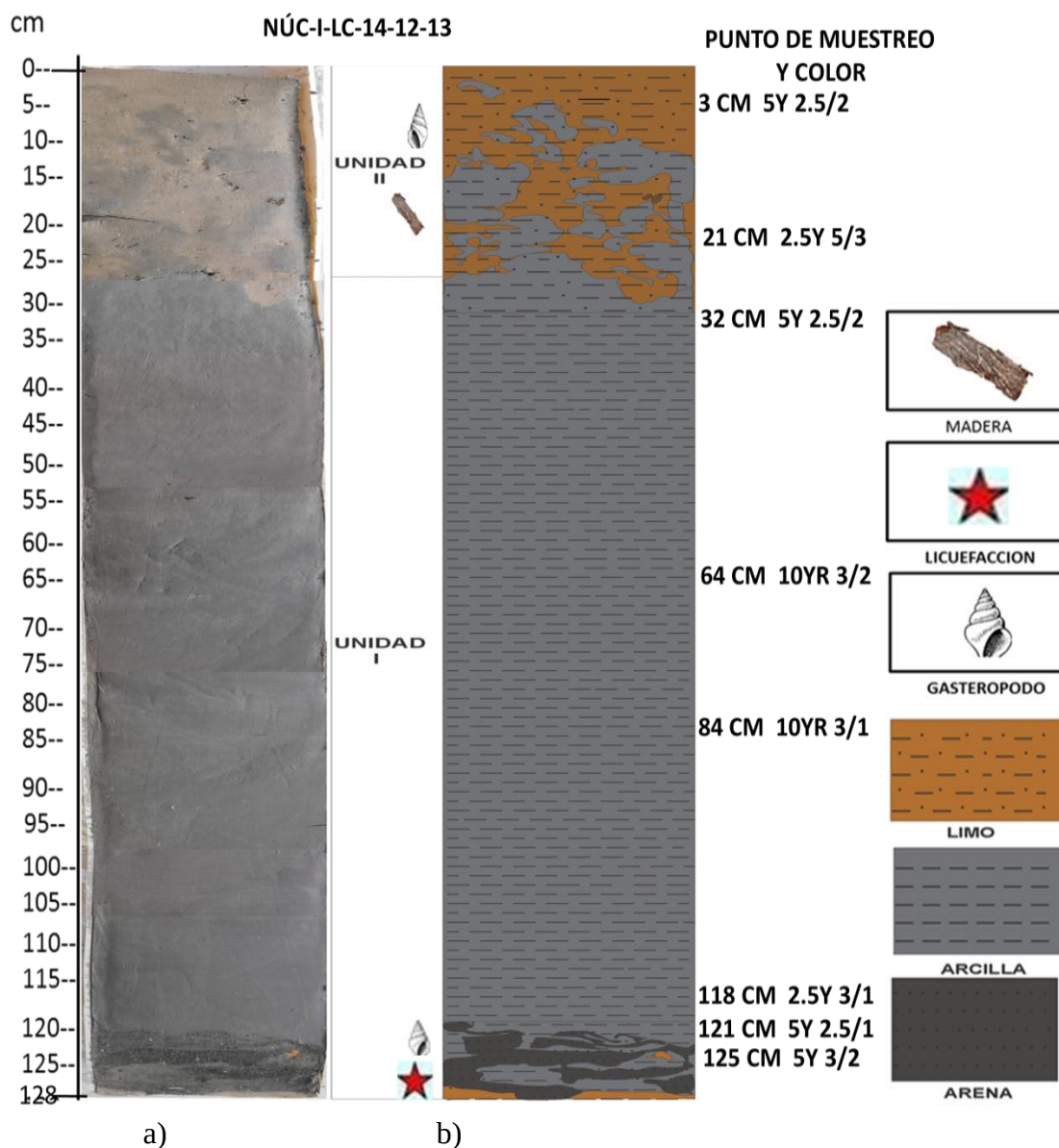


Figura 16 a) Muestra el registro fotográfico y b) muestra la columna estratigráfica con estructuras de bioturbación por organismos acuáticos en la cima y estructuras de licuefacción en la base provocada por un evento sísmico.

12.1.2- NÚC-II-LC-14-12-13

Este núcleo fue obtenido en el sector SE de la Laguna de Cuyutlán, Colima en las coordenadas (587766.00 m E y 2099869.00 m N. Zona 13 Q).

Tuvo una longitud total de 136 cm, obteniéndose en un tubo de PVC de 4” pulgadas de diámetro, fig. 17.

En el núcleo se identificaron cinco unidades; Pero la unidad uno presenta características que permiten subdividirla en tres unidades: unidad I a), unidad I b) y unidad I c), que en su conjunto esta unidad va de 136 cm a 97.5 cm,;

UNIDAD I a) - Se encuentra de 136 cm a 119 cm, con un espesor de 17 cm. de color gris (2.5Y 3/1), está compuesta por arena mezclada con arcilla, la cual se interpreta que es un depósito de tsunami presentando pequeños gasterópodos con un tamaño de un centímetro, de la Sp. *Elachisina grippi* y bivalvos con un tamaño de cuatro centímetros de longitud de la Sp. *Tagelus californianus*. Sobreyaciendo en contacto brusco se encuentra la unidad I b);

UNIDAD I b) - Esta unidad va de 119 cm a 111 cm, con un espesor de 8 cm, y una coloración café oscuro (10YR 3/1). Está compuesta por material arcilloso con estructuras de bioturbación compuestas por arena; pasando de forma erosiva a la unidad I c),

UNIDAD I c) - Se muestra entre 111 cm a 97.5 cm, haciendo contacto erosivo en su base, con un espesor de 13.5 cm compuesta de arena color negro (10YR 2/2), que presenta una gradación normal y que se interpreta que es un depósito de tsunami, con escasa presencia de pequeños gasterópodos de la Sp. *Elachisina grippi* con un tamaño de 0.5 cm. Suprayaciendo de forma contrastante se presenta la unidad II;

UNIDAD II- Se encuentra de 97.5 cm a 42 cm y está conformada principalmente por material arcilloso; de 97.5 cm a 82 cm presenta estructuras asociadas a tempestitas en forma de lentes de arena, así mismo también se encuentran estructuras de bioturbación generada por gasterópodos de la Sp. *Elachisina grippi* y bivalvos de la Sp. *Tagelus californianus*, de cuatro centímetros de longitud con pequeños restos de madera de 0.3 a 0.5 cm incrustados en el sedimento dando una coloración de café oscuro lechoso (7.5 YR 2.5/1); mientras que en la cima de esta unidad a 49 cm son abundantes los restos de madera con tamaño menor a 0.3 cm mezclados con el sedimento arcilloso, mostrando un cambio transicional en la coloración haciéndose más oscura con manchas negras (10YR 3/1), provocadas por un ambiente anóxico en la laguna. Sucesivamente de forma transicional se encuentra la unidad III;

UNIDAD III- Está compuesta por material limoso presentando un color café con manchas ligeramente amarillas (2.5Y 5/3), haciendo contacto transicional de arcilla a limo en el centímetro 42 con restos de materia orgánica y gasterópodos de la Sp. *Melanoides tuberculata* de un centímetro de longitud.

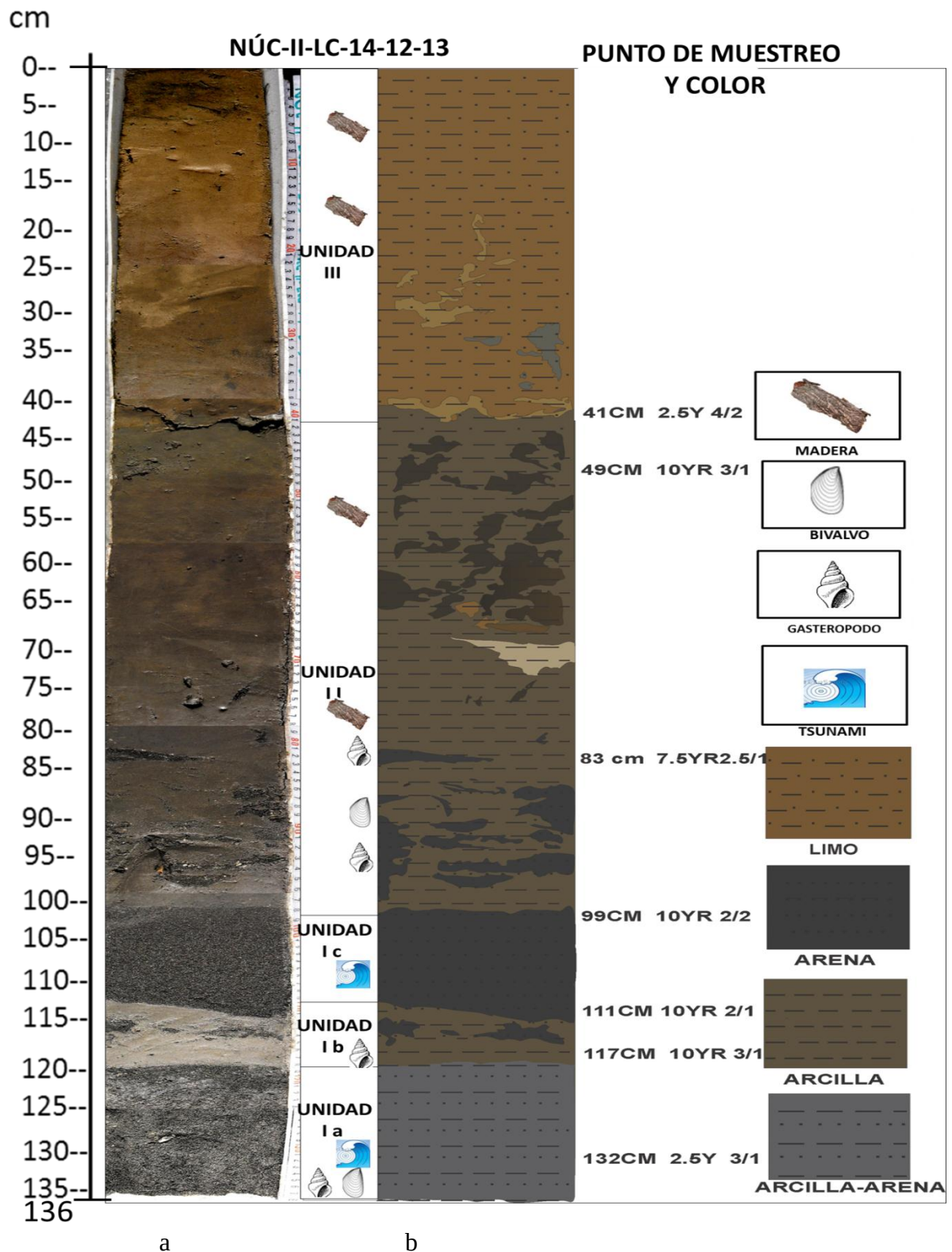


Figura 17 a) Muestra el registro fotográfico y b) muestra la columna estratigráfica del núcleo en la cual se observa en las unidades I a) y I c) dos depósitos de tsunamis; así como en la base de la unidad II se observan estructuras de tempestitas y bioturbación, mientras que en la cima de ésta unidad se aprecia un color café oscuro que se asocia a un episodio anóxico.

12.1.3- NÚC-VI-LC-16-12-13

Este núcleo también fue obtenido en el sector SE de la Laguna de Cuyutlán, Colima en las coordenadas (582830.00 m E y 2101295.00 m N. Zona 13 Q).

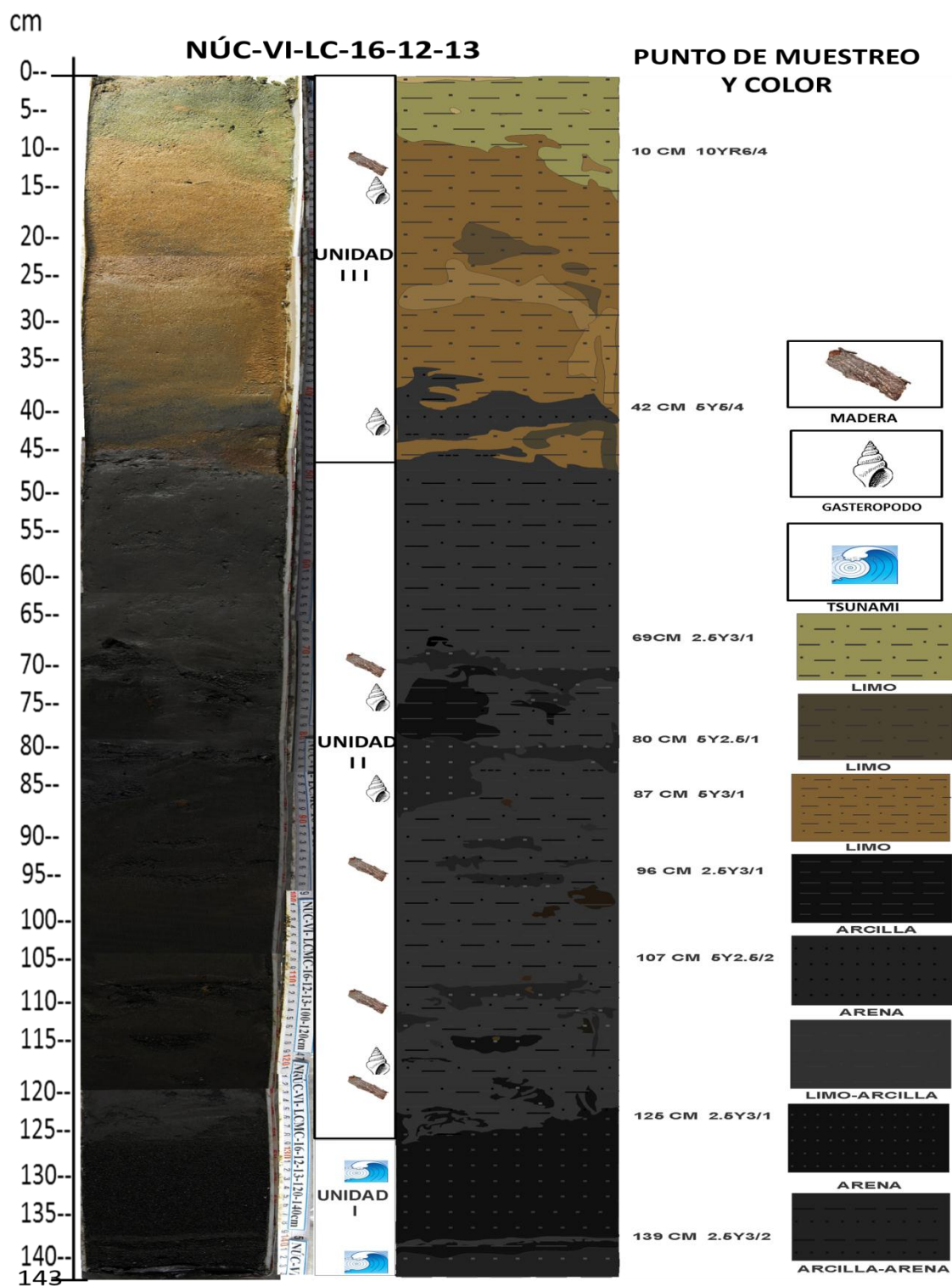
Presentó una longitud total de 143 cm, obteniéndose en un tubo de PVC de 4” pulgadas de diámetro, fig.18.

La columna litológica de este núcleo en se compone por cuatro unidades de la base a la cima;

UNIDAD I- Esta unidad va de 143 cm a 127 cm con un espesor de 16 cm. La base de esta unidad se muestra de 143 cm a 139 cm, con un espesor de 3 cm de arena mezclada con arcilla de color gris oscuro (2.5Y 3/2), que se interpreta como un depósito de tsunami; sucesivamente de 139 cm a 138 cm se observa sobreyaciendo un contacto contrastante de un centímetro compuesto por arcilla de color gris (2.5Y 3/2), indicando un ambiente de estabilidad en la laguna; sobreyaciendo de 138 cm a 127 cm, con 11 cm de espesor se encuentra en contacto erosivo un depósito de arena de color negro (2.5Y 3/1), que presenta una gradación positiva indicando que éste depósito de arena fue provocado por un tsunami que interrumpió con la estabilidad en este ambiente. Sucesivamente continúa la unidad II con un contacto brusco compuesto por material arcilloso;

UNIDAD II- va de 127 cm a 49 cm con un espesor de 78 centímetros, está compuesta por material limo-arcilloso con predominancia de color gris (2.5Y 3/1), con pequeños trozos de madera menor a 0.3 cm y gasterópodos pequeños en poca abundancia de la Sp. *Elachisina grippi*; así mismo, del centímetro 127 al centímetro 70 se presentan múltiples estructuras de bioturbación y de tempestitas con forma de lentes de arena. Sobreyaciendo esta unidad se encuentra en contacto transicional la unidad III, pasando de material de limo-arcilloso a limo.

UNIDAD III- Comprende del centímetro 49 a la cima de la columna litológica del núcleo; está compuesta por limo que presenta una coloración transicional de café a verde (10YR 6/4); así mismo, siguen estando presentes los pequeños trozos de madera menores a 0.3 cm y gasterópodos de la Sp. *Elachisina grippi*.



a)

b)

Figura 18 a) Muestra el registro fotográfico y b) muestra la columna estratigráfica del núcleo con dos depósitos de tsunamis en la unidad I, y con estructuras de tempestitas y bioturbación en la unidad II.

12.1.4- NÚC-III-LLB-15-12-13

Este núcleo fue extraído en la laguna La Boquita, Colima, con las siguientes coordenadas (562807.12 m E y 2112874.77 m N. Zona 13 Q).

Presentó una longitud total de 126 centímetros de la base a la cima, obteniéndose en un tubo de PVC de 4” pulgadas de diámetro mostrando diferentes estratos de sedimento conformado principalmente por arcillas, arenas, gasterópodos y bivalvos;

En esta columna litológica se identificaron cuatro unidades; Pero la unidad dos presenta características litológicas que permiten subdividirla en tres unidades: unidad II a), unidad II b) y unidad II c), que en su conjunto esta unidad va de 101 cm a la cima del núcleo: fig.19.

UNIDAD I- Esta unidad va de 126 cm a 101 cm, con un espesor de 25 cm y está representada por material arcilloso de color negro (7.5YR 2.5/1), con pequeños trozos de madera con un tamaño menor a 0.3 cm y con poca abundancia de líticos de hasta 4.5 cm de longitud distribuidos en toda la unidad. Sobreyaciendo se encuentra en contacto transicional la unidad II a, compuesta por arcilla y arena;

UNIDAD II a- Va de 101 cm a 70 cm. Esta unidad se encuentra sobreyaciendo de forma transicional con la unidad I, presentando material arcilloso de color negro (10YR 2/2), en la base, y negro (5Y 2.5/1) en la cima de esta unidad; la arcilla se encuentra mezclada con arena y escasos líticos de 4.5 cm de longitud y restos de madera con tamaño menor a 0.3 cm; así mismo se muestra con abundantes gasterópodos de la Sp. (*Elachisina grippi*, *Seila assimilata* y *Rissonia spp.*), y bivalvos de la Sp. (*Cassostrea corteziensis* y *Tagelus californianus*) de hasta 6 cm de longitud, aunque en su mayoría se encuentran fracturados y depositados en desorden por evento de tempestita de alta energía; así mismo, se presentan estructuras de bioturbación. Sucesivamente se presenta la unidad II b, en contacto transicional;

UNIDAD II b – Se muestra a partir de 70 cm a 24 cm con un espesor de 46 cm, compuesta por arena de color gris (2.5Y 2.5/1) en su base, y en su cima de color gris (5Y 2.5/1). Así mismo, en el centímetro 57 se observan restos de madera con un tamaño de 0.5 cm y un pequeño vidrio de 1 centímetro de longitud indicando que a esta profundidad hubo procesos de bioturbación antropogénica. Sucesivamente en el centímetro 34 la coloración de la arena se hace gris oscura (5Y 2.5/1), presentando pequeños bivalvos de la Sp. *Choromytilus palliopunctatus* que llegan a tener hasta 3.0 cm de longitud, generando estructuras de bioturbación; así mismo se encuentran restos de carbón de un centímetro de longitud.

Sucesivamente en contacto transicional con la unidad anterior se encuentra la unidad II c;

UNIDAD II c – Se presenta del centímetro 24 a la cima de esta columna litológica en contacto transicional compuesta por arena de color café (5Y 3/2), indicando que actualmente se están llevando a cabo fuertes procesos erosivos en la cuenca.

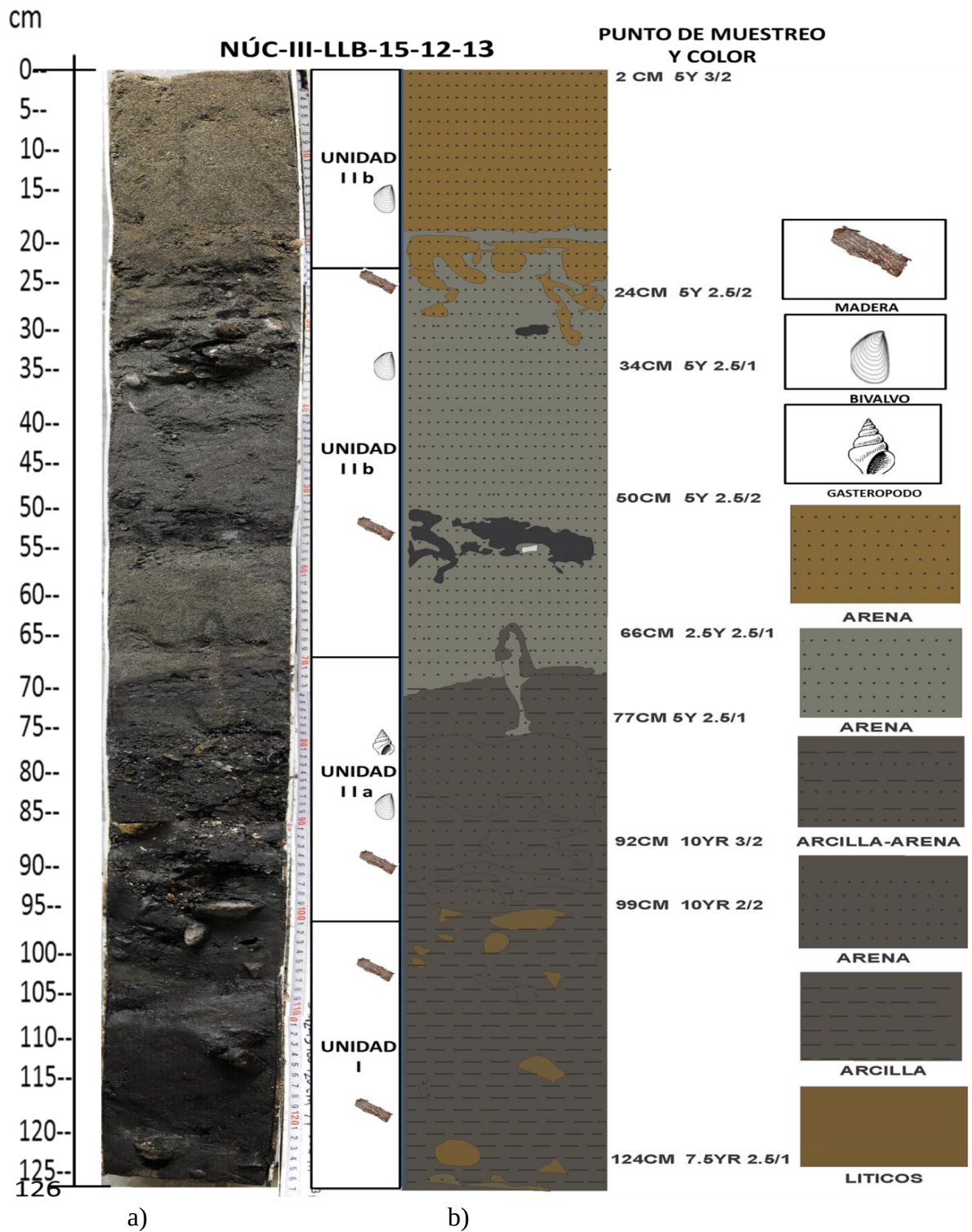


Figura 19 a) Muestra el registro fotográfico y b) muestra la columna estratigráfica del núcleo con cuatro unidades litológicas, presentando estructuras de bioturbación. Así mismo, del centímetro 70 hasta la cima de esta columna litológica se compone por material arenoso, indicando un fuerte impacto erosivo en la cuenca.

12.1.5- NÚC-IV-LLC-15-12-13

Este núcleo fue extraído en la laguna La Chacala, Playa del Oro, Colima, con las siguientes coordenadas (548577.70 m E y 2116891.94 m N. Zona 13 Q).

Presentó una longitud total de 91 centímetros de la base a la cima, obteniéndose en un tubo de PVC de 4" pulgadas de diámetro mostrando diferentes estratos de sedimento conformado principalmente por limos y arenas;

En esta columna litológica se identificaron cinco unidades; Pero la unidad uno presenta características litológicas que permiten dividirla en tres sub-unidades: unidad I a), unidad I b) y unidad I c), que en su conjunto esta unidad va de 91 centímetros a 60 centímetros: fig.20

UNIDAD I a- Ésta sucesión sedimentaria va del centímetro 91 al centímetro 80 con un espesor de 11 cm, y está constituida de material limoso color café (2.5Y 2.5/1). La cima de esta unidad se interrumpe abruptamente por material arenoso con un contacto erosivo, dando lugar a la unidad I b;

UNIDAD I b- Se encuentra del centímetro 80 al centímetro 73, con un espesor de 13 cm compuesta por material arenoso de color café (10YR 2/1), con grandes trozos de madera de hasta 6.5 cm de longitud presentando en su base un contacto erosivo con la unidad anterior, lo cual se interpreta como un depósito de tsunami. Sobreyaciendo se encuentra en contacto contrastante la unidad I c;

UNIDAD I c- Esta unidad está compuesta por material limoso de color café (2.5Y 2.5/1), y va del centímetro 73 al centímetro 60 con un espesor 7 centímetros, presentando pequeños trozos de madera de tamaño menor a 0.3 cm; posteriormente se encuentra haciendo un contacto abrupto la unidad II;

UNIDAD II- Esta unidad corresponde de los 60 centímetros a los 9 centímetros con un espesor de 51 cm. Se conforma por material arenoso de color marrón (2.5Y 4/3), presentando un contacto brusco y erosivo con la unidad adyacente, indicando un evento de alta energía y que se prolongó por un largo periodo de tiempo; en el cm 47 se muestra un pequeño lente de arcilla de un centímetro de diámetro y sucesivamente del cm 35 al cm 27 se presentan nuevamente los lentes de arcilla que son generados por bioturbación de organismos acuáticos, ya que se observa la presencia de pequeños gasterópodos de 0.8 cm de longitud de la Sp. *Elachisina grippi* en poca abundancia. Finalmente, en la cima de esta columna se encuentra sobreyaciendo la unidad III;

UNIDAD III- Va de los 9 cm a la cima de la columna litológica y se encuentra haciendo contacto transicional con la unidad anterior de material arenoso a limoso de color café (10YR 3/1), con restos de madera de hasta 2 centímetros y gasterópodos de la Sp. *Melanoides tuberculata* con estructuras de bioturbación.

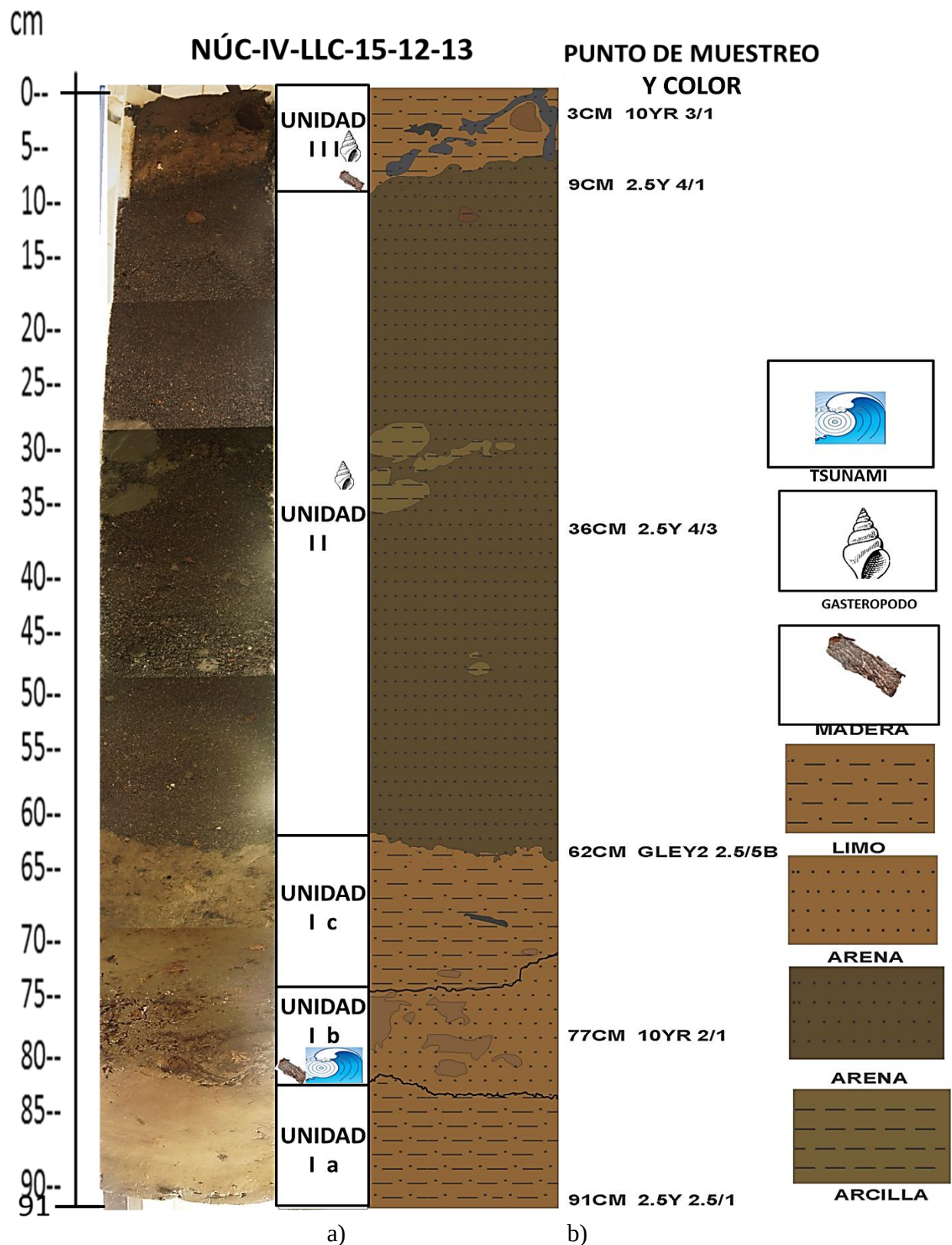


Figura 20 a) Muestra el registro fotográfico y 8 b) muestra la columna estratigráfica del núcleo con estructuras de bioturbación y con un depósito de tsunami en la unidad Ib.

12.1.6- NÚC-V-LBN-16-12-13

En la laguna Barra de Navidad, Jalisco, se extrajo el núcleo 5 denominado, NUC-V-LBN-16-12-13 con las siguientes coordenadas (534774.00 m E y 2122091.00 m N. Zona 13 Q).

Presentó una longitud total de 133 centímetros de la base a la cima, obteniéndose en un tubo de PVC de 4" pulgadas de diámetro mostrando cuatro unidades conformadas principalmente por arcillas y arenas; así mismo, la unidad dos presenta características litológicas que permiten dividirla en tres sub-unidades: unidad II a), unidad II b) y unidad II c); fig.21.

UNIDAD I- Esta unidad va de los 133 centímetros a los 98 centímetros con un espesor de 35 centímetros y está constituida por material arcilloso de color gris (2.5Y 3/2), presentando en la cima un contacto erosivo con la unidad II a;.

UNIDAD II a – Se presenta de 98 centímetros a 59 centímetros con un espesor de 39 centímetros compuesta por arenas finas de color gris (5Y 3/2) con una estratificación laminar de arenas finas, y en la cima de esta unidad se observa una mezcla de arcilla con arena, indicando un ambiente de tranquilidad y baja energía. Sucesivamente le continúa la unidad II b con un contacto transicional;

UNIDAD II b- Va de 59 cm a 12 cm con un espesor de 47 cm, está compuesta por material arenoso de color gris (2.5Y 3/1) con la presencia de clastos que tienen un diámetro de 0.6 cm, en el cm 28 se observa la presencia de bivalvos en poca abundancia de la Sp. *Tagelus californianus* con un tamaño de 2.3 cm indicando un ambiente erosivo de alta energía; de forma transicional se va mezclando con material arcilloso que corresponden a estructuras de bioturbación hasta la unidad II b;

UNIDAD II c – Esta unidad corresponde a la cima de la columna litológica de éste núcleo con un espesor de 12 centímetros compuesta por arena de color café claro (5Y 3/2), mezclado con arcilla que corresponde a estructuras de bioturbación.

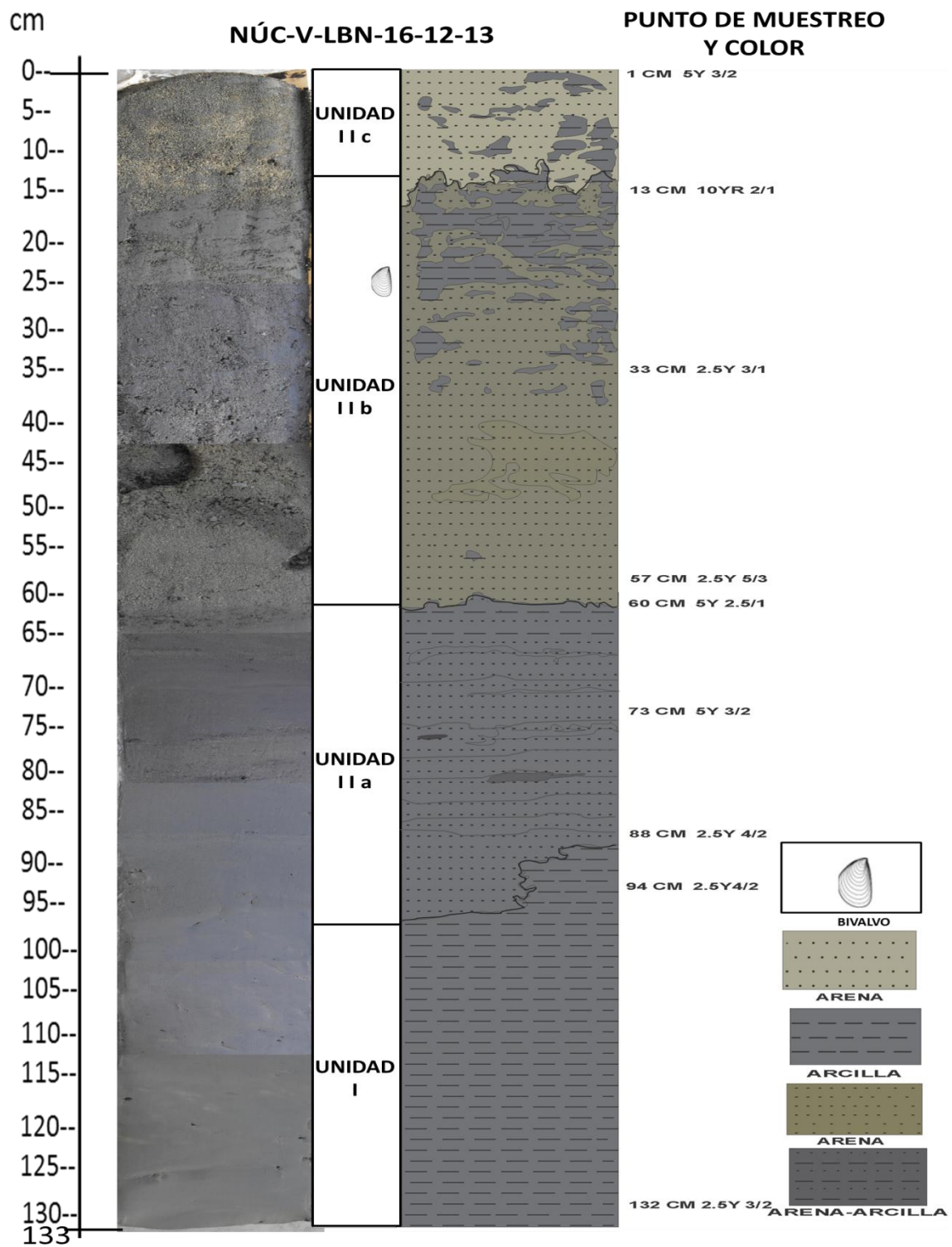


Figura 21 a) Muestra el registro fotográfico y 9 b) muestra la columna estratigráfica presentando en la unidad II a, arenas finas con estructuras de laminación paralela y en la unidad II b, muestra estructuras de bioturbación.

12.1.7- Gasterópodos, bivalvos y diatomeas

Las lagunas costeras son ecosistemas muy fluctuantes caracterizados fundamentalmente por la mezcla de aguas continentales y marinas. La intensidad y frecuencia de esta mezcla determina en su mayor parte los cambios estacionales las características químicas del agua y de las poblaciones biológicas que las habitan.

Se separaron e identificaron microfósiles (gasterópodos, bivalvos y diatomeas) presentes en las muestras de sedimentos de los núcleos, en los cuales se realizó una limpieza previa de las muestras, retirando en su mayoría la fracción de arena y arcilla de las mismas.

Se identificaron nueve especies de gasterópodos y bivalvos presentes en los seis núcleos muestreados y de acuerdo a su hábitat todas estas especies pertenecen a lagunas costeras, lo que indica que no han sido depositadas por un evento externo, las cuales se muestran en el siguiente cuadro 4.

Aunque finalmente la presencia de material detrítico grueso indica un episodio erosivo en las lagunas, mientras que el material más fino puede indicar fases lagunares más estables así como cambios de facies.

Así mismo, se identificaron cincuenta y ocho especies de diatomeas que presentan las mismas condiciones de hábitat que los gasterópodos y bivalvos; aunque para este caso es importante mencionar que sólo se encontraron diatomeas en dos núcleos; NÚC-I-LC-14-12-13, que corresponde a la Laguna Cuyutlán, a profundidades de 21cm, 64cm, 121cm y 125cm, mientras que en el NÚC-III-LLB-15-12-13 de la Laguna La Boquita, sólo se encontraron diatomeas presentes en profundidades de 66cm y 92 cm, que se presentan en un listado general en el siguiente cuadro 5.

Mientras que en los cuatro núcleos restantes no se encontró en ninguna muestra ejemplares de diatomeas.

Núcleo I. Lag. Cuyutlán						
Especies	5 cm		124 cm			
<i>Elachisina grippi</i> Dall, 1918						
<i>Melanoides tuberculata</i> (O. F. Müller, 1774)						
Núcleo II. Lag. Cuyutlán						
Especies	2cm – 24 cm	87 cm – 98 cm	110 cm – 118 cm	128 cm – 135 cm		
<i>Elachisina grippi</i> Dall, 1918						
<i>Melanoides tuberculata</i> (O. F. Müller, 1774)						
<i>Tagelus californianus</i> (Conrad, 1837)						
Núcleo III. Lag. La Boquita						
Especies	13 cm	24 cm	30 cm	33 cm	34 cm	87 cm
<i>Choromytilus palliopunctatus</i> (Carpenter, 1857)						
<i>Saccostrea palmula</i> (Carpenter, 1857)						
<i>Crassostrea corteziensis</i> (Hertlein, 1951)						
<i>Tagelus californianus</i> (Conrad, 1837)						
<i>Elachisina grippi</i> Dall, 1918						
<i>Seila assimolata</i> (C. B. Adams, 1852)						
<i>Rissoina spp</i>						
<i>Cryptomya californica</i> (Conrad, 1837)						
Núcleo IV Lag. La Chacala						
Especies	6 cm			34 cm		
<i>Elachisina grippi</i> Dall, 1918						
<i>Melanoides tuberculata</i> (O. F. Müller, 1774)						
Núcleo V. Lag. Barra de Navidad						
<i>Tagelus californianus</i> (Conrad, 1837)						
Núcleo VI- Lag. Cuyutlán						
Especies	45 cm		80 cm		112 cm	
<i>Elachisina grippi</i> (Dall, 1918)						

Cuadro 4. Que presenta las especies de gasterópodos y bivalvos encontrados en los seis núcleos de sedimento extraídos de las lagunas; Cuyutlán, la Boquita, la Chacala y Barra de navidad.

Núm.	Nombre de la especie
1	<i>Achnanthes</i> aff. <i>coarctata</i>
2	<i>Achnanthidium exiguum</i>
3	<i>Amphora coffeaeformis</i>
4	<i>Amphora capulata</i>
5	<i>Amphora ovalis</i>
6	<i>Amphora</i> sp.
7	<i>Anomoeoneis sphaerophora</i> f. <i>costata</i>
8	<i>Aphora ovalis</i>
9	<i>Aulacoseira granulata</i>
10	<i>Coloneis hyalina</i>
11	<i>Coloneis permagna</i> (fragmentos)
12	<i>Cocconeis euglypta</i>
13	<i>Cocconeis lineata</i>
14	<i>Craticula fumantii</i>
15	<i>Craticula halophila</i>
15	<i>Cyclostephanos</i> aff. <i>dubius</i>
17	<i>Cyclotella distinguenda</i> var. <i>distinguenda</i>
18	<i>Diadesmis confervacea</i>
19	<i>Diploneis bombus</i> (fragmentos)
20	<i>Diploneis finnica</i>
21	<i>Diploneis pseudovalis</i>
22	<i>Diploneis puella</i>
23	<i>Diploneis</i> sp.
24	<i>Encyonema silesiacum</i>
25	<i>Eunotia</i> sp. (fragmentos)
26	<i>Fallacia pygmaea</i>
27	<i>Fragilaria</i> aff. <i>fasciculata</i>
28	<i>Gomphonema lagenula</i>
29	<i>Gomphonema</i> sp.

Núm.	Nombre de la especie
30	<i>Hantzschia amphioxys</i>
31	<i>Hippodonta capitata</i>
32	<i>Luticola mutica</i>
33	<i>Navicula</i> aff. <i>alinea</i>
34	<i>Navicula antonii</i>
35	<i>Navicula recens</i>
36	<i>Navicula</i> sp.
37	<i>Nitzschia calida</i>
38	<i>Nitzschia compressa</i>
39	<i>Nitzschia fonticola</i>
40	<i>Nitzschia inconspicua</i>
41	<i>Nitzschia palea</i>
42	<i>Nitzschia panduriformis</i> (fragmentos)
43	<i>Nitzschia sigma</i> (fragmentos)
44	<i>Nitzschia</i> sp. (fragmentos)
45	<i>Nitzschia triblionella</i>
46	<i>Pinnularia</i> aff. <i>pseudacuminata</i>
47	<i>Pinnularia</i> sp. (fragmentos)
48	<i>Pleurasigma acuminatum</i>
49	<i>Rhopalodia</i> aff. <i>gibberula</i>
50	<i>Rhopalodia brebissonii</i>
51	<i>Rhopalodia gibba</i>
52	<i>Sellaphora pupula</i>
53	<i>Staurasira brevistriata</i>
54	<i>Stephanocyclus meneghiniana</i>
55	<i>Surirella</i> sp. (fragmentos)
56	<i>Ulnaria acus</i>
57	<i>Ulnaria goulardii</i>
58	<i>Ulnaria ulna</i>

Cuadro 5. Presenta el listado de las especies de diatomeas encontradas en los núcleos: NÚC-I-LC-14-12-13 y NÚC-III-LLB-15-12-13.

12.1.8- Susceptibilidad Magnética

Se ha podido observar que existe una relación muy estrecha entre los valores que se han obtenido a través de la susceptibilidad magnética y las columnas litológicas.

12.1.9- NÚC-I-LC-14-12-13

En la figura 22, se observan las variaciones de la susceptibilidad magnética (χ) paralelo a la columna estratigráfica del núcleo I, que pertenece a la Laguna de Cuyutlán, Colima.

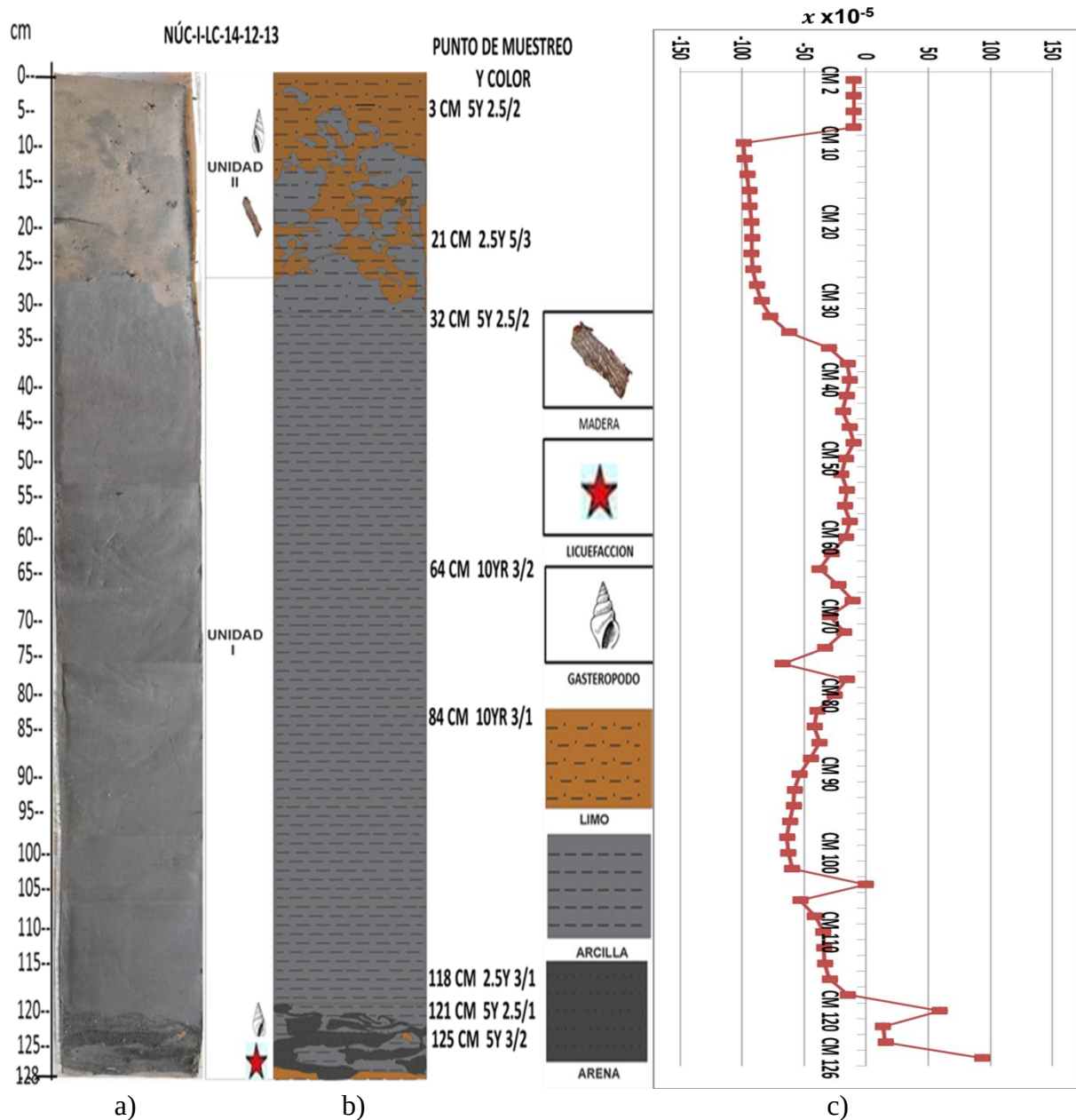


Figura 22 a) Registro fotográfico del núcleo, b) Columna estratigráfica del núcleo y c) Gráfica de Susceptibilidad magnética en la cual se observa que entre los 126 cm y los 118 cm se eleva un pico de mayor susceptibilidad magnética.

12.2- NÚC-II- LC-14-12-13

En la figura 23, se presentan las variaciones de la susceptibilidad magnética (χ) junto a la columna estratigráfica del núcleo II, que corresponde a la Laguna de Cuyutlán, Colima.

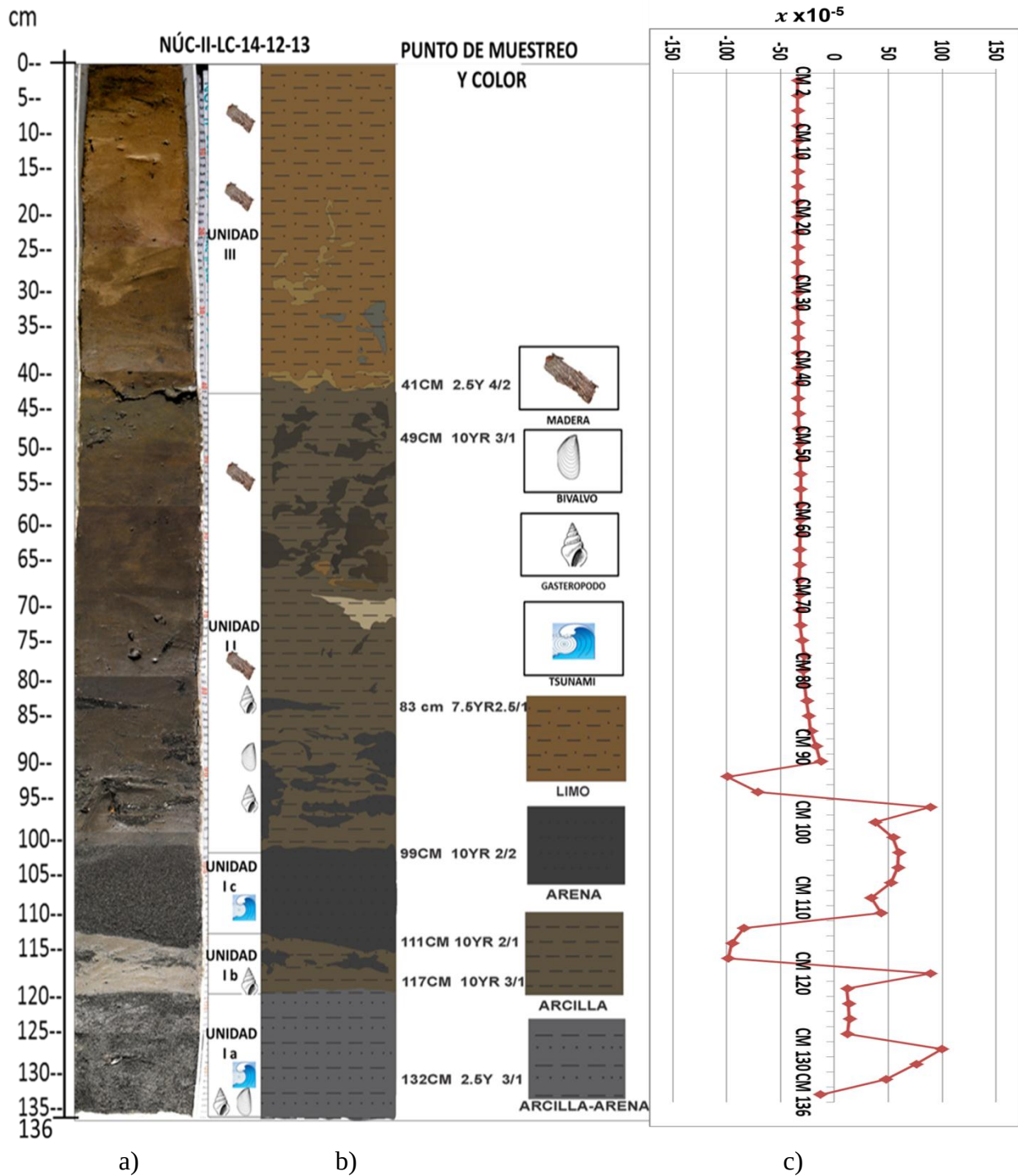


Figura 23 a) Registro fotográfico del núcleo, b) Columna estratigráfica del núcleo y c) Gráfica de Susceptibilidad magnética donde se observan dos picos con valores máximos; el primero entre el centímetro 136 y 118 y el segundo entre el centímetro 111 y el centímetro 98.

12.2.1- NÚC-VI-LC-16-12-13

En la figura 24. Se muestran las variaciones que tiene la susceptibilidad magnética (χ) paralelo a la columna estratigráfica del núcleo VI, que también corresponde a la Laguna Cuyutlán, Colima.

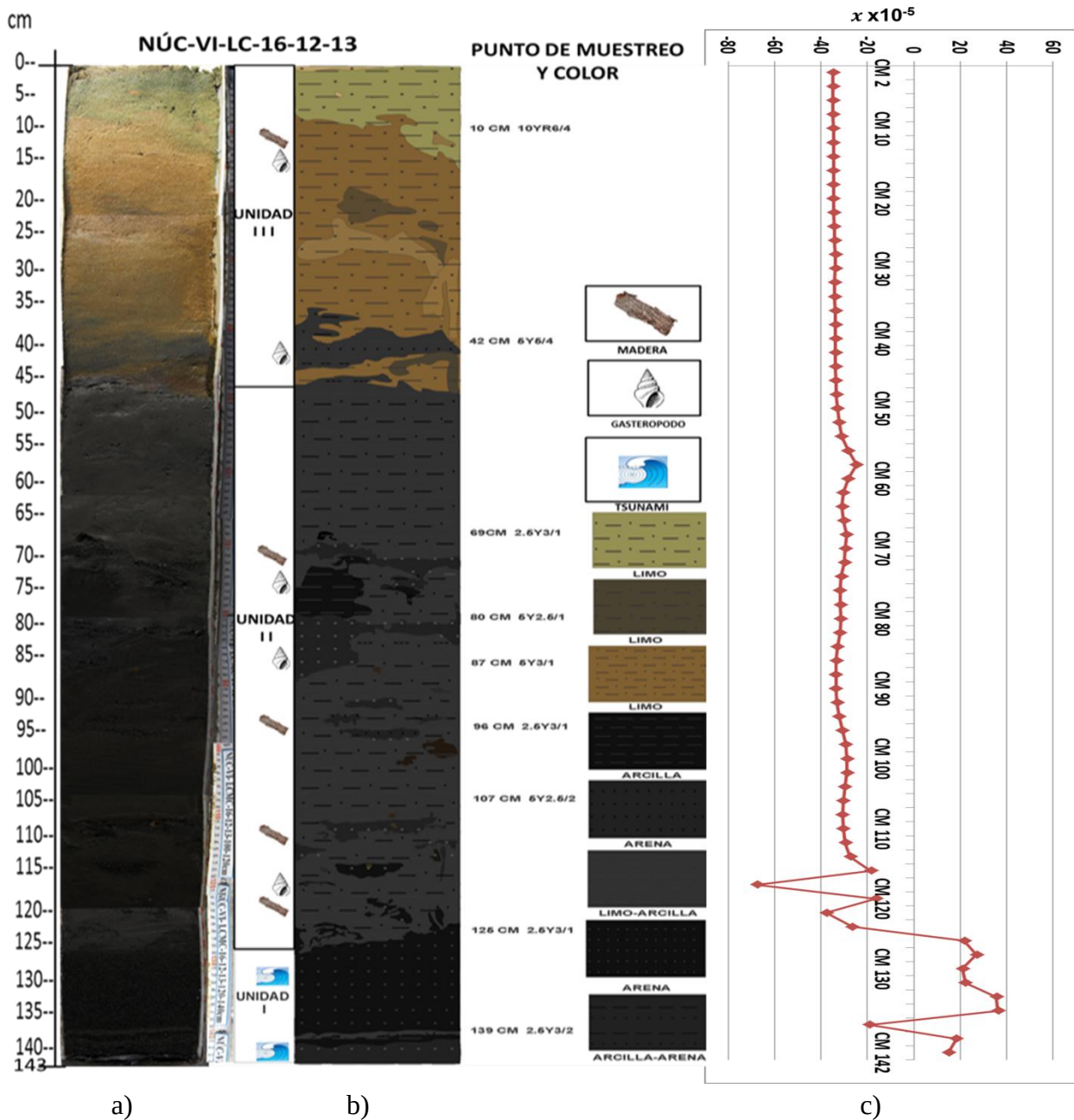


Figura 24 a) Registro fotográfico del núcleo, b) Columna estratigráfica del núcleo y c) Gráfica de Susceptibilidad magnética, donde se observan tres picos con valores máximos; el primero se observa en el centímetro 40. Sucesivamente entre el centímetro 136 y el centímetro 126 se presenta un segundo pico de susceptibilidad magnética y el tercer pico se observa entre el centímetro 122 y el centímetro 114.

12.2.2- NÚC-III-LLB-15-12-13

En la figura 25 se presentan las variaciones que presenta la susceptibilidad magnética (χ) paralelo a la columna estratigráfica del núcleo III, que corresponde a la Laguna de La Boquita, Colima.

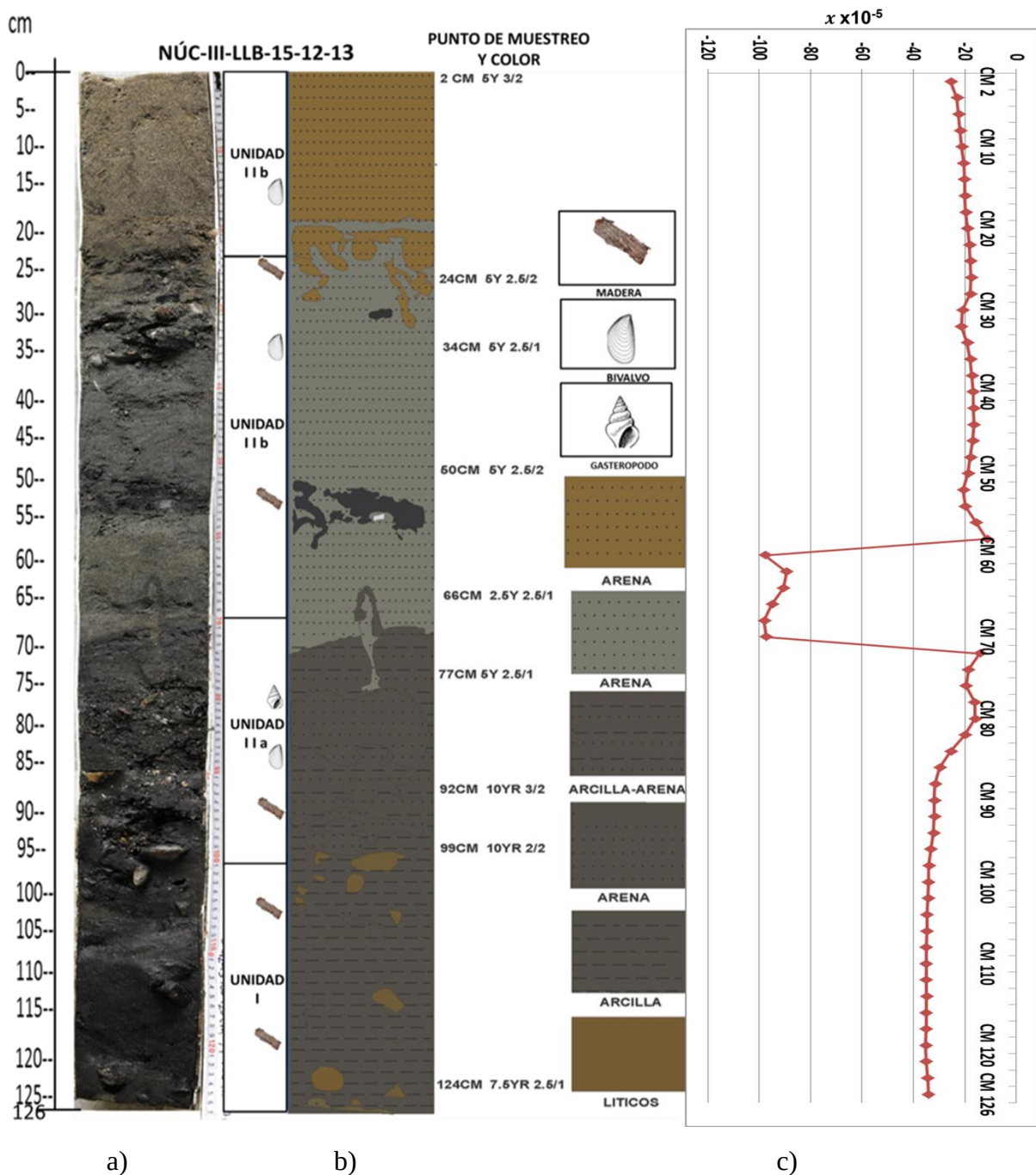


Figura 25 a) Registro fotográfico del núcleo, b) Columna estratigráfica del núcleo y c) Gráfica de Susceptibilidad magnética donde se observan picos máximos de susceptibilidad magnética.

12.2.3- NÚC-IV-LLC-15-12-13

En la figura 26, se presentan las variaciones de la susceptibilidad magnética (χ) paralelo a la columna estratigráfica del núcleo IV, que corresponde a la Laguna de La Chacala, Playa del Oro, Colima.

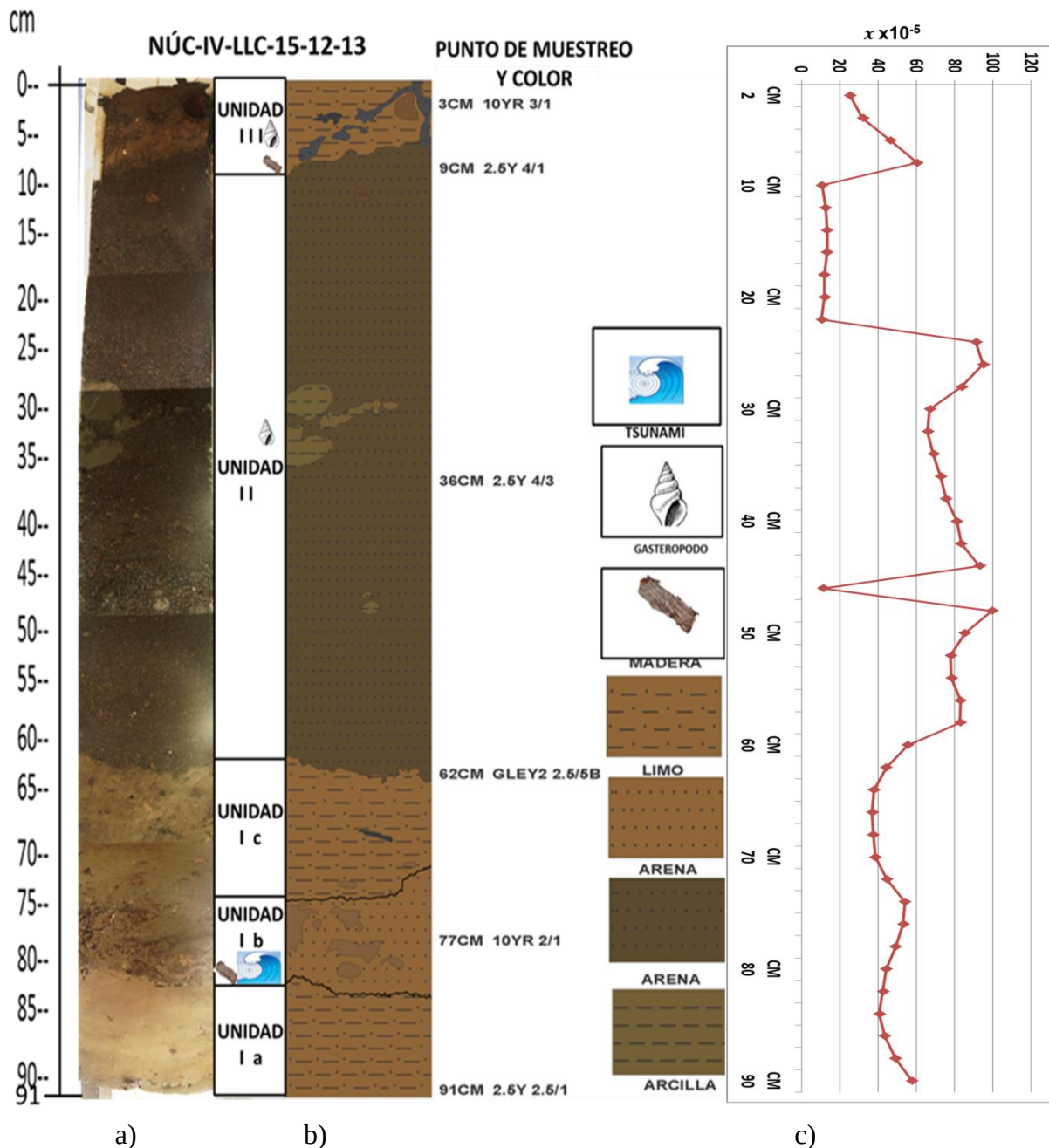


Figura 26 a) Registro fotográfico del núcleo, b) Columna estratigráfica y c) Gráfica de Susceptibilidad magnética donde se observan cambios importantes en las unidades que presentan una composición de material arenoso, principalmente en la unidad I b, y la unidad II.

12.2.4- NÚC-V-LBN-16-12-13

En la figura 27 se presentan los valores de la susceptibilidad magnética (χ) paralelo a la columna estratigráfica del núcleo “V” que corresponde a la Laguna de Barra de Navidad, Jalisco.

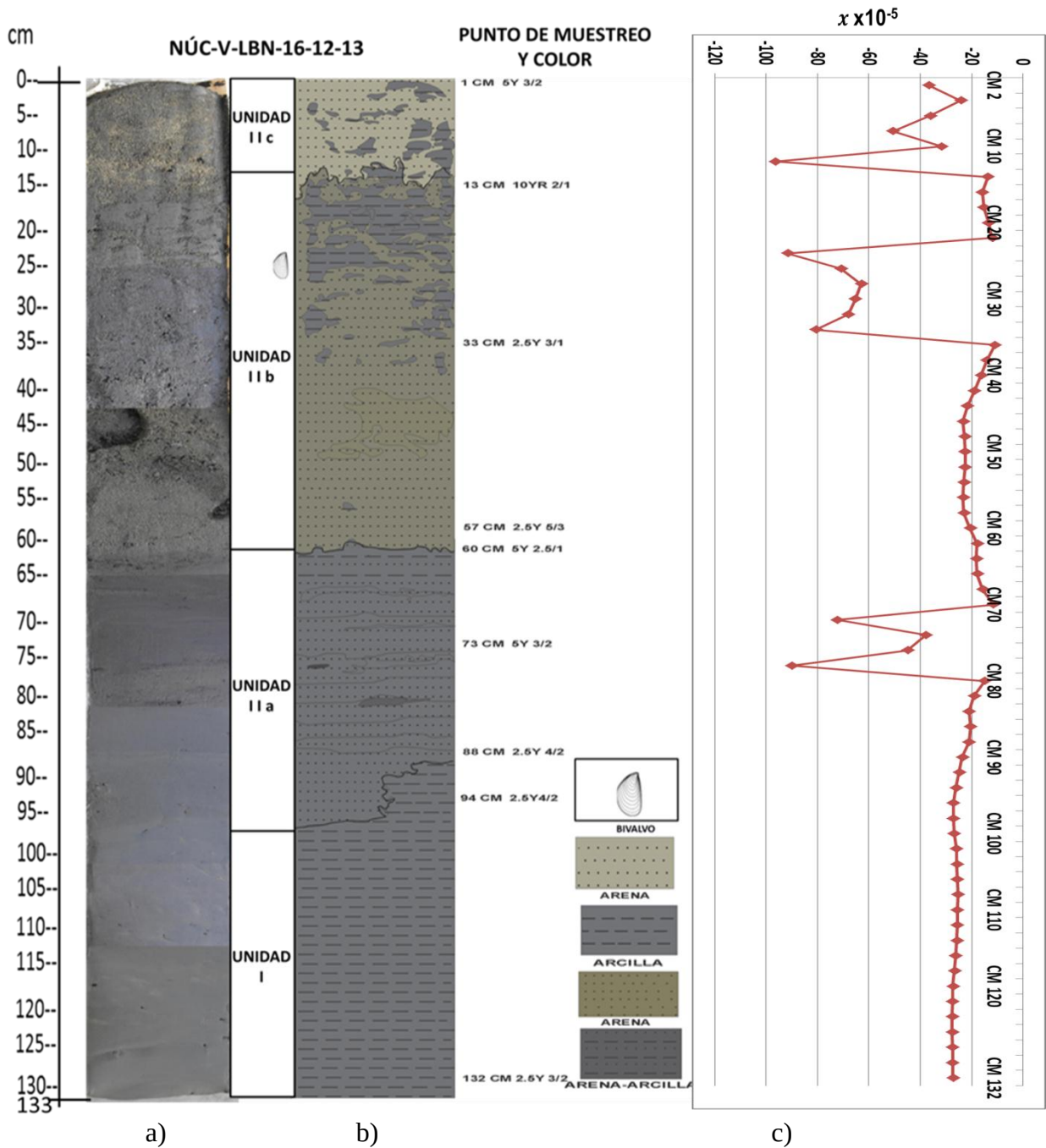


Figura 27 a) Registro fotográfico del núcleo, b) Columna estratigráfica del núcleo y c) Gráfica de Susceptibilidad magnética.

12.2.5- Fechamientos con ^{14}C

En relación a la toma de muestras para fechamientos a través de ^{14}C AMS en sedimento de restos de madera y gasterópodos, se seleccionaron cinco muestras que corresponden a tres núcleos en diferentes niveles de profundidad fig. 28, esto se debe a que en estos núcleos es donde se encuentran registrados estratigráficamente los cinco depósitos de paleo-tsunamis y el mayor interés es conocer las edades en las cuales ocurrieron estos eventos, por lo que estas fechas obtenidas nos proporcionan edades que de acuerdo a los antecedentes registrados en esta región costera, podemos atribuir alguna edad con algún evento de tsunami o sismo que haya ocurrido en el pasado o incluso podemos conocer si se trata de un evento del cual no se tenga registro. Estos análisis se realizaron a través del laboratorio comercial denominado *Beta Analytic*, en Miami, Florida, EUA. Los datos se presentan en el cuadro 6.

Así mismo en la fig. 28, podemos observar a través del análisis de ^{14}C AMS que en la base de los núcleos: NÚC-II-LC-14-12-13 y NÚC-VI-LC-16-12-13 que corresponden a la Laguna de Cuyutlán, se presentan dos depósitos de tsunamis que se pueden correlacionar a través de las fechas obtenidas ya que coinciden en el año 517 ± 87 y 518 ± 88 AD respectivamente; lo cual indica que este depósito de tsunami registrado estratigráficamente en los sedimentos de la base de los dos núcleos corresponden a un mismo evento tsunamigénico.

Mientras tanto, nuevamente a través de la columna estratigráfica de los núcleos NÚC-II-LC-14-12-13 y NÚC-VI-LC-16-12-13 que corresponden a la Laguna de Cuyutlán, y en el núcleo NÚC-IV-LC-15-12-13 que fue extraído de la Laguna de La Chacala, Playa del Oro, Colima, se vuelve a presentar el registro de otro depósito de tsunami encontrado en los sedimentos de los tres núcleos que inundó esta región costera y que por medio del análisis de ^{14}C AMS, se pueden correlacionar ya que las edades obtenidas: 879 ± 103 , 1808 ± 143 y 1815 ± 136 respectivamente, corresponden a un mismo evento tsunamigénico.

Sin embargo, el segundo depósito de tsunami en el núcleo dos denominado como NÚC-II-LC-14-12-13 del centímetro 111 al centímetro 97.5 de profundidad, el cual presenta una fecha de 879 ± 103 años AD, es distinta de las edades de 1808-1815, mencionadas anteriormente, por lo que al menos no se puede correlacionar y puede indicar que se trata de un depósito de tsunami diferente. Aunque también podemos deducir que la fecha obtenida no es confiable, ya que se esperaba una fecha que se correlacionara con las que se presentan en el segundo depósito de tsunami del núcleo seis marcado como NÚC-VI-LC-16-12-13 en los centímetros 138 al centímetro 127 fechado en 1808 ± 143 años AD, y con la fecha del depósito de tsunami del núcleo cuatro denominado como NÚC-IV-LC-15-12-13 de los centímetros 80 al centímetro 73 con una fecha de 1815 ± 136 años AD. Aunque también podemos inferir en la posibilidad de que se trata de un evento diferente.

Por lo tanto, de acuerdo con *Beta Analytic*, el uso de la fracción de carbonato de la concha presenta problemas porque el material es soluble y puede realizar intercambios químicos o

isotópicos con su entorno. Cuando una concha realiza intercambios de carbono con los ácidos del suelo a su alrededor, el carbono 14 de la concha y, por lo tanto, su edad de radiocarbón cambia. Así mismo, el efecto de agua gruesa, también puede afectar conchas depositadas en las zonas donde hay una influencia de agua dulce con alto contenido de carbonato; de esta forma las conchas de caracoles son afectadas por el efecto de agua dura cuando el organismo haya comido en áreas con un alto contenido de carbonato.

Cualquier sustancia que contiene carbono y puede cambiar el contenido de Carbono 14 de una concha a través del contacto es un contaminante. Esto significa que el carbonato de calcio, los materiales húmicos y el dióxido de carbono del suelo son posibles contaminantes, permitiendo que los contaminantes más comunes en las muestras de concha destinadas al fechamiento por radiocarbono son los causados por intercambios isotópicos y recristalización.

03.

Clave del núcleo	Clave de laboratorio	Profundidad en cm	Alcance 2 sigma	Edad C ¹⁴ AMS en años AD	Material fechado
NÚC-II-LC-14-12-13	Beta-392464	132 cm	Cal AD 430 to 492 and Cal AD 511 to 517 and Cal AD 529 to 604	517±87	Gasterópodos y bivalvos
NÚC-II-LC-14-12-13	Beta-389962	104 cm	Cal AD 776 to 792 and Cal AD 801 to 982	879±103	Gasterópodos y bivalvos
NÚC-VI-LC-16-12-13	Beta-392463	142 cm	Cal AD 430 to 490 and Cal AD 510 to 515 and Cal AD 530 to 605	518±88	Gasterópodos y bivalvos
NÚC-VI-LC-16-12-13	Beta-389960	128 cm	Cal AD 1665 to 1780 and Cal AD 1795 to 1895 and Cal AD 1905 to Post 1950	1808±143	Gasterópodos y bivalvos
NÚC-IV-LLC-15-12-13	Beta-392462	80 cm	Cal AD 1679 to 1764 and Cal AD 1773 to 1777 and Cal AD 1800 to 1940 and Post AD 1950	1815±136	Restos de madera

Cuadro 6. Presenta las fechas obtenidas de ¹⁴C AMS en años AD, de los cinco depósitos de tsunamis registrados en la Laguna Cuyutlán y La Chacala, Playa del Oro, Colima.

12.2.6- Fechamientos con ¹⁴C NÚC-II-LC-14-12-13

El núcleo número 2 con 136 cm de longitud, corresponde a la Laguna de Cuyutlán, Colima, se encuentra registrado en la columna estratigráfica dos depósitos de tsunamis; por lo que fue necesario tomar dos muestras representadas por gasterópodos para sus respectivos fechamientos. En la base del núcleo se encuentra el primer depósito de tsunami a 132 cm de profundidad y presenta una edad ¹⁴C AMS de 517±87 años AD.

El segundo depósito de tsunami en este núcleo se encuentra a 104 cm de profundidad y presenta una edad de ¹⁴C AMS de 879±103 años AD.

12.2.7- Fechamientos con ^{14}C NÚC-VI-LC-16-12-13

El núcleo número 6 tiene una longitud de 143 cm, corresponde a la Laguna de Cuyutlán, Colima, se encuentra en el registro estratigráfico dos depósitos de tsunamis de gran magnitud; por lo que se tomó una muestra de pequeños gasterópodos en cada uno de los depósitos para sus respectivos fechamientos.

El primero de ellos se encuentra en la base del núcleo a 142 cm de profundidad y presenta una edad ^{14}C AMS de 518 ± 88 años AD.

El segundo depósito de tsunami en este núcleo se encuentra a 128 cm de profundidad y presenta una edad de ^{14}C AMS de 1808 ± 143 años AD.

12.2.8- Fechamientos con ^{14}C NÚC-IV-LLC-15-12-13

El núcleo número 4 con una longitud de 91 cm, corresponde a la Laguna de La Chacala, Playa del Oro, Colima, se encuentra en el registro estratigráfico un depósito de tsunami a una profundidad de 80 cm. Para esta muestra se tomó restos de madera para su respectivo fechamiento, obteniendo una edad ^{14}C AMS de 1815 ± 136 años AD.

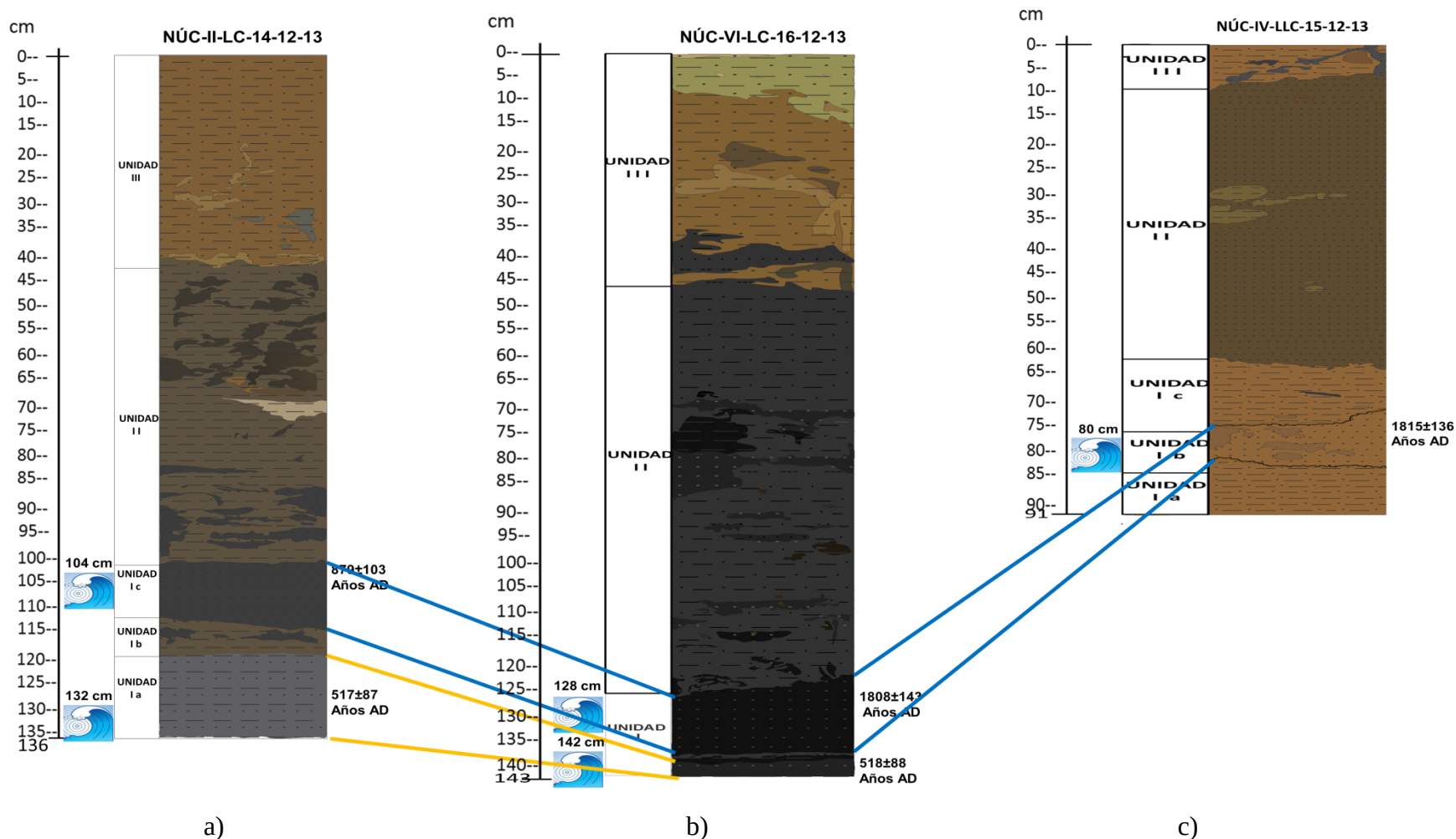


Figura 28. Se observan los tres núcleos en los cuales se presentan estratigráficamente los depósitos de tsunamis: (a) NÚC-II-LC-14-12-13, (b) NÚC-VI-LC-16-12-13, que corresponden a la Laguna de Cuyutlán y (c) NÚC-IV-LLC-15-12-13, que corresponde a la Laguna de La Chacala en Playa del Oro, Colima, y que se pueden correlacionar de acuerdo a los proxies de geoquímica y mineralogía; así, como a través de la estratigrafía y a las edades obtenidas con C^{14} en las que ocurrieron estos eventos.

12.2.9- GEOQUÍMICA

12.3.4- Fluorescencia de Rayos X

El análisis geoquímico de las muestras realizadas mediante la Fluorescencia de Rayos-X (FRX), permitieron obtener las concentraciones en porcentaje de los óxidos de 10 elementos mayores (SiO_2 , Al_2O_3 , TiO_2 , CaO , MnO , Fe_2O_3 , MgO , Na_2O , K_2O y P_2O_5), que están presentes en cada una de las muestras analizadas a distinta profundidad de cada uno de los núcleos; además con este análisis de FRX, nos permite establecer índices y relaciones para determinar implicaciones de origen de acuerdo a las concentraciones obtenidas de los elementos analizados por (FRX).

Los resultados de (FRX), una vez analizados permitieron diferenciar los elementos de acuerdo a dos grupos; el primer grupo conformado por SiO_2 , Al_2O_3 , TiO_2 , Fe_2O_3 , y K_2O , considerados como aporte alóctonos, sin embargo el **Ti** no participa en procesos diagenéticos por lo tanto es un elemento directamente de aporte clástico (Priyadarsi et al., 2012). De igual manera el **Si**, no se toma en consideración ya que es el elemento más abundante en todo tipo de rocas y sedimentos por lo que no es un buen indicador de eventos climáticos por tal motivo se separó este elemento de mayor concentración para conocer mejor el comportamiento de los elementos restantes para cada uno de los núcleos. El segundo grupo compuesto por Na_2O , MgO , MnO y CaO se asocia con minerales autigénicos o biogénicos en las lagunas ya que estos elementos precipitan junto al carbonato (Cohen, 2003), y el P_2O_5 se omitió porque cierta cantidad de fosfatos se encuentran dentro de los sedimentos lagunares, ya que esta fase mineral es propia de aguas restringidas en ambientes costeros.

12.3- FRX NUC-I-LC-14-12-13

En el cuadro 7, se presentan los resultados obtenidos por Fluorescencia de Rayos X de los elementos mayores de las ocho muestras correspondientes a este núcleo:

PROFUNDIDAD	%TiO ₂	%Al ₂ O ₃	%Fe ₂ O ₃ t	%K ₂ O	%MnO	%MgO	%CaO	%Na ₂ O	SiO ₂	%P ₂ O ₅
3 cm	0.14	2	1	0.23	0.134	2	40	0.388	17	0.199
21 cm	0.29	6	3	0.52	0.138	4	31	0.839	26	0.265
32 cm	0.9	19	8	2	0.125	3	2	2	55	0.198
64 cm	0.92	19	7	2	0.108	3	3	2	54	0.176
84 cm	0.88	17	8	2	0.146	2	5	3	51	0.225
118 cm	0.98	18	8	2	0.151	4	4	3	50	0.227
121 cm	0.9	12	9	0.91	0.202	8	9	3	53	0.326
126 cm	0.89	12	8	0.95	0.191	7	11	3	51	0.184

Cuadro 7. Presenta los porcentajes de los elementos mayores obtenidos a través de la FRX en los sedimentos del núcleo uno a diferente profundidad.

En la fig. 29, se presentan los resultados en la gráfica de los 10 elementos analizados mediante (FRX), en el cual el TiO_2 muestra un valor mínimo (0.14%) en el centímetro 3, y un

valor máximo (0.98%) en el centímetro 118. El contenido mínimo de Al_2O_3 es de (2%) y se observa en el centímetro 3, mientras que el contenido máximo se encuentra en los 32 y 64 centímetros con un (19%). El porcentaje mínimo de Fe_2O_3 es (1%) en el centímetro 1, y la cantidad máxima se encuentra en el 121 centímetro con un (9%). El K_2O muestra valores mínimos a 21 cm con (0.52%) y valores máximos en los 32, 64, 84 y 118 cm con un (2%) de su contenido. Estas cantidades nos pueden estar indicando el aporte de terrígenos y su ambiente de depósitos de las muestras a cada una de las profundidades en las que se ha realizado este análisis.

Mientras tanto el comportamiento de los elementos asociados a la precipitación química de sedimentos autigénicos y/o biogénicos encontramos en variadas concentraciones los siguientes elementos.

El MnO muestra bajas cantidades de su contenido presentando concentraciones muy pequeñas; la mínima cantidad es de (0.108%) en el centímetro 64 y la máxima cantidad de (0.202%) en el centímetro 121. Otro elemento importante es el MgO que muestra las concentraciones mínimas en los 3 y 84 centímetros con un (2%) de su concentración, mientras que en el 121 cm muestra el (8%) y en el 126 cm muestra el (7%) de la concentración de este elemento. El CaO presenta las cantidades mínimas en el centímetro 32 con un (2%), y las cantidades máximas se encuentran en la cima del núcleo en el centímetro 3 presentando un (40%); mientras que en la base en el centímetro 126 sólo presenta el (11%). El Na_2O en la cima del núcleo presenta bajas concentraciones de este elemento siendo en el centímetro 3 donde se encuentra el (0.388%) y en la base del núcleo en los 84, 118, 121 y 126 centímetros se encuentran concentraciones de (3%) de este elemento. El SiO_2 por ser un elemento de gran abundancia presenta en todas las muestras valores altos en su concentración, siendo la mínima en centímetro 3 con un (17%), y la máxima en el centímetro 32 con (55%). Mientras que el P_2O_5 se encuentra en pequeñas concentraciones a lo largo de la columna estratigráfica mostrando la menor cantidad en el centímetro 64 con un (0.176%) y la cantidad más alta en el 121 cm con el (0.326%) de este elemento.

Por otra parte en la base del núcleo se observa una estructura de licuefacción provocada por un evento sísmico en los centímetros 121 y 126, en los cuales se observa una disminución en los porcentajes de Al_2O_3 , Fe_2O_3 , K_2O y P_2O_5 , y un ligero aumento en MgO y CaO , indicando que la laguna tuvo un periodo de estabilidad acompañada de un aumento de temperatura que permitió la evaporación y precipitación de estos elementos en la laguna.

Sin embargo, en la cima de la columna litológica en los 21 y 3 cm, se presentan estructuras de bioturbación con sedimento limoso observándose una disminución en los porcentajes de Al_2O_3 , Fe_2O_3 , K_2O , SiO_2 y P_2O_5 ; mientras que el MgO presenta un ligero cambio de un 5%, y el CaO aumenta hasta el 40% de su contenido indicando que actualmente se está llevando a cabo una fuerte evaporación en la laguna provocando que estos elementos se precipiten.

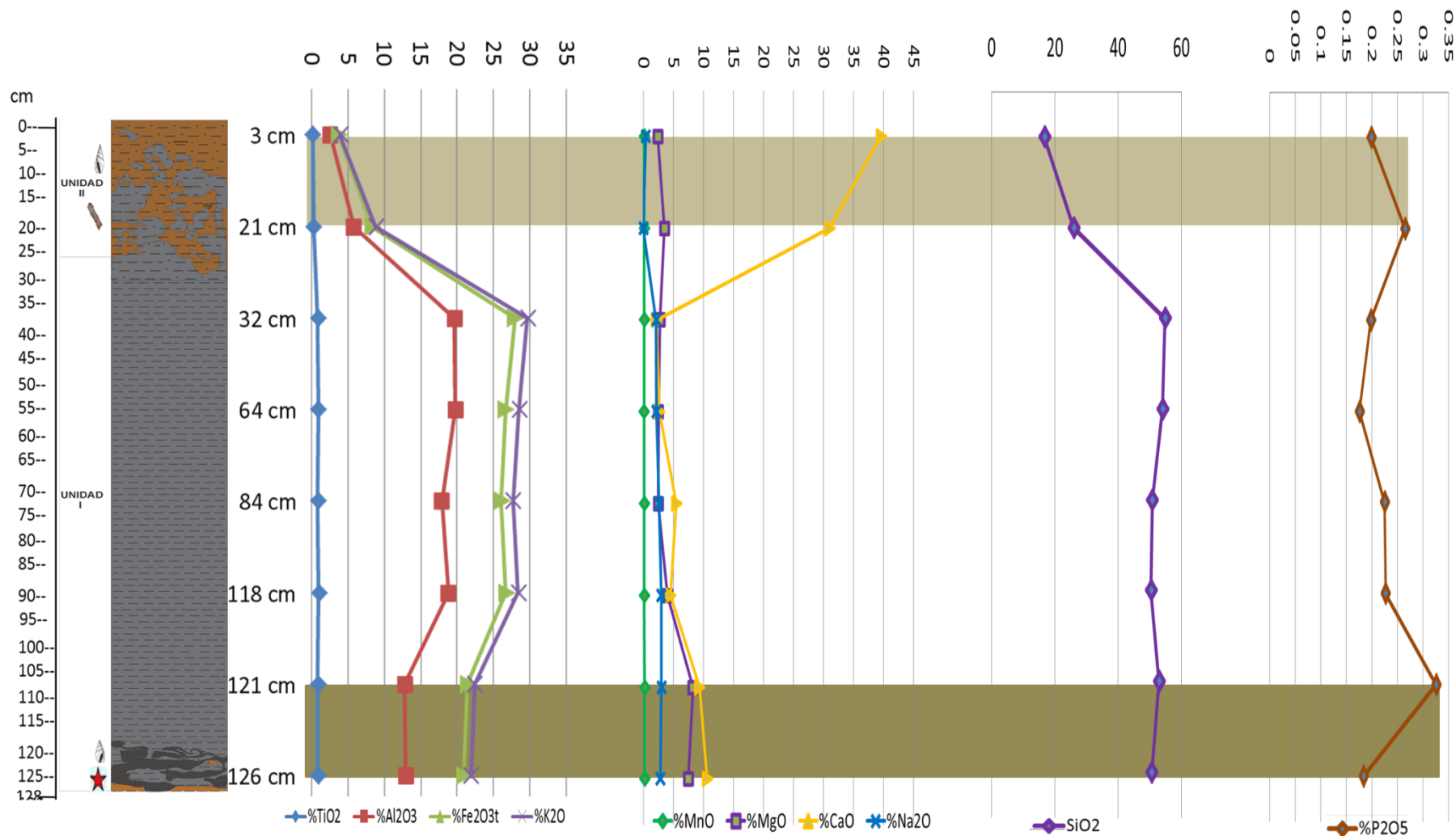


Figura 29. Variación de la concentración de los óxidos de elementos mayores en (%) a lo largo de la columna estratigráfica del NÚC-I-LC-14-12-13, determinadas mediante FRX, que presenta dos principales niveles que indican un aumento y disminución de los elementos.

12.3.1- FRX NÚC-II-LC-14-12-13

En el siguiente cuadro 8, se presentan los resultados obtenidos por Fluorescencia de Rayos X de los elementos mayores de las ocho muestras correspondientes a este núcleo a diferente profundidad.

PROFUNDIDAD	%TiO ₂	%Al ₂ O ₃	%Fe ₂ O _{3t}	%K ₂ O	%MnO	%MgO	%CaO	%Na ₂ O	%SiO ₂	%P ₂ O ₅
2 cm	0.111	2	0.883	0.185	0.133	2	41	0.342	14	0.224
41 cm	0.382	8	3	0.743	0.125	3	27	0.943	31	0.203
49 cm	0.936	20	8	2	0.107	3	2	2	55	0.173
83 cm	0.896	17	8	2	0.143	4	5	2	52	0.23
99 cm	0.993	12	10	0.984	0.207	9	7	3	55	0.145
111 cm	0.895	13	8	1	0.187	7	10	3	52	0.194
117 cm	0.79	13	8	1	0.185	8	7	3	56	0.168
132 cm	0.797	14	8	1	0.177	7	7	3	57	0.177

Cuadro 8. Presenta los porcentajes de los elementos mayores obtenidos a través de la FRX en los sedimentos del núcleo dos.

En la fig. 30, se muestran los resultados en la gráfica de los 10 elementos analizados mediante (FRX), en el cual el TiO₂ muestra un valor mínimo (0.111%) en el centímetro 2 de la cima del núcleo, y un valor máximo (0.993%) en el cm 99 hacia la base del núcleo.

El contenido mínimo de Al₂O₃ es de (2%) y se presenta en el cm 2 de la cima, mientras que el contenido máximo se presenta en los cm 49 con un contenido de (20%). El contenido mínimo de Fe₂O_{3t} es (0.883%) en el cm 2 de la cima del núcleo, y el contenido máximo que presenta se encuentra en el centímetro 99 con un (10%) de su contenido.

El K₂O muestra valores mínimos en el centímetro 2 con (0.185%) y valores máximos en los cm 49 y 83 con un (2%) de su contenido. Estos valores que se presentan en estos elementos nos pueden estar indicando el aporte de terrígenos y su ambiente de depósitos de las muestras a cada una de las profundidades en las que se ha realizado este análisis.

Mientras tanto el comportamiento de los elementos asociados a la precipitación química de sedimentos autigénicos y/o biogénicos encontramos en variadas concentraciones los siguientes elementos.

El MnO es uno de los elementos que presenta bajas cantidades de su contenido presentando en todas las muestras concentraciones muy pequeñas, siendo la mínima cantidad de (0.107%) en el centímetro 49 y la máxima cantidad de (0.207%) en el centímetro 99.

Otro elemento importante es el MgO que muestra las concentraciones mínimas en el centímetro 2 con un (2%) de su concentración, mientras que en el centímetro 99 se encuentra el (9%) y en el 132 cm muestra una concentración de (7%) de este elemento.

El CaO presenta las cantidades mínimas en el centímetro 49 con un (2%), y las cantidades máximas se encuentran en la cima del núcleo en el centímetro 2 presentando un (41%).

El Na₂O en la cima del núcleo presenta bajas concentraciones de este elemento siendo en el centímetro 2 donde se encuentra el (0.342%) y en la base del núcleo en los 99, 111, 117 y 132 cm se encuentran concentraciones de (3%) de este elemento.

El SiO₂ por ser un elemento de gran abundancia presenta en todas las muestras valores altos en su concentración, siendo la mínima en el centímetro 2 con un (14%), y la máxima en el centímetro 132 con (57%).

Mientras que el P₂O₅ se encuentra en pequeñas concentraciones a lo largo de la columna estratigráfica mostrando la menor cantidad en el centímetro 99 con un (0.145%) y la cantidad más alta en el centímetro 2 con el (0.224%) de este elemento.

En la base del núcleo entre el centímetro 111 a 99 se observa un depósito de tsunami en el cual se presenta un ligero aumento en los porcentajes de Al₂O₃, Fe₂O_{3t}, K₂O, MgO, CaO, Na₂O y P₂O₅, indicando que estos elementos pudieron venir arrastrados por la ola del tsunami y fueron depositados en la laguna.

Sucesivamente entre el centímetro 83 y 49 se presenta un aumento de Al₂O₃, Fe₂O_{3t}, K₂O, SiO₂ y P₂O₅, indicando que la laguna tuvo un periodo de estabilidad que permitió la evaporación y precipitación de estos elementos.

Sin embargo, en la cima de la columna litológica entre los centímetros 41 y 2, se encuentra un material limoso observándose una disminución en los porcentajes de Al₂O₃, Fe₂O_{3t}, K₂O y SiO₂; mientras que el MgO, CaO y P₂O₅ aumenta su contenido indicando que actualmente existe una estabilidad que permite que se lleve a cabo una fuerte evaporación en la laguna provocando que estos elementos se precipiten.

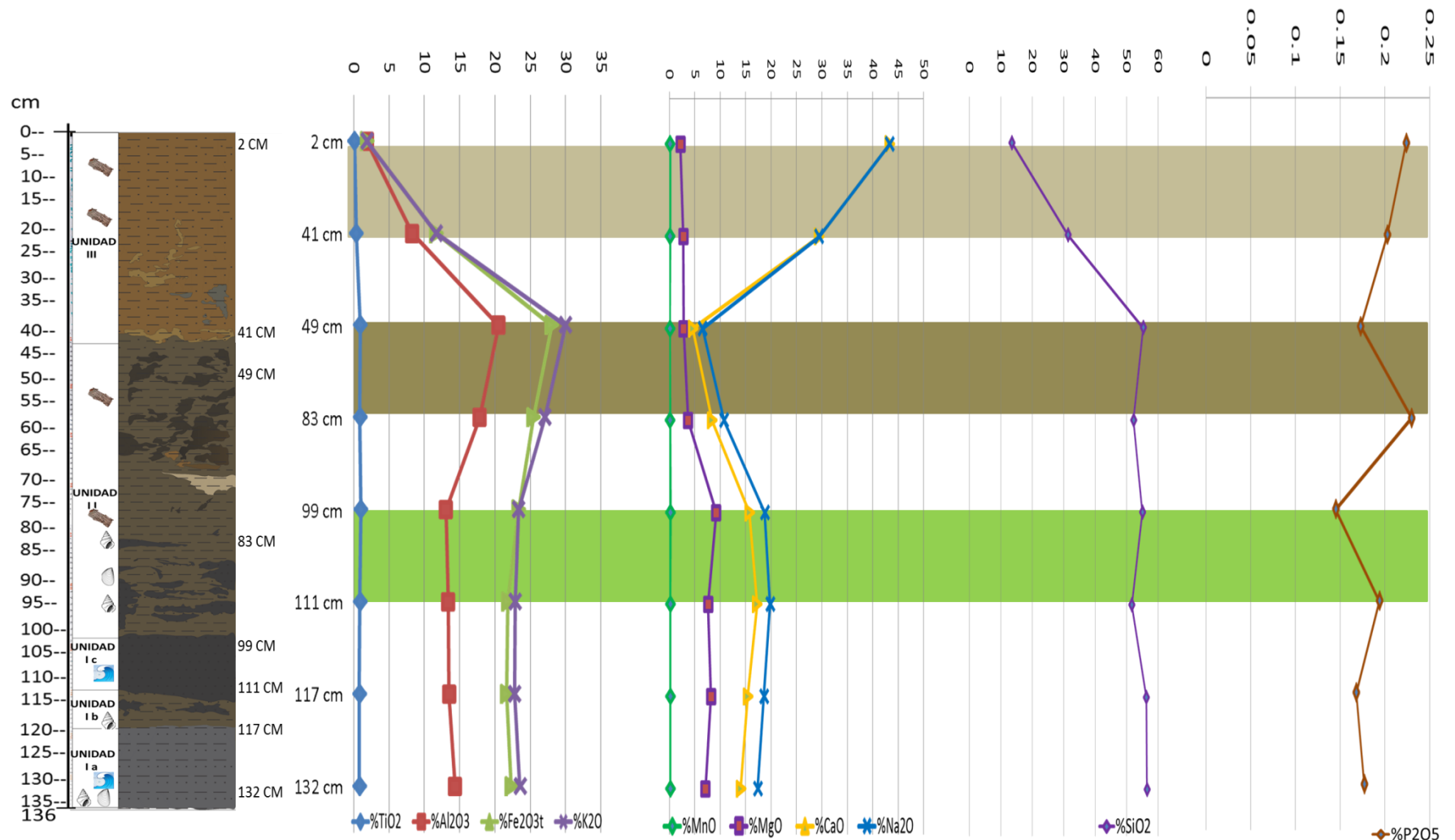


Figura 30. Variación de la concentración de los óxidos de elementos mayores en (%) a lo largo de la columna estratigráfica del NÚC-II-LC-14-12-13, determinadas mediante FRX, y que indica tres principales niveles que están marcados con un aumento y disminución de los elementos.

12.3.2- FRX NÚC-VI-LC-16-12-13

En el cuadro 9, se presentan los resultados obtenidos por Fluorescencia de Rayos X de los elementos mayores de las nueve muestras correspondientes a este núcleo a diferente profundidad.

PROFUNDIDAD	%TiO ₂	%Al ₂ O ₃	%Fe ₂ O _{3t}	%K ₂ O	%MnO	%MgO	%CaO	%Na ₂ O	%SiO ₂	%P ₂ O ₅
10 cm	0.048	0.448	0.356	0.072	0.103	3	45	0.273	5	0.162
42 cm	0.583	11	5	1	0.172	7	15	2	40	0.264
69 cm	0.789	14	7	1	0.162	5	7	3	54	0.497
80 cm	0.783	16	7	1	0.142	3	7	3	53	0.237
87 cm	0.741	14	6	1	0.154	3	13	2	44	0.267
96 cm	0.593	11	5	1	0.144	3	19	2	38	0.211
107 cm	0.853	13	8	1	0.186	6	10	2	49	0.293
125 cm	0.799	15	7	1	0.165	4	9	3	52	0.189
139 cm	0.841	12	9	1	0.19	8	7	3	56	0.203

Cuadro 9. Presenta los porcentajes de los elementos mayores obtenidos a través de la FRX en los sedimentos del núcleo seis.

En la fig. 31, se muestran los resultados de los 10 elementos analizados mediante (FRX), en el cual el TiO₂ muestra un valor mínimo (0.048%) en el centímetro 10 que corresponde a la cima del núcleo, y un valor máximo de (0.853%) en el centímetro 107 y en el centímetro 139 se encuentra un valor de (0.841%) hacia la base del núcleo.

El contenido mínimo de Al₂O₃ es de (0.448%) y se presenta en la cima del núcleo en el centímetro 10, mientras que el contenido máximo se presenta entre los 80 cm con un porcentaje de (16%) y en el centímetro 125 con un (15%).

El contenido mínimo de Fe₂O_{3t} es (0.356%) se encuentra en la cima del núcleo en el centímetro 10, y el contenido máximo que presenta se presenta en el centímetro 139 con un (9%) de su contenido.

El K₂O muestra valores mínimos en el centímetro 10 con (0.072%), y en los siguientes 9 puntos de muestreo presenta valores de (1%) de su contenido. Estos valores que se presentan en estos elementos nos pueden estar indicando el aporte de terrígenos y su ambiente de depósitos de las muestras a cada una de las profundidades en las que se ha realizado este análisis.

Mientras tanto el comportamiento de los elementos asociados a la precipitación química de sedimentos autigénicos y/o biogénicos encontramos en variadas concentraciones los siguientes elementos.

El MnO es uno de los elementos que presenta bajas cantidades de su contenido presentando en todas las muestras concentraciones muy pequeñas, siendo la mínima cantidad de (0.19%) en el centímetro 139 y la máxima cantidad de (0.186%) en el centímetro 107.

Otro elemento importante es el MgO que muestra las concentraciones mínimas en los centímetros 10, 80, 87 y 96 con (3%), de su concentración, mientras que el valor máximo se encuentra en el centímetro 139 con el (8%) de la concentración de este elemento.

El CaO presenta las cantidades mínimas en los centímetros 69, 80 y 139 con un (7%), y las cantidades máximas en el centímetro 10 presentando un (45%). El Na₂O en la cima del núcleo presenta bajas concentraciones, siendo en el centímetro 10 donde se encuentra el (0.272%) y en la base del núcleo en los centímetros 69, 80, 125 y 139 se encuentran concentraciones de (3%) de este elemento.

El SiO₂ por ser un elemento de gran abundancia presenta en todas las muestras valores elevados en su concentración, siendo la mínima en el centímetro 10 con un (5%), y la máxima en el centímetro 139 con (56%). Mientras que el P₂O₅ se encuentra en pequeñas concentraciones a lo largo de la columna estratigráfica mostrando la menor cantidad en el centímetro 10 con un (0.162%) y la cantidad más alta en el centímetro 69 con el (0.497%) de este elemento.

De esta forma podemos observar que en el centímetro 96 se encuentra un aumento de CaO y Na₂O y disminuye el Al₂O₃, Fe₂O_{3t}, K₂O, MgO, SiO₂ y P₂O₅ indicando una estabilidad en la laguna que favoreció la evaporación y precipitación CaO y Na₂O.

Así mismo en el centímetro 80 el porcentaje de Al₂O₃, Fe₂O_{3t}, K₂O y SiO₂ se encuentra en aumento; mientras que el CaO, Na₂O y P₂O₅ presentan una notable disminución en su porcentaje, lo cual está indicando que la laguna en este periodo estuvo expuesta a la llegada de fenómenos naturales tales como huracanes ya que también se presentan lentes de arena que indican la llegada de tempestitas.

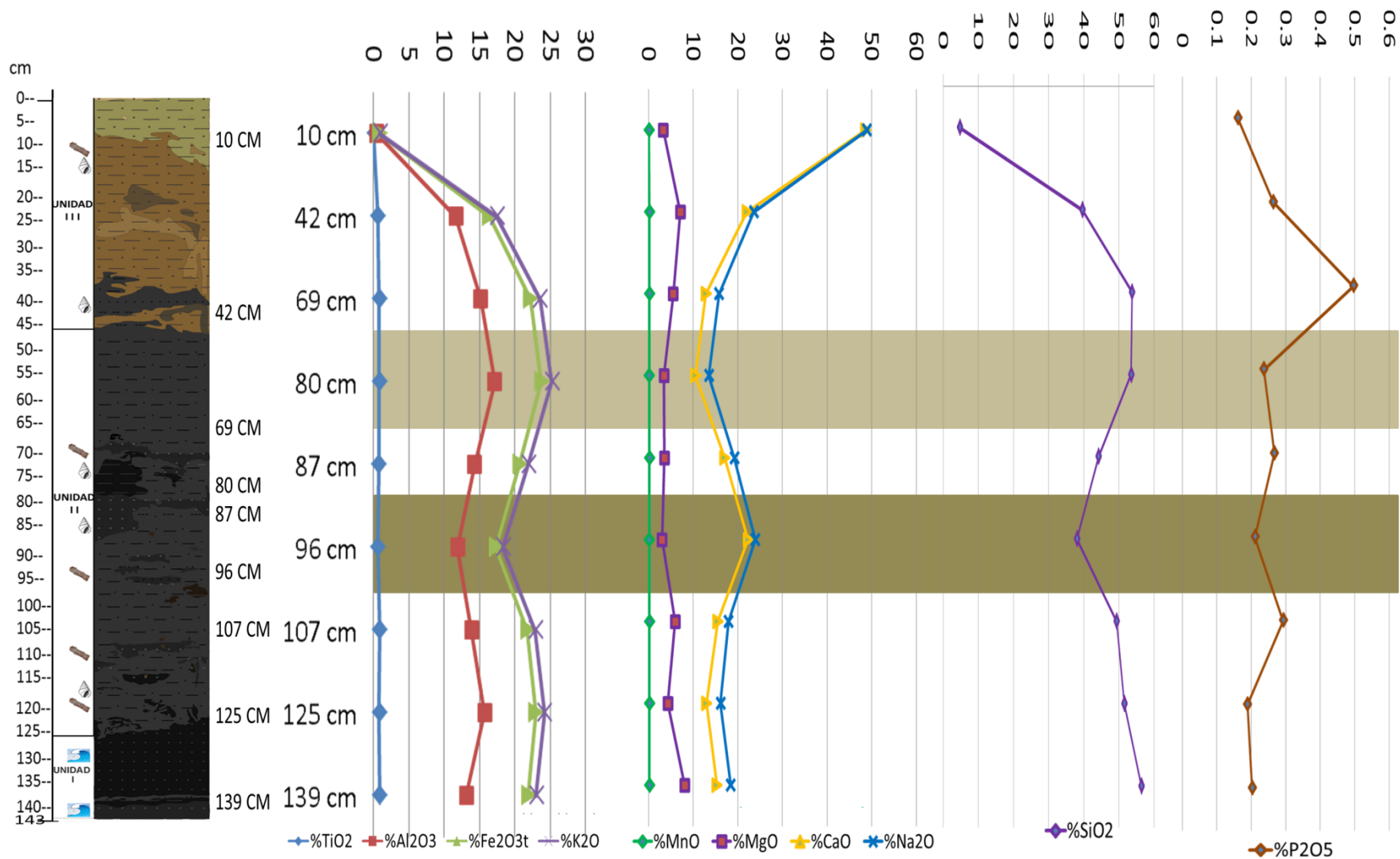


Figura 31. Variación de la concentración de los óxidos de elementos mayores (en %) a lo largo de la columna estratigráfica del NÚC-VI-LC-16-12-13, determinadas mediante FRX.

12.3.4- FRX NÚC-III-LLB-15-12-13

En el cuadro 10, se presentan los resultados obtenidos por Fluorescencia de Rayos X de los elementos mayores de las nueve muestras correspondientes a este núcleo a diferente profundidad.

PROFUNDIDAD	%TiO ₂	%Al ₂ O ₃	%Fe ₂ O _{3t}	%K ₂ O	%MnO	%MgO	%CaO	%Na ₂ O	%SiO ₂	%P ₂ O ₅
2 cm	0.438	18	3	2	0.086	2	6	5	61	0.222
24 cm	0.487	17	3	2	0.088	2	7	5	59	0.229
34 cm	0.395	17	3	2	0.085	2	7	5	61	0.226
50 cm	0.459	16	4	2	0.09	2	6	5	56	0.225
66 cm	0.554	17	4	2	0.096	2	7	5	59	0.257
77 cm	0.635	13	4	2	0.1	2	15	4	46	0.309
92 cm	0.461	13	4	2	0.09	2	11	4	48	0.204
99 cm	0.818	14	8	3	0.115	3	2	3	55	0.12
124 cm	0.691	12	6	2	0.097	2	2	3	54	0.089

Cuadro 10. Presenta los porcentajes de los elementos mayores obtenidos a través de la FRX en los sedimentos del núcleo tres.

En la figura 32, se muestran los resultados de los 10 elementos analizados mediante (FRX), en el cual el TiO₂ muestra un valor mínimo de (0.438%) en el centímetro 2 de la cima del núcleo, y un valor máximo de (0.818%) en el centímetro 99 hacia la base del núcleo.

El contenido mínimo de Al₂O₃ es de (12%) y se presenta en el centímetro 124, mientras que el contenido máximo se presenta en el centímetro 2 con un contenido de (18%).

El contenido mínimo de Fe₂O_{3t} es de (3%) y se presenta en los 2, 24 y 34 cm que corresponde a la cima del núcleo, y el contenido máximo se encuentra en el centímetro 99 con un (8%) de su contenido.

El K₂O muestra valores mínimos en la mayoría de las muestras analizadas con un (2%), a excepción del centímetro 99 que presenta un valor de (3%) de su contenido. Estos valores que se presentan en estos elementos nos pueden estar indicando el aporte de terrígenos y su ambiente de depósitos de las muestras a cada una de las profundidades en las que se ha realizado este análisis.

Mientras tanto el comportamiento de los elementos asociados a la precipitación química de sedimentos autigénicos y/o biogénicos encontramos en variadas concentraciones los siguientes elementos.

El MnO es uno de los elementos que presenta bajas cantidades de su contenido presentando en todas las muestras concentraciones muy pequeñas, siendo la mínima cantidad de (0.085%) en el centímetro 34 y la máxima cantidad de (0.115%) en el centímetro 99. Otro elemento importante es el MgO que muestra las concentraciones mínimas en la mayoría de los puntos

muestreados con un (2%), de su concentración, mientras que el valor máximo se encuentra en el centímetro 99 con el (3%) de la concentración de este elemento.

El CaO presenta las cantidades mínimas en los 99 y 124 centímetros con un (2%), y las cantidades máximas en el centímetro 77 presentando un (15%).

El Na₂O en la base del núcleo presenta bajas concentraciones de este elemento siendo en los 99 y 124 cm donde se encuentra el (3%) y en los centímetros 2, 24, 34, 50 y 66 se encuentran concentraciones de (5%) de este elemento.

El SiO₂ por ser un elemento de gran abundancia presenta en todas las muestras valores altos en su concentración, presentando la mínima en el centímetro 77 con un (46%), y la máxima en los 2 y 34 centímetros con un (61%).

Mientras que el P₂O₅ se encuentra en pequeñas concentraciones a lo largo de la columna estratigráfica mostrando la menor cantidad en el cm 124 con un (0.089%) y la cantidad más alta en el cm 99 con el (0.12%) de este elemento.

De esta forma podemos observar que entre el centímetro 66 y el centímetro 99 se encuentra un cambio importante con un aumento de CaO, Na₂O, P₂O₅ y SiO₂ mientras que el Al₂O₃, Fe₂O₃ y K₂O, se encuentran en bajas cantidades indicando un periodo de alta productividad de organismos acuáticos tales como gasterópodos y bivalvos.

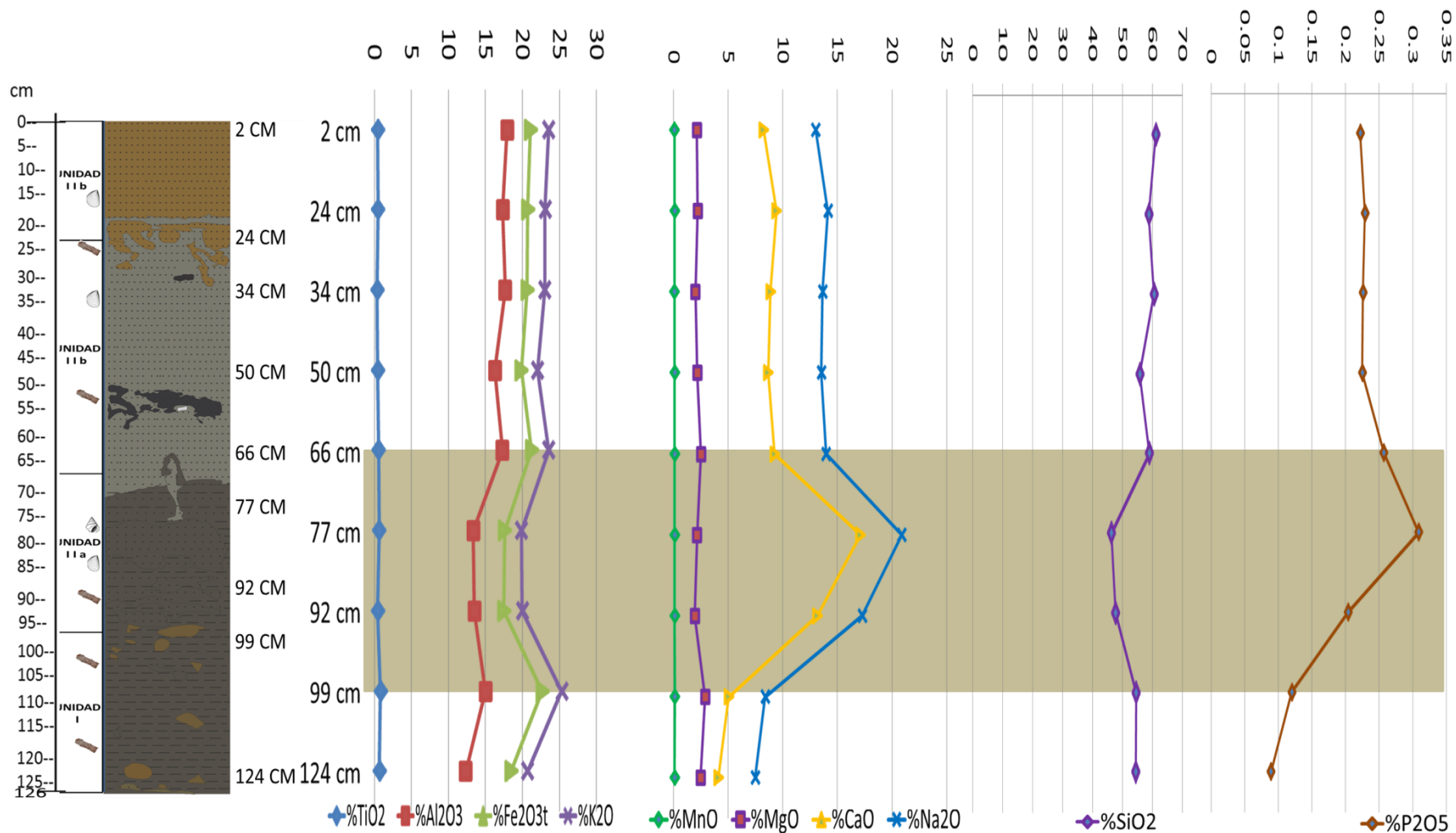


Figura 32. Variación de la concentración de los óxidos de elementos mayores en (%) a lo largo de la columna estratigráfica del NÚC-III-LLB-15-12-13, determinadas mediante FRX.

12.3.5- FRX NÚC-IV-LLC-15-12-13

En el cuadro 11, se presentan los resultados obtenidos por Fluorescencia de Rayos X de los elementos mayores de las seis muestras correspondientes a este núcleo a diferente profundidad.

PROFUNDIDAD	%TiO ₂	%Al ₂ O ₃	%Fe ₂ O _{3t}	%K ₂ O	%MnO	%MgO	%CaO	%Na ₂ O	%SiO ₂	%P ₂ O ₅
3 cm	0.719	8	7	0.708	0.178	6	19	2	38	0.215
9 cm	0.914	12	9	1	0.193	8	7	3	56	0.278
36 cm	0.857	16	7	2	0.179	4	5	3	54	0.261
62 cm	0.791	13	7	1	0.157	6	6	4	55	0.192
77 cm	0.789	14	6	1	0.149	4	9	4	51	2
91 cm	0.85	15	8	1	0.169	4	8	2	49	0.441

Cuadro 11. Presenta los porcentajes de los elementos mayores obtenidos a través de la FRX en los sedimentos del núcleo cuatro.

En la figura. 33, se muestran los resultados en la gráfica de los 10 elementos analizados mediante (FRX), en el cual el TiO₂ muestra un valor mínimo de (0.85%) en el centímetro 3 de la cima del núcleo, y un valor máximo de (0.914%) en el centímetro 9.

El contenido mínimo de Al₂O₃ es de (8%) y se presenta en el centímetro 9, mientras que el contenido máximo se presenta en el centímetro 36 con un (16%).

El porcentaje mínimo de Fe₂O_{3t} es de (6%) y se presenta en el centímetro 77, y el contenido máximo se encuentra en el centímetro 9 con un (9%).

El K₂O muestra el valor mínimo en el centímetro 3 con un (0.708%), y el valor máximo lo presenta en el centímetro 36 con un (2%) de su contenido. Estos valores que se presentan en estos elementos nos pueden estar indicando el aporte de terrígenos y su ambiente de depósitos de las muestras a cada una de las profundidades en las que se ha realizado este análisis.

Mientras tanto el comportamiento de los elementos asociados a la precipitación química de sedimentos autigénicos y/o biogénicos encontramos en variadas concentraciones los siguientes elementos:

El MnO es uno de los elementos que presenta bajas cantidades de su contenido presentando en todas las muestras concentraciones muy pequeñas, siendo la mínima cantidad de (0.149%) en el centímetro 77 y la máxima cantidad de (0.193%) en el centímetro 9.

Otro elemento importante es el MgO que muestra las concentraciones mínimas en los 36, 77 y 91 cm con un (4%), de su concentración, mientras que el valor máximo se encuentra en el centímetro 9 con el (8%) de la concentración de este elemento.

El CaO presenta las cantidades mínimas en el centímetro 36 con un (5%), y las cantidades máximas en el centímetro 3 presentando un (19%).

El Na₂O en la base y en la cima del núcleo presenta bajas concentraciones de este elemento siendo en los 3 y 91 cm donde se encuentra el (2%) y las concentraciones más altas de este elemento se encuentran en los 62 y 77 cm con una concentración de (4%).

El SiO₂ por ser un elemento de gran abundancia presenta en todas las muestras valores altos en su concentración, siendo la mínima en el centímetro 3 con un (38%), y la máxima en el centímetro 9 con un (56%).

Mientras que el P₂O₅ se encuentra en pequeñas concentraciones a lo largo de la columna estratigráfica mostrando la menor cantidad en el centímetro 62 con un (0.192%) y la cantidad más alta en el centímetro 77 con el (2 %).

En esta columna se puede observar que en el centímetro 77 se encuentra un cambio importante con un aumento de CaO, Na₂O y P₂O₅, mientras que el Al₂O₃, Fe₂O_{3t}, K₂O y MgO, se encuentran en bajas cantidades indicando un cambio en la composición de material autóctono a alóctono generado por un tsunami y que trajo estos elementos y los depositó en la laguna.

Así mismo en el centímetro 36 de esta columna litológica se observa un cambio en la composición porcentual de los elementos de los cuales el Al₂O₃, Fe₂O_{3t} y K₂O se muestran en aumento y MgO, K₂O y Na₂O se observan en bajos porcentajes, ya que en esta profundidad se encuentran estructuras bioturbación con un material dominante de arena que proviene a través de la erosión que se está llevando a cabo en la cuenca.

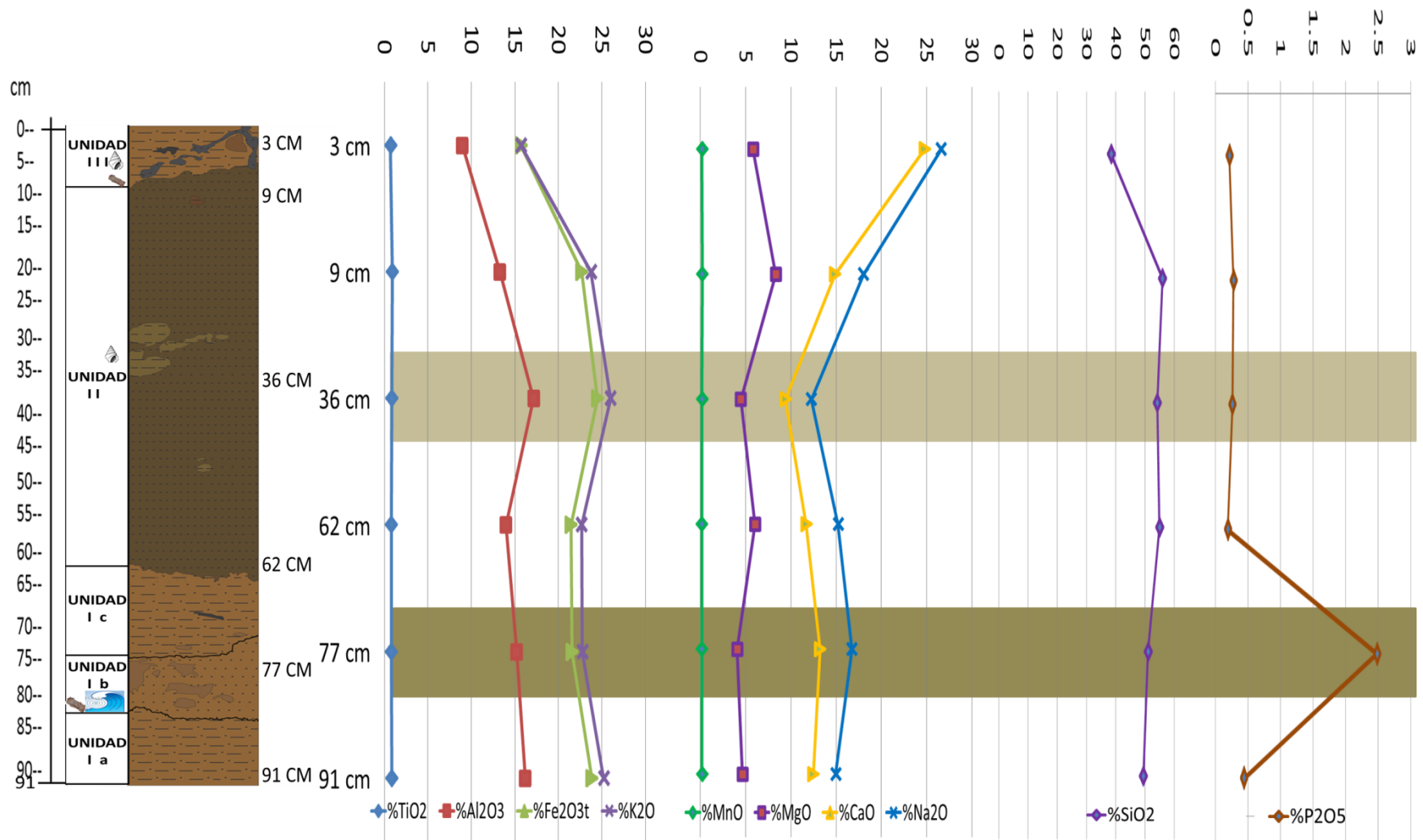


Figura 33. Variación de la concentración de los óxidos de elementos mayores en (%) a lo largo de la columna estratigráfica del NÚC-IV-LLC-15-12-13, determinadas mediante FRX.

12.3.6- FRX NÚC-V-LBN-16-12-13

En el cuadro 12, se presentan los resultados obtenidos por Fluorescencia de Rayos X de los elementos mayores de las nueve muestras correspondientes a este núcleo a diferente profundidad.

PROFUNDIDAD	%TiO ₂	%Al ₂ O ₃	%Fe ₂ O _{3t}	%K ₂ O	%MnO	%MgO	%CaO	%Na ₂ O	%SiO ₂	%P ₂ O ₅
1 cm	0.583	14	4	3	0.1	1	2	4	68	0.089
13 cm	0.821	16	6	3	0.143	2	2	4	58	0.183
33 cm	0.474	15	4	4	0.091	1	2	4	67	0.081
57 cm	0.296	15	2	4	0.07	0.692	2	4	71	0.052
60 cm	0.884	17	7	3	0.153	3	2	4	54	0.14
73 cm	0.888	16	6	3	0.15	2	3	4	59	0.153
88 cm	0.924	16	7	3	0.177	2	2	4	55	0.173
94 cm	0.908	18	7	3	0.174	2	2	4	51	0.194
132 cm	1	20	8	2	0.14	2	2	3	47	0.181

Cuadro 12. Presenta los datos de elementos mayores por FRX.

En la figura 34, se muestran los resultados de los 10 elementos analizados mediante (FRX), en el cual el TiO₂ muestra un valor mínimo de (0.296%) en el centímetro 57 del núcleo, y un valor máximo de (1%) en el centímetro 132 de la base del núcleo.

El contenido mínimo de Al₂O₃ es de (14%) y se presenta en el centímetro 1, mientras que el contenido máximo se presenta en el centímetro 132 con el (20%). El porcentaje mínimo de Fe₂O_{3t} es de (2%) y se presenta en el centímetro 57, y el contenido máximo se encuentra en el centímetro 132 con un (8%).

El K₂O muestra el valor mínimo en el centímetro 132 con un (2%), y el valor máximo lo presenta en los centímetros 33 y 57 con un valor de (4%).

Estos valores que se presentan en estos elementos nos pueden estar indicando el aporte de terrígenos y su ambiente de depósitos de las muestras a cada una de las profundidades en las que se ha realizado este análisis.

Mientras tanto el comportamiento de los elementos asociados a la precipitación química de sedimentos autigénicos y/o biogénicos encontramos en variadas concentraciones los siguientes elementos.

El MnO es uno de los elementos que presenta bajas cantidades de su contenido presentando en todas las muestras concentraciones muy pequeñas, siendo la mínima cantidad de (0.07%) en el centímetro 57 y la máxima cantidad de (0.177%) en el centímetro 88.

Otro elemento importante es el MgO que muestra las concentraciones mínimas en el centímetro 57 con un (0.692%), de su concentración, mientras que el valor máximo se encuentra en el centímetro 60 con el (3%) de la concentración de este elemento.

El CaO presenta las cantidades mínimas en la mayoría de los puntos muestreados con un (2%), y las cantidades máximas solo se presentan en el centímetro 73 presentando un (3%).

El Na₂O presenta en la base del núcleo la concentración mínima de (3%), mientras que en los demás puntos muestreados se encuentra la concentración más alta con el (4%) de este elemento.

El SiO₂ por ser un elemento de gran abundancia presenta en todas las muestras valores altos en su concentración, siendo la mínima en el centímetro 132 con un (47%), y la máxima en el centímetro 57 con un (71%).

Mientras que el P₂O₅ se encuentra en pequeñas concentraciones a lo largo de la columna estratigráfica mostrando la menor cantidad en el centímetro 57 con (0.052%) y la cantidad más alta en el centímetro 94 con (0.194%) de este elemento.

En el centímetro 60 de esta columna litológica se observa un cambio importante en un material compuesto por arenas finas y arcilla formando estructuras laminares, con un aumento en el porcentaje del contenido de los elementos de Al₂O₃, Fe₂O₃, K₂O, MgO, CaO, Na₂O y P₂O₅, indicando un ambiente de estabilidad y baja energía en la cuenca durante este periodo.

Otro cambio importante que se puede observar se encuentra en el centímetro 13, que de igual forma aumenta el porcentaje de los elementos, sin embargo en este punto se encuentra un material compuesto por arena y arcilla con estructuras de bioturbación provocadas organismos acuáticos.

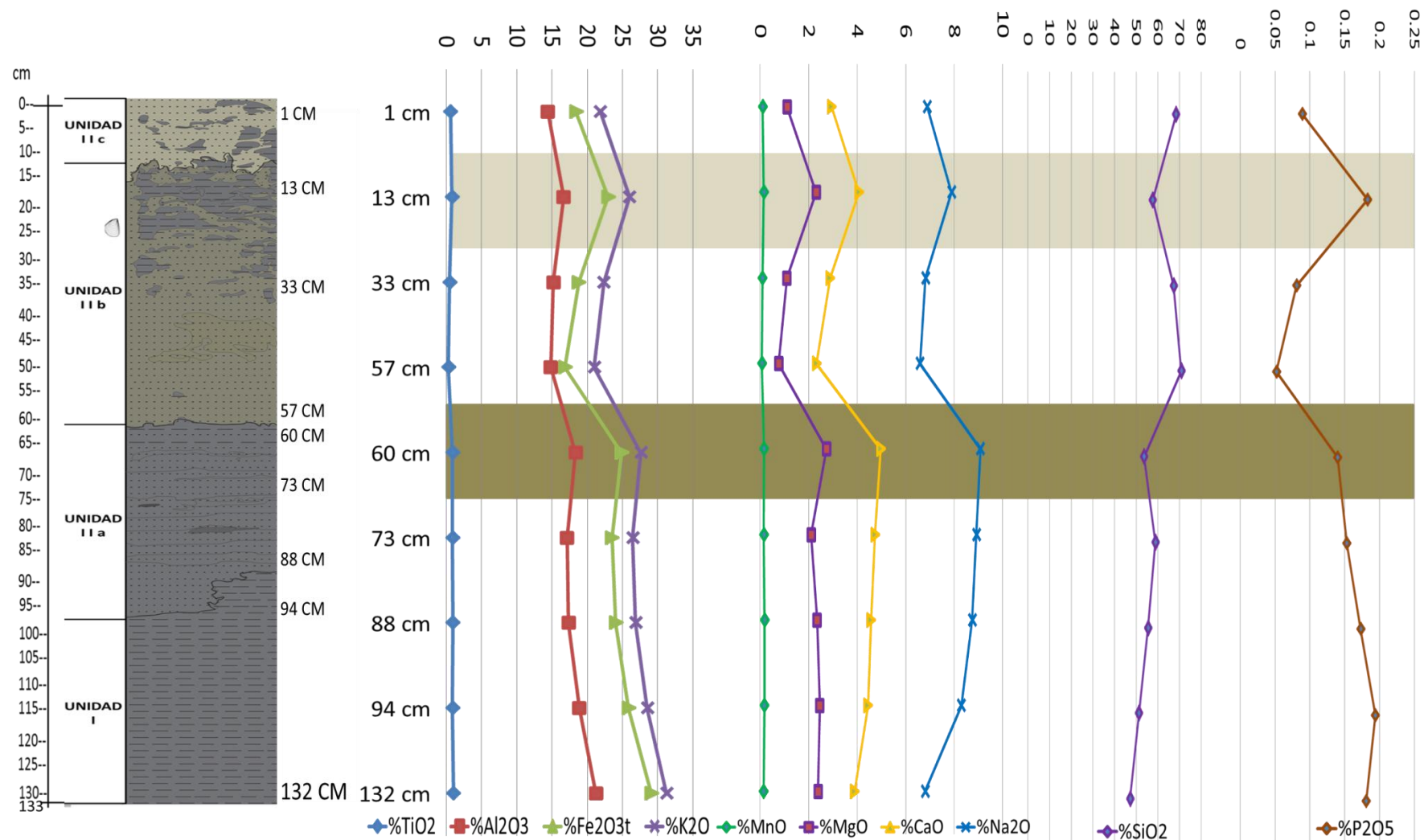


Figura 34. Variación de la concentración de los óxidos de elementos mayores en (%) a lo largo de la columna estratigráfica del NÚC-V-LBN-16-12-13, determinadas mediante FRX.

12.3.7- CONTENIDO DE CARBONO ORGÁNICO E INORGÁNICO (COT y CIT)

Se obtuvieron las concentraciones de Carbono Orgánico Total (COT) y Carbono Inorgánico Total (CIT) para los seis núcleos que fueron sometidos a este análisis en el coulómetro, obteniendo los siguientes resultados que se presentan en los siguientes cuadros y figuras por cada uno de los núcleos.

12.3.8- COT y CIT NUC-I-LC-14-12-13

En el cuadro 13 se muestran los resultados obtenidos de COT y CIT de las cinco muestras analizadas a diferentes profundidades para el núcleo uno.

PROFUNDIDAD	%COT	%CIT
21cm	9.2513	0.4754
64cm	2.0134	0.0001
118cm	2.3508	0.3866
121cm	0.0011	0.5629
126cm	2.0307	0.8797

Cuadro 13, presenta los resultados de COT y CIT obtenidos a diferente profundidad.

El contenido de Carbono Orgánico Total (COT), refleja la productividad orgánica en los medios lacustres (Last, 2011). En la laguna de Cuyutlán varía a lo largo de la columna sedimentaria presentando las concentraciones mínimas de COT, en la unidad I a los 121 cm de profundidad muestra valores mínimos de (0.0011%), en un material de arena con arcilla que presenta estructuras de licuefacción que fueron generadas por un evento sísmico; mientras que las máximas concentraciones se presentan en la base de la unidad II en el centímetro 21 con un (9.2513%) de COT en un material limo-arcilloso, indicando que a esta profundidad se encuentran las condiciones adecuadas para la productividad de organismos y materia orgánica, fig. 35.

El CIT, exhibe concentraciones mínimas de (0.0001%) siendo éste el valor más bajo de la columna sedimentaria de la unidad I representado por sedimentos de arcilla a 64 cm de profundidad, y que se puede correlacionar con el COT que también presenta concentraciones bajas en el centímetro 64 con un (2.0134%), indicando que ese periodo fue de mucha estabilidad pero que hubo poca productividad tanto de organismos acuáticos como de materia orgánica y que estuvo afectada por bajas temperaturas ambientales, de tal manera que no favoreció la evaporación ni la formación y precipitación de sales y carbonatos, por lo tanto, se encuentran bajas concentraciones de COT y CIT.

El valor máximo de CIT se encuentra en la unidad I en el centímetro 126 que corresponde a sedimentos de arena-arcilla con una concentración de (0.8797%), y que también presenta un

aumento de COT con un (2.0307%). Estas concentraciones de COT y CIT indican un periodo de baja energía en la laguna con alta productividad de materia orgánica que se refleja en el contenido de COT, lo que favoreció las condiciones para el desarrollo de organismos acuáticos tales como gasterópodos y bivalvos, siendo la fuente principal de carbono inorgánico ya que éste es aportado por los organismos de cubierta calcárea y clastos de carbonatos, sugiriendo una concentración química en el cuerpo de agua.

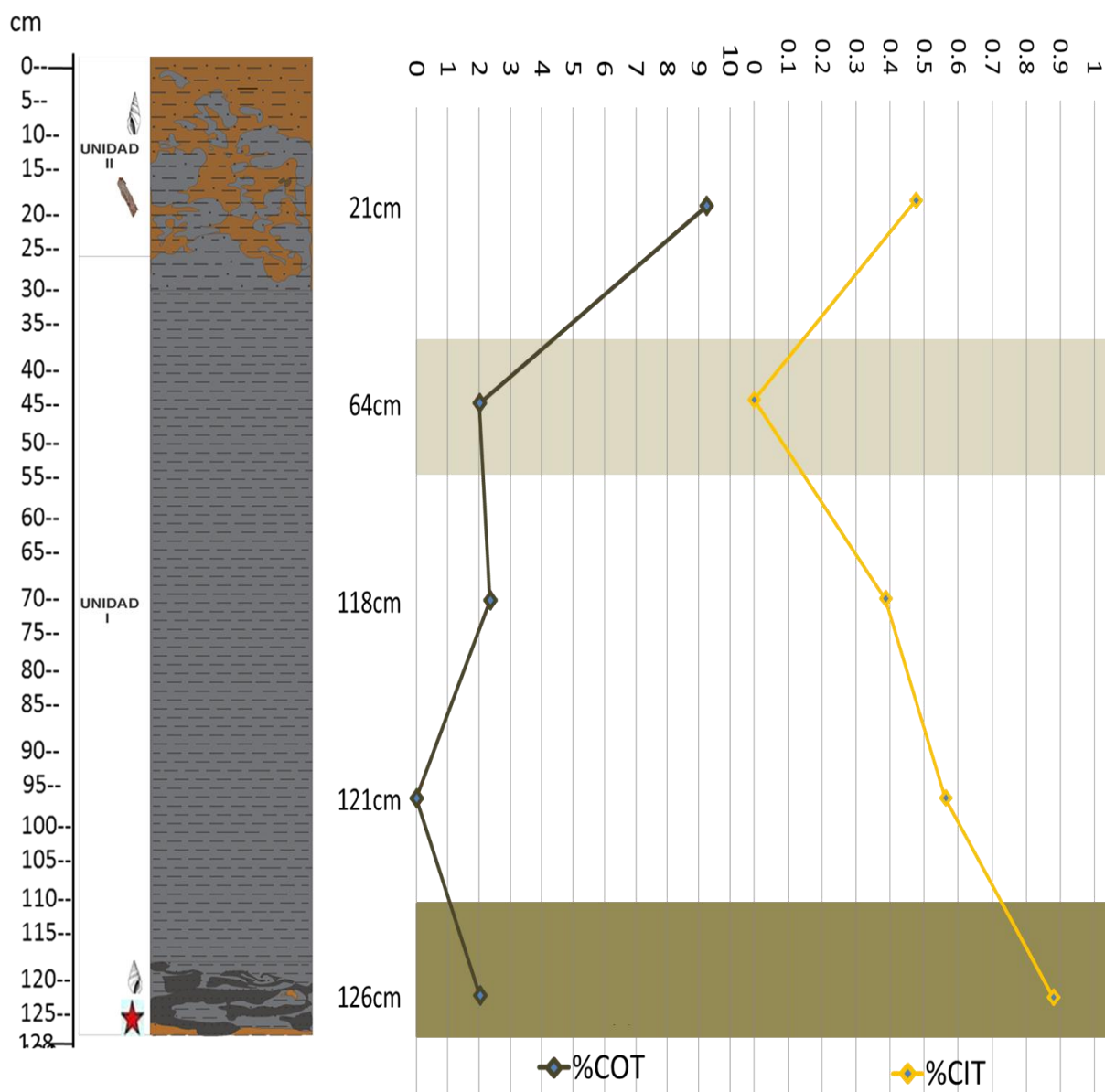


Figura 35. Relación de la concentración de COT y CIT en (%) a diferente profundidad de la columna estratigráfica del NÚC-I-LC-14-12-13.

12.3.9- COT y CIT NÚC-II-LC-14-12-13

En el cuadro 14, se muestran los resultados obtenidos de COT y CIT de las siete muestras analizadas a diferentes profundidades para el núcleo dos.

PROFUNDIDAD	%COT	%CIT
41cm	8.2719	0.0005
49cm	1.0621	0.0056
83cm	2.0922	0.0261
99cm	0.2637	0.0202
111cm	1.7332	0.8728
117cm	0.5645	0.1605
132cm	0.6239	0.2738

Cuadro 14. Presenta los datos de COT y CIT obtenidos a diferente profundidad.

La columna litológica de éste núcleo junto con el contenido de COT y CIT se muestra en la fig. 36, que presenta las concentraciones mínimas de COT a 99 cm de profundidad mostrando valores de (0.2637%), compuesto por material de arenoso, mismo que se asocia a un depósito de tsunami, indicando que este evento erosionó la materia orgánica por lo que se muestran bajas cantidades de COT. Mientras que las máximas concentraciones se presentan en el centímetro 111 con (1.7332%) en la base de un depósito de tsunami haciendo contacto subyacente erosivo con la unidad 1 b), compuesta por material arcilloso. Sucesivamente en el centímetro 83 se encuentra el (2.0922%), por lo que está indicando que en ese momento había estabilidad en la laguna y las condiciones eran adecuadas para el desarrollo de organismos acuáticos, pero que se vio interrumpida por eventos de alta energía ya que presenta estructuras asociadas a tempestitas (lentes de arena), por lo que también aumentó el CIT con (0.0261%).

En la cima del núcleo en el centímetro 41 se encuentra la máxima cantidad con un (8.2719%) de COT en un material compuesto por limo-arcilla, indicando que a esta profundidad se encuentra una quietud en la laguna favoreciendo las condiciones para la productividad de materia orgánica.

Mientras tanto el CIT, exhibe concentraciones mínimas de (0.0005%) siendo este el valor más bajo de la columna sedimentaria en el centímetro 41, debido a que la laguna se encuentra en estabilidad y no es visible la presencia de organismos acuáticos ni la temperatura ambiental favorece la precipitación de sales y carbonatos.

En el centímetro 132 se encuentra un aumento en CIT con (0.2738%) compuesto por material de arena y arcilla que corresponde a un depósito de tsunami y en el centímetro 111 que también corresponde a otro depósito de tsunami con una concentración de (0.8728%) de CIT, donde el carbono inorgánico es aportado por la procedencia de una gran cantidad de agua marina con sales y carbonatos, sugiriendo una concentración química en el cuerpo de agua, fig. 36.

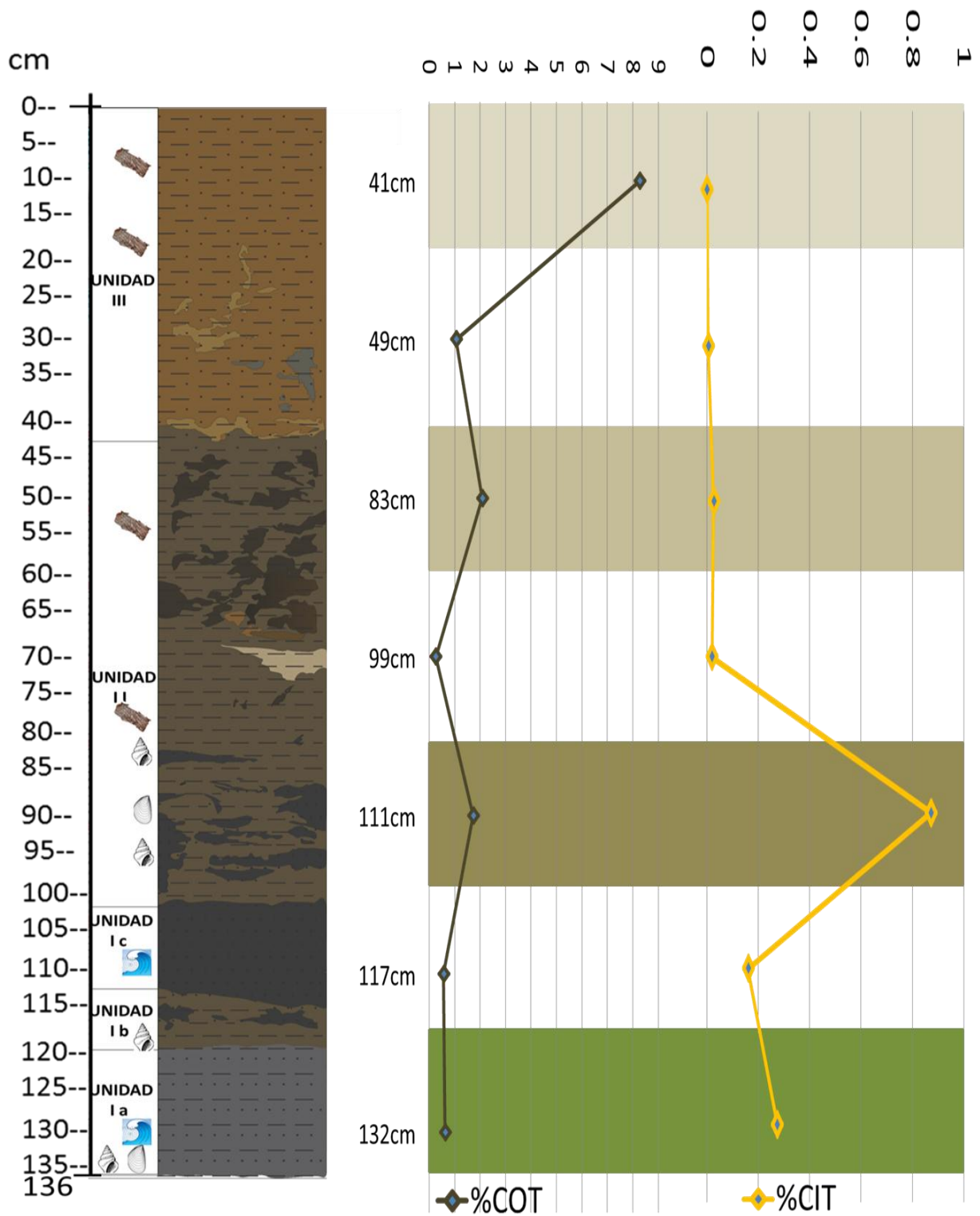


Figura 36. Relación de la concentración de COT y CIT en (%) a diferente profundidad de la columna estratigráfica del NÚC-II-LC-14-12-13.

12.4- COT y CIT NÚC-VI-LC-16-12-13

En el cuadro 15, se presentan los resultados obtenidos de COT y CIT de las cuatro muestras analizadas a diferentes profundidades para este núcleo.

PROFUNDIDAD	%COT	%CIT
42cm	12.5628	2.8086
87cm	1.7998	1.8763
125cm	1.4111	0.4342
139cm	0.4401	0.4379

Cuadro 15. Presenta los resultados de COT y CIT obtenidos a diferente profundidad.

En la fig. 37 se presenta la columna sedimentaria de éste núcleo con las concentraciones mínimas de COT a 139 cm de profundidad en un estrato de arcilla con un espesor de 1 cm, y que se encuentra en medio de dos depósitos de tsunamis compuestos de material arenoso, mostrando valores mínimos de (0.4401%). En el centímetro 87 se encuentra un aumento de COT con (1.7998%) de su contenido. Mientras que las máximas concentraciones se presentan en el centímetro 42 con (12.5628%) de COT en un estrato de limo-arcilla, indicando que a esta profundidad se encuentra la mayor parte de la productividad en organismos y materia orgánica.

El CIT, muestra concentraciones mínimas de (0.4342%) en el centímetro 125 compuesto de material arenoso con (0.4379%) y el centímetro 139, siendo estos los valores más bajos de la columna sedimentaria. Así mismo, se presenta un aumento en el centímetro 87 con (1.8763%) y en el centímetro 42 con una concentración de (2.8086%) de CIT el cual se correlaciona con el aumento que presenta en COT a esta misma profundidad, compuesto por material limo-arcilloso indicando que la laguna se encuentra en un periodo de quietud que favorece la producción de materia orgánica y organismos acuáticos que se representa por el aumento de COT, pero además puede estar indicando entradas de alta energía provocada por tempestitas, ya que en esta profundidad se encuentran estructuras correspondientes a ciclones o huracanes en forma de lentes de arena, de tal manera que pueden ser la principal fuente de ingreso de CIT en la laguna.

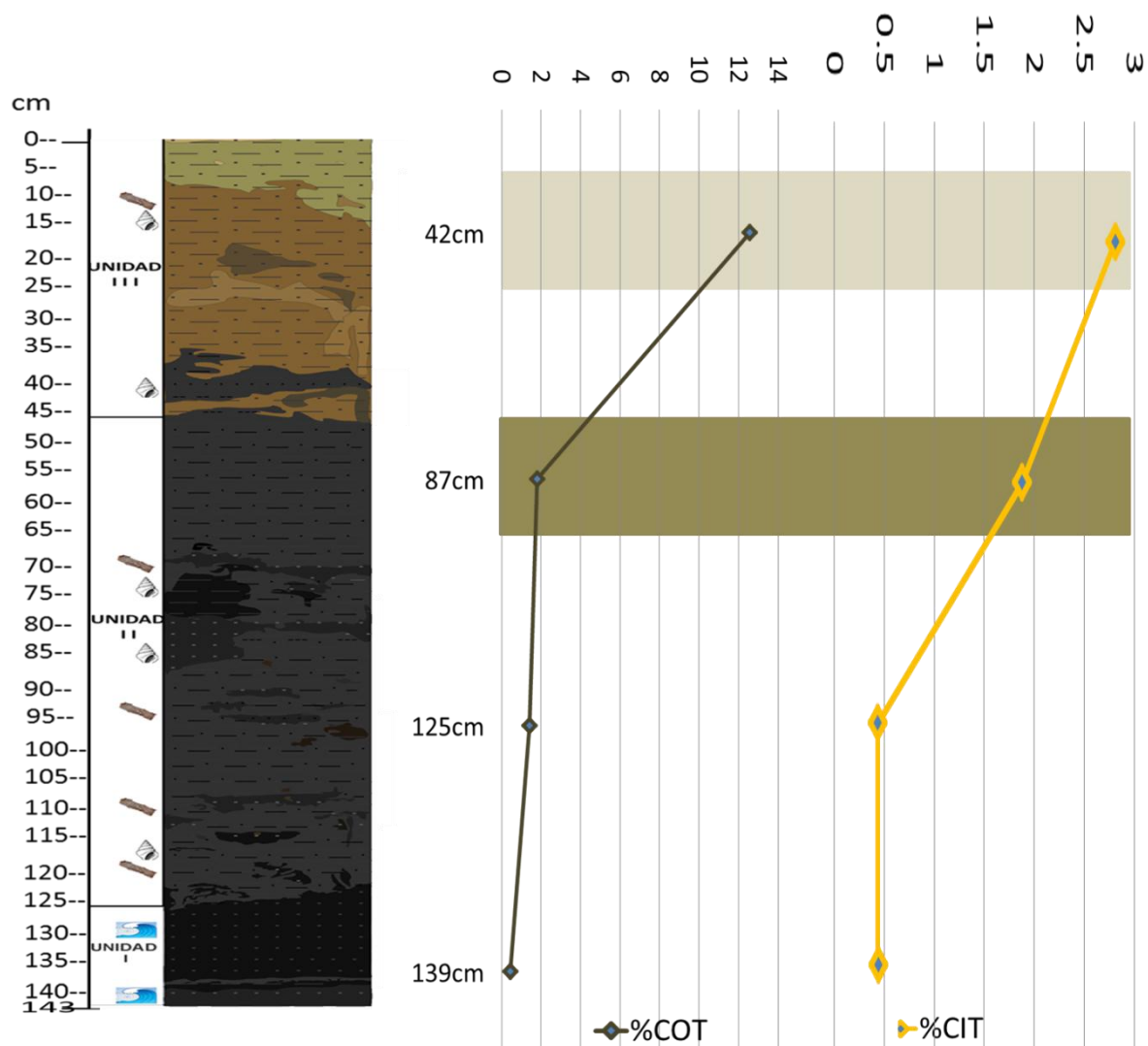


Figura 37. Relación de la concentración de COT y CIT en (%) a diferente profundidad de la columna estratigráfica del NÚC-VI-LC-16-12-13.

12.4.1- COT y CIT NÚC-III-LLB-15-12-13

En el cuadro 16, se presentan los resultados obtenidos de COT y CIT de las seis muestras analizadas a diferentes profundidades para el núcleo de la laguna de La Boquita.

PROFUNDIDAD	%COT	%CIT
24cm	1.267	0.3575
66cm	0.5336	0.3038
77cm	2.8706	0.0002
92cm	3.6637	0.6193
99cm	1.7451	0
124cm	4.8979	0

Cuadro 16, presenta los resultados de COT y CIT obtenidos a diferente profundidad.

Este núcleo corresponde a la laguna de La Boquita, fig. 38, que presenta las concentraciones mínimas de COT a 66 cm de profundidad en un estrato de arena, mostrando valores mínimos de (0.5336%). Mientras que en el centímetro 77 se presenta un aumento con (2.8706%) en un material de arena con arcilla; por lo que las máximas concentraciones se presentan en la base del núcleo en el centímetro 124 con (4.8979%) de COT en un material compuesto de arcilla, indicando que a esta profundidad se encuentra la laguna en estabilidad y presenta las condiciones adecuadas para la productividad de materia orgánica aunque no existe la presencia de organismos acuáticos.

El CIT, muestra concentraciones mínimas de (0.0002%) en el centímetro 77, y a pesar de la existencia de estructuras de bioturbación y de organismos acuáticos (gasterópodos y bivalvos), el CIT no presenta concentraciones elevadas, lo cual indica que a partir de esta profundidad la laguna ha presentado una tasa de sedimentación muy acelerada por influencia antropogénica, y que posiblemente ha sido rellenada con material terrígeno. Mientras que en los centímetros 99 y 124 muestra un valor de (0%) siendo estos los valores más bajos de la columna sedimentaria constituida por material arcilloso. El valor máximo se presenta en el centímetro 92 con un material de arena-arcilla con una concentración de (0.6193%) de CIT.

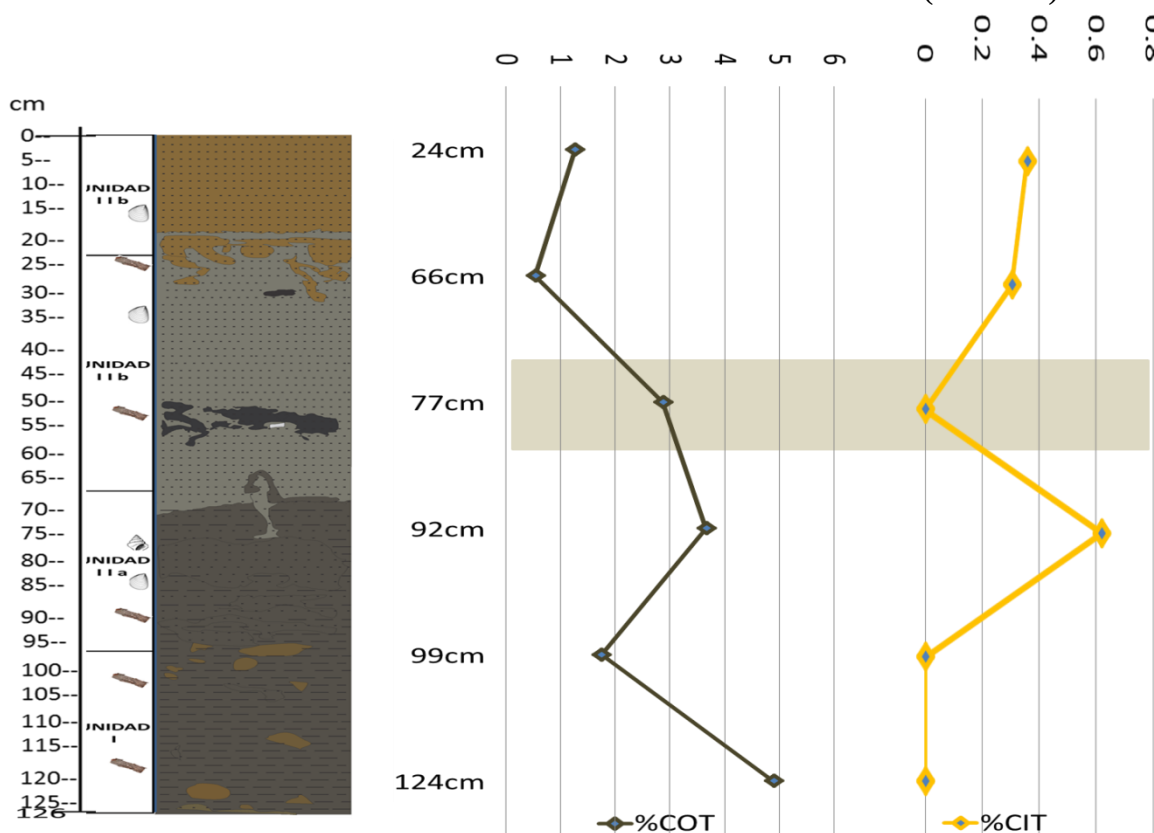


Figura 38. Relación de la concentración de COT y CIT en (%) a diferente profundidad de la columna estratigráfica del NÚC-III-LLB-15-12-13.

12.4.2- COT y CIT NÚC-IV-LLC-15-12-13

En el cuadro 17, se muestran los resultados obtenidos de COT y CIT de las cinco muestras analizadas a diferentes profundidades para este núcleo extraído de la laguna de La Chacala, Playa del Oro.

PROFUNDIDAD	%COT	%CIT
9cm	0.2097	0.0001
36cm	1.0398	0.1071
62cm	0.0005	0
77cm	2.4497	0.057
91cm	0.642	0.0641

Cuadro 17. Presenta los datos de COT y CIT obtenidos a diferente profundidad.

Este núcleo fue extraído de la laguna La Chacala, Playa de Oro fig. 39, se presentan las concentraciones mínimas de COT a 62 cm de profundidad en un material de arena, mostrando valores mínimos de (0.0005%). Mientras que las máximas concentraciones se presentan en el centímetro 77 con un (2.4497%) de COT en un estrato de arena con abundantes trozos de madera.

El CIT, muestra concentraciones mínimas de (0%) en el centímetro 62 en un material compuesto de arena, el cual se puede correlacionar con el contenido de COT ya que también presenta concentraciones de (0.0005%) a esta misma profundidad, indicando que no se encuentran condiciones adecuadas para el desarrollo de vegetales; de tal manera que el CIT complementa esta interpretación debido a que su concentración es de (0%) indicando que en la cuenca se está llevando a cabo un fuerte proceso erosivo de terrígenos y que se están depositando en la laguna. Mientras tanto en el centímetro 77 el contenido de CIT presenta un aumento de (0.057%), que se encuentra compuesto por material de arena con abundantes restos de madera, indicando que fue erosionado y depositado por un evento de alta energía; que de igual manera se puede correlacionar con el contenido de COT, a esta misma profundidad el cual está indicando que proviene de los restos de materia orgánica y que fue depositada por un evento tsunamigénico, mientras tanto, el CIT está indicando que también es de origen alóctono y que fue depositado por un tsunami, fig. 39.

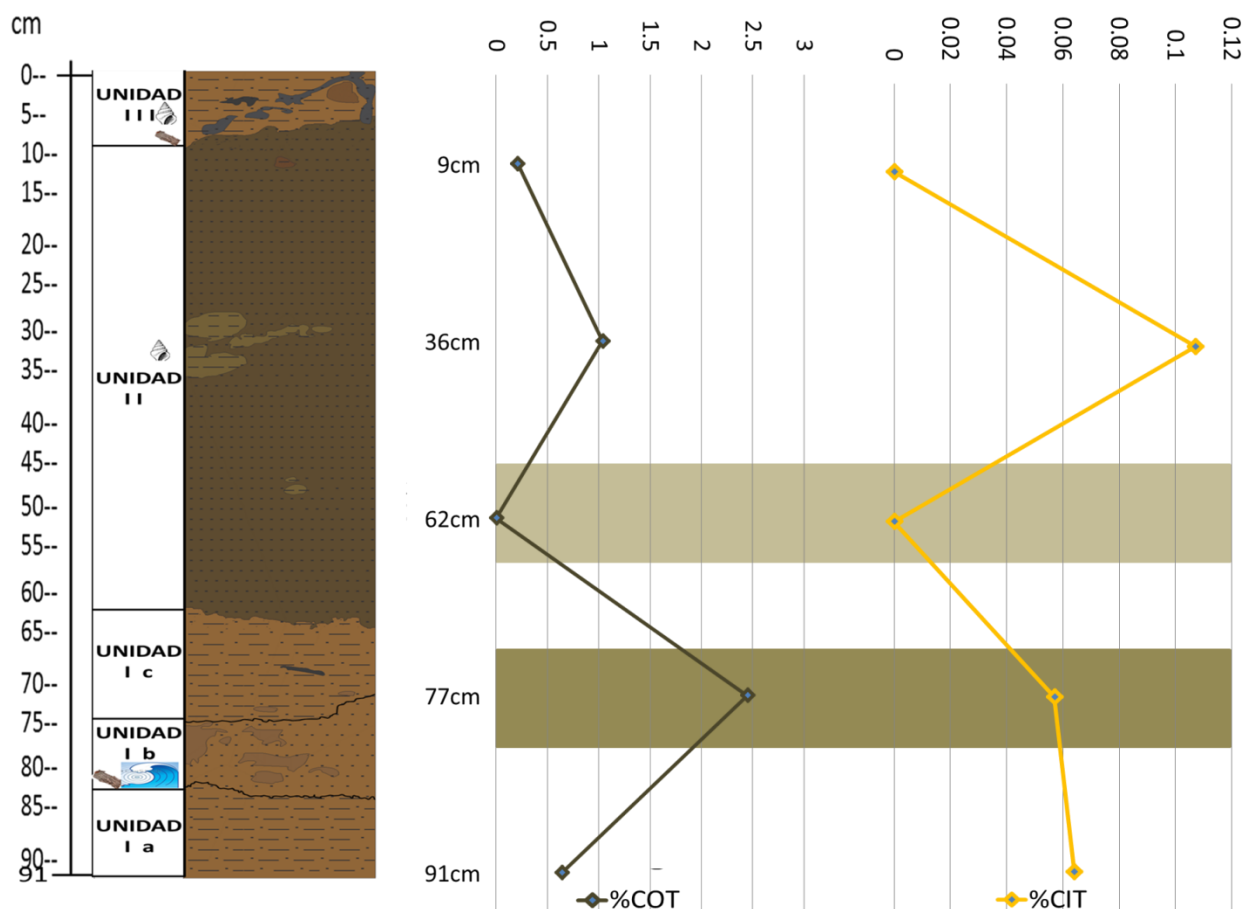


Figura 39. Relación de la concentración de COT y CIT en (%) a diferente profundidad de la columna estratigráfica del NÚC-IV-LLC-15-12-13.

12.4.3- COT y CIT NÚC-V-LBN-16-12-13

En el cuadro 18, se presentan los resultados obtenidos de COT y CIT de las cinco muestras analizadas a diferente profundidad de este núcleo extraído de la laguna Barra de Navidad.

PROFUNDIDAD	%COT	%CIT
13cm	11.2156	0
33cm	11.2156	0
57cm	0.1421	0
73cm	0.084	0.0151
88cm	0.9644	0.0003
94cm	0.0001	0.0092
132cm	0.642	0.0113

Cuadro 18. Presenta los datos de COT y CIT obtenidos a diferente profundidad.

En la columna sedimentaria de éste núcleo que fue extraído en la laguna Barra de Navidad figura 40, se presentan las concentraciones mínimas de COT a 94 cm de profundidad en un material arcilloso, mostrando valores mínimos de (0.0001%). Mientras que las máximas concentraciones se presentan en los 13 y 33 cm con un (11.2156%) de COT en un material

compuesto de arena con arcilla, lo que indica que en este periodo se han presentado las condiciones ambientales adecuadas para el desarrollo de materia orgánica y de organismos acuáticos, ya que se encuentran estructuras de bioturbación provocadas por gasterópodos.

El CIT, presenta concentraciones mínimas de (0%) en los centímetros 13, 33 y 57 en material de arena, siendo estos los valores más bajos de la columna sedimentaria, y que se puede correlacionar con el contenido de COT a esta misma profundidad con (0.1421%) indicando que en esta profundidad la laguna ha tenido un gran aporte de terrígenos provenientes de la erosión que se está generando en la cuenca. Por lo tanto, el valor máximo se presenta en el centímetro 73 en un material de arena fina que presenta estructuras de estratificación laminar con una concentración de (0.0151%) de CIT indicando un periodo de estabilidad con baja energía y poca profundidad favoreciendo la precipitación de carbonatos; aunque por su parte a 73 cm el COT también presenta cantidades bajas de (0.084%) indicando la ausencia de materia orgánica y de organismos acuáticos.

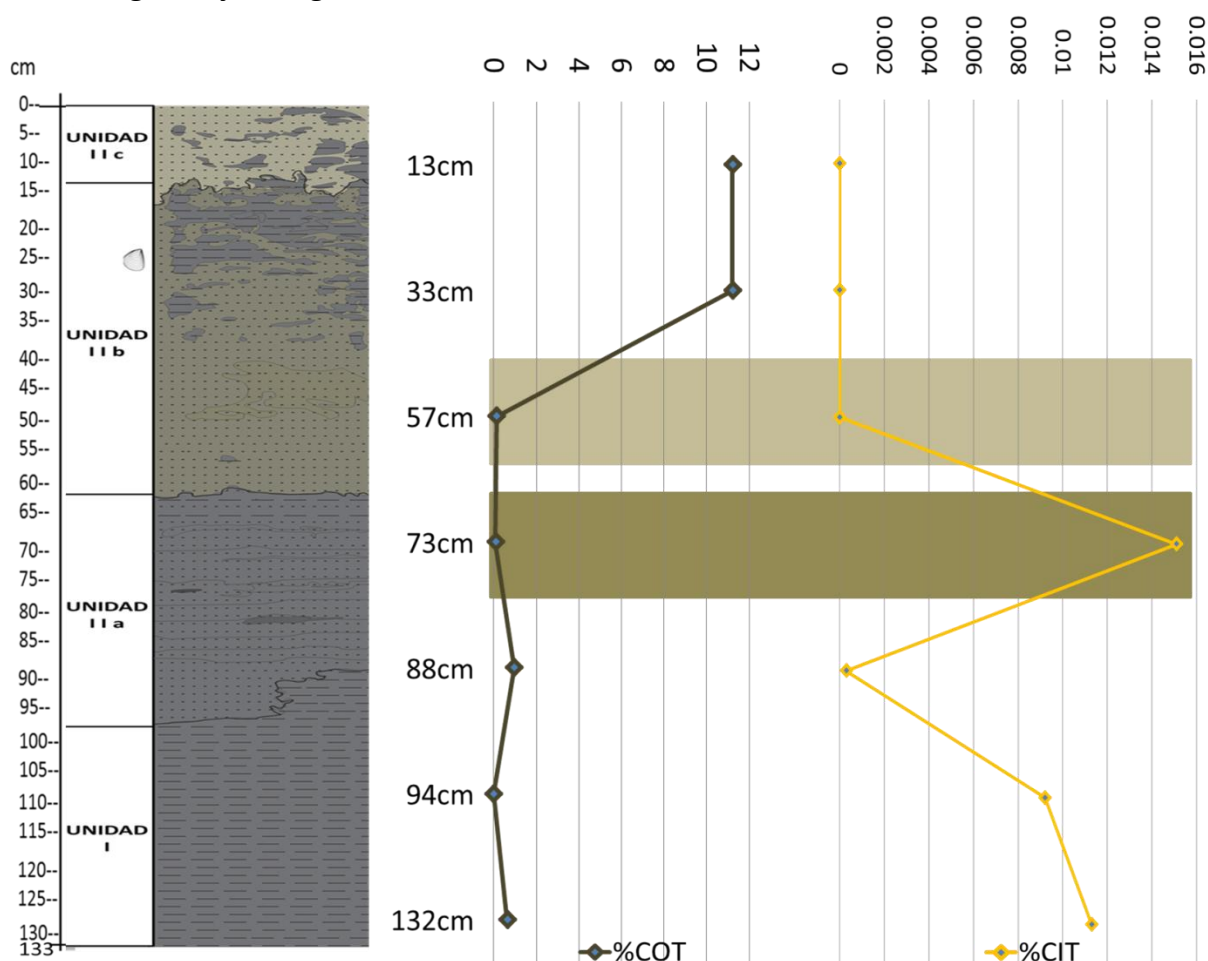


Figura 40. Relación de la concentración de COT y CIT en (%) a diferente profundidad de la columna estratigráfica del NÚC-V-LBN-16-12-13.

12.4.4- MINERALOGÍA

Las muestras sometidas a Difracción de Rayos X y Espectroscopía de Infrarrojo son previamente seleccionadas, secadas y molidas en un mortero de ágata para que sea homogénea (un tamaño menor a 40 micras). El enorme número de pequeños cristales está orientado a todas direcciones posibles; por lo que cuando el haz de Rayos X atraviesa el material, se pueda esperar que un número significativo de partículas esté orientado de tal manera que se cumpla la condición de Bragg para la reflexión para todos los espaciados interplanares posibles. Una vez molidas las muestras, se pesaron de 0.5 a 1 gramo, y se colocaron en tubos capilares de paredes finas de vidrio o celofán y éstos se colocaron en el difractómetro modelo D5000, marca Siemens del IIM de la Universidad Michoacana.

Se registraron los ángulos de difracción o máximos característicos de cada muestra y se compararon con valores conocidos creando un difractograma que identifica los minerales que componen cada una de las muestras: (Anexo I).

En el núcleo uno (NUC-I-LC-14-12-13), a través de Difracción de Rayos X se identificaron 16 especies de minerales: Ferro-Aaxinita, Vesuvianita, Cuarzo, Montmorillonita, Halloysita de 10 Ångström, Saponita, Albita, Anortita, Magnesio-Axinita, Cristobalita, Halloysita de 7 Ångström, Periclasa, Halita, Calcita y Sodio fig. 41.

En el difractograma obtenido a 126 cm se observa la presencia de Periclasa, Albita y Montmorillonita con picos de mayor intensidad de Albita.

En el difractograma correspondiente a 121 cm también se observan los minerales de Periclasa, Albita, Halita, Calcita, Cuarzo y Sodio, con picos de mayor intensidad de Cuarzo

En el centímetro 118 con material compuesto de arena con arcilla con estructuras de licuefacción generadas por un evento sísmico se observa el difractograma con minerales en proporción equitativa de Albita, Vesuvianita, Cristobalita, Cuarzo y Halloysita de 7 Ångström indicando un periodo de sequía en la laguna.

En el centímetro 84 sólo se observan tres minerales que corresponden a Albita, Ferro-axinita y Magnesio-axinita indicando una estabilidad en la laguna.

Hacia la cima de la columna litológica en el centímetro 64 se encuentran Albita, Anortita y Cuarzo con picos máximos, mientras que Montmorillonita se presenta con picos más pequeños indicando que la laguna ha estado en estabilidad.

Sucesivamente en el centímetro 32 en la cima del núcleo se observan minerales con picos máximos de Cuarzo y Halloysita de 10 Ångström, mientras que Ferro-axinita, Vesuvianita y Montmorillonita se presentan con picos más pequeños, lo cual indica una mayor aportación de agua fluvial a la laguna.

12.4.5- Difractogramas de DRX NUC-I-LC-14-12-13

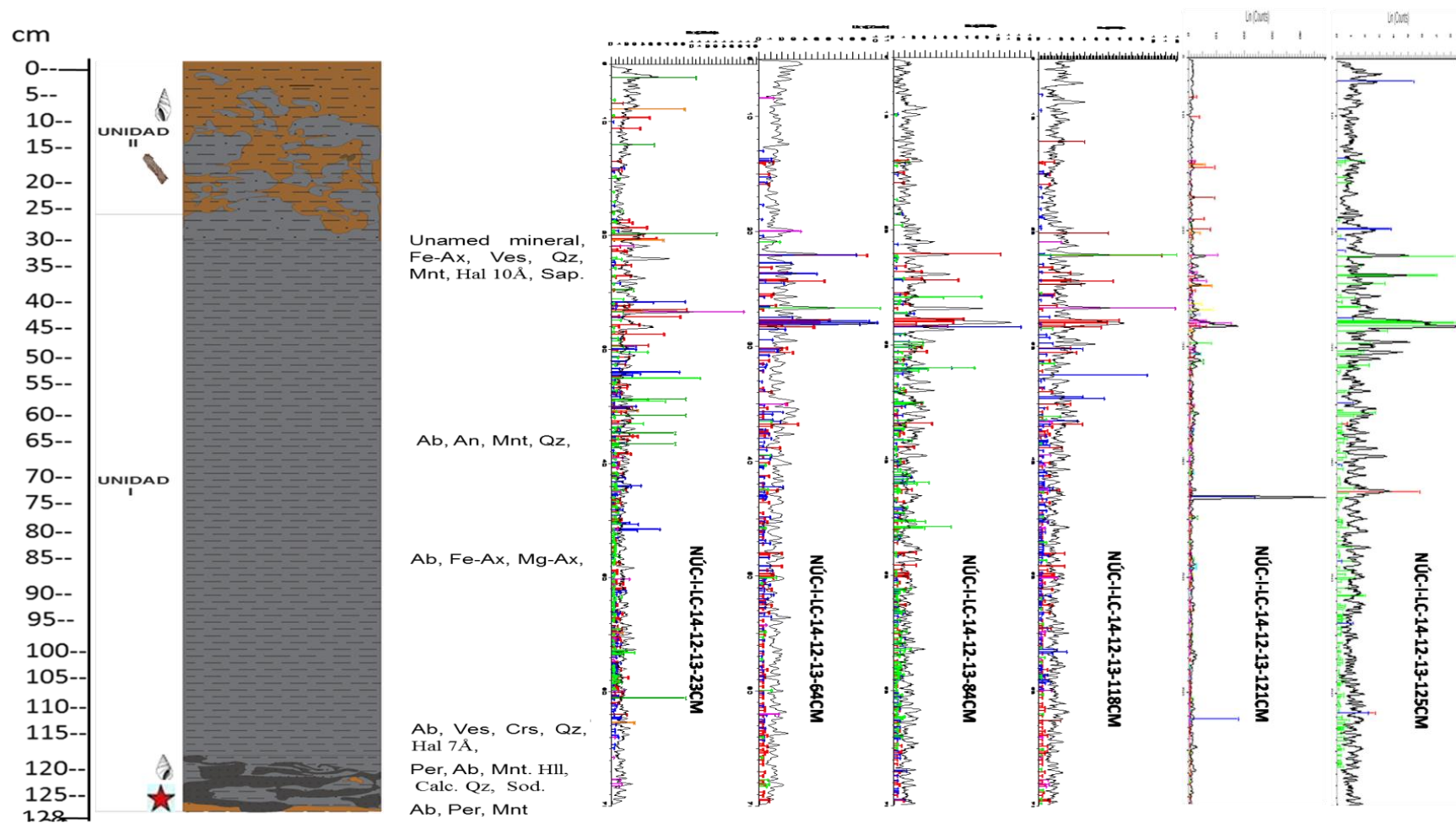


Figura 41. Resultados de los análisis de DRX. Las especies minerales están abreviadas: Fe-Ax=Ferro-Aaxinita, Ves= Vesuvianita Qz= Cuarzo, Mnt = Montmorillonita, Hal 10Å = Halloysita de 10 Ångström, Sap=Saponita Ab = Albita, An = Anortita, Mg-Ax=Magnesio-Axinita, Crs=Cristobalita, Hal 7Å = Halloysita de 7 Ångström, Per=Periclasa. Hll=Halita, Cal=Calcita y Sod=Sodio.

En el núcleo dos (NUC-II-LC-14-12-13), a través de Difracción de Rayos X se identificaron 15 especies de minerales: Calcita, Halita, Albita, Cuarzo, Moscovita, Vesuvianita, Ferro-Axinita, Montmorillonita, Magnesio-Axinita, Actinolita, Sylvita, Magnetita, Briartita, Ortoclasa y Anortita. fig. 42.

En el difractograma obtenido a 132 cm compuesto por arena y arcilla corresponde a un depósito de tsunami, se observa la presencia de Ferro-Axinita, Vesuvianita, Sylvita, y Ortoclasa, representándose con picos más elevados de Halita y Anortita. En el centímetro 117 en la unidad 1 b), compuesto por arcilla con estructuras de lentes de arena indican un periodo de estabilidad, que fue interrumpida por dos eventos de tsunamis; el primero se encuentra en la unidad 1 a) y el segundo en la unidad 1 c), subyaciendo con un contacto erosivo presentando minerales de Albita, y Sylvita con picos de menor intensidad, mientras que los picos de mayor intensidad corresponden a Calcita y Briartita.

El centímetro 111 en la unidad 1 c), está compuesto por material arenoso que corresponde a un depósito de tsunami mostrando minerales de, Halita, Cuarzo, y Vesuvianita, representando picos con mayor intensidad de Muscovita, Magnesio-Axinita y Albita. Sucesivamente en el centímetro 99 en la cima de la unidad 1 b) asociada a un depósito de tsunami, muestra un difractograma representado por Albita, Magnetita y Hornblenda.

En el centímetro 83 se muestran estructuras de lentes de arena presentando minerales de Sylvita, Halita y Montmorillonita, presentando picos máximos de Cuarzo, Magnesio-Axinita, Albita, Actinolita y Vesuvianita, indicando una fase estable de la laguna que se ha visto interrumpida en continuas ocasiones por fuertes eventos de tempestitas. En el centímetro 49 se presentan estructuras de bioturbación por organismos acuáticos y se compone por minerales de Ferro-Axinita, Vesuvianita, Montmorillonita, presentando picos máximos de Cuarzo y Albita, indicando un periodo de estabilidad con las condiciones adecuadas para mantener alta productividad de materia orgánica y organismos acuáticos.

Hacia la cima de la columna litológica en el centímetro 41, presenta estructuras de bioturbación por gasterópodos mostrando minerales de Albita, Moscovita y Cuarzo mostrando picos máximos de Calcita que se puede asociar a la alta productividad de materia orgánica en la laguna generando las condiciones adecuadas para una mayor abundancia de organismos acuáticos que pueden estar aportando la alta presencia de este mineral.

Finalmente en la cima de la columna litológica se obtuvo el difractograma en el centímetro 2, en un material compuesto por material limoso con materia orgánica y organismos acuáticos, indicando que la laguna se encuentra en un periodo estable con las condiciones adecuadas para la productividad. Los minerales que encuentran aquí presentes son Halita y Albita, presentando un pico máximo la Calcita que también se asocia a los organismos acuáticos.

12.4.6- Difractogramas de DRX NUC-II-LC-14-12-13

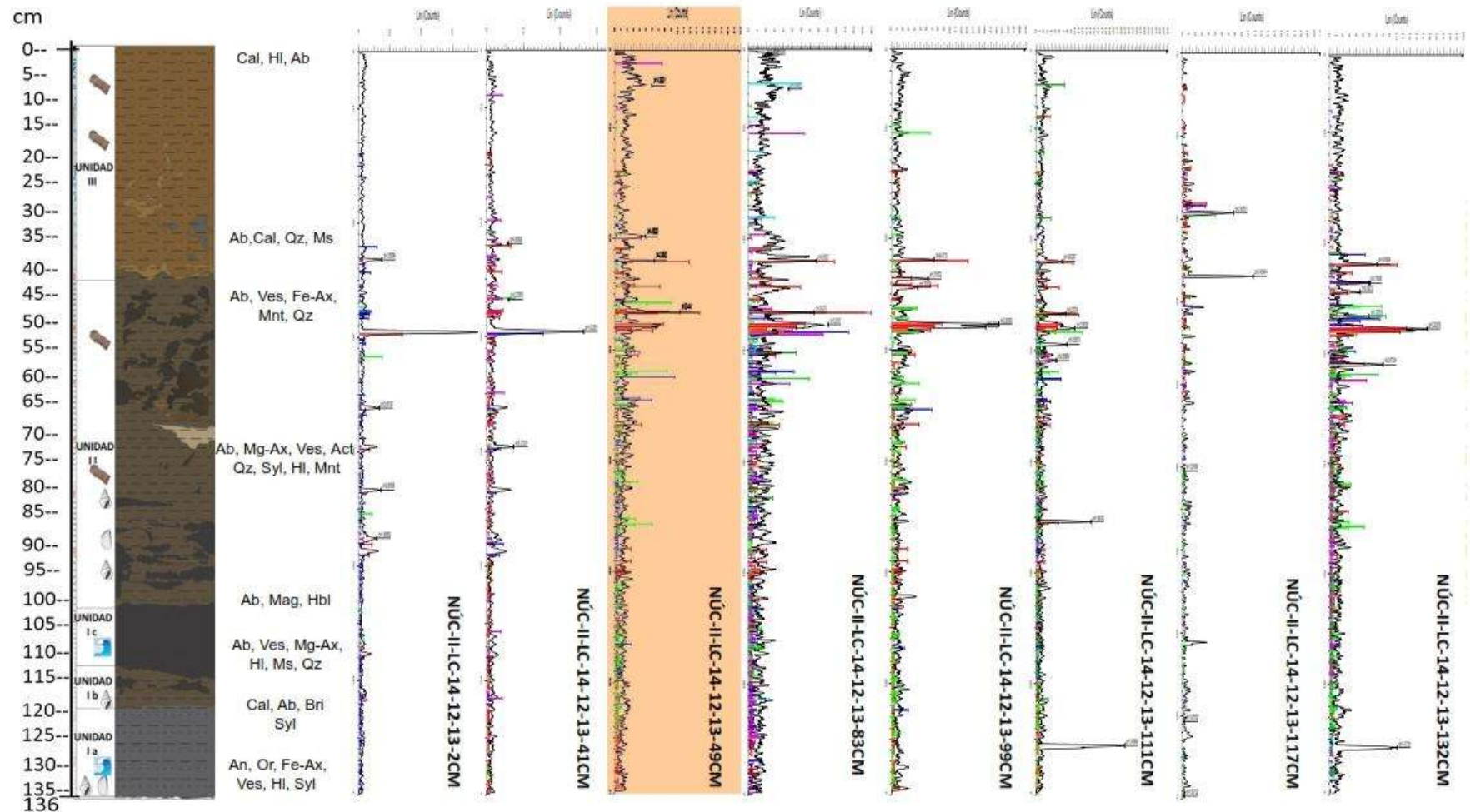


Figura 42. Resultados de los análisis de DRX. Las especies minerales están abreviadas: Cal= Calcita, Hl = Halita, Ab = Albita, Qz= Cuarzo, Ms = Moscovita, Ves= Vesuvianita, Fe-Ax=Ferro-Axinita, Mnt = Montmorillonita, Mg-Ax=Magnesio-Axinita, Act = Actinolita, Syl = Sylvita, Mag=Magnetita, Bri=Briartita, Or=Ortoclasa, An=Anortita.

En el núcleo seis (NUC-VI-LC-16-12-13), a través de Difracción de Rayos X se identificaron 14 especies de minerales: Legrandita, Argirodita, Calcita, Albita, Ferro-Aaxinita, Anortita, Cuarzo, Ilita, Halita, Paulingita, Pirita, Cristobalita, Magnesio-Axinita y Beusita; los cuales describen a cada cambio de facies fig. 43.

En el difractograma obtenido a 139 cm en la unidad 1 b) se encuentra compuesto por material arcilloso indicando un periodo de estabilidad en la laguna, pero fue interrumpida por dos eventos tsunamigénicos: en la unidad 1 a), que corresponde a la base de la columna litológica se muestra el primer depósito compuesto por material arenoso con arcilla, y sobreyaciendo se encuentra la unidad 1 c) con el segundo depósito de tsunami que presenta un contacto erosivo sobre la unidad 1 b), indicando que la energía de este tsunami pudo haberla erosionado en su mayor parte dejándola con un espesor de 1 cm, se observa la presencia de Anortita, Magnesio-Axinita, Halita y Cuarzo.

En el difractograma obtenido a 125 cm en un depósito de tsunami corresponde a la cima de la unidad 1 c), compuesta por material arenoso muestra una composición mineralógica de Anortita, Cristobalita y Cuarzo.

Sucesivamente a 107 cm se obtuvo un difractograma en un material arcilloso que muestra estructuras de lentes de arena, indicando que la laguna en este periodo estuvo expuesta en repetidas ocasiones por tempestitas presentando la mineralogía compuesta por Albita, Anortita, Beusita, Pirita y Calcita.

En el centímetro 96 se presenta el difractograma en un material arcilloso que continúa mostrando estructuras de lentes de arena, indicando que la laguna en este periodo estuvo expuesta en repetidas ocasiones por tempestitas presentando especies minerales de Albita, Anortita y Calcita.

Continuando en el centímetro 87 con una composición de material arcilloso y con estructuras de lentes de arena indicando una constante llegada de huracanes y ciclones a la región costera del estado de Colima y zonas cercanas, presentando un difractograma compuesto por minerales de Albita, Anortita, Paulingita, Calcita, Halita y Pirita.

En el centímetro 80 se encuentra un material conformado por arcilla mostrando cambios que corresponden al mismo material arcilloso pero más oscuros ricos en materia orgánica que indican, que a esta profundidad la laguna presentó un periodo de alta productividad vegetal, de tal manera que alcanzó a generar un ambiente anóxico; así mismo, la llegada de huracanes y ciclones a esta región costera aún se encuentra presente en el registro estratigráfico de la laguna ya que aún continúan presentes las estructuras de lentes de arena. El difractograma mineralógico que se obtuvo está compuesto por Albita, Anortita, Halita, Cuarzo, Ilita y Argirodita.

Posteriormente en el centímetro 69 compuesto por material arcilloso, corresponde a la base de la unidad III de la columna litológica, indicando que la laguna entró en un periodo de

estabilidad y a partir de esta profundidad hacia la cima tampoco se ve interrumpida por fenómenos naturales, la cual de acuerdo con el difractograma obtenido se muestran los minerales de Albite, Anortita y Cuarzo, que pertenecen al grupo de las arcillas que comprueban la estabilidad de la laguna.

En el centímetro 42 en la base de la unidad IV en un contacto transicional está compuesta por material limo-arcilloso rico en materia orgánica obteniéndose un difractograma que se compone de los minerales de Albite, Ferro-Axinita, Anortita, Calcita y Argirodita, indicando el inicio de un periodo con alta productividad en la laguna.

Sucesivamente en la cima de la columna litológica a la profundidad de 10 cm en un material compuesto por limo y abundante materia orgánica y organismos acuáticos representados por gasterópodos se obtuvo un difractograma mineralógico compuesto por Argirodita, Calcita y Legrandita, indicando la alta productividad que actualmente se está llevando a cabo en la laguna.

12.4.7- Difractogramas de DRX NUC-VI-LC-16-12-13

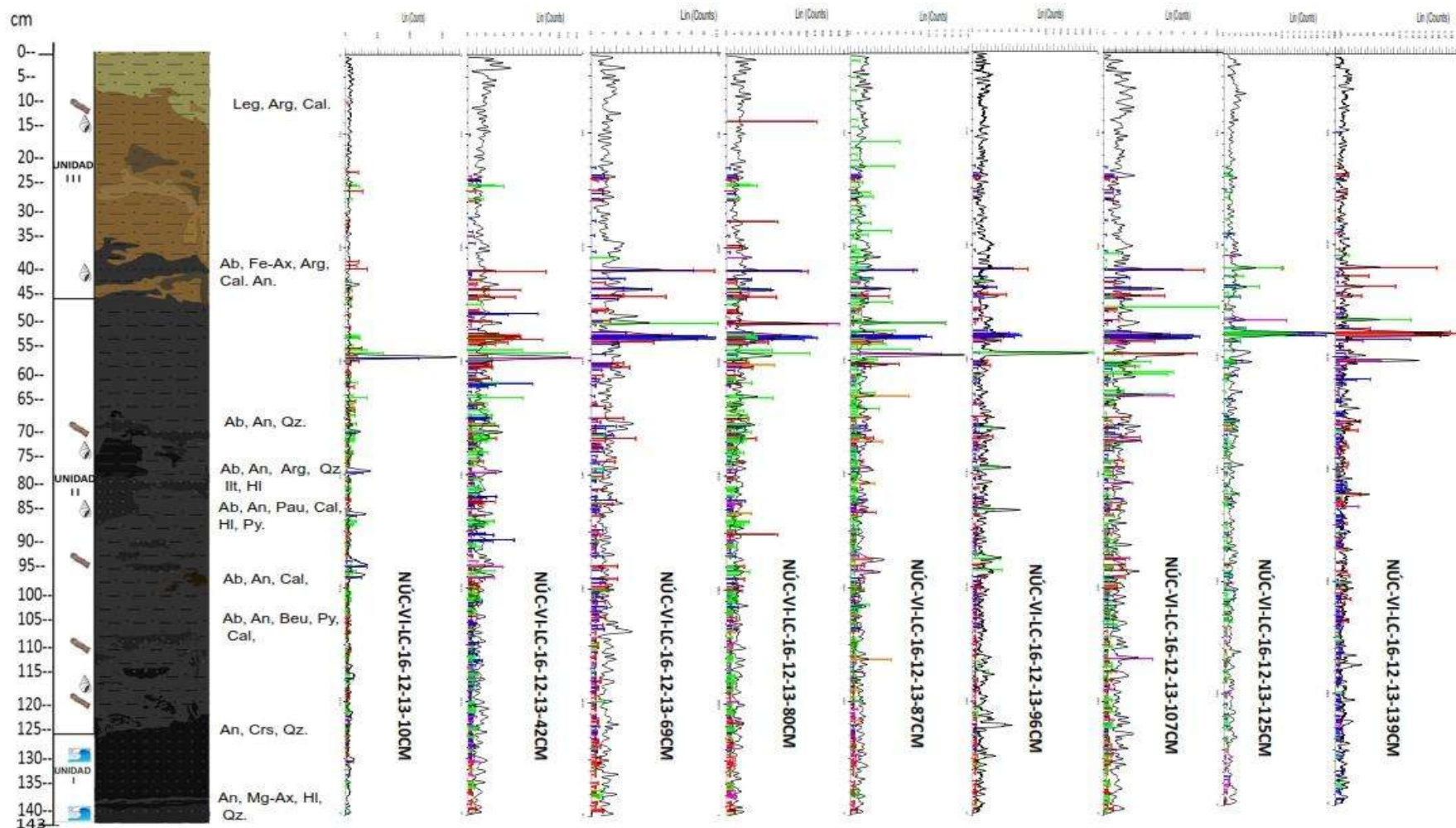


Figura 43. Resultados de los análisis de DRX. Las especies minerales están abreviadas: Leg=Legrandita, Arg=Argirodita, Cal=Calcita, Ab = Albita, Fe-Ax=Ferro-Aaxinita, An = Anortita, Qz= Cuarzo, Ilit=Ilita, Hl = Halita, Pau=Paulingita, Py=Pirita, Crs=Cristobalita, Mg-Ax=Magnesio-Axinita, Beu = Beusita.

En el núcleo tres NÚC-III-LLB-15-12-13, a través de Difracción de Rayos X se identificaron 20 especies de minerales: Albita, Magnesio-Axinita, Vesuvianita, Ferro-Aaxinita, Cuarzo, Halloysita de 10 Ångström, Anortita, Cristobalita, Sacrofanita, Grafito, Zinco-woodwardita, Ilita, Argirodita, Paulignita, Actinolita, Halita, Pirita, Devilina, Phl= Phlogopita, Boggsita y Neptunita; los cuales se describen a cada cambio de facies fig. 44.

En el difractograma obtenido en la base de esta columna litológica a 124 cm de profundidad, está compuesto por material arcilloso en el cual se encuentran los siguientes minerales: Albita, Boggsita, Neptunita, Cuarzo, Halita y Halloysita de 10 Ångström, que indican un periodo estable con frecuentes lluvias generando un ambiente bastante húmedo, pero que también presentó momentos de fuerte evaporación permitiendo la precipitación de Halita.

En el centímetro 99 compuesto por material arcilloso se obtuvo un difractograma que se compone de minerales de Albita, Paulignita, Anortita, Halloysita de 10 Ångström, Devilina y Phlogopita, indicando la continuidad de un periodo estable con abundante lluvia.

El difractograma obtenido en el centímetro 92 en un material compuesto por arcilla y arena que corresponden a estructuras de bioturbación por organismos acuáticos; se encuentra una composición mineralógica de Anortita, Cristobalita, Devilina, Cuarzo, Pirita y Halita, indicando un periodo de estabilidad y de alta productividad en la laguna.

Sucesivamente en el centímetro 77 se muestra un material de arcilla con arena y gasterópodos que generan estructuras de bioturbación, mostrando un difractograma mineralógico compuesto por Anortita, Argirodita, Albita, Actinolita, Cuarzo y Magnesio-Axinita, que indican un periodo de estabilidad que generó alta productividad de materia orgánica en la laguna y propició el establecimiento de organismos acuáticos.

Posteriormente en el centímetro 66 en un material compuesto por arena se obtuvo un difractograma que muestra la composición mineralógica de Anortita, Albita, Magnesio-Axinita, Cuarzo y Vesuvianita, indicando el inicio de un proceso altamente erosivo en la cuenca que puede atribuirse a actividades antropogénicas.

En el centímetro 50 de esta columna litológica continúa la presencia de material arenoso mostrando un difractograma mineralógico con una composición de Magnesio-Axinita, Ilita, Anortita y Cuarzo, indicando que la presencia de arena en la laguna en efecto se trata de una actividad antropogénica ya que se encontró un pedazo de vidrio, lo cual se puede deducir que probablemente en algún momento, de manera reciente se estuvo relleno esta laguna con arena.

El difratograma obtenido a 34 centímetros de profundidad muestra una composición mineralógica Albita, Zinco-woodwardita, Vesuvianita, Sacrofanita y Grafito en un material arenoso que muestra la presencia de materia orgánica y estructuras de bioturbación, así como de gasterópodos y bivalvos, indicando que a esta profundidad la laguna dejó de recibir

antropogénicamente material de relleno y propició el establecimiento de organismos acuáticos.

Sucesivamente en el centímetro 24 continúa la presencia de material arenoso con estructuras de bioturbación que muestra un difractograma mineralógico con Cuarzo, Anortita y Sacrofanita. Indicando nuevamente una continuación de un aporte de terrígenos la cual se presenta hasta la cima del núcleo.

En el centímetro 2 se presenta el difractograma que se compone por Albita, Magnesio-Axinita, Vesuvianita, Ferro-Aaxinita, Cuarzo y Halloysita de 10 Ångström, obtenido en un material arenoso que puede ser depositado en la laguna debido a una fuerte erosión en la cuenca provocada por abundantes lluvias, ya que la presencia de Halloysita de 10 Ångström, indica cantidad de agua que puede ser de manera pluvial.

12.4.8- Difractogramas de DRX NUC-III-LLB-15-12-13

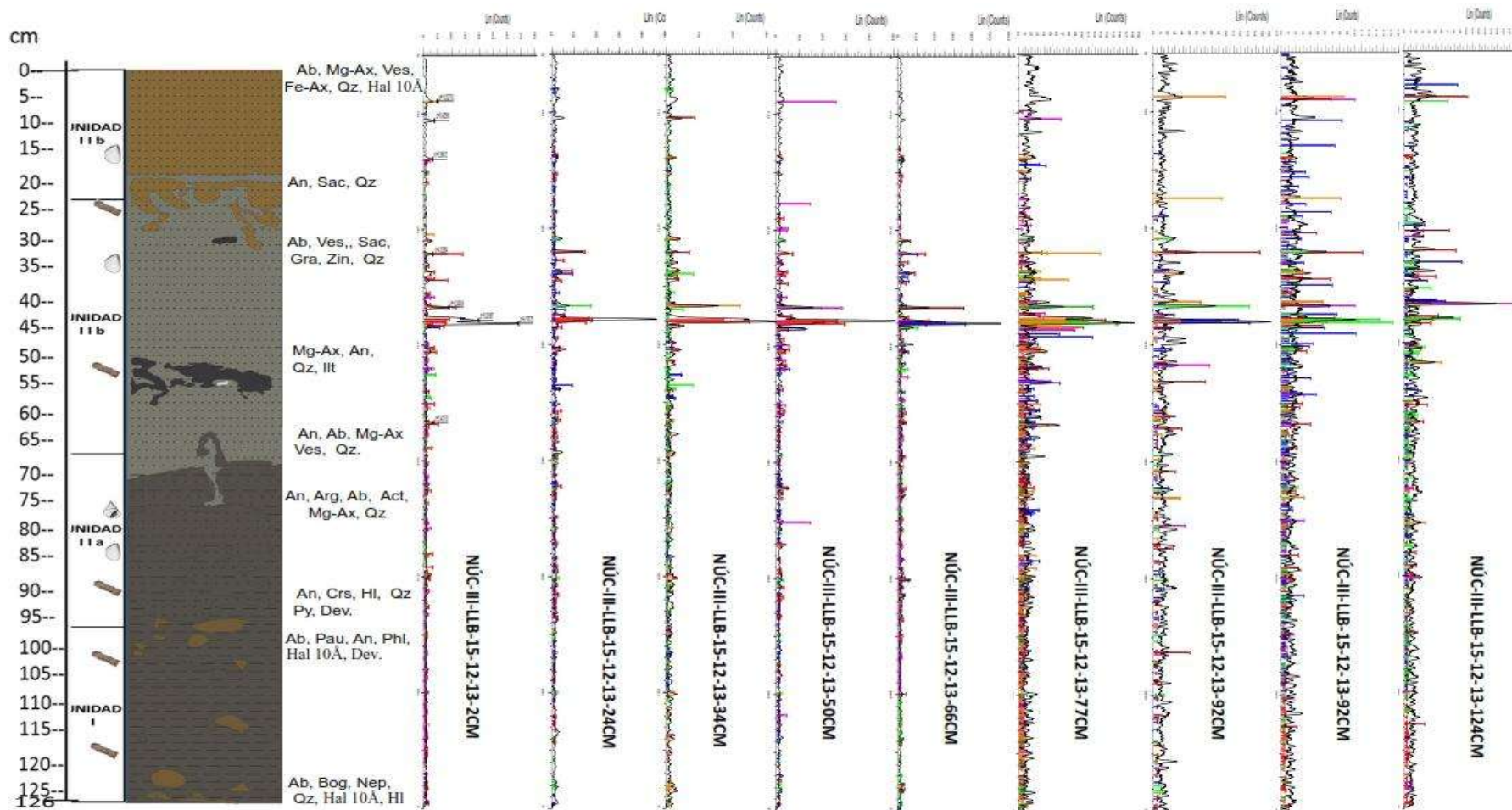


Figura 44. Resultados de los análisis de DRX. Las especies minerales están abreviadas: Ab = Albita, Mg-Ax=Magnesio-Axinita, Ves= Vesuvianita, Fe-Ax=Ferro-Aaxinita, Qz= Cuarzo, Hal 10Å = Halloysita de 10 Ångström, An = Anortita, Sac=Sacrofanita, Gra=Grafito, Zin=Zincowoodwardita, Crs=Cristobalita, Ill=Ilita, Arg=Argirodita, Pau= Paulignita, Act = Actinolita, Hl = Halita, Py=Pirita, Dev=Devilina, Bog=Boggsita, Nep=Neptunita.

En el núcleo cuatro NÚC-IV-LLC-15-12-13, a través de Difracción de Rayos X se identificaron 18 especies de minerales: Anortita, Vesuvianita, Carlinita, Francinita, Paratelurita, Calcita, Albita, Diadoquita, Lomonosovita, Quintinita, Ferro-Aaxinita, Sanidina, Ramsbequita, Sacrofanita, Magnetita, Mexnerita, Zaherita y Philipsita, los cuales describen a cada cambio de facies presentes en la siguiente columna litológica fig. 45.

En el difractograma obtenido en la base de esta columna litológica a la profundidad de 91 cm, se encuentra un material compuesto por limo que muestra la presencia de Albita, Anortita y Actinolita, indicando un ambiente en la laguna de estabilidad con alta productividad de vegetales.

Sucesivamente la unidad I b) se encuentra haciendo contacto erosivo sobre la unidad I a) interrumpiendo bruscamente la secuencia litológica de material limoso, así como la estabilidad de la laguna, presentando en el centímetro 77 un difractograma compuesto por Albita, Anortita, Mexnerita, Zaherita y Philipsita, que corresponden a un material compuesto por arena con abundante materia orgánica y restos de madera; el cual corresponde a un depósito de tsunami.

En la unidad I c) en el centímetro 62 está compuesta por material limoso y presenta un difractograma con minerales de Albita, Anortita, Sacrofanita y Magnetita que están indicando nuevamente una estabilidad en la laguna con las condiciones adecuadas para desarrollar alta productividad vegetal.

Sucesivamente se presenta la unidad II en contacto erosivo compuesta por material arenoso, y estructuras de bioturbación compuesta por arcilla, mostrando un difractograma mineralógico en el centímetro 36 con minerales de Albita, Anortita, Ferro-axinita, Sacrofanita y Ramsbequita, indicando un ambiente de estabilidad en la laguna pero que se ha visto afectada por algún factor externo de alta energía que ha provocado una fuerte erosión en la cuenca, ya que se presenta gran aporte de terrígenos atrapados en la laguna.

En el centímetro 9 compuesto por material arenoso se obtuvo un difractograma que muestra los minerales de Albita, Anortita, Diadoquita, Lomonosovita y Quintinita, presentando un ambiente de alta energía con gran aporte de terrígenos indicando alta erosión en la cuenca.

La unidad III está compuesta por material limoso con estructuras de bioturbación y abundantes restos de vegetales, mostrando un difractograma en el centímetro 3 compuesto por Anortita, Vesuvianita, Carlinita, Francinita, Paratelurita y Calcita, indicando un ambiente de estabilidad en la laguna que presenta las condiciones adecuadas para la productividad vegetal y de organismos acuáticos.

12.4.9- Difractogramas de DRX NÚC-IV-LLC-15-12-13

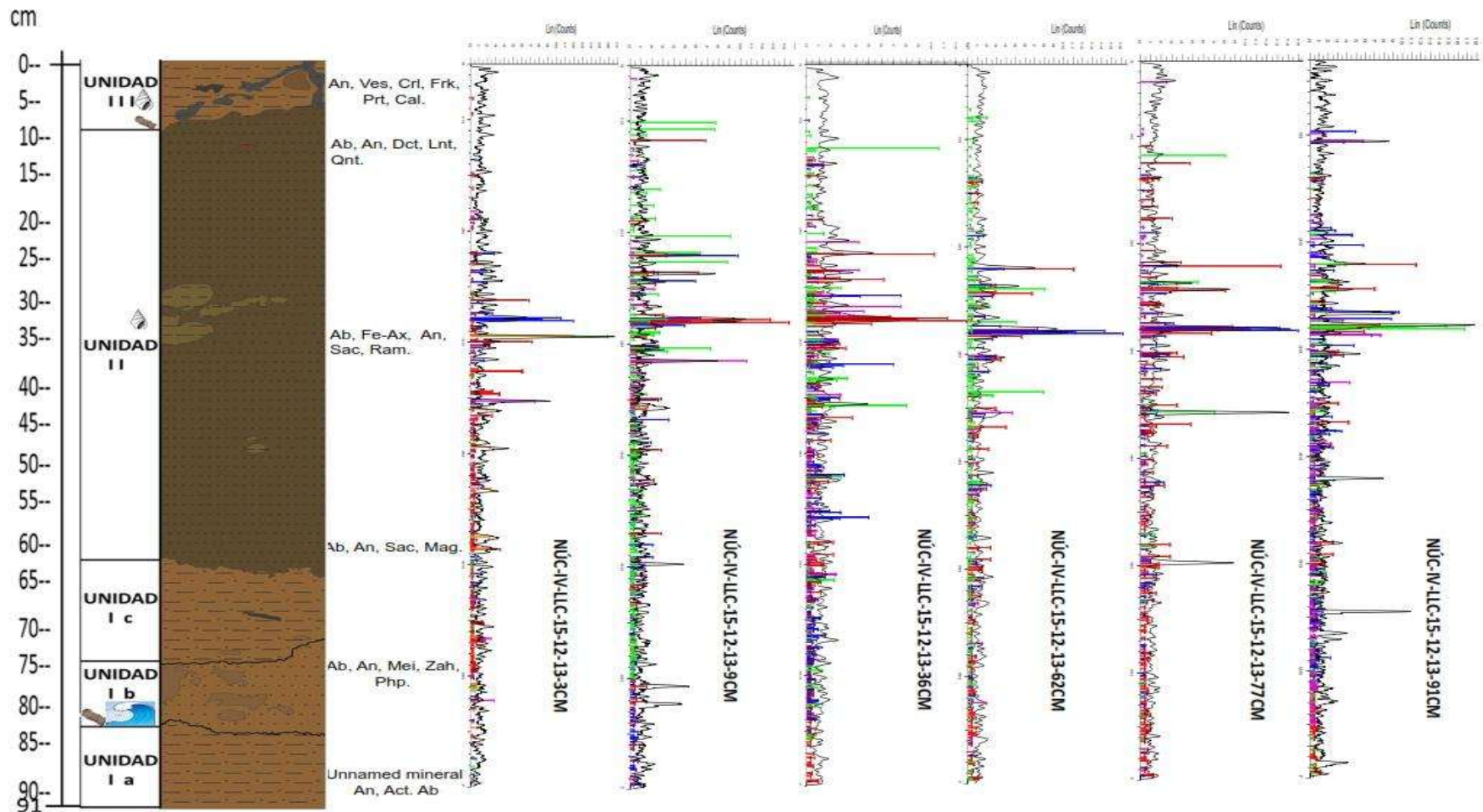


Figura 45. Resultados de los análisis de DRX. Las especies minerales están abreviadas: An = Anortita, Ves= Vesuvianita, Crl=Carlinita, Frk=Francelinita, Prt=Paratelurita, Cal= Calcita, Ab = Albita, Dct=Diadoquita, Lnt=Lomonosovita, Qnt, Quintinita, Fe-Ax=Ferro-Aaxinita, Sa=Sanidina, Ram=Ramsbequita, Sac=Sacrofanita, Mag=Magnetita, Mei=Mexnerita, Zah=Zaherita, Php=Philipsita.

En el núcleo cinco NÚC-V-LBN-16-12-13, a través de Difracción de Rayos X se identificaron 18 especies de minerales: Albita, Ferro-Axinita, Gismondina, Cuarzo, Anortita, Makatita, Terranovaíta, Vesuvianita, Magnesio-Axinita, Ortoclasa, Actinolita, Ilita, Halloysita de 10 Ångström, Meixnerita, Palygorskita, Metascoepita, Sanidina y Moscovita, los cuales describen a cada cambio de facies presentes en la siguiente columna litológica fig. 46

En el difractograma obtenido en la unidad I, en el centímetro 132 en un material arcilloso se encontró una composición mineralógica de Albita, Magnesio-axinita, Metaescopita, Sanidina, Halloysita de 10 Ångström, Ilita y Moscovita, indicando un ambiente de estabilidad en la laguna presentando un periodo con abundante precipitación pluvial o por la desembocadura de escorrentías en la laguna..

En el difractograma que se obtuvo en el centímetro 94 en la cima de la unidad I, se presenta un contacto erosivo compuesto por arena presentando estructuras laminares con una composición mineralógica de Albita, Cuarzo Ilita y Paligorskita, indicando un aumento de energía en un ambiente somero.

En el centímetro 88 que corresponde a la base de la unidad II a) se muestra el difractograma con minerales de Albita, Ferro-axinita, Magnesio-axinita, Cuarzo, Meixnerita y Halloysita de 10 Ångström, compuesto por material arenoso con estructuras laminares, indicando que la laguna presentó un periodo de poca profundidad con un aumento de energía provocado por la precipitación pluvial o desembocadura de escorrentías en la laguna.

De igual forma en el centímetro 73 se encuentra un material compuesto por arena que presenta estructuras laminares y el difractograma mineralógico que obtuvo muestra minerales de Albita, Anortita, Ortoclasa, Actinolita, Ilita y Cuarzo, que indican un aumento de energía en la laguna.

Sucesivamente en el difractograma obtenido en la cima de la unidad II a) en el centímetro 60 en un material compuesto por arena y arcilla se encontraron minerales de Albita, Anortita, Magnesio-axinita, Vesuvianita y Cuarzo, lo cual nos está indicando que la laguna presentó un periodo de estabilidad con muy baja energía.

En la base la unidad II b) sobreyaciendo a la unidad II a), se encuentra haciendo contacto erosivo en el centímetro 57, presentando un material compuesto por arena mostrando en el difractograma obtenido los minerales de Albita, Vesuvianita y Cuarzo, lo cual está indicando que en este momento la laguna presentó un cambio de estabilidad a un ambiente de alta energía y que principalmente en la cuenca se está llevando a cabo una fuerte erosión, misma que los terrígenos están quedando atrapados en la laguna.

El centímetro 33 de esta columna litológica se compone por material arenoso y presenta estructuras de arcilla que corresponden a procesos de bioturbación por organismos acuáticos; así mismo se presenta un difractograma que presenta minerales de Albita, Anortita y Cuarzo, que están indicando un periodo de alta energía que erosionó la cuenca y afectó la estabilidad de la laguna dejando gran cantidad de terrígenos atrapados en sus sedimentos; así mismo, se presentaron las condiciones adecuadas para el desarrollo de organismos acuáticos.

El centímetro 13 corresponde a la cima de la unidad II b), está compuesta por material arenoso con abundantes estructuras de bioturbación se presenta un difractograma mineralógico que muestra minerales de Albita, Anortita, Makatita y Terranovaita, indicando una constante erosión en la cuenca, pero a esta profundidad presentó las condiciones adecuadas para el desarrollo de organismos acuáticos.

Posteriormente en la cima de la columna litológica en la unidad I c) en el centímetro 1, continúa presentándose la composición de material arenoso con los minerales de Albita, Ferro-axinita, Gismondina y Cuarzo que se obtuvieron a través del difractograma; así mismo, continúa la presencia de estructuras de bioturbación por organismos acuáticos, lo cual indica un periodo de inestabilidad que se está llevando a cabo en la cuenca y que algún factor externo está provocando fuertes procesos erosivos que está afectando de forma indirecta la estabilidad de la laguna.

12.5- Difractogramas de DRX NÚC-V-LBN-16-12-13

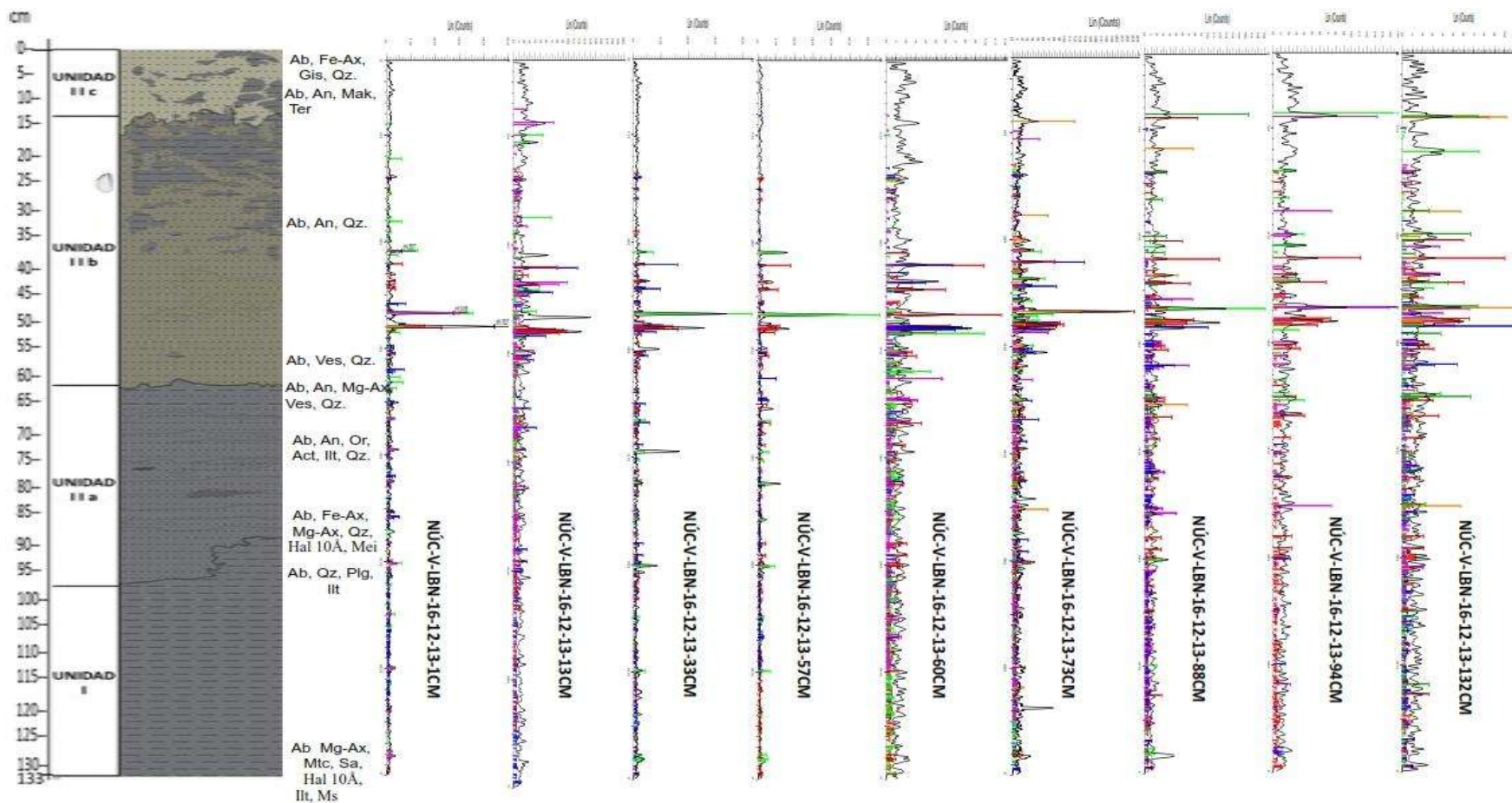


Figura 46. Resultados de los análisis de DRX. Las especies minerales están abreviadas: Ab = Albita, Fe-Ax=Ferro-Aaxinita, Gis=Gismondina, Qz= Cuarzo, An = Anortita, Mak=Makatita, Ter=Terranovaita, Ves= Vesuvianita, Mg-Ax=Magnesio-Axinita, Or=Ortoclasa, Act = Actinolita, Illt=Ilita, Hal 10Å = Halloysita de 10 Ångström, Mei=Meixnerita, Plg=Palygorskita, Mtc=Metascoepita, Sa=Sanidina, Ms = Moscovita.

12.5.1- ESPECTROSCOPIA DE INFRARROJA (EIR).

El análisis de las 47 muestras realizadas en los seis núcleos a través de la Espectroscopía de Infrarrojo (EIR) confirma la presencia de minerales arcillosos en sus diferentes cambios de facies; por lo tanto, sólo se toma una descripción general de cada una de las columnas litológicas ya que en gran parte de las muestras analizadas se obtuvieron espectrogramas con bandas de absorción que se relacionan específicamente con montmorillonita, caolinita, y carbonatos; así como nitratos, boratos, silicatos y sulfatos (Anexo II).

La figura 47 corresponde al núcleo uno NUC-I-LC-14-12-13 extraído de la Laguna Cuyutlán, Colima.

En la base de la columna litológica a partir del centímetro 128 al centímetro 118 se observa una licuefacción provocada por un evento sísmico. Así mismo, en las seis muestras analizadas a través de la espectroscopía de infrarroja se presentan principalmente los espectros de Caolinita en la unidad cristaloquímica de Al - - O-H (v as) con 3697.58 bandas de absorción y Caolinita en la unidad cristaloquímica de Si-O-Si (vas) con 1031.88 bandas de absorción; también se observan bandas de la unidad cristaloquímica Al - - O-H (v as) con 3623.13 bandas de absorción que se relaciona con la montmorillonita y minerales que pertenecen a las unidades cristaloquímicas de los silicatos Si-O-Si (v as) con 914.47 bandas de absorción.

Otra de las bandas que se observa en los espectrogramas es la molécula de agua que se caracteriza por presentar bandas de 3438.31 cm^{-1} con un enlace de H – O – H, con vibraciones por la línea de enlace molecular paralela. También se presenta una banda de 1636.58 cm^{-1} que se asocia a una molécula de agua con vibraciones por la línea de enlace molecular de forma perpendicular.

El grupo de los carbonatos también se presenta de acuerdo a las bandas de reflexión con un rango de 1600–1300 cm^{-1} , estas bandas corresponden a las vibraciones características del grupo CO_3 , que presentan una estructura muy compleja.

Otro grupo con una estructura muy compleja es también el de los silicatos (SiO_4), que presenta bandas de reflexión de 1200 a 900 cm^{-1} . Así mismo, se encontró el grupo de los sulfatos unido a C-O def. (SO_4) con 880 a 800 v, cm^{-1} .

12.5.2- Espectrogramas de Infrarroja



Figura 47, presenta la columna estratigráfica y las unidades cristaloquímicas de los minerales presentes en los seis espectrogramas a diferente profundidad de muestreo.

La figura 48 corresponde al núcleo dos NÚC-II-LC-14-12-13, extraído de la Laguna Cuyutlán, Colima.

La espectroscopía de Infrarroja que se presenta en las bandas de absorción obtenidas a diferente profundidad en esta columna litológica, corresponden principalmente a los espectros de Caolinita en la unidad cristaloquímica de Al - - O-H (v as) con 3697.58 bandas de absorción, también se observan bandas de la unidad cristaloquímica Al - - O-H (v as) con 3623.13 bandas de absorción que se relaciona con la montmorillonita; así mismo, también se observan bandas de la unidad cristaloquímica de minerales que pertenecen a los silicatos Si-O-Si (v as) con 914.47 bandas de absorción.

Otra de las bandas que se observa en los espectrogramas es la molécula de agua que se caracteriza por presentar bandas de 3438.31 cm^{-1} con un enlace de H - O - H, con vibraciones por la línea de enlace molecular paralela. También se presenta una banda de 1636.58 cm^{-1} que se asocia a una molécula de agua con vibraciones por la línea de enlace molecular de forma perpendicular.

El grupo de los carbonatos también se presenta de acuerdo a las bandas de reflexión con un rango de 1600–1300 cm^{-1} , estas bandas corresponden a las vibraciones características del grupo CO_3 , que presentan una estructura muy compleja.

Así mismo, se encontró el grupo de los sulfatos unido a C-O def. (SO_4) con 880 a 800 v, cm^{-1} .

Otro grupo que se presenta en los espectrogramas de las bandas de reflexión es el de los nitratos con un rango de 1500 a 1200 cm^{-1} con bandas características del grupo NO_3 ; de igual forma, se presenta el grupo de los silicatos con una estructura muy compleja (SiO_4), que presenta bandas de reflexión de 1200 a 900 cm^{-1} , que se encuentran en el centímetro 111 y que corresponde a un segundo depósito de tsunami.

En el centímetro 132 que corresponde a un depósito de tsunami se encuentra el grupo de los boratos que se presenta de acuerdo a las bandas de reflexión con un rango de 1300–1200 cm^{-1} , estas bandas corresponden a las vibraciones características del grupo BO_3 .

Así mismo, en el centímetro 132 se encuentra el grupo XOH de los hidróxidos son compuestos de los metales y metaloides con el oxígeno. Los hidróxidos contienen el grupo OH, los aniones complementarios y el agua; es importante la influencia de los enlaces de hidrógeno, siendo importantes las estructuras de cadena y de lámina características para los hidróxidos.

12.5.3- Espectrogramas de Infrarroja

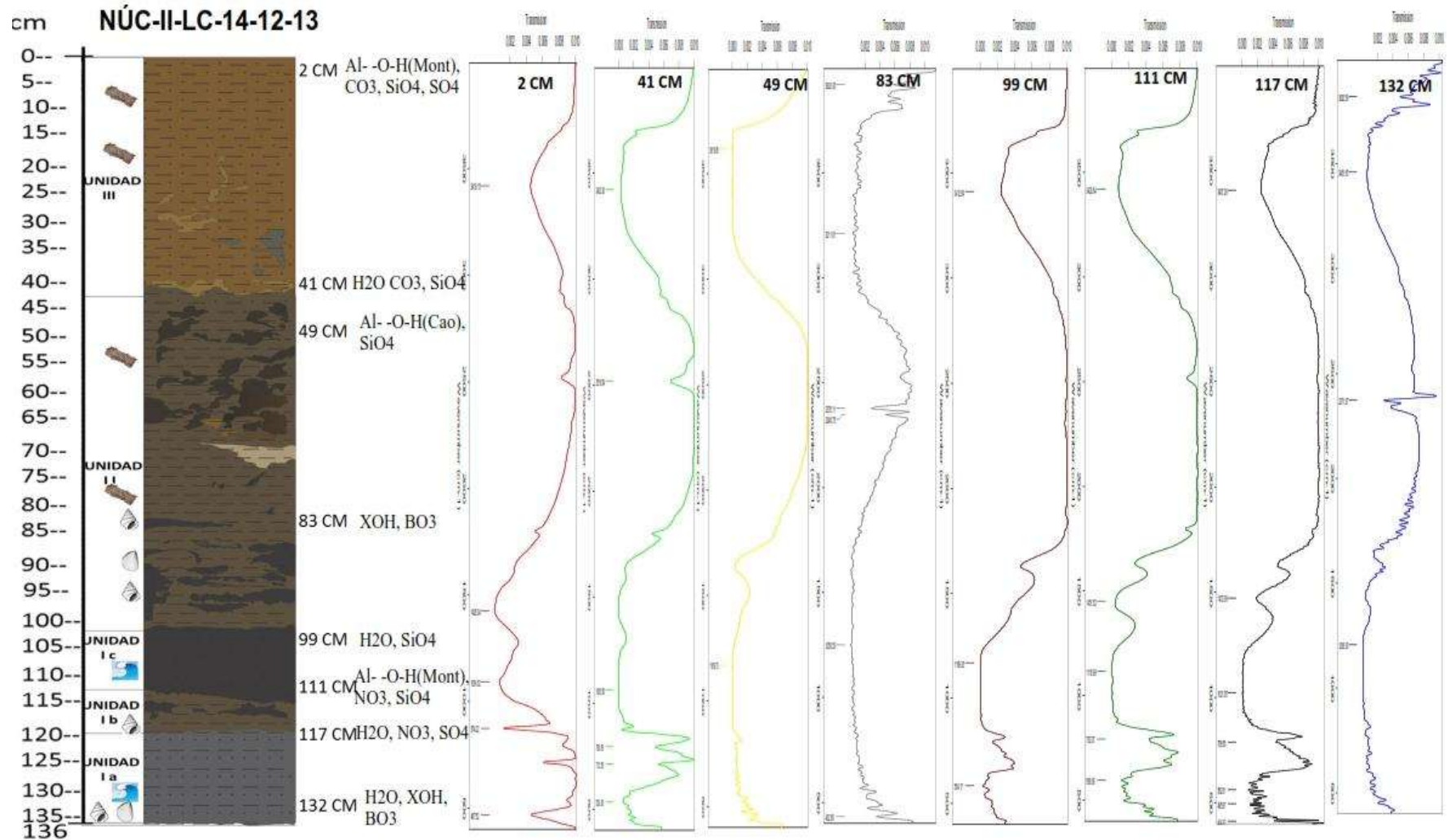


Figura 48, presenta la columna estratigráfica y las unidades cristaloquímicas de los minerales presentes en los ocho espectrogramas a diferente profundidad de muestreo.

La figura 49 corresponde al núcleo seis NÚC-VI-LC-16-12-13, extraído de la Laguna Cuyutlán, Colima. En esta columna litológica se encuentran dos depósitos de tsunamis: el primero se encuentra a 139 centímetros y el segundo a 125 centímetros; sin embargo, a pesar de que estratigráficamente existen cambios de facies muy marcados a lo largo de la columna litológica, se obtuvieron los nueve espectrogramas que muestran las facies mineralógicas muy similares.

Los espectros de Caolinita se presentan en la unidad cristaloquímica de Si-O-Si (Vas) con 1031.88 bandas de absorción; también se encuentra la unidad cristaloquímica Al - - O-H (v as) con 3623.13 bandas de absorción que se relaciona con la montmorillonita; así mismo, se observan bandas de absorción relacionadas con minerales que pertenecen a los silicatos Si-O-Si (v as) con 914.47 bandas de absorción.

Otra de las bandas que se observa en los espectrogramas es la molécula de agua que se caracteriza por presentar bandas de 3438.31 cm^{-1} con un enlace de H - O - H, con vibraciones por la línea de enlace molecular paralela. También se presenta una banda de 1636.58 cm^{-1} que se asocia a una molécula de agua con vibraciones por la línea de enlace molecular de forma perpendicular.

El grupo de los carbonatos también se presenta de acuerdo a las bandas de reflexión con un rango de 1600–1300 cm^{-1} , estas bandas corresponden a las vibraciones características del grupo CO_3 , que presentan una estructura muy compleja.

Así mismo, se encontró el grupo de los sulfatos unido a C-O def. (SO_4) con 880 a 800 v, cm^{-1} .

De igual forma, se presenta el grupo de los silicatos con una estructura muy compleja (SiO_4), que presenta bandas de reflexión de 1200 a 900 cm^{-1} .

12.5.4- Espectrogramas de Infrarroja

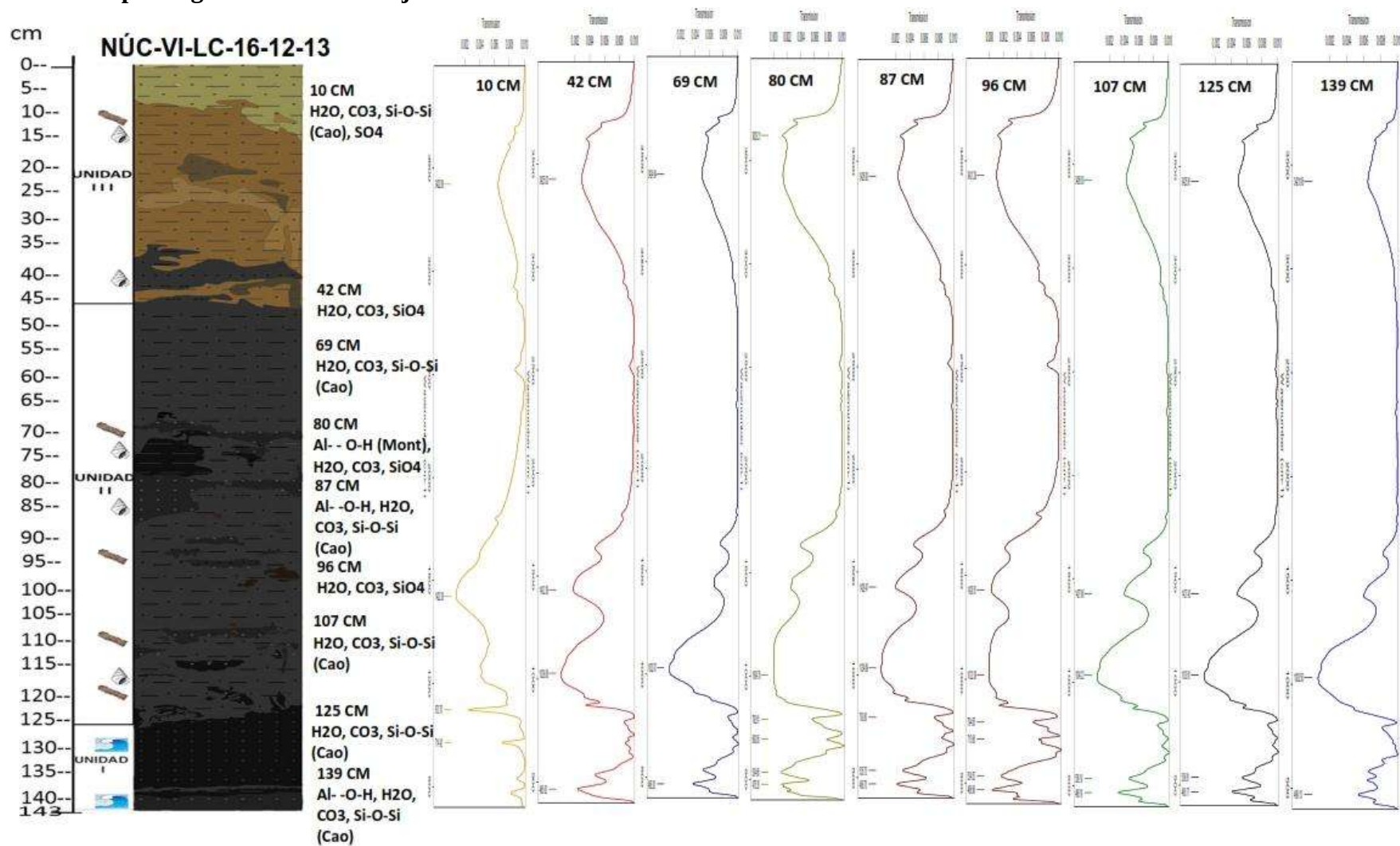


Figura 49, presenta la columna estratigráfica y las unidades cristaloquímicas de los minerales presentes en los nueve espectrogramas a diferente profundidad de muestreo.

La figura 50 corresponde al núcleo tres NÚC-III-LLB-15-12-13, extraído de la Laguna La Boquita, Colima.

La espectroscopía de Infrarroja que se presenta en las bandas de absorción obtenidas a diferente profundidad en esta columna litológica, corresponden principalmente a los espectros de Caolinita en la unidad cristaloquímica de Si-O-Si (Vas) con 1031.88 bandas de absorción; así mismo, también se observan bandas de la unidad cristaloquímica Si-O (V as) con 1035.77 bandas de absorción relacionado con la montmorillonita y minerales que pertenecen a los silicatos Si-O-Si (v as) con 914.47 bandas de absorción.

Otra de las bandas que se observa en los espectrogramas es la molécula de agua que se caracteriza por presentar bandas de 3438.31 cm^{-1} con un enlace de H – O – H, con vibraciones por la línea de enlace molecular paralela. También se presenta una banda de 1636.58 cm^{-1} que se asocia a una molécula de agua con vibraciones por la línea de enlace molecular de forma perpendicular.

El grupo de los carbonatos también se presenta de acuerdo a las bandas de reflexión con un rango de 1600–1300 cm^{-1} , estas bandas corresponden a las vibraciones características del grupo CO_3 , que presentan una estructura muy compleja.

Así mismo, se encontró el grupo de los sulfatos unido a C-O def. (SO_4) con 880 a 800 v, cm^{-1} . De igual forma, se presenta el grupo de los silicatos con una estructura muy compleja (SiO_4), que presenta bandas de reflexión de 1200 a 900 cm^{-1} .

Por lo tanto, en los espectrogramas obtenidos a través de la espectroscopía de infrarroja se muestran las bandas de absorción con facies mineralógicas que presentan una composición muy similar a lo largo de la columna litológica.

12.5.5- Espectrogramas de Infrarrojo

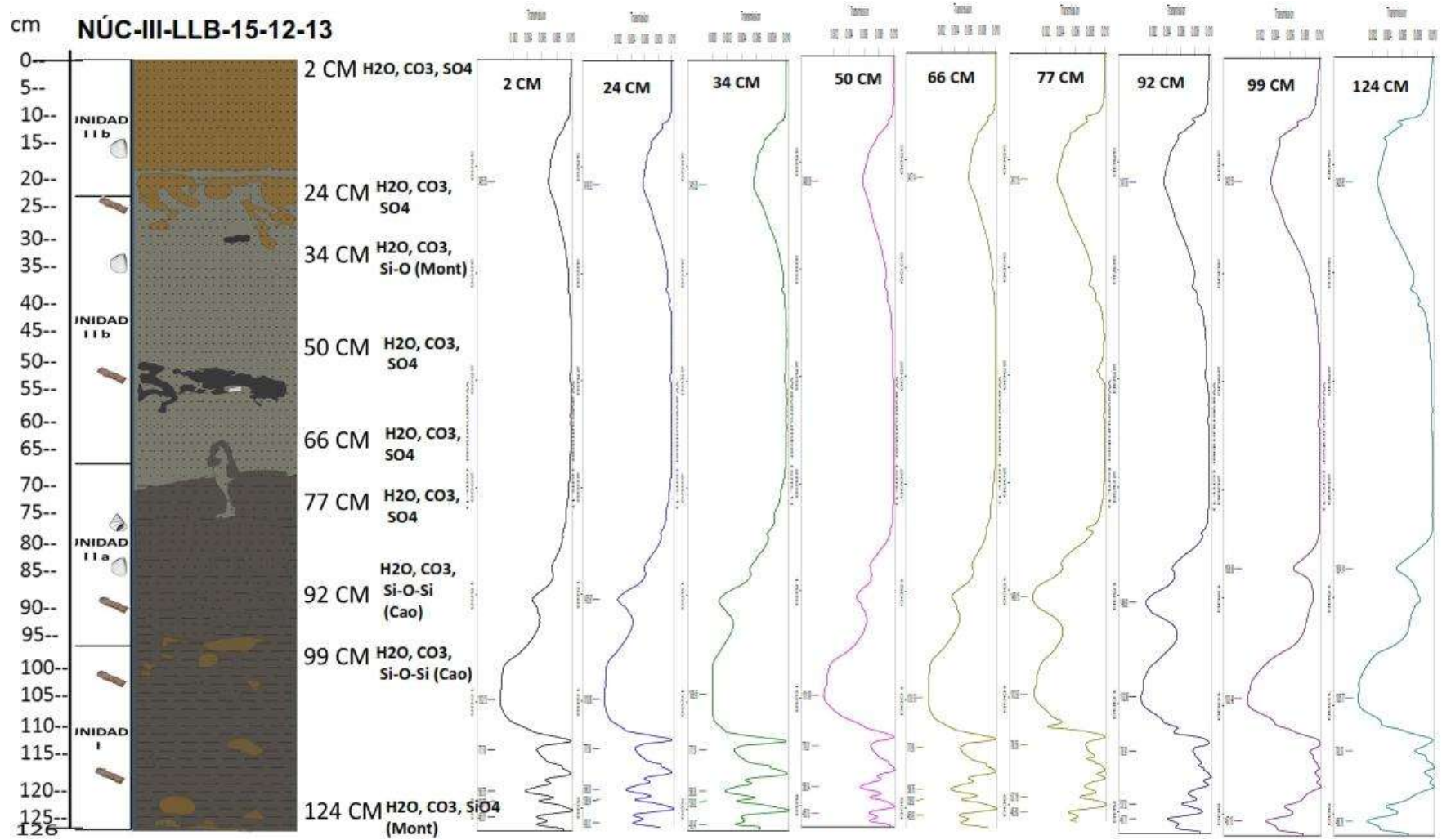


Figura 50, presenta la columna estratigráfica y las unidades cristalquímicas de los minerales presentes en los nueve espectrogramas a diferente profundidad de muestreo.

La figura 51 corresponde al núcleo cuatro NÚC-IV-LLC-15-12-13, extraído de la Laguna Chacala, Playa del Oro, Colima.

La espectroscopía de Infrarroja que se presenta en las bandas de absorción obtenidas a diferente profundidad en esta columna litológica, pertenecen a los espectros de Caolinita en la unidad cristaloquímica de Si-O-Si (Vas) con 1031.88 bandas de absorción; también se observan bandas de la unidad cristaloquímica de minerales que pertenecen a los silicatos Si-O-Si (vas) con 914.47 bandas de absorción.

Otra de las bandas que se observa en los espectrogramas es la molécula de agua que se caracteriza por presentar bandas de 3438.31 cm^{-1} con un enlace de H – O – H, con vibraciones por la línea de enlace molecular paralela. También se presenta una banda de 1636.58 cm^{-1} que se asocia a una molécula de agua con vibraciones por la línea de enlace molecular de forma perpendicular.

El grupo de los carbonatos también se presenta de acuerdo a las bandas de reflexión con un rango de 1600–1300 cm^{-1} , estas bandas corresponden a las vibraciones características del grupo CO_3 , que presentan una estructura muy compleja.

De igual forma, se presenta el grupo de los silicatos con una estructura muy compleja (SiO_4), que presenta bandas de reflexión de 1200 a 900 cm^{-1} .

A pesar de que en el centímetro 77 que corresponde a la base de esta columna litológica se encuentra un depósito de tsunami, en el espectrograma obtenido no muestra cambios significativos, ya que la composición de las facies mineralógicas presentan gran similitud entre los seis espectrogramas que fueron sometidos al análisis de espectroscopía de infrarroja a diferente profundidad.

Por lo tanto, lo que se puede observar en los seis espectrogramas obtenidos es un conjunto de facies mineralógicas que se encuentran formando paquetes de minerales con una composición similar y no permiten la diferenciación mineralógica para que se muestre cada uno de los minerales en un pico diferente en el espectrograma.

12.5.6- Espectrogramas de Infrarroja

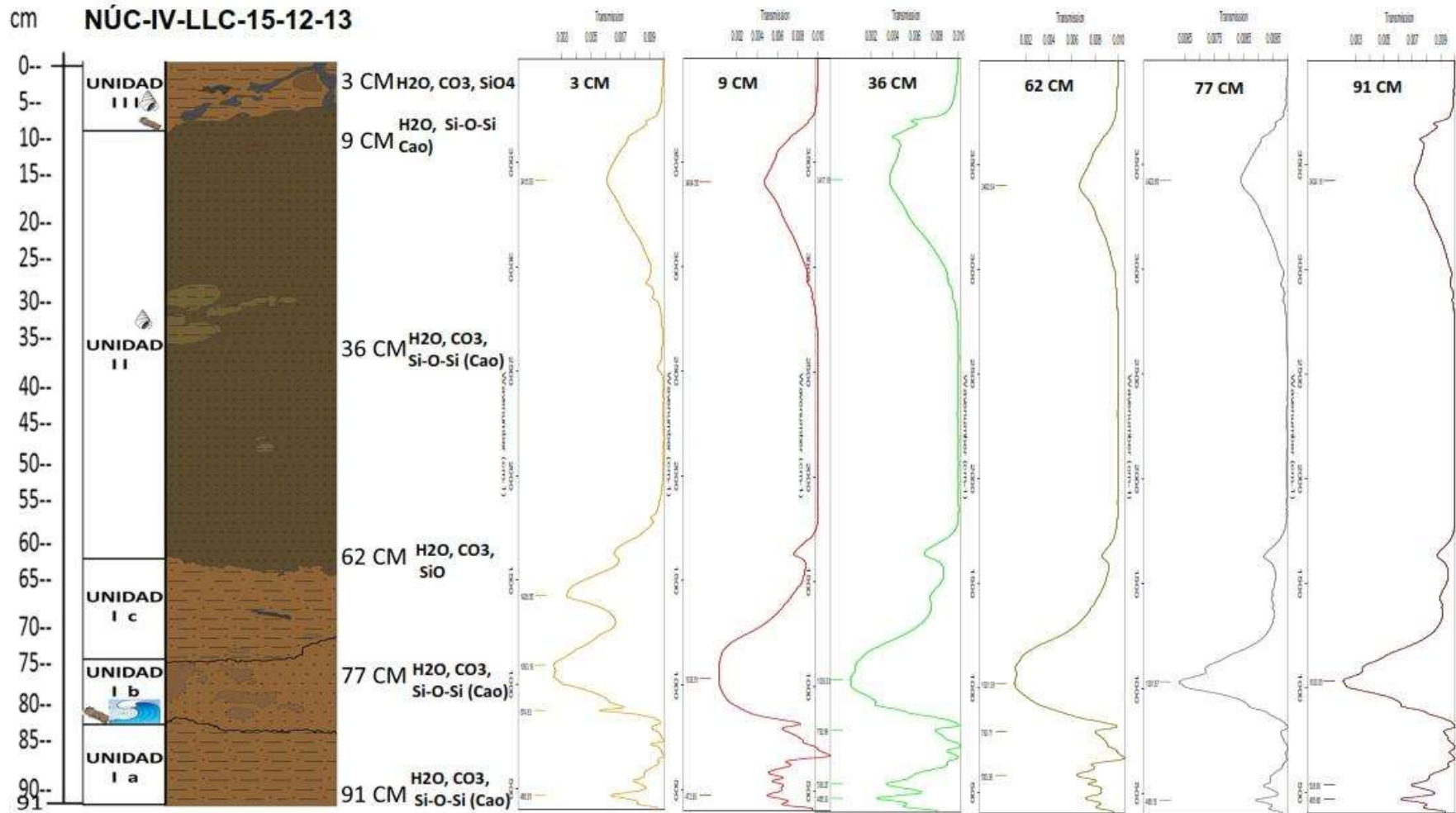


Figura 51, presenta la columna estratigráfica y las unidades cristaloquímicas de los minerales presentes en los seis espectrogramas a diferente profundidad de muestreo.

La figura 52 corresponde al núcleo cinco NÚC-V-LBN-16-12-13 extraído de la Laguna Barra de Navidad, Jalisco.

En este núcleo se obtuvieron nueve espectrogramas a través de la espectroscopía de Infrarrojo que presenta bandas de absorción obtenidas a diferente profundidad en esta columna litológica, que corresponden principalmente a los espectros de Caolinita en la unidad cristaloquímica de Al - - O-H (v as) con 3697.58 bandas de absorción, y Caolinita en la unidad cristaloquímica de Si-O-Si (Vas) con 1031.88 bandas de absorción; así mismo, también se observan bandas de la unidad cristaloquímica de minerales que pertenecen a los silicatos Si-O-Si (v as) con 914.47 bandas de absorción.

Otra de las bandas que se observa en los espectrogramas es la molécula de agua que se caracteriza por presentar bandas de 3438.31 cm^{-1} con un enlace de H – O – H, con vibraciones por la línea de enlace molecular paralela. También se presenta una banda de 1636.58 cm^{-1} que se asocia a una molécula de agua con vibraciones por la línea de enlace molecular de forma perpendicular.

Así mismo, se encontró el grupo de los sulfatos unido a C-O def. (SO₄) con 880 a 800 v, cm^{-1} .

12.5.7- Espectrogramas de Infrarroja

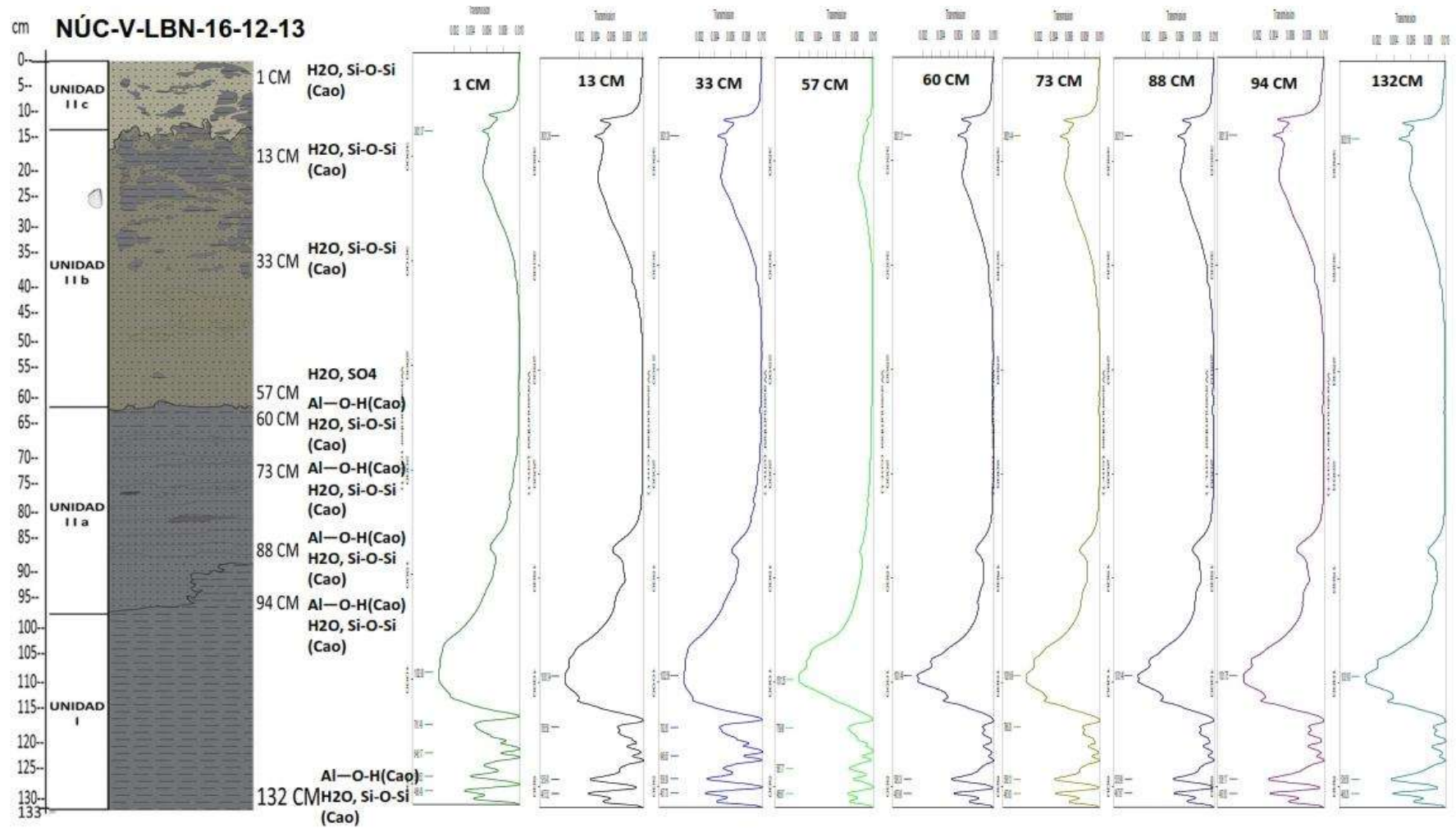


Figura 52, presenta la columna estratigráfica y las unidades cristalquímicas de los minerales presentes en los nueve espectrogramas a diferente profundidad de muestreo.

12.5.8- MICROSCOPIA ELECTRÓNICA DE BARRIDO (MEB)

Se realizó el análisis semicuantitativo de la composición química a través de un espectrograma para obtener el análisis elemental de una, dos y tres muestras para cada uno de los núcleos de acuerdo a la presencia de importantes cambios de facies en la columna estratigráfica; así mismo, las muestras que fueron sometidas al Microscopio Electrónico de Barrido se les tomaron fotografías para observar el grado de angulosidad y retrabajamiento del grano, anexo III de Microscopía Electrónica de Barrido.

La presencia de picos de cobre proviene de la metalización de la muestra para los cuatro núcleos y las imágenes correspondientes al azufre (S) corresponden a los sulfatos por presentar picos característicos de la pirita en esta fase.

12.5.9- MEB NUC-I-LC-14-12-13

En este núcleo se realizó el análisis de MEB a 36 y 124 cm de profundidad en el cual se tomó imágenes para las dos muestras. En la muestra que corresponde al centímetro 124 de esta columna estratigráfica en la base se encuentra una licuefacción provocada por un evento sísmico presentando un contenido elemental de azufre (S), Potasio (K), Calcio (Ca), Titanio (Ti), Oxígeno (O), Hierro (Fe), Sodio (Na), Magnesio (Mg), Aluminio (Al) y Silicio (Si), mostrando una fotografía con granos que presentan superficies subangulosas, indicando que a través del movimiento provocado por el evento sísmico, los granos chocaron generando una fricción entre ellos disminuyendo su angulosidad, fig. 53 a, b y c.

En el centímetro 36 se presenta la columna estratigráfica y el espectrograma de análisis elemental con fotografía presentando la existencia de minerales arcillosos que pertenecen a la montmorillonita con asociación de minerales como azufre (S), Potasio (K), calcio (Ca), O (oxígeno), Bario (Ba), magnesio (Mg), Aluminio (Al) y Silicio (Si); mostrando una fotografía de un grano con superficies angulosas indicando que no ha sido afectado por procesos de retrabajamiento.

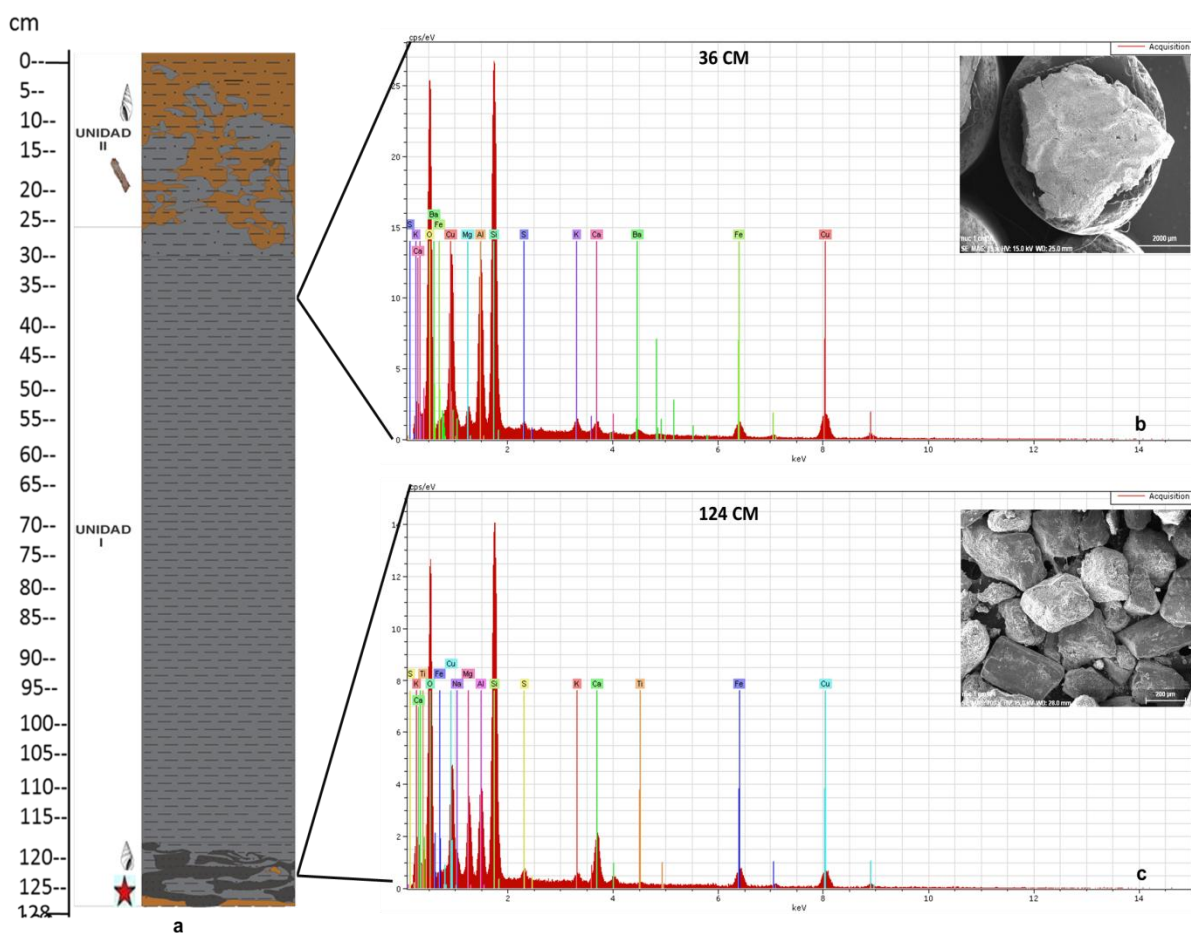


Figura 53 presenta: a) la Columna estratigráfica, b) y c) espectrograma de análisis elemental con fotografía del MEB correspondiente a 36 cm y 124 cm de profundidad.

12.6- MEB NÚC-II-LC-14-12-13

En este núcleo se realizó el análisis de MEB a 49, 107 Y 132 cm de profundidad, en el cual se tomó imágenes para las tres muestras:

En el centímetro 132 se presenta un contenido elemental de azufre (S), Potasio (K), Calcio (Ca), Carbono (C), Titanio (Ti), Oxígeno (O), Hierro (Fe), Sodio (Na), Magnesio (Mg), Aluminio (Al) y Silicio (Si), presentando una fotografía de la muestra con superficies subredondeadas indicando que el material fue transportado por el tsunami y depositado en la laguna, fig. 54 a, b, c y d.

En la muestra del centímetro 107 se presenta un contenido elemental de azufre (S), Potasio (K), Calcio (Ca), Carbono (C), Titanio (Ti), Oxígeno (O), Hierro (Fe), Sodio (Na), Magnesio (Mg), Aluminio (Al) y Silicio (Si), presentando una fotografía con los granos de la muestra con superficies subredondeadas indicando que también fue transportada por un segundo evento de tsunami.

En el centímetro 49 se presenta la columna estratigráfica y el espectrograma del análisis elemental con fotografía mostrando la existencia de elementos químicos como: azufre (S), Cloro (Cl), Potasio (K), calcio (Ca), Titanio (Ti), O (oxígeno), Hierro (Fe), Sodio (Na), magnesio (Mg), Aluminio (Al) y Silicio (Si); presentando una fotografía con un grano de la muestra con superficies angulosas, indicando que no ha presentado retrabajamiento y que la laguna se encuentra en un periodo de estabilidad y de muy baja energía.

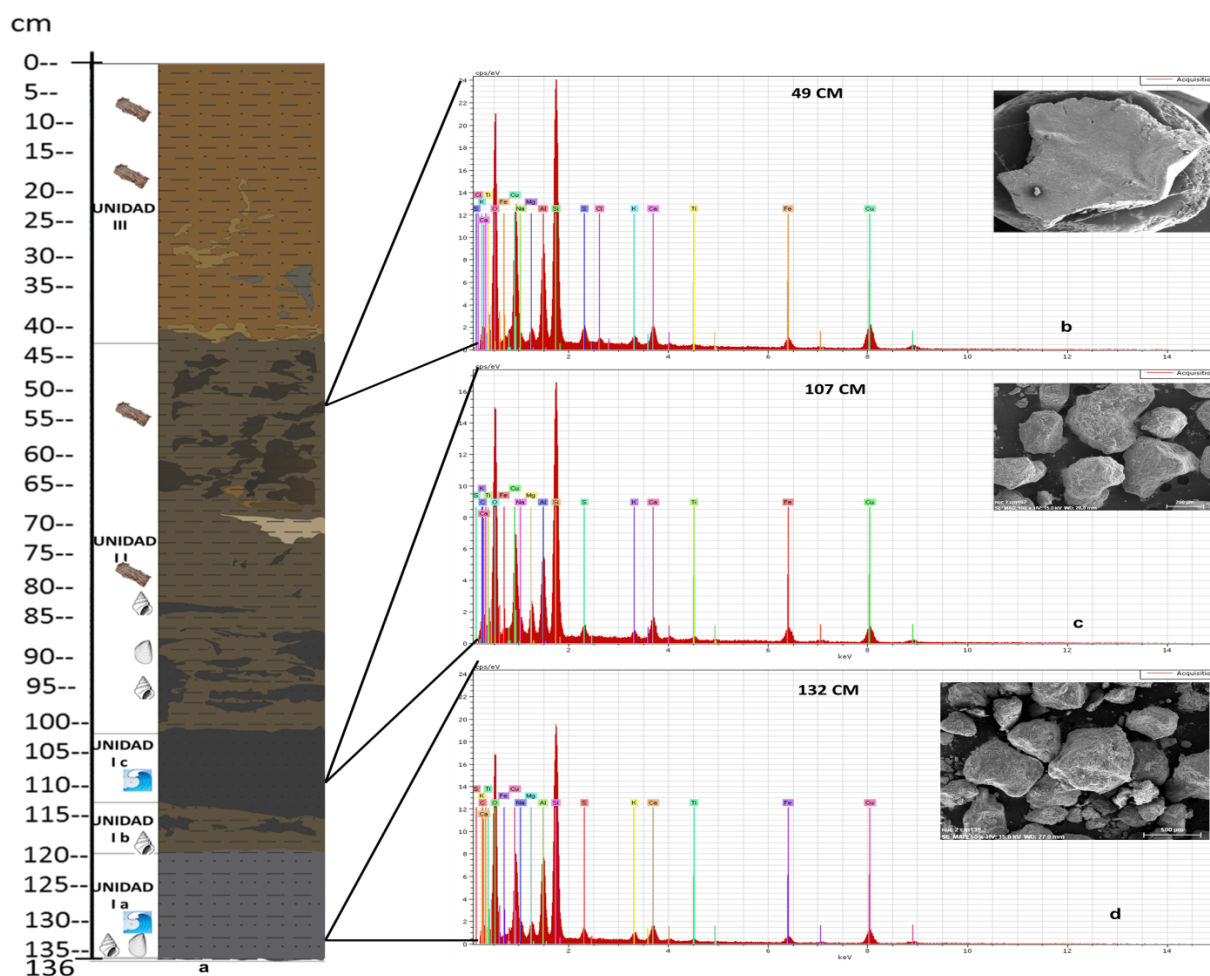


Figura 54 presenta: a) la Columna estratigráfica, b), c) y d) espectrograma de análisis elemental con fotografía del MEB correspondiente a los 49 cm, 107 cm, y 132 cm de profundidad.

12.6.1- MEB NÚC-VI-LC-16-12-13

En este núcleo se realizó el análisis de MEB a 68, 125 y 141 cm de profundidad, fig. 55 a), b), c), y d), en el cual se tomaron imágenes para las tres muestras:

En la muestra del centímetro 141 se presentan un contenido elemental de azufre (S), Cloro (Cl), Potasio (K), Calcio (Ca), Carbono (C), Hierro (Fe), Sodio (Na), Magnesio (Mg), Aluminio (Al) y Silicio (Si), presentando una fotografía de los granos con superficies

subredondeadas indicando que han sufrido un retrabajamiento y que fueron transportadas en la laguna a través de un tsunami.

En la muestra del centímetro 125 se presentan un contenido elemental de azufre (S), Cloro (Cl), Potasio (K), Calcio (Ca), Carbono (C), Titanio (Ti), Oxígeno (O), Hierro (Fe), Sodio (Na), Magnesio (Mg), Aluminio (Al) y Silicio (Si), mostrando una fotografía con los granos de la muestra con superficies subredondeadas que fueron transportadas por un segundo evento de alta energía provocada por un tsunami.

En el centímetro 68 se muestra la columna estratigráfica y el espectrograma del análisis elemental con fotografía presentando la existencia de elementos químicos como: Potasio (K), calcio (Ca), Carbono (C), O (oxígeno), Hierro (Fe), Sodio (Na), magnesio (Mg), Aluminio (Al) y Silicio (Si); presentando una fotografía que muestra los granos con superficies subangulosas, que probablemente fueron redepositadas por una tempestita.

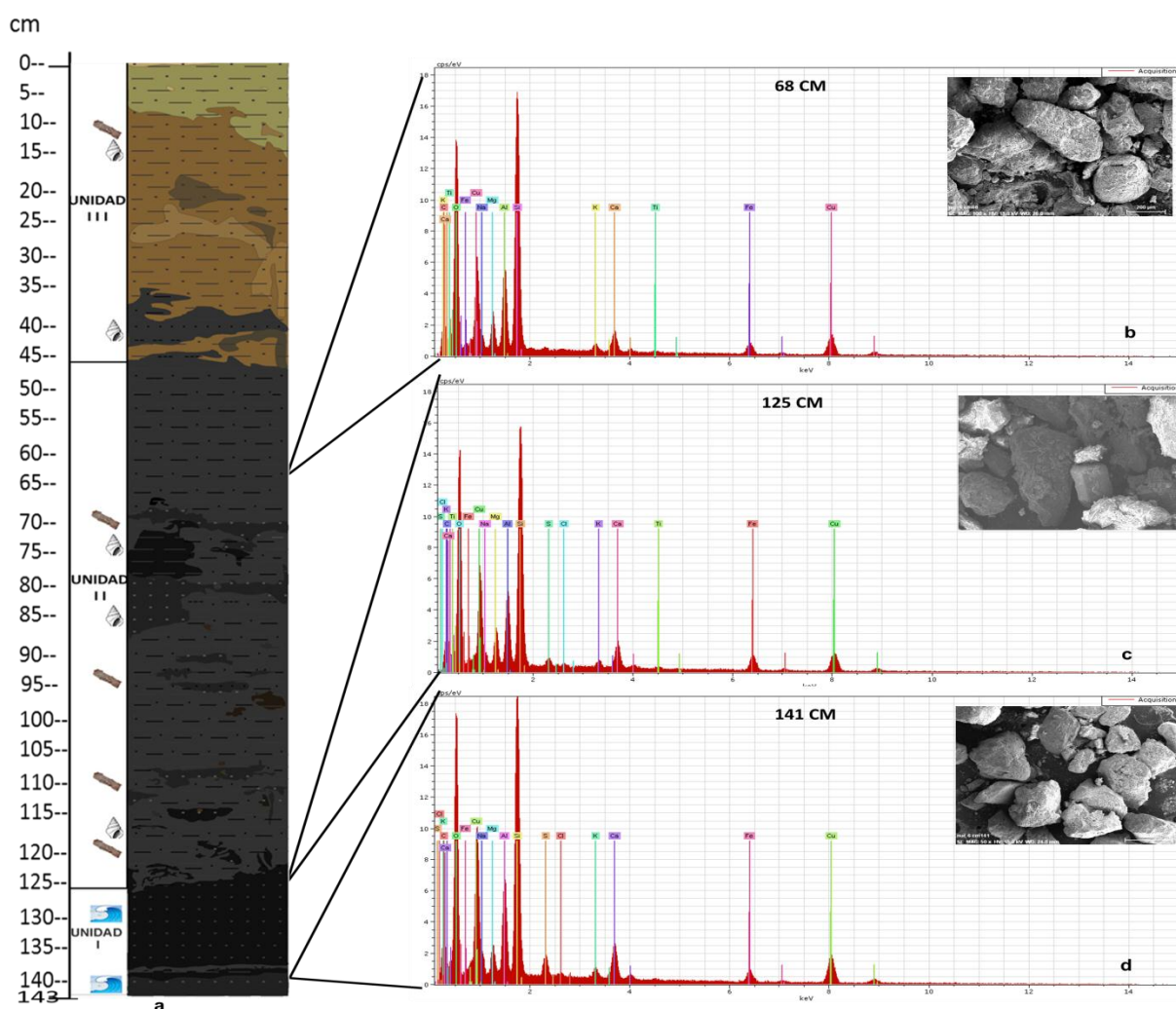


Figura 55. Se muestra en a) Columna estratigráfica, b), c), y d), espectrograma de análisis elemental con fotografía del MEB correspondiente a los 68, 125 y 141 cm de profundidad.

12.6.2- MEB NÚC-III-LLB-15-12-13

En este núcleo se realizó el análisis de MEB a 50 y 87 cm de profundidad, fig.56 a), b) y c), en el cual se tomaron imágenes para las dos muestras:

En la muestra del centímetro 87 se presenta un contenido elemental de azufre (S), Cloro (Cl), Potasio (K), Carbono (C), Calcio (Ca), Oxígeno (O), Hierro (Fe), Sodio (Na), Magnesio (Mg), Aluminio (Al) y Silicio (Si), presentando una fotografía con granos que muestran superficies angulosas sin retrabajamiento.

En el centímetro 50 se muestra la columna estratigráfica y el espectrograma del análisis elemental con fotografía presentando la existencia de elementos químicos como: azufre (S), Cloro (Cl) Potasio (K), Carbono (C), calcio (Ca), Titanio (Ti), O (oxígeno), Hierro (Fe), magnesio (Mg), Aluminio (Al) y Silicio (Si); presentando una fotografía de los granos de material con superficies angulosas.

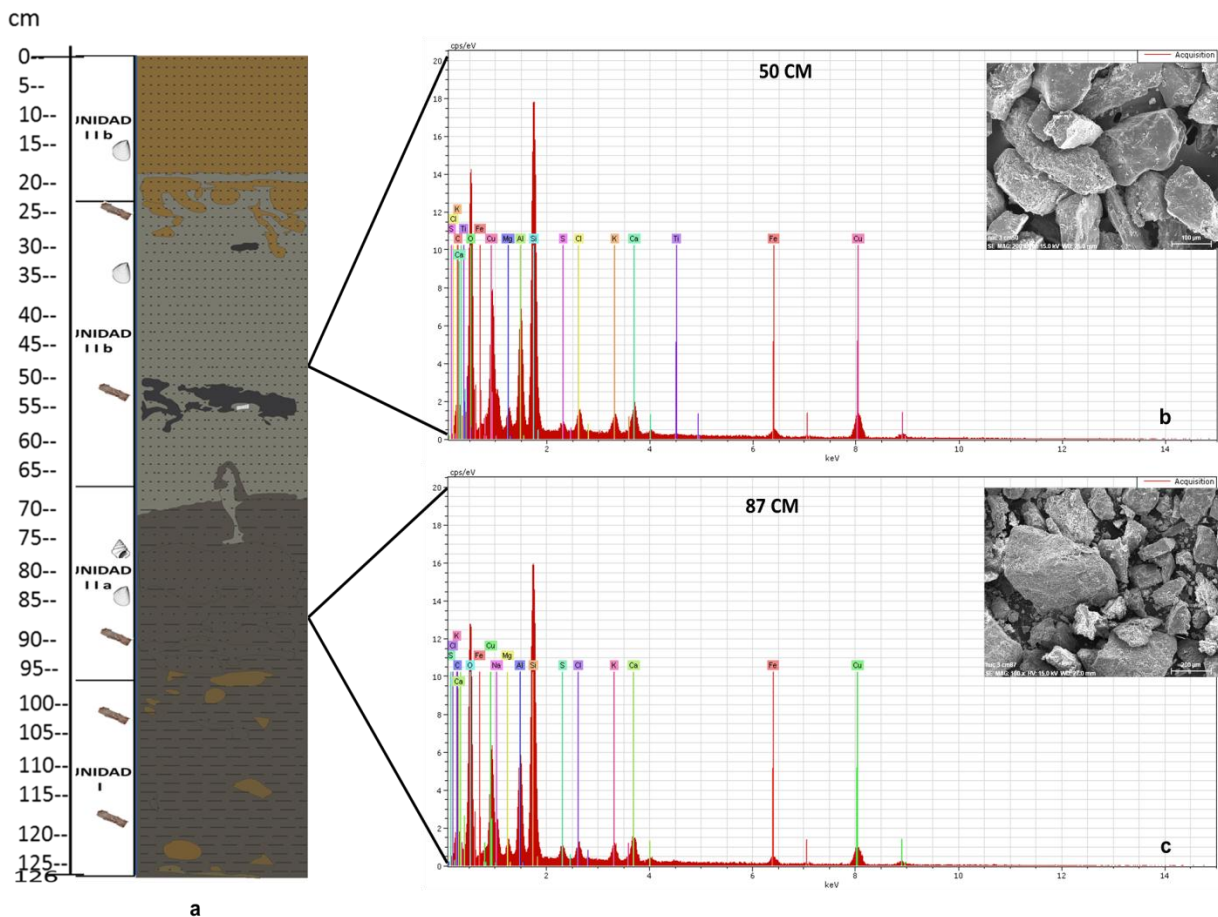


Figura 56 presenta en a) Columna estratigráfica, b), y c), espectrograma de análisis elemental con fotografía del MEB correspondiente a los 50 y 87 cm de profundidad.

12.6.3- MEB NÚC-IV-LLC-15-12-13

En este núcleo se realizó el análisis de MEB en una sola muestra que se encuentra a los 75 cm de profundidad y que corresponde a un depósito de tsunami fig. 57 a) y b).

En el centímetro 75 se presenta la columna estratigráfica y el espectrograma del análisis elemental con fotografía mostrando la existencia de elementos químicos como: azufre (S), Potasio (K), calcio (Ca), Titanio (Ti), O (oxígeno), Hierro (Fe), Sodio (Na), magnesio (Mg), Aluminio (Al), Silicio (Si) y Fosforo (P); presentando una fotografía del material con superficies subredondeadas que fueron transportadas por la alta energía del tsunami y los redepositó en la laguna.

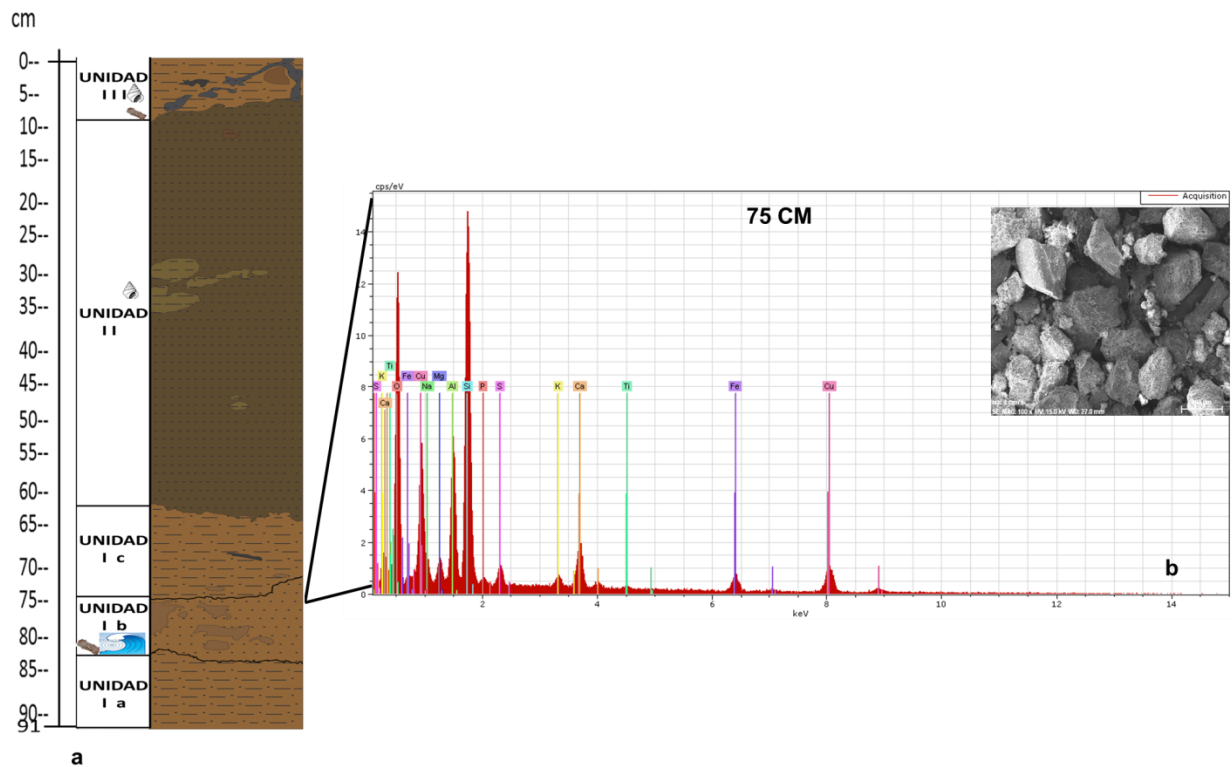


Figura 57 se presenta en a) Columna estratigráfica y b), espectrograma del análisis elemental con fotografía del MEB correspondiente a los 75 cm de profundidad.

12.6.4- MEB NÚC-V-LBN-16-12-13

En este núcleo se realizó el análisis de MEB a 45 y 79 cm de profundidad, fig. 58 a), y b), en el cual se tomó imágenes para las dos muestras.

En el centímetro 79 se presenta un contenido elemental de azufre (S), Cloro (Cl), Potasio (K), Carbono (C), Calcio (Ca), Titanio (Ti), Oxígeno (O), Hierro (Fe), Sodio (Na), Magnesio (Mg), Aluminio (Al) y Silicio (Si), mostrando una fotografía con granos finos y superficies subangulosas, indicando un ambiente de estabilidad en la laguna.

En el centímetro 45 se muestra la columna estratigráfica y el espectrograma del análisis elemental con fotografía presentando la existencia de elementos químicos como: azufre (S), Cloro (Cl), Potasio (K), Carbono (C), calcio (Ca), Titanio (Ti), O (oxígeno), Hierro (Fe), Sodio (Na), Aluminio (Al) y Silicio (Si); mostrando una fotografía del material con superficies angulosas, indicando un proceso erosivo en la cuenca.

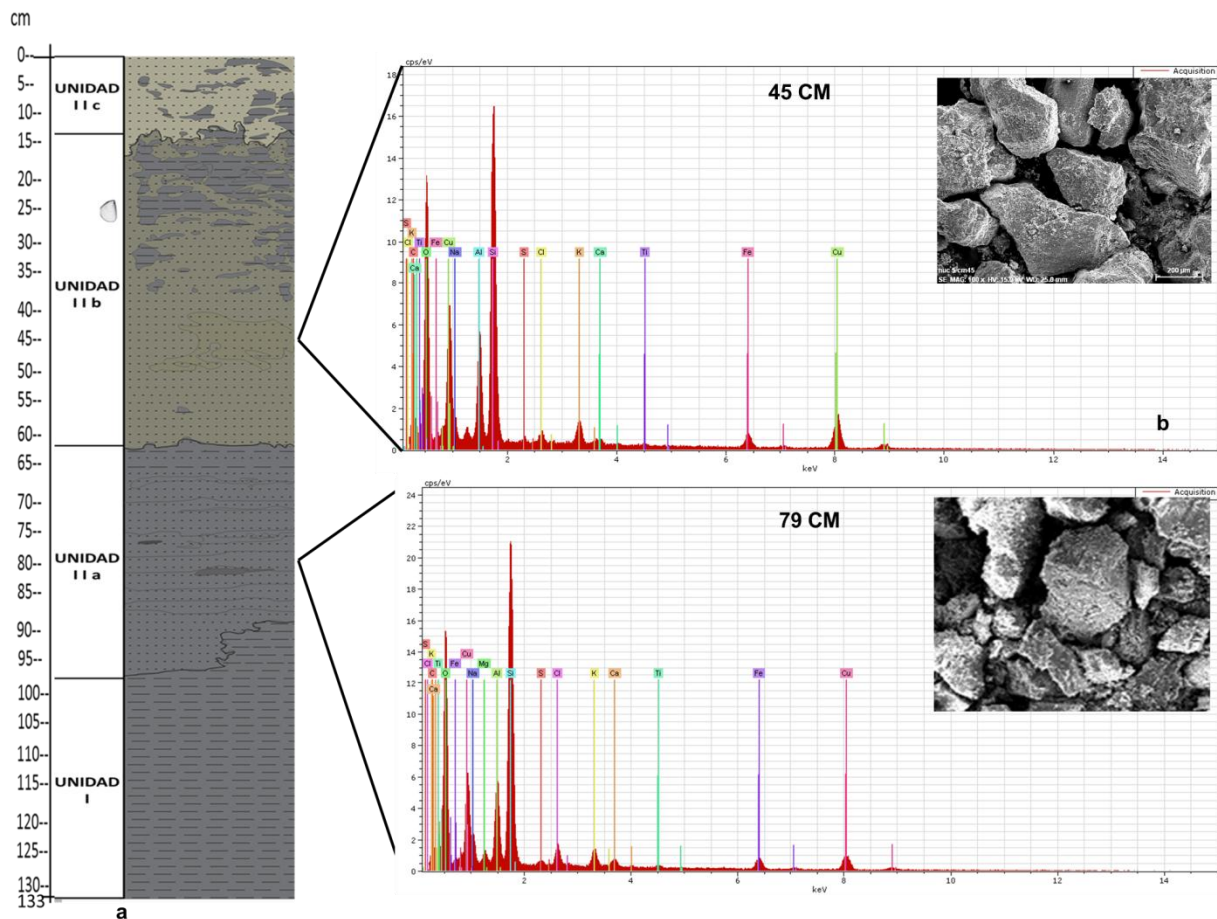


Figura 58 se presenta en a) Columna estratigráfica, b) y c), espectrograma del análisis elemental con fotografía del MEB correspondiente a los 45 y 79 cm de profundidad.

13- DISCUSIÓN E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS

La información obtenida mediante los análisis utilizando diferentes proxies en este trabajo se sustenta a través de la estratigrafía, gasterópodos, bivalvos y diatomeas, Fluorescencia de Rayos X, Espectroscopia de Infrarrojo, Microscopía Electrónica de Barrido, Susceptibilidad Magnética, Carbono Orgánico e Inorgánico Total, Difracción de Rayos X y Radiocarbono 14, que en base a estas técnicas han permitido identificar la caracterización del material presente en el registro sedimentario de las Lagunas: Cuyutlán, La Boquita, La Chacala, en Playa del Oro y Barra de Navidad, permitiendo identificar dos grandes eventos de tsunamis de gran magnitud que ocurrieron en el pasado y que se encuentran bien conservados en el registro sedimentario de las Lagunas Cuyutlán y La Chacala, Playa del Oro, en el Estado de Colima.

Basándonos en la información estratigráfica, geoquímica y mineralógica que presenta este trabajo, se puede subrayar las siguientes evidencias que presentan los sedimentos cuando son invadidos por una incursión marina (tsunami), el contacto abrupto y erosivo en la base de los estratos de depósito de tsunami, gradación normal que presenta los granos más finos hacia arriba y los más gruesos depositados hacia la base.

Así, mismo de acuerdo con las características estratigráficas reportadas por Atwater *et. al.*, 1992; y Nanayama *et. al.*, 2007, muestran arenas limpias bien seleccionadas, así como bases erosivas indicativas de alta energía en el medio de transporte; de igual forma, con facies que contienen restos de pequeños organismos y materia orgánica.

Finalmente se demuestra que los cambios abruptos en la estratigrafía de la Laguna Cuyutlán en los núcleos: NÚC-II-LC-14-12-13 y NÚC-VI-LC-16-12-13 y el NÚC-IV-LC-15-12-13 de la Laguna La Chacala, en Playa del Oro, Colima, corresponden a depósitos de tsunamis, e incorporando información de datos históricos se prueba que los sismos de gran magnitud en la zona de subducción mexicana son con frecuencia acompañados por deformación tectónica de la costa (subsistencia y/o levantamiento y tsunamis), y que las evidencias presentadas de subsistencia co-sísmica e inundación marina por tsunami en la costa de Colima son razonables.

En general el material encontrado en los seis núcleos de sedimentos se encuentra constituido por material limo-arcilloso con intervalos de arenas, presentándose en los NÚC-II-LC-14-12-13 y NÚC-VI-LC-16-12-13 estructuras en forma de lentes de arena, los cuales son característicos de tempestitas. De esta manera, el dominio de los sedimentos caracterizados como limo-arcillosos como constituyentes de los sedimentos estudiados, indican una marcada influencia del medio lagunar en el ambiente de depositación, caracterizado por presentar condiciones relativamente tranquilas, que permiten la sedimentación por excelencia del material fino que es transportado hasta la parte distal de la laguna funcionando como receptora de este material y registrando así, cualquier cambio en la estratigrafía de los sedimentos.

13.1- Relación mineralógica

Mineralógicamente los sedimentos están compuestos por material detrítico que presentan en su mayoría el grupo de los Silicatos (cuarzo) y las arcillas (Ilita, Caolinita y Montmorillonita), los cuales pudieron haber sido removidos, transportados y depositados en su posición actual por un tsunami; de igual manera, también se presentan minerales evaporíticos como Halita, Halloysita y Carbonatos, que probablemente fueron formados *in situ* cuando en la cuenca aumentó el índice de salinidad por una incursión marina, quedando atrapados en este sistema y posteriormente las lagunas experimentaron un proceso de evaporación formando estos minerales; aunque también es común encontrar minerales del grupo de los Sulfatos de tal forma, que la diversidad de estos grupos minerales encontrados están relacionados en gran parte por condiciones hidrodinámicas de las cuencas, la fuente de sedimentos, el mecanismo de transporte del material, y las fluctuaciones en los niveles del cuerpo de agua, que a la vez han repercutido en las condiciones normales que pueden presentar las lagunas costeras, las cuales nos están indicando una entrada de agua con una salinidad mayor a la existente en las lagunas costeras, ya que estos minerales precipitan en ambientes con mayor salinidad (Eugster & Hardie, 1978; en Mejía, 2015).

De esta manera el Cuarzo, la Ilita, la Caolinita y la Montmorillonita, no pueden guardar una relación directamente proporcional entre ellos, ya que el Cuarzo es un mineral estable y resistente a los procesos de meteorización tanto física como químicamente, a los cuales puede estar propenso el material sedimentológico que es transportado desde el océano. Por el contrario el material arcilloso es el resultado de la alteración de feldespatos, los cuales, debido a la acción de agentes exodinámicos experimentan una pérdida de cationes y un cambio en la estructura cristalina, coincidiendo con lo reportado por (Roy *et al.*, 2012), registran minerales como epidotas, Piroxenos y anfíboles depositados en las costas del Pacífico Mexicano por el tsunami de origen lejano ocurrido el 11 de Marzo del 2011 en Japón.

De igual manera, de acuerdo con los espectrogramas de Espectroscopía de Infrarrojo, los difractogramas de Difracción de Rayos X y Microscopia Electrónica de Barrido sugieren que el cuarzo tiende a disminuir de acuerdo con la profundidad de los núcleos presentándose en mayor concentración en los depósitos de la cima, mientras que en lo contrario las arcillas, carbonatos y sulfatos van incrementando su concentración a mayor profundidad, lo que podría sugerir que actualmente se ha venido dando una fuerte erosión en los litorales de las lagunas y una depositación inmediata favoreciendo que estos sistemas se vayan haciendo más someros, influenciados por la hidrodinámica de las lagunas costeras y por factores que están íntimamente ligados al contexto geológico y a las variaciones climáticas que actualmente se han presentado en esta zona.

Sin embargo, la presencia de Caolinita en los sedimentos con diferentes estructuras cristaloquímicas, siendo un mineral desalcalinizado, permite inferir un grado de

meteorización de media a avanzada, lo cual está dentro de un contexto climático tropical aunado a un largo transporte de sedimentos desde el océano hasta el lugar de depositación.

Los resultados de Espectroscopía de Infrarrojo, Difracción de Rayos X y Microscopia Electrónica de Barrido, muestran una abundancia relativa del Cuarzo y minerales arcillosos, lo cual puede ser producto de la naturaleza de estos minerales, pero también la composición litológica de la roca fuente podría contribuir a tal condición.

13.2- Relación geoquímica

La correlación de los porcentajes en óxidos determinados mediante Fluorescencia de Rayos X en los núcleos: NÚC-II-LC-14-12-13 y NÚC-VI-LC-16-12-13 y el NÚC-IV-LLC-15-12-13, permite establecer agrupaciones entre ellos, para posteriormente asociarlos a las diferentes fases mineralógicas contenidas en los sedimentos estudiados que se presentan en el cuadro 19.

El SiO_2 y el Al_2O_3 exhiben los valores más altos, lo cual es característico de minerales como cuarzo y las arcillas respectivamente. En cuanto a los valores en concentraciones presentados por los otros óxidos, se observa una paridad en los seis núcleos entre el TiO_2 , P_2O_5 y el MnO .

Así mismo, en el núcleo NÚC-II-LC-14-12-13, presenta un aumento en los porcentajes de Fe_2O_3 , K_2O , MgO , CaO y Na_2O en los centímetros 99, 111, 117 y 132, que se encuentran en la cima y base respectivamente, de dos depósitos de tsunamis.

El núcleo NÚC-VI-LC-16-12-13, en los centímetros 125 y 139, tomado representativamente una muestra de sedimento en cada depósito de tsunami; así como el núcleo NÚC-IV-LLC-15-12-13, en el centímetro 77, que se encuentra un depósito de tsunami presentan un incremento en los porcentajes de óxidos de Fe_2O_3 , K_2O , MgO , CaO y Na_2O , lo cual indican un aporte alóctono de estos elementos.

NÚC-I-LC-14-12-13										
PROFUNDIDAD	%TiO2	%Al2O3	%Fe2O3t	%K2O	%MnO	%MgO	%CaO	%Na2O	%SiO2	%P2O5
3 cm	0.14	2	1	0.23	0.134	2	40	0.388	17	0.199
21 cm	0.29	6	3	0.52	0.138	4	31	0.839	26	0.265
32 cm	0.9	19	8	2	0.125	3	2	2	55	0.198
64 cm	0.92	19	7	2	0.108	3	3	2	54	0.176
84 cm	0.88	17	8	2	0.146	2	5	3	51	0.225
118 cm	0.98	18	8	2	0.151	4	4	3	50	0.227
121 cm	0.9	12	9	0.91	0.202	8	9	3	53	0.326
126 cm	0.89	12	8	0.95	0.191	7	11	3	51	0.184
NÚC-II-LC-14-12-13										
PROFUNDIDAD	%TiO2	%Al2O3	%Fe2O3t	%K2O	%MnO	%MgO	%CaO	%Na2O	%SiO2	%P2O5
2 cm	0.111	2	0.883	0.185	0.133	2	41	0.342	14	0.224
41 cm	0.382	8	3	0.743	0.125	3	27	0.943	31	0.203
49 cm	0.936	20	8	2	0.107	3	2	2	55	0.173
83 cm	0.896	17	8	2	0.143	4	5	2	52	0.23
99 cm	0.993	12	10	0.984	0.207	9	7	3	55	0.145
111 cm	0.895	13	8	1	0.187	7	10	3	52	0.194
117 cm	0.79	13	8	1	0.185	8	7	3	56	0.168
132 cm	0.797	14	8	1	0.177	7	7	3	57	0.177
NÚC-VI-LC-16-12-13										
PROFUNDIDAD	%TiO2	%Al2O3	%Fe2O3t	%K2O	%MnO	%MgO	%CaO	%Na2O	%SiO2	%P2O5
10 cm	0.048	0.448	0.356	0.072	0.103	3	45	0.273	5	0.162
42 cm	0.583	11	5	1	0.172	7	15	2	40	0.264
69 cm	0.789	14	7	1	0.162	5	7	3	54	0.497
80 cm	0.783	16	7	1	0.142	3	7	3	53	0.237
87 cm	0.741	14	6	1	0.154	3	13	2	44	0.267
96 cm	0.593	11	5	1	0.144	3	19	2	38	0.211
107 cm	0.853	13	8	1	0.186	6	10	2	49	0.293
125 cm	0.799	15	7	1	0.165	4	9	3	52	0.189
139 cm	0.841	12	9	1	0.19	8	7	3	56	0.203
NÚC-III-LLB-15-12-13										
PROFUNDIDAD	%TiO2	%Al2O3	%Fe2O3t	%K2O	%MnO	%MgO	%CaO	%Na2O	%SiO2	%P2O5
2 cm	0.438	18	3	2	0.086	2	6	5	61	0.222
24 cm	0.487	17	3	2	0.088	2	7	5	59	0.229
34 cm	0.395	17	3	2	0.085	2	7	5	61	0.226
50 cm	0.459	16	4	2	0.09	2	6	5	56	0.225
66 cm	0.554	17	4	2	0.096	2	7	5	59	0.257
77 cm	0.635	13	4	2	0.1	2	15	4	46	0.309
92 cm	0.461	13	4	2	0.09	2	11	4	48	0.204
99 cm	0.818	14	8	3	0.115	3	2	3	55	0.12
124 cm	0.691	12	6	2	0.097	2	2	3	54	0.089
NÚC-IV-LLC-15-12-13										
PROFUNDIDAD	%TiO2	%Al2O3	%Fe2O3t	%K2O	%MnO	%MgO	%CaO	%Na2O	%SiO2	%P2O5
3 cm	0.719	8	7	0.708	0.178	6	19	2	38	0.215
9 cm	0.914	12	9	1	0.193	8	7	3	56	0.278
36 cm	0.857	16	7	2	0.179	4	5	3	54	0.261
62 cm	0.791	13	7	1	0.157	6	6	4	55	0.192
77 cm	0.789	14	6	1	0.149	4	9	4	51	2
91 cm	0.85	15	8	1	0.169	4	8	2	49	0.441
NÚC-V-LBN-16-12-13										
PROFUNDIDAD	%TiO2	%Al2O3	%Fe2O3t	%K2O	%MnO	%MgO	%CaO	%Na2O	%SiO2	%P2O5
1 cm	0.583	14	4	3	0.1	1	2	4	68	0.089
13 cm	0.821	16	6	3	0.143	2	2	4	58	0.183
33 cm	0.474	15	4	4	0.091	1	2	4	67	0.081
57 cm	0.296	15	2	4	0.07	0.692	2	4	71	0.052
60 cm	0.884	17	7	3	0.153	3	2	4	54	0.14
73 cm	0.888	16	6	3	0.15	2	3	4	59	0.153
88 cm	0.924	16	7	3	0.177	2	2	4	55	0.173
94 cm	0.908	18	7	3	0.174	2	2	4	51	0.194
132 cm	1	20	8	2	0.14	2	2	3	47	0.181

Cuadro 19. Presenta la correlación de los principales óxidos con valores elevados en los depósitos de tsunamis.

Si se compara la mineralogía obtenida por Difracción de Rayos X, los valores de Fe_2O_3 derivados de la Fluorescencia de Rayos X, el hierro podría estar presente en una fase mineral de óxido de hierro como Hematita, Goethita, Magnetita, Ilmenita, ó como un sulfuro de hierro (Pirita), que podrían estar asociados a un aumento de paleo-salinidad y posibles incursiones marinas indicando medios sedimentarios reductores compuestos de material limo-arcilloso acompañados de material orgánico reportado por (Chagué-Goff, 1999), en sedimentos encontrados en una laguna costera de Nueva Zelanda, que son atribuidos a una inundación por tsunami.

13.3- Relación de susceptibilidad magnética

El TiO_2 y el MnO podrían estar presentes como cationes dentro de la estructura de las arcillas a pesar de mostrar una correspondencia con los porcentajes de óxidos de Al_2O_3 , Fe_2O_3 y K_2O , por lo que se infiere que el TiO_2 y el MnO también se encuentran como constituyentes de minerales oxidados como Magnetita o Ilmenita. Esto es sustentado con los resultados de Susceptibilidad Magnética, cuya respuesta se atribuye a la presencia de minerales oxidados principalmente en los cinco depósitos de tsunamis encontrados en los tres núcleos. En las gráficas se puede observar que cuando se presenta un cambio en el tamaño de las partículas y composición de los sedimentos, la susceptibilidad magnética presenta cambios con valores más elevados; aunque este comportamiento depende de minerales magnéticos, los valores obtenidos son diferentes para intervalos con la misma composición. Por lo tanto, al observar estos cambios de la susceptibilidad magnética a diferentes profundidades de las columnas litológicas pueden estar indicando grandes procesos erosivos en las diferentes cuencas donde se extrajeron cada uno de los núcleos y además refuerzan la certeza de asegurar que algunos picos en las gráficas con valores elevados de susceptibilidad magnética se trata de depósitos de tsunamis y/o de una licuefacción provocada por un evento sísmico de gran magnitud.

Por lo tanto, los valores elevados de la susceptibilidad magnética indican mayor arrastre de material por una incursión marina, por lo que se requirió de una fuerte energía para que se llevara a cabo el retrabajamiento y la magnetización del material erosionado que se presentan en la fig. 59 la correlación de las gráficas de Susceptibilidad magnética; por lo que se puede sugerir de acuerdo con lo reportado por (Ramírez-Herrera et al., 2014; Wassmer et al 2010), que el aumento de minerales ferromagnéticos funcionan como una herramienta útil para la identificación de depósitos de tsunamis que se refleja en los altos valores de susceptibilidad magnética.

En el NÚC-I-LC-14-12-13 los valores más altos son dados a partir del centímetro 126 al centímetro 118, llegando a 10.5×10^{-5} que corresponde a una licuefacción compuesta por material de arena mezclada con arcilla, provocada por un evento sísmico. Los valores que oscilan entre 0.0×10^{-5} y -50.0×10^{-5} corresponden a un material compuesto por arcilla que llega hasta los 34 cm. A partir de esta profundidad los valores de la susceptibilidad magnética

se muestran aún más bajos, ya que muestran valores de -10.0×10^{-5} que corresponden a material limoso hasta el cm 1 de la cima del núcleo.

En la base del núcleo NÚC-II- LC-14-12-13 la susceptibilidad magnética muestra valores altos cercanos a 20.0×10^{-5} y son dados a partir del centímetro 136 al centímetro 118, que corresponde a la base del núcleo y que contiene un material de arena gruesa mezclada con arcilla, el cual pertenece a un depósito de tsunami.

Posteriormente se muestra que la susceptibilidad magnética disminuye con valores negativos de -10.0×10^{-5} a partir del cm 118 al cm 114 correspondiente a un nivel compuesto por arcilla; sucesivamente a partir del centímetro 112 al centímetro 98, la curva de la gráfica alcanza los valores más altos que llegan hasta el 60.0×10^{-5} , presentando un material de arena con una gradación positiva, por lo que también es considerado como un depósito de tsunami.

Hacia la cima del núcleo desde el cm 96, la susceptibilidad magnética muestra valores muy bajos que llegan a -30.5×10^{-5} manteniéndose constante hasta el cm 1 de la cima del núcleo con material de arcilla y limo con lentes de arena provocados por tormentas.

La susceptibilidad magnética en la base del núcleo NÚC-VI-LC-16-12-13 a 142 centímetros muestra valores de 00.0×10^{-5} y en el 140 centímetros aumenta a 20.0×10^{-5} que corresponde a la cima de un depósito de tsunami, compuesto por material arenoso mezclado con arcilla; sucesivamente los valores de susceptibilidad magnética en el cm 138 descienden a -20.0×10^{-5} , presentando un estrato de arcilla.

Consecutivamente del centímetro 136 al centímetro 126 se observa un aumento en la susceptibilidad magnética alcanzando valores cercanos a 40.0×10^{-5} , que se compone de material arenoso, el cual corresponde a un segundo depósito de tsunami provocado por un evento sísmico.

Posteriormente del centímetro 122 al centímetro 114, también se presenta un pico que alcanza valores de -10.0×10^{-5} de susceptibilidad magnética compuesto por arcilla con lentes de arena que corresponden a estructuras de tempestitas; sucesivamente del centímetro 112 hasta la cima de la columna litológica de este núcleo la susceptibilidad magnética presenta valores negativos manteniendo una constante de -30.0×10^{-5} .

En la base del núcleo NÚC-III-LLB-15-12-13 desde el centímetro 126 al centímetro 106, la Susceptibilidad magnética muestra valores de -35.0×10^{-5} en un material arcilloso, a partir del centímetro 104 los valores ascienden gradualmente de forma negativa hasta el centímetro 86 con -30.0×10^{-5} .

Sucesivamente entre el centímetro 84 y el centímetro 54 la susceptibilidad magnética alcanza un pico máximo con valores de -10.0×10^{-5} en un material compuesto de arena con estructuras de bioturbación por organismos acuáticos, así como estructuras que muestran una bioturbación antropogénica.

Entre centímetro 52 hasta el centímetro 2 de la cima del núcleo la Susceptibilidad magnética se mantiene en el rango de valores negativos llegando a un pico máximo de -15.0×10^{-5} compuesto por material de arenoso y estructuras de bioturbación por organismos acuáticos.

Así mismo, se puede observar que a pesar de que la susceptibilidad magnética no presenta valores positivos, la composición del material arenoso está indicando que en esta cuenca se está llevando a cabo una fuerte erosión continental por factores antropogénicos y se está depositando en la laguna.

En el núcleo NÚC-IV-LLC-15-12-13 la susceptibilidad magnética en el centímetro 90 muestra valores de 60.0×10^{-5} y desciende hasta el centímetro 84 con valores de 40.0×10^{-5} en una unidad compuesta por material limoso. Sucesivamente se muestra un ascenso en la gráfica desde el centímetro 82 hasta el centímetro 72, alcanzando entre el centímetro 76 y el centímetro 74 valores de 53.1×10^{-5} que corresponde a una unidad de arena con grandes trozos de madera presentando la base de este estrato un contacto erosivo, por lo que se le considera como un depósito de tsunami.

Sucesivamente entre el centímetro 70 y el centímetro 60 se muestran valores de 40.0×10^{-5} en una unidad compuesta por limo; posteriormente del centímetro 60 al centímetro 44 se muestra un ascenso en la susceptibilidad magnética alcanzando un valor de 93.1×10^{-5} en una unidad de material arenoso, hacia la cima se muestra un descenso en la gráfica hasta el centímetro 30 que presenta valores de 67.1×10^{-5} en un material de arena con estructuras de bioturbación.

Sucesivamente hacia la cima del núcleo en el centímetro 28 los valores de susceptibilidad magnética ascienden gradualmente hasta el centímetro 12 con valores de 12.7×10^{-5} , volviendo a descender hasta el centímetro 2 de la cima del núcleo con valores de 25.5×10^{-5} en un estrato de limo.

De esta forma se puede interpretar que a partir del centímetro 62 hasta el centímetro 12, los picos máximos que presenta la susceptibilidad magnética corresponde a una unidad que presenta material arenoso generado por una fuerte erosión continental y que se ha depositado en la laguna; así como los picos mínimos de susceptibilidad magnética que corresponden a unidades compuestas por material limoso indican una estabilidad en la cuenca.

Los valores de susceptibilidad magnética que presenta el núcleo NÚC-V-LBN-16-12-13 desde el centímetro 132 hasta el centímetro 92 son de -27.0×10^{-5} y se encuentran en la unidad I con material arcilloso; posteriormente asciende gradualmente hasta el centímetro 60, teniendo un pico máximo en el centímetro 72, con valores de -72.3×10^{-5} de susceptibilidad magnética en la unidad II a, compuesta por una estratificación laminar de arenas finas, indicando que la energía presente en la laguna era muy baja pero que aun así, presentaba un flujo continuo de agua con energía que podía mantener en movimiento las partículas de arena generando estas estructuras laminares.

Sucesivamente en la unidad II b, a partir del centímetro 60 hasta la cima de la columna litológica se presenta un material compuesto por arena y estructuras de bioturbación conformadas por arcilla, indicando una fuerte erosión en la cuenca; se observa que en el centímetro 46 se muestra un pico máximo con valores de -23.4×10^{-5} ; posteriormente se observa un ascenso en el centímetro 44 mostrando un valor de -21.6×10^{-5} . En el centímetro 24 de la unidad II b, también se presenta un material compuesto de arena y arcilla mostrando valores de -91.7×10^{-5} con estructuras de bioturbación generadas por organismos acuáticos, continuando así hasta la cima del núcleo en el centímetro 2 presentando valores de susceptibilidad magnética de -36.6×10^{-5} .

13.4- Relación COT y CIT

Así mismo, a través de la técnica utilizada de Carbono Orgánico Total (COT) y Carbono Inorgánico Total (CIT), se pudo determinar las diferentes concentraciones en porcentajes para los seis núcleos, pero sólo en tres núcleos se presentan cambios significativos en las concentraciones que indican una procedencia diferente de los sedimentos depositados en las lagunas atribuidos como depósitos de tsunamis

Esto se corrobora con el aumento en el contenido de CIT generado por una mayor precipitación de los carbonatos y que se asocian a los incrementos de CIT evidenciándose por un aumento en las relaciones K/Ti, Si/Ti, Ca/Ti y Mn/Ti, que se muestran anteriormente en el cuadro 20. El aumento de COT, así como el aporte y precipitación de Fe en relación al Ti, es acompañado por la productividad en las lagunas, Roy *et. al.*, 2009; Roy *et. al.*, 2012. Fig.60, donde se presentan las gráficas de COT y CIT.

Las pequeñas cantidades del óxido de Fosfato identificadas mediante FRX y DRX, es posible que ciertas cantidades de éste elemento se encuentren dentro de los sedimentos en los sistemas lagunares, ya que esta fase mineral es propia de aguas restringidas en ambientes costeros Márquez *et al.*, 2007.

Así mismo con la Espectrometría de Infrarrojo y la mineralogía obtenida por la técnica de Microscopía Electrónica de Barrido, se complementa la mineralogía de Difracción de Rayos X, que nos permitieron la identificación de facies minerales de acuerdo a las estructuras cristal químicas mostrando la Caolinita y la Montmorillonita, que pertenecen al grupo de las arcillas asociadas al grupo del Aluminio (Al- -O-H) y al grupo de los silicatos (Si-O-Si), y de igual forma se comprueba la existencia de Carbonatos, sulfuros y cloruros mediante la aplicación de éstas técnicas. De acuerdo con (Minoura *et al.*, 1994), estos elementos son reconocidos como indicadores de incursión marina de agua salada en medios lagunares.

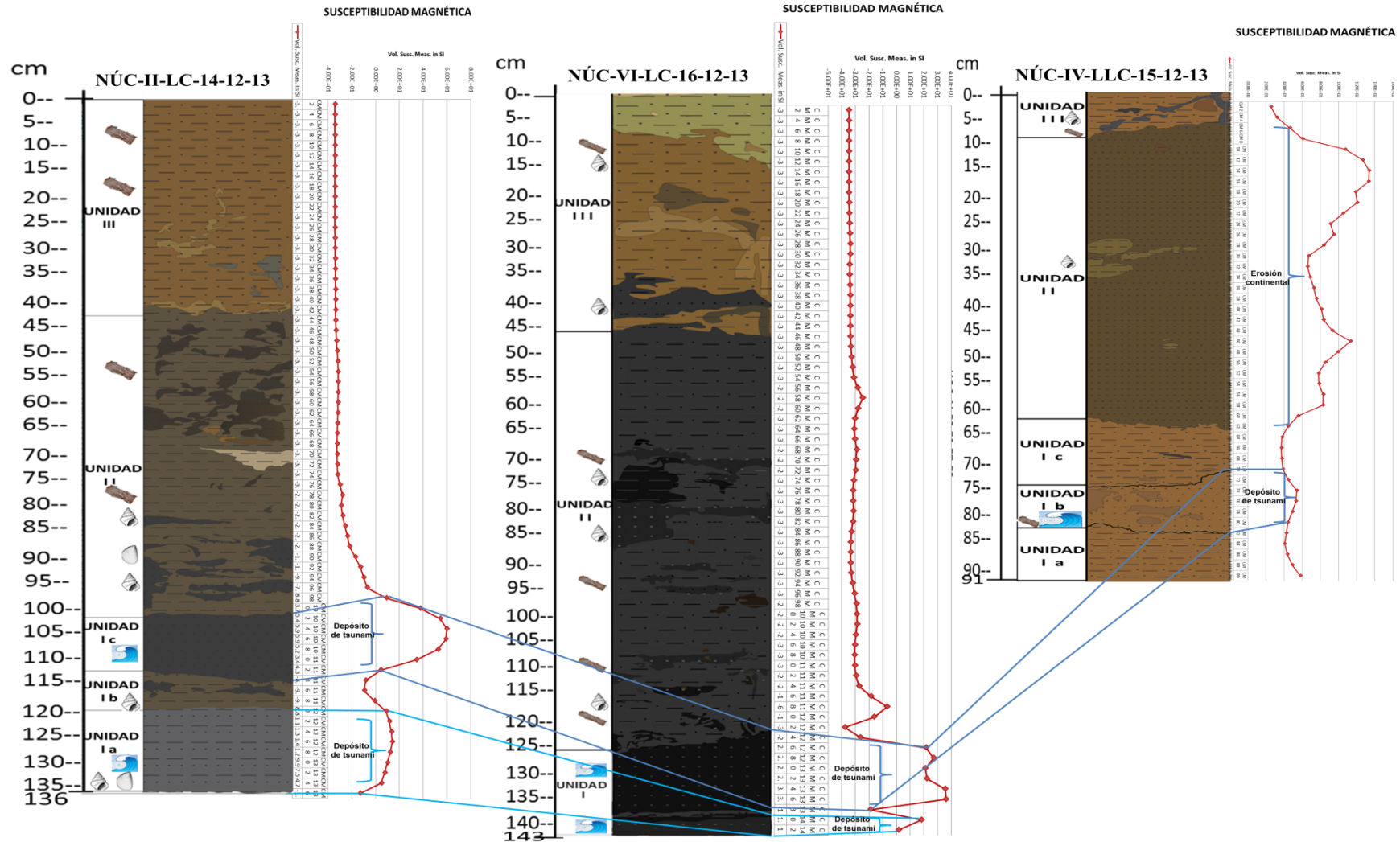


Figura 59. Presenta la correlación de los picos máximos de la Susceptibilidad Magnética en los cinco depósitos de tsunami en los tres núcleos: NÚC-II-LC-14-12-13 y NÚC-VI-LC-16-12-13 de la Laguna Cuyutlán y NÚC-IV-LLC-15-12-13 de la Laguna La Chacala, Playa del Oro, Colima.

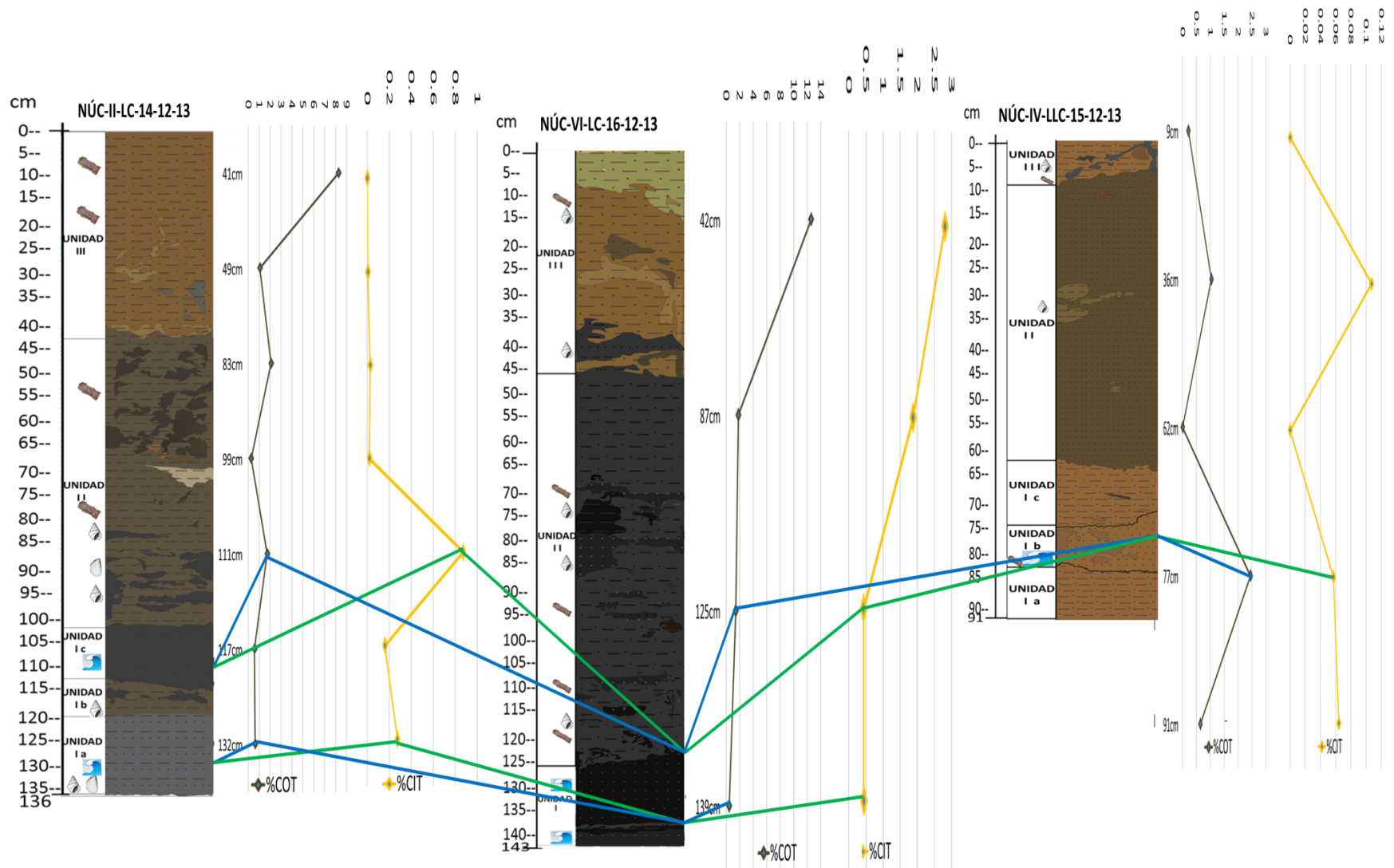


Figura 60. Presenta la correlación en porcentajes de COT y CIT en los tres núcleos: NÚC-II-LC-14-12-13 y NÚC-VI-LC-16-12-13 de la Laguna Cuyutlán y NÚC-IV-LC-15-12-13 de la Laguna La Chacala, Playa del Oro, Colima.

13.5- Relación ^{14}C

De acuerdo al registro sedimentario estratigráfico y con la aplicación de técnicas geoquímicas y mineralógicas se pudo identificar dos eventos de tsunami en los núcleos denominados NÚC-II-LC-14-12-13 y NÚC-VI-LC-16-12-13 de la Laguna Cuyutlán y un evento de tsunami en la Laguna La Chacala, Playa del Oro, Colima, denominado NÚC-IV-LC-15-12-13, y con base en los fechamientos obtenidos se pudo dar una edad precisa a los eventos sísmicos que generaron los tsunamis en las costas del Estado de Colima y que se encuentran registrados en los sedimentos de éstas lagunas costeras.

Para los núcleos que presentan el primer depósito de tsunami registrado han sido denominados: NÚC-II-LC-14-12-13 a una profundidad de 132 cm que presenta una fecha de 517 $\pm$ 87 años AD y NÚC-VI-LC-16-12-13 a una profundidad de 142 cm que presenta una fecha de 518 $\pm$ 88 años AD. Estas fechas obtenidas presentan una correlación, misma que se ha presentado tanto estratigráficamente como geoquímica y mineralógicamente; las cuales están indicando que se trata de un mismo evento de tsunami

Por lo tanto, la interpretación de las fechas obtenidas presentan una correlación, misma que se ha presentado tanto estratigráficamente como geoquímica y mineralógicamente; para los núcleos que presentan el primer depósito de tsunami registrado han sido denominados: NÚC-II-LC-14-12-13 a una profundidad de 132 cm que presenta una fecha de 517 $\pm$ 87 Años AD y NÚC-VI-LC-16-12-13 a una profundidad de 142 cm que presenta una fecha de 518 $\pm$ 88 Años AD, las cuales están indicando que se trata de un mismo evento de tsunami.

Sucesivamente se registró un segundo depósito de tsunami en los dos núcleos denominados NÚC-II-LC-14-12-13 a una profundidad de 104 cm presentando una fecha de 879 $\pm$ 103 Años AD, y el NÚC-VI-LC-16-12-13 a una profundidad de 128 cm que presenta una fecha de 1808 $\pm$ 143 Años AD, de la Laguna Cuyutlán y en el núcleo denominado NÚC-IV-LC-15-12-13 a una profundidad de 80 cm también presenta una fecha de 1815 $\pm$ 136 Años AD, de la Laguna La Chacala, Playa del Oro. Mismas que se correlacionan tanto estratigráficamente como geoquímica y mineralógicamente, por lo que nos indica que también se trata de un segundo evento sísmico que generó un tsunami de gran magnitud, que de acuerdo con las fechas obtenidas se puede asociar con el tsunami ocurrido en Cuyutlán en 1932. Mismo que se puede asociar al descrito en su trabajo recientemente publicado por Corona N., and Ramírez-Herrera, M.T., 2012a; Ramírez-Herrera M.T. et, al., 2014.

Sin embargo, para la fecha obtenida en el NÚC-II-LC-14-12-13 a una profundidad de 104 cm, presentando una fecha de 879 $\pm$ 103 Años AD, la fecha no es confiable debido a que en este depósito de tsunami no se encontró restos de materia orgánica y se tomaron pequeños gasterópodos para su fechamiento, lo cual nos indica que éstos organismos son ajenos al evento de éste tsunami fig. 61, que presenta la correlación con ^{14}C .

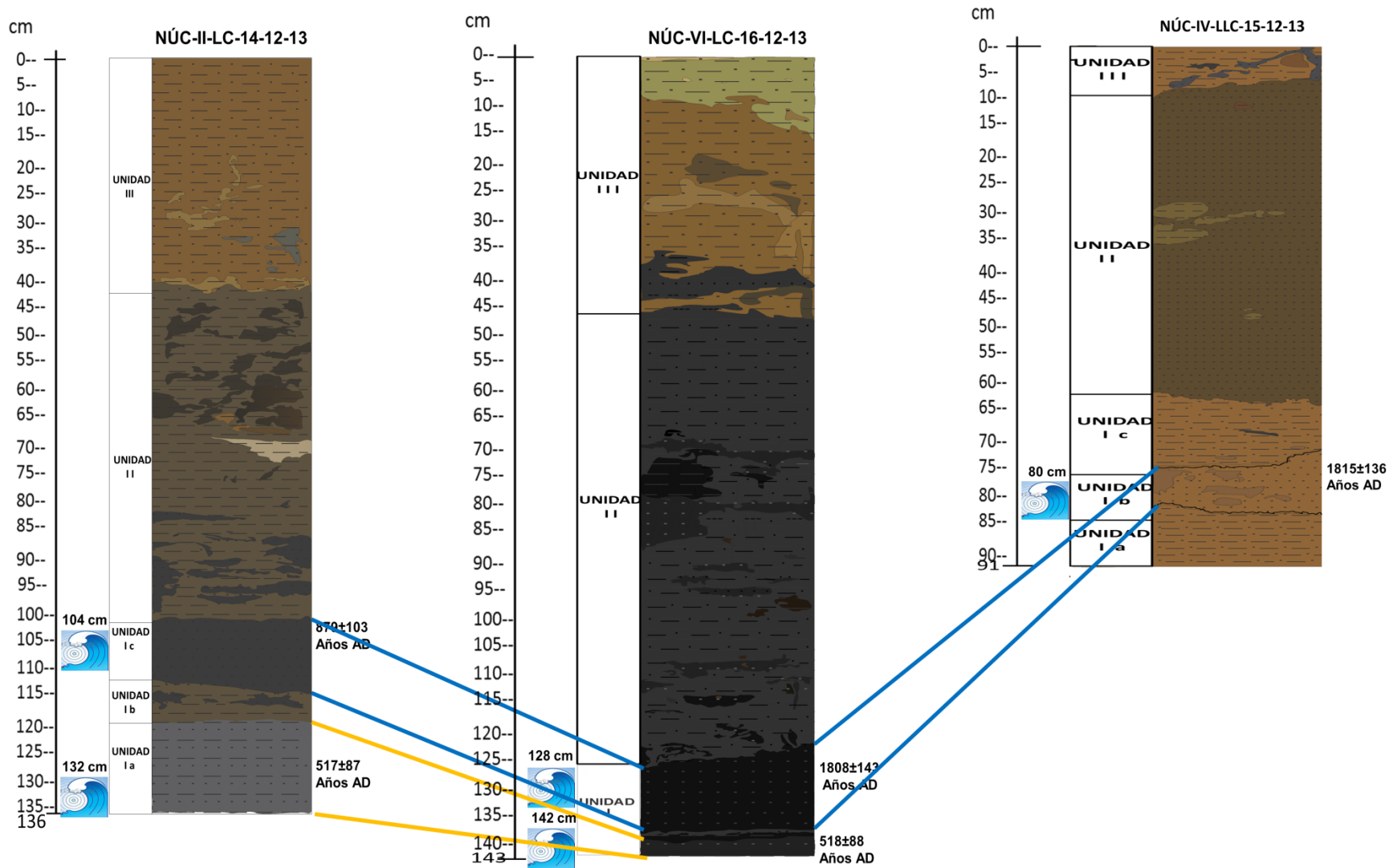


Figura 61. Presenta la correlación de las fechas obtenidas en los cinco depósitos de tsunamis en años después de Dios.

En cuanto a los resultados geoquímicos y mineralógicos obtenidos en los tres núcleos, se evidencia en los depósitos de tsunami un aumento de Calcio superior a la de los sedimentos infrayacentes; de esta manera se infiere que el material presente en los núcleos extraídos en las Lagunas Cuyutlán y La Chacala, Playa del Oro, fue removido desde el cordón litoral por un mecanismo de alta energía y redepositado costa adentro sobre la sedimentación lagunar previamente depositada, quedando así, dentro del registro sedimentario, la evidencia de dos grandes eventos tsunamigénicos en las costas del Estado de Colima y zonas costeras cercanas.

Mineralógicamente, la fracción detrítica representada por el cuarzo, en mayor abundancia y minerales arcillosos como la Ilita, Caolinita y Montmorillonita, se presentan como constituyentes esenciales de los sedimentos, lo que indica que el material detrítico presente tiene un aporte continental.

Así mismo, la presencia de los evaporitas representados por Halita y Halloysita de 7 °A, sugiere altos niveles de evaporación ya que estos minerales se forman en una fase seca en las cuencas debido a la exposición subaérea de la secuencia sedimentaria.

En este estudio basado en la búsqueda e interpretación de tsunamitas resulta de gran importancia el poder tener edades dentro de las columnas sedimentarias con la finalidad de poder asociar y correlacionar posibles eventos anómalos con eventos históricos reportados en la literatura. Es por esto que mediante las dataciones radiométricas se pudo ubicar el intervalo de ocurrencia en el cual fueron depositadas estas secuencias sedimentarias.

13.6- Relación de gasterópodos, bivalvos y diatomeas

En cuanto a la identificación de gasterópodos y bivalvos, las especies encontradas no se encuentran relacionadas a eventos de tsunamis; puesto que los gasterópodos y bivalvos a pesar de que se encuentran en todos los núcleos presentan poca abundancia, y además indican que son característicos de ambientes lagunares por lo que no se logró encontrar ninguna especie marina que nos estuviera indicando que en algún momento haya sido redepositada, así mismo, los pequeños gasterópodos encontrados en los depósitos de tsunamis en su mayoría están completos y no presentan características de haber sufrido un transporte con alta energía, lo cual nos indicó que éstos organismos son ajenos a los depósitos de tsunami.

Por otra parte, en tanto a la identificación de diatomeas, sólo se encontraron presentes en el NÚC-I-LC-14-12-13 de la Laguna Cuyutlán y en el NÚC-III-LLB-15-12-13 de la Laguna La Boquita, Colima, sin embargo, en estos núcleos no se encuentran registrados depósitos de tsunamis por tal razón no se les puede asociar a estos eventos.

14- CONCLUSIONES

El estudio de depósitos dejados por antiguos tsunamis en las costas o en zonas someras marinas, constituyen la clave para el reconocimiento de tsunamitas más recientes dentro de registros sedimentarios, proporcionando información que puede ofrecer especulaciones de ciclicidad y los límites de inundación de los grandes eventos de paleo-tsunamis que han afectado las costas del pacífico mexicano, esto es de gran importancia para cualquier estudio de riesgo, ya que aunque se reconozca el peligro que representa la llegada de un tsunami a las costas, sin datos geológicos confiables sobre la frecuencia del fenómeno, resulta difícil desarrollar panoramas realistas de prevención y mitigación del riesgo latente.

Se realizó una revisión selectiva de los sedimentos extraídos en seis núcleos de cuatro lagunas costeras en el litoral de los Estados de Colima y Jalisco; de los cuales en tres núcleos se logró identificar cinco depósitos de tsunamis que corresponden a dos eventos tsunamigénicos, y en un núcleo se identificó una licuefacción del sedimento provocada por un evento sísmico, que se distribuyen de la siguiente manera:

En la Laguna Cuyutlán, Colima, se extrajeron los núcleos: NÚC-I-LC-14-12-13, en el cual se identificó una licuefacción sísmica y en el núcleos: NUC-II-LC-14-12-13 y el NÚC-VI-LC-16-12-13, presentan cada uno, dos depósitos de tsunamis y en el NÚV-IV-LLC-15-12-13, sólo se encuentra un depósito de tsunami.

Este trabajo se llevó a cabo con la finalidad de mostrar la descripción y las características detalladas de los seis núcleos extraídos en las Lagunas cuyutlán, La Boquita, La Chacala, Playa del Oro, Colima y Barra de Navidad, Jalisco, en los cuales se emplearon multi proxies estratigráficos, geoquímicos, mineralógicos, micropaleontológicos y magnéticos, acompañado por un marco cronológico realizado por fechamientos de ^{14}C que permiten fechar de forma puntual los depósitos de tsunamis, sugiriendo áreas afectadas por inundación marina en el pasado.

NÚC-I-LC-14-12-13, este núcleo fue extraído de la Laguna Cuyutlán, Colima; en la base de esta columna litológica se observa una estructura de licuefacción a una profundidad que va de los 128 cm a los 119 cm, compuesta por arenas que modifican la estratificación de arcillas, provocada por un evento sísmico $\geq M(6)$.

Geoquímicamente se encontró alto contenido de TiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MgO , CaO y Na_2O , con bajo contenido de COT.

Mineralógicamente se obtuvieron minerales que corresponden al grupo de las arcillas: Albita, Vesuvianita, Cuarzo, Montmorillonita, Periclasa y Halloysita de 7 Å; de igual forma la Espectroscopía de infrarroja confirma la presencia de minerales arcillosos obteniéndose la estructura cristalográfica de CO_3 , Si- - O-Si, Al- - O-H y H-O-H.

A través del Microscopio Electrónico de Barrido se encontró un contenido elemental de Azufre (S), Potasio (K), Calcio (Ca), Titanio (Ti), Hierro (Fe), Sodio (Na), Magnesio (Mg), Aluminio (Al), y Silicio (Si). Mientras que la Susceptibilidad magnética muestra un pico máximo que va de los 128 cm a los 118 cm indicando una magnetización del material dentro de la licuefacción provocada por un evento sísmico.

NUC-II-LC-14-12-13, en este núcleo se encontraron dos depósitos de tsunamis que se sitúan en la base de la columna litológica en las unidades I a) que va de los centímetros 136 a los 119 centímetros, presentando una fecha obtenida a través de radiocarbono 14 de 517 $\pm$ 87 Años AD, y la unidad I c) que va de los centímetros 111 a los 97 centímetros, que muestra una fecha de 879 $\pm$ 103 Años AD; estos depósitos de tsunamis están constituidos por material arenoso que interrumpen la secuencia litológica que se compone principalmente de material arcilloso y limoso.

Se infiere que el material arenoso que conforma los depósitos de tsunamis fue transportado desde la línea de costa hasta la zona de deposición en la laguna recorriendo una distancia de 2.57 km, logrando sobrepasar la altura de la barra que separa el océano de la laguna Cuyutlán, que presenta una elevación de 14 metros, indicando que la altura de las olas que generaron estos dos tsunamis fueron mayores a 14 metros.

Geoquímicamente se encontró aumento de TiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , K_2O , MgO , CaO y Na_2O con valores que presentan bajo contenido de COT.

Mineralógicamente se encontró una composición de Albita, Anortita, Pirita, Cristobalita, Calcita, Magnesio-axinita, Halita y Cuarzo; los cuales están apoyados por la Espectroscopía de infrarroja que presenta en los espectrogramas estructuras cristal químicas de SiO_4 , Al - O-H, NO_3 , SO_4 , BO_3 , H-O-H y XOH.

A través del Microscopio Electrónico de Barrido se encontró un espectrograma elemental con Hierro (Fe), Titanio (Ti), Calcio (Ca), Potasio (K), Azufre (S), Aluminio (Al), Magnesio (Mg) y Sodio (Na). Así mismo, la Susceptibilidad magnética presenta dos picos con valores máximos, el primero se observa del centímetro 136 al centímetro 118, y el segundo pico se observa del centímetro 112 al centímetro 98.

NÚC-VI-LC-16-12-13, este núcleo también corresponde a la Laguna Cuyutlán, Colima y de igual forma que el núcleo anterior en este también se encuentran registrados dos depósitos de tsunamis que se sitúan en la base de la columna litológica presentándose en la unidad I; el primer depósito se compone de arena y se encuentra del centímetro 143 al centímetro 139 interrumpiendo la secuencia litológica de material arcilloso quedando un centímetro de espesor de este material, presentando una fecha de 518 $\pm$ 88 Años AD; el segundo depósito se observa del centímetro 138 al centímetro 127, constituido por material arenoso que interrumpen la secuencia litológica que se compone principalmente de material arcilloso y limoso, que se obtuvo una fecha de 1808 $\pm$ 143 Años AD.

Así mismo, también se infiere que el material arenoso que conforma los depósitos de tsunamis fue transportado desde la línea de costa hasta la zona de deposición en la laguna Cuyutlán, recorriendo una distancia de 2.70 km, con olas que sobrepasaron en este punto los 12 metros de elevación de la barra que separa el océano de la laguna Cuyutlán, indicando que la altura de las olas generadas en estos dos tsunamis fueron mayores a 12 metros, y que es probable que estas incursiones marinas en esta zona costera pudieron haber recorrido una distancia mayor a los tres kilómetros dentro de la parte continental.

Geoquímicamente se encontró aumento de TiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , K_2O , MgO , CaO y Na_2O con valores que presentan bajo contenido de COT.

Mineralógicamente se encontró una composición de Albita, Anortita, Pirita, Cristobalita, Calcita, Magnesio-axinita, Halita y Cuarzo; los cuales están apoyados por la Espectroscopía de infrarroja que presenta en los espectrogramas estructuras cristaloquímicas de SiO_4 , Al-O-H , CO_3 , Si-O-Si y H-O-H .

A través del Microscopio Electrónico de Barrido se encontró un espectrograma elemental con Hierro (Fe), Calcio (Ca), Potasio (K), Azufre (S), Aluminio (Al), Magnesio (Mg), Sodio (Na) y Cloro (Cl). Así mismo, la gráfica de Susceptibilidad magnética presenta dos picos con valores máximos hacia la base de la columna litológica que corresponden a los dos depósitos de tsunamis; el primero se observa del centímetro 142 al centímetro 138, y el segundo pico se observa del centímetro 136 al centímetro 126.

NÚC-IV-LC-15-12-13, este núcleo fue extraído de la Laguna La Chacala, Playa del Oro, Colima, en el cual también se encuentra registrado un depósito de tsunami que se sitúa en la base de la columna litológica en la unidad I b); que va del centímetro 80 al centímetro 73, compuesto de material arenoso con abundantes restos de materia orgánica haciendo contacto erosivo en la base que interrumpe la secuencia litológica de material limoso; este depósito de tsunami presenta una fecha de 1815 ± 136 Años AD.

Así mismo, también se infiere que el material arenoso que conforma este depósito de tsunami fue transportado desde la línea de costa hasta la zona de deposición en la laguna, recorriendo una distancia de 0.79 km, mismo que sobrepasó el nivel de la barra con una altura de nueve metros que separa el océano de la Laguna La Chacala, indicando que la altura de la ola probablemente fue la misma que en la laguna Cuyutlán, mayor a los 15 metros de altura; ya que el último evento de tsunami registrado en la Laguna Cuyutlán se correlaciona con éste depósito de tsunami, infiriendo que se trata de un mismo evento que afectó a esta zona costera.

Geoquímicamente se encontró aumento de Al_2O_3 , Fe_2O_3 , K_2O , MgO , CaO y Na_2O con valores que presentan bajo contenido de COT.

Mineralógicamente se encontró una composición de Albita, Anortita, Mexnerita, Zaherita y Philipsita; los cuales están apoyados por la Espectroscopía de infrarroja que presenta en los espectrogramas estructuras cristalquímicas de CO₃, Si-O-Si y H-O-H.

A través del Microscopio Electrónico de Barrido se encontró un espectrograma elemental con Hierro (Fe), Calcio (Ca), Potasio (K), Azufre (S), Fosforo (P), Aluminio (Al), Magnesio (Mg), Sodio (Na) y Titanio (Ti). Así mismo, la gráfica de Susceptibilidad magnética presenta múltiples picos con valores máximos a lo largo de la columna litológica que se asocian a una erosión continental, pero en la base del núcleo en la unidad I b) que va del centímetro 80 al 72, el pico que se presenta corresponde a un depósito de tsunami.

En cuanto a los resultados obtenidos mediante los proxies geoquímicos, mineralógicos, micropaleontológicos y estratigráficos para los núcleos: NÚC-III-LLB-15-12-13, extraído de la Laguna La Boquita, Colima y el NÚC-V-LBN-16-12-13, extraído de la Laguna Barra de Navidad, Jalisco, no presentan ningún cambio que modifique las secuencias litológicas de ambos núcleos, lo cual nos están indicando que no se han visto afectadas por algún evento tsunamigénico; sin embargo, en la cima de la columna litológica del núcleo tres de la Laguna La Boquita, se presenta una fuerte alteración antropogénica mostrando que esta laguna se ha visto afectada por material de relleno.

Mientras tanto, para el núcleo cinco que corresponde a la Laguna Barra de Navidad se observa una fuerte alteración por material que se ha erosionado en la cuenca y que ha sido depositado en la laguna.

Para discernir la probabilidad de que la zona de subducción mexicana sea capaz de generar grandes eventos sísmicos, se enfatiza en la necesidad de realizar más estudios de paleosismicidad que permitan conocer la extensión de estos depósitos de tsunamis y de las evidencias de subsidencia co-sísmica y/o de derrumbes del talud continental.

15- LITERATURA CONSULTADA

Atwater, B.; Moore, A. (1992): "A tsunami about 1000 years ago in Puget Sound, Washington". EN: Science, Vol. 258: 1614-1617.

Atwater, B.F., Cisternas, M., Bourgeois, J., Dudley, W., Hendley L., Stauffer, P. 1999. Surviving a Tsunami Lessons from Chile, Hawaii and Japan. U.S Geological Survey 18 Circular 1187.

Atwater, B.F., Tuttle, M.P., Schweig, E.S., Rubin, C.M., Yamaguchi, D.K., Hemphill-Haley, E. (2004), Earthquake recurrence inferred from paleosismology. *Developments in Quaternary Science (1)*: 331-350p.

Allan, J. F. (1986). Geology of the Colima and Zacoalco Grabens, southwest Mexico: Cenozoic rifting in the Mexican Volcanic Belt, Bull. Geol. Soc. Am. 97, 473-485.

Allan, J. F., S. A. Nelson, J. F. Luhr, I. S. E. Carmichael, M. Wopat, and P. J. Wallace (1991). Pliocene Recent rifting in SW México and associated volcanism an exotic terrane in the making in Dauphin, P. J. and Simoneit B. R. T. eds., The Gulf and Peninsular province of the Californias; American Association of Petroleum Geologists Memoir 47, 425-445.

Anderson, R. S. y Menking, K. M. (1994), The Quaternary marine terraces of Santa Cruz, California: evidence for coseismic uplift on two faults. *Geological society of America, Bulletin* 106: 649-664p.

Atwater, T. (1970). Implications of Plate Tectonics for the Cenozoic Tectonic Evolution of Western North America, Bull. Geol. Soc. Am., 81, 3513-3536.

Bandy, W. L. (1992). Geological and geophysical investigation of the Rivera-Cocos plate boundary: implications for plate fragmentation, Ph. D. Thesis, Texas A&M University, College Station, Texas, 195.

BANDY, W.L., C. A. MORTERA-GUTIERREZ AND J. URRUTIA-FUCUGAUCHI, 1993. Gravity field of the Southern Colima graben, Mexico. *Geofis. Int.* 32, 561-567. Special Issue on the Colima Volcano, A. L. Martin del Pozzo and M. Sheridan (Guest Editors).

Bandy, W. y M. Pardo (1994). Statistical examination of the existente and relative motion of the existente and southern México blocks, *Tectonics*, 13, 755-768.

Bandy, W., Mortera-Gutierrez, C., Urrutia-Fucugauchi, J., and Hilde, T. W. C., 1995, The subducted Rivera-Cocos plate boundary: Where is it, and what is its relationship to the Colima rift?: *Geophysical Research Letters*, v. 11, p. 59-65.

Bloom, A.L. (1998), *Geomorphology: A Systematic Analysis of Late Cenozoic Landforms*. 3ª. Ed. Prentice-Hall, Inc 482 p.

Blanchet, C.L., Thouveny, N., Vidal, L., Leduc, G., Tachikawa, K., Bard, E., Beaufort, L., (2007). Terrigenous input response to glacial/interglacial climatic variations over southern Baja California: a rock magnetic approach, *Quaternary Science Reviews* 26, 3, 118-3,133.

Bradbury J. P., 2000. Limnologic history of lake of Patzcuaro, Michoacán, Mexico for the past 48,000 years: impacts of climate and man. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 163, 69-95 pp.

Kelly M. G. Cazaubon A., Coring E., Dell'Uomo A., Ector L., Goldsmith B., Guasch H., Hürlinmann J., Jarlman A., Kawecka B., Kwandrans J., Laugaste R., Lindstrom E.-A., Leitao M., Marvan P., Padisák J., Pipp E., Prygiel J., Rott e., Sabater S., Van Dam H. and Vizinet J. 1998. Recommendations for the routine sampling of diatoms for water quality assessments in Europe. *Journal of Applied Phycology*. Vol. 10, no. 2. 215-224 pp.

Bandy, W. L., F. Michaud, J. Bourgois, T. Calmus, J. Dymont, C. A. Mortera-Gutiérrez, J. OrtegaRamírez, B. Pontoise, J.-Y. Royer, B. Sichier, M. Sosson, M. Rebolledo-Vieyra, F. Bigot-Cormier, O. Díaz-Molina, A. D. Hurtado-Artunduága, G. Pardo-Castro, and C. Trovillard-Perrot, (2005). Subsidence and strike-slip tectonism of the upper continental slope off Manzanillo, México, *Tectonophysics*, 398, 3-4, 115-140.

Catálogo de Tsunamis (Maremotos) en la Costa Occidental de México. Por ANTONIO J. SÁNCHEZ DEVORA, Estación Oceanográfica de Ensenada, B.C., Secretaría de Marina de México y SALVADOR F. FARRERAS SANZ, División Oceanográfica, Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Baja California, México. Enero 1993. Publicado por: UNITED STATES DEPARTMENT OF COMMERCE, National Oceanic and Atmospheric Administration, NATIONAL ENVIRONMENTAL, SATELLITE, DATA, AND INFORMATION SERVICE, National Geophysical Data Center, Boulder, Colorado 80303-3328, U.S.A.

Cisternas, A., Araneada, A. y Contreras, I. (2000), Reconocimiento y caracterización de las facies sedimentarias depositadas por el tsunami de 1960 en el estuario Maullín, Chile. *Revista Geológica de Chile*, 27(1): 3-11p.

Cundy, A. B.; Kortekaas, S.; Dewez, T.; Stewart, I. S.; Collins, P. E. F.; Croudace, I. W.; Maroukian, H.; Papanastassiou, D.; Gaki-papanastassiou, P.; Pavlopoulos, K. & DAWSON, A. Coastal wetlands as recorders of earthquake subsidence in the Aegean: a case study of the 1894 Gulf of Atlanti earthquakes, central Greece. *Marine Geology*, 2000, N° 170, p. 3-26.

Cortés, A., V. H. Garduño-Monroy, C. Navarro-Ochoa, J. C. Komorowsk, R. Saucedo, J. L. Macias, J. C. Gavilanes (2005). Cartas Geológicas y Mineras 10. Carta Geológica del Complejo Volcánico de Colima, México, D.F., Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología. Escala 1:10,000, mapa con texto explicativo 37, 15.

Corona N., and Ramírez-Herrera, M.T., 2012a, Mapping and historical reconstruction of the great Mexican 22 June 1932 tsunami: *Natural Hazards and Earth System Sciences*, v.12, no.5, 1337-1352. doi: 10.5194/nhess-12-1337-2012

Chagué-Goff, C., Dawson, S., Goff, J., Berryman, K., Garnett, D., Waldron, H., & Mildenhail, D. (2002). A tsunami (Ca. 6300 years BP) and other Holocene environmental changes, Northern Hawks Bay, New Zealand. *Sedimentary Geology* 150:89-102.

Chague-Goff, C. & Goff, J. R. (1999), Geochemical and sedimentological signature of catastrophic saltwater inundations (tsunamis), New Zealand. *Quaternary Australasia*. No. 17, p. 38-48.

Cheal, E. P. y G. S. Stewart (1982). Recent large earthquake along the Middle American Trench and their implications for the subduction process, *J. Geophys. Res.*, 87(B1), 329-338.

Cohen, J.E. y Small, C. (1998), Hypsographic demographic: The distribution of human population by altitude. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 95:14009-14014p.<http://www.pnas.org/content/95/24/14009.full.pdf> (acceso: 04/2013).

Cohen, A.S. (2003). *Paleolimnology: The history and evolution of lake systems*. Oxford University Press, New York.

Clague, J.; Bobrowsky, P. (1994): "Evidence for a large earthquake and tsunami 100-400 years ago on Western Vancouver Island, British Columbia". EN: *Quaternary Research*, 41: 176-184.

Clague, J.; Bobrowsky, P.; Hutchinson, I. (2000): "A review of geological records of large tsunamis at Vancouver Island, British Columbia, and implications for hazard". EN: *Quaternary Science Reviews*, 19(9): 849-863.

Clague, J.; Bobrowsky, P. (1999): "The geological signature of great earthquakes off Canada's west coast". EN: *Geoscience Canada*, 26: 1-15.

Clifton, H. 1988. Sedimentologic relevance of convulsive geologic events. *Geological Society of America Special paper* 229: 1-6.

Cisternas, M., Atwater, B. F., Torrejon, F., Sawai, Y., Machuca, G., Lagos, M., Eipert, A., Youlton, C., Salgado, I., Kamataki, T., Shishikura, M., Rajendran, C. P., Malik, J. k., Riza, Y., Husni, M. (2005), Predecessors of the giant 1960 Chile earthquake. *Nature*, 437:404-407p.

Cooper, S.R. (1999), Estuarine paleoenvironmental reconstructions using diatoms. En: Stoermer, E.F. y Smol. J.P. (eds.) *The diatoms: applications for the environmental and earth sciences*, Cambridge University Press. 352-373p.

- Dean, B. W. and C. L. Drake (1978). Focal mechanism solutions and tectonics of the Middle America arc. *The Journal of Geology*, 86, 111-128.
- DeMets, C., Gordon, R. G., Argus, D. F. and S. Stein, (1994). Effect of recent revisions to the geomagnetic reversal time scale on estimates of current plate motions, *Geophys. Res. Lett.*, 21, 2191-2194.
- Dabrio G. C. J. Polo D. (2005). Registro estratigráfico de tsunamis. Enseñanza de las ciencias de la tierra: Revista de la Asociación Española para la enseñanza de las ciencias de la tierra, ISSN 1132-9157, Vol. 13, nº 1, 2005, pags. 37-45.
- DeMets, C. y S. Stein (1990). Present-day Kinematics of the Rivera Plate and Implications for Tectonics in Southwestern Mexico, *J. Geophys. Res.*, 95, 13 931-21,948.
- DeMets, C., R. G. Gordon, D. F. Argus, and S. Stein, (1990). Current plate motions, *Geophys. J. Int.*, 101, 425-478.
- DeMets, C. and D. S. Wilson (1997). Relative motions of the Pacific, Rivera, North American, and Cocos plate since 0.78 Ma. *J. Geophys. Res.*, 102, B2, 2789-2806.
- DeMets, C. and S. Traylen (2000). Motion of the Rivera plate since 10 Ma relative to the Pacific and North American plates and the mantle, *Tectonophysics*, 318, 119-159.
- Denys, L. y De Wolf, H. (1999), Diatoms as indicators of coastal paleoenvironments and relative sea-level change. En: Stoermer, E. F. y Smol, J.P. (eds.). *The diatoms: applications for the environmental and Earth Sciences*. Cambridge University Press. 277-297p.
- Eissler, H. K. and McNally K. C. (1984). Seismicity and tectonics the Rivera plate and implications for the 1932 Jalisco, Mexico, earthquake, *J. Geophys. Res.* 89, B6, 4520-4530.
- Emeis, K.-Ch., Struck, U., Blanz, T Kohly, A., VoB, M. (2003) Salinity changes in the central Baltic Sea (NW Europe) over the last 10 000 years. *The Holocene*, 13(3): 411-421p.
- Einsele, G., Chough, S.k. & Shiki, T., 1996. Depositional events and their records-an introduction . *Sedimentary Geology* 104:1-9 P.
- Farreras Salvador F., Domínguez Mora Ramón, & Gutiérrez M. Carlos A. (2005), "Tsunamis. Serie Fascículos.", 2a. Edición, CENAPRED, México, ISBN: 970-628-875-9
- Ferrari, L., G. Pasquaré, S. Venegas, D. Castillo, and F. Romero (1994). Regional tectonics of western Mexico and its implications for the northern boundary of the Jalisco Block: *Geofis. In.*, 33, 139-151.
- Ferrari, L. (1995). Miocene shearing along the northern boundary of the Jalisco Block and the opening of the southern Gulf of California. *Geol. Soc. of Am.*, 23, 8, 751-754.

Ferrari, L. and J. Rosas-Elguera (2000). Late Miocene to Quaternary extensión at the northern boundary of Jalisco Block, western Mexico: the Tepic-Zacoalco rift. Tectonics and Volcanism of Mexico. *Geol. Soc. of Am., Special Paper*, 334, 42-64.

Ferrari, L., (2004). Slab detachment control on mafic volcanic pulse and mantle heterogeneity in central Mexico, *Geology*, 32, 1, 77-80.

Frey, M., R. A. Lange, C. M. Hall, H. Delgado-Granados and S. E. Carmichael (2007). Al Pliocene ignimbrite flare-up along the Tepic-Zacoalco rift: Evidence for initial stages of rifting between the Jalisco Block (Mexico), and North America. *Geol. Soc. of Am. Bull.*, 119, 1, 2, 49-64.

Garduño-Monroy, V.H., Saucedo, G.R., Zenón, J., Gavilanez-Ruíz, J. C., Cortés-Cortés A. y Uribe-Cifuentes, M. R. (1998). La falla Tamazula, límite Suroriental del Bloque Jalisco, y sus relaciones con el Complejo Volcánico de Colima, México. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, volumen 15, número 2, p 132-144

García A. V. and Suarez. R. G. (1996), Earthquakes in Mexico's History (Hordcover) ISBN-10: 9681648749 – ISBN-13: 9789681648749

Gasse, F. 1980. Les Diatomées Lacustres Plio-Pléistocènes du Gabeb (Ethiopie) Systematique, Paléoécologie, Biostratigraphie. Pp. 83.

Gorbatov, A. and Y. Fukao (2005). Tomographic search for missing link between the ancient Farallon subduction and the present Cocos subduction, *Geophys. J. Int.*, 160, 849-854.

Gómez-Tuena, A. , Langmuir, CH, Goldstein, SL, Straub, SM y Ortega-Gutiérrez, F. 2007. evidencia geoquímica para la fusión de corteza oceánica en la Faja Volcánica Transmexicana . *Diario de Petrología*, 48: 537-562, doi: 10.1093/petrology/egl071.

Goff, J., Chagué Goff C., Dominey H. D., McAdoo, B., Cronin, S., Bonte G., M., Nichol, S., Horrocks, M., Cisternas, M., Lamarche, G., Pelletier, B., Jaffe, B., Dudley, W. 2011, Paleotsunamis in the Pacific Islands. *Earth Sciense Reviews*, 107:141-146p.

Garduño-Monroy V. H., R. Saucedo-Girón, Z. Jiménez, J. C. Gavilanes-Ruíz, A. Cortés-Cortés y R. M. Uribe-Cifuentes (1998). La falla de Tamazula, límite Suroriental del Bloque Jalisco, y sus relaciones con el complejo volcánico de Colima, México, *Rev. Mex. C. Geol.*, 15, 2, 132-144.

Horton, B.P., Zong, Y., Hillier, C., Engelhart, S. (2007), Diatoms from Indonesian mangroves and their suitability as sea-level indicators for tropical environments. *Marine Micropaleontology*, 63:155-168p.

Holland, G. J. and Webster (2007): Heightened tropical cyclone activity in the North Atlantic: natural variability or climate trend? *Phil. Trans. R. Soc. A* doi: 10. /09/rsta. 2007-2083.

Hemphill-Haley, E. y Lewis, R.C. (2003), Diatom data from Bradley Lake, Oregon: downcore analyses. *U.S. Geological Survey, Open-File Report 03-190*.

Hutchinson, I. y Attenbrow, V. (2009), Late-Holocene mega-tsunamis in the Tasman Sea: an assessment of the coastal archaeological record of New South Wales. *The Holocene*, 19(4): 599-609p.

Hutchinson, I.; Mcmillan, A. (1997): "Archaeological Evidence for Village Abandonment Associated with Late Holocene Earthquakes at the Northern Cascadia Subduction Zone". EN: *Quaternary Research*, 48(1): 79-87.

Hssan, S.G., Espinosa, A.M., Isla, I.F. (2008), Fidelity of dead diatom assemblages in estuarine sediments: how much environmental information is preserved? *PALAIOS*, 23:112-120P.

Israde A. I. 1995. "Bacini Lacustri del Settore Central dell Arco Vulcanico Messicano: Stratigrafia ed Evoluzione Basata Sulle Diatomee".

Tesis Doctoral, Universidad de Milano, Italia.

INEGI (2011), Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Carta de uso de suelo y vegetación, 1:250000. México.

http://mapserver.inenegi.gob.mx/geografía/español/estados/agr_veget.cfm?c=1215&e=12&CFID=1397586&CFTOKEN=68536755.

Johnson, C. A. y C. G. A. Harrison (1990). Neotectonics in Central Mexico, *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 64, 187-210.

Jankaew, K., Atwater, B.F., Sawai, Y., Choowong, M., Charoentitirat, T., Martiin, M.E. y Prendergast, A. (2008), Medieval forewarning of the 2004 Indian Ocean tsunami in Thailand. *Nature*, 455: 1228-1231p.

Kemp, A.C., Horton, B.P., Corbett, D.R., Culver, S.J., Edwards, R.J., Van de Plassche, O. (2009), The relative utility of foraminifera and diatoms for reconstructing late Holocene sea-level change in North Carolina, USA. *Journal of Quaternary Research*. 71:9-21p.

Kanamori, H. 1977. The Energy Release in Great Earthquakes. *Journal of Geophysical Research*, 82 (20): 2981-2987p.

Kanamori, H. 1978, Quantification of Earthquakes. *Nature*, 271 (5644): 411-414p.

Kanamori, H. 1983. Global Seismicity (LXXXV Corso). En: *Earthquakes: Observation, Theory and Interpretation*. Kanamori, H. y Boschi, E. Ediciones. North Holland, Amsterdam. 596-608p.

Kanamori., H. 2006, Lessons from the 2004 sumatra-Andaman earthquake. The Royal Society. Mathematical, physical & Engineering sciences 364:1927-1945p.

Kostoglodov, V. and W. Bandy (1995). Seismotectonic constraints on the convergence rate between the Rivera and North American plates, J. Geophys. Res., 100, 17, 977-989.

Last, W. & Smol, J. (2011). El seguimiento de cambios ambientales utilizando sedimentos lacustres. Vol. 2: métodos físicos y geoquímicos. Ámsterdam, Kluwer Academic Publisher.

Lozano-García MS, Vázquez-Castro G, Israde-Alcantara I. 2010. “Registro Palinológico de la perturbación humana y natural de los últimos 3200 años en el Lago de Zirahuen, Centro-occidente de México. Quat Res.

Long, A. J. & Shennan, I., Sea-Level Changes in Washington and Oregon and the ‘Earthquake Deformation Cycle. Journal of Coastal Research, 1994, N° 10, p. 825-838.

Luhr, J. F., Nelson, S. A., Allan., J. F., & Carmichael, I. S. E. (1985), Active rifting in southwestern Mexico: Manifestations of an incipient eastward spreading-ridge jump. *Geology*, 13 (1), 54-57.

Lagos M., & Cisternas, M. (2008). El Nuevo Riesgo de Tsunami considerado el peor escenario. In *Actas del X Coloquio Internacional de Geografía: Diez años de cambios en el mundo, en la geografía y en las ciencias sociales, 1999-2008, Barcelona*.

Lagos, M., & Cisternas, V. M. 2004. Depósitos de Tsunami como indicadores de riesgo: evidencias sedimentarias. *Revista Geográfica de Chile Terra Australis* 49: 329-351p.

Leal V. Karellys A. y Scremin L. Luis D. 2011. Trabajo especial de grado: Paleotsunamis en el registro geológico de Cumaná, Estado Sucre, Venezuela Oriental. Universidad Central de Venezuela.

León-Soto G., J. F. Ni, S. P. Grand, E. Sandvol, R. W. Valenzuela, M. Guzmán-Speziale, J. M. GómezGonzález and Tonatiuh Domínguez Reyes, (2009). Mantle flow in the Rivera-Cocos subduction zone, *Geophys. J. Int.*, doi. 10.1111/j.1365-246X.2009.04352.x.

Metcalf S. E. 1994. Estudios de diatomeas en la Cuenca de Zacapu, Michoacán: punto 1 y punto 4. En Petrequin P. 8,000 años de la Cuenca de Zacapu. Evolución de los paisajes y primeros desmontes. Cuadernos de estudios Michoacanos 6. 99-112 pp.

Mejía, A. C. (2015). Estudio de Depósitos de Tsunamis en la Laguna el Potosí, Petatlán, Guerrero. Tesis de maestría. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Morelia, Michoacán.

Michaud, F., J. Royer, J. Bourgois, B. Mercier de Lepinay and G. P. Liaudon (1997). The Rivera fracture zone revisited, *Marine Geology*, 137, 3-4, 207-225.

McMurtry, G., P. Watts, G. Fryer, J.R. Smith y F. Imamura., 2004. Giant landslides, megatsunamis and paleo-sea level in the Hawaiian islands. *Marine Geology* 203:219-233.

Minster, J. B. and T. H. Jordan (1978). Present day plate motions, *J. Geophys. Res.*, 83, 5331-5353.

Minoura K., Gusiakov, V.G., Kurbatov, A., Takeuti, S., Svendsen, JT., Bondevik, S., Oda, T. (1996), Tsunami sedimentation associated with the 1923 Kamchatka Earthquake sedimentary Geology, 106: 145-154p.

Minoura K. Nakaya, S., Uchida, M. (1994). Tsunami deposits in a lacustrine sequence of the Sanriku coast, Northeast Japan. *En Sedimentary Geology*, 89: 25-31.

Monecke, K., Finger, W., Klarer, D., Kongko, W., McAdoo, B., Moore, L.A., Sudrajat, U.S. (2008), A 1,000 –year sediment record of tsunami recurrence in northern Sumatra. *Nature*, 455: 1232-1234p.

Morton, Robert A., Gelfenbaum, Guy, Jaffe, Bruce E., Physical criteria for distinguishing sandy tsunami and storm deposits using modern examples, *Sedimentary Geology* (2007), doi: 10.1016/j.sedgeo.2007.01.003.

Mimura, N., Yasuhara, K., Kawagoe, S., Yokoki, H., & Kasama, S. (2011). Damage from the great East Japan Earthquake and tsunami – A quick report. *Mitigation and adaptation Strategies for global Change*, 16 (7), 803-818.

Margalef, R. 1983. Cao. 20. Sedimentos, bentos profundo y paleolimnología. In. *Limnología ediciones*. Ediciones Omega S. A. Barcelona, España. Pp. 919-926.

Marquez, A., Senior W., Martínez, G. y González A., 2007. Concentraciones de nitrógeno y fosforo en sedimentos recientes de la laguna Los Patos, estado Sucre, Venezuela. *Bol. Oceanográfico de Venezuela* 46 (2): 137-145.

Nanayama, F. Furukawa, R., Shigeno, K., Makino, A., Shoeda, Y. y Igarashi, Y., 2007. Nine Unusually large tsunamis deposits from the past 4000 years at Kiritappu marsh along the Southern Kuril trench. *Sedimentary Geology* 200: 275-294.

Núñez-Cornú, F. J. and C. Sánchez-Mora (1999). Stress field estimations for Colima volcano, Mexico, based on seismic data, *Bull. Volcanol*, 60, 568-580.

Núñez-Cornú F. J., G. A. Reyes-Dávila, M. Rutz-López, E. Trejo-Gómez, M. A. Camarena-García and C. A. Ramírez-Vázquez. (2004). The 2003 Armería Earthquake (Mw 7.4): Mainshock and Early Aftershocks, *Seism. Res. Lett.*, 75, 6, 734-743.

Nieto-Obregón J., J. Urrutia-Fucugauchi, E. Cabral-Cano and Guzmán de la Campa (1992). Listric faulting and continental rifting in western Mexico A paleomagnetic and structural study, *Tectonophysics*, 208, 365-376.

Nixon, G., T. (1982). The relationship between Quaternary volcanism in central Mexico and the seismicity and structure of subducted ocean lithosphere. *Geological Society of America Bulletin*, 93(6), 514-523.

Novosibirsk Tsunami Laboratory (NTL). (2011). Historical Tsunami Database for the World Ocean (HTDB/WLD). In (2011 ed.). Institute of computational Mathematics and Mathematical Geophysics SB RAS, Novosibirsk, Russia.

Shiki, T., Tsuji Y., Yamazaki, T. & Minourak., 2008. *Tsunamiites: Feature and implications*. Oxford: Elsevier.

Stuiver, M. & Reimer, P. J. (1993). Extended ^{14}C data base and revised calib 3.0 ^{14}C age calibration program. *Radiocarbon* 35, 215-230.

Perez-Campos X., Y. H. Kim, A. Husker, P. M. Davis, R. W. Clayton, A. Iglesias, J. F. Pacheco, S. K. Singh, V. C. Manea and M. Gurnis (2008). Horizontal subduction and truncation of the Cocos Plate beneath central Mexico, *Geophys. Res. Lett.*, 35, L18303.

Pacheco, J. F., S. K. Singh, J. Domínguez, A. Hurtado, L. Quintanar, Z. Jiménez, J. Yamamoto, C. Gutierrez, M. Santoyo, W. Bandy, M. Guzmán, V. Kostoglodov, G. Reyes and C. Ramírez (1997). The October 9, 1995 Colima-Jalisco, Mexico earthquake (Mw 8): an aftershock study and a comparison of this earthquake with those of 1932, *Geophys. Res. Lett.*, 24, 2223-2226.

Pacheco J. F, W. Bandy, G. A. Reyes-Dávila, F. J. Núñez-Cornú, C. A. Ramírez-Vázquez, and J. R. Barrón (2003). The Colima, México, Earthquake (Mw 5.3) of 7 de March 2000: Seismic activity Along the Southern Colima Rift. *Bull. Seism. Soc. Am.*, 93, 4, 1458-1467.

Pardo, M and G. Suárez (1993). Steep subduction geometry of the Rivera plate beneath the Jalisco block in western Mexico, *Geophys. Res. Lett.*, 20, 2391-2394.

Pardo, M and G. Suárez (1995). Shape of the subducted Rivera and Cocos plates in southern Mexico: Seismic and tectonic implications, *J. Geophys. Res.*, 100, 12, 373-12.373.

Paris, R., Lavigne, F., Wassmer, P. & Satohadi, J. (2007). Coastal sedimentation associated with the December 26, 2004 tsunami in Lhok Noha, west Banda Aceh (Sumatra, Indonesia). *Marine Geology* 238: 93-106.

Pinegina, T.K., Bourgeois, J., Bazanova, L.I., Melekestsev, I.V. & Braitseva, O.A. 2003. A millennial-scale record of Holocene tsunamis on the Kronotskiy Bay coast Kamchatka, Russia. *Quaternary Research*, 59:36-47p.

Pozo, M., Carretero, M., Ruíz, F., Rodríguez, J., Cáceres, L. & Abad, M. (2008). Caracterización mineralógica de facies sedimentarias de edad Pleistoceno superior Holoceno en el Parque Nacional de Doñana (Huelva). Implicaciones paleoambientales. *Geotemas*: 953-956.

Quintero-Legorreta, O., F. Michaud, J. Bourgeois, y E. Barrier (1992). Evolución de la frontera septentrional del bloque de Jalisco, México, desde hace 17 Ma. Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Revista, 10, 111-117.

Rev. mex. Geo. Vol. 30. No. 2 Mexico ago. 2013, Subduction of the Rivera plate beneath the Jalisco block as imaged by magnetotelluric data. Fernando Corbo-Camargo, Jorge Arturo Arzate-Flores, Román Álvarez-Béjar, José Jorge Aranda-Gómez, and Vsevolod Yutsis.

Risz, Erwin, (1964), Landforms of Mexico: Cambridge, Mass., U. S. Office of Naval Research, Geography Branch, mapa con texto, esc. 1:3,000,000, 2ª ed.

Ramírez-Herrera, M. T., y Urrutia-Fucugauchi, J. (1999), Morphotectonic zones along the coast of the Pacific continental margin, southern Mexico. *Geomorphology*, 28:237-250p.

Ramírez H. M.T., Cundy A.B., Kostoglodov, V., Ortiz M 2009, late Holocene tectonic level changes and tsunamis at Mitle lagoon, Guerrero, Mexico. *Geofísica Internacional*, 48 2:195-209p.

Ramírez, H., M.T., Cundy, A., Kostoglodov, V., Carranza-Edwards, A., Morales, E., Metcalfe, S. 2007. Sedimentary record of late Holocene relative sea level change and tectonic deformation from the Guerrero Seismic Gap, Mexican Pacific Coast the Holocene, 17,8: 1211-1220p.

Ramírez H., M.T 2011, Evidencias ambientales de cambios del nivel de la costa del Pacífico de México: terremotos y tsunamis. *Revista de Geografía Norte Grande* 48:1-29p.

Ramírez-Herrera, M. T., Kostoglodov, V., & Urrutia-Fucugauchi, J. (2010). Overview of Recent Coastal Tectonic Deformation in the Mexican Subduction Zone. *Pure and Applied Geophysics, Manuscript Number* PAAG-320.

Ramírez-Herrera, M. T., Corona, N., Lagos, M., Cerný, J., Goguitchaichvili, A. Goff, J., Chagué-Goff, C., Machain, Ma. L., Zawadzki, A., Jacobsen, G., Carranza-Edwards, A., Lozano, S. and Blecher, L. (2014). Unearthing earthquakes and their tsunamis using multiple proxies: the 22 June 1932 event a probable fourteenth-century predecessor on the Pacific coast of Mexico.

R.R., Lankford, "Coastal lagoons of Mexico. Their origin and clasification", en M.L. Wiley, (Ed.) *Estuarine processes*, Academie Press. Inc., New York, 2: pp. 182-215, 1977.

Rutz-López M. y F. J. Núñez-Cornú (2004). Sismotectónica del Norte y Oeste del Bloque de Jalisco usando datos sísmicos regionales, *GEOS*, 24, 1, 2-13.

Razo-Perez, N. 2007. Caracterización y posibles aplicaciones de los yacimientos de diatomeas en la región de Cuitzeo, Michoacán, México. Tesis de maestría, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Morelia Michoacán, Mexico. 107 pp.

Rosas-Elguera, J., L. Ferrari, V.H. Garduño-Monroy and J. Urrutia-Fucugauchi (1996). Continental boudaries of the Jalisco Block and the their influence in the Pliocene-Quaternary kinematics of western Mexico, *Geology*, 24, 10, 921-924.

Rosas-Elguera, J. and Urrutia Fucugauchi, J. (1998). Tectonic control of the Volcano-Sedimentary Sequence of the Chapala Graben, western Mexico, international *Geology Review*, 40, 350-362.

Roy P. D. M. Caballero, R. Lozano, T. Pi y O. Morton. 2009. Lake Pleistocene-Holocene geochemical history inferred from Lake Tecocomulco sediments, Basin of Mexico, Mexico. *Geochemical Journal*. Vol. 43: 49-64p.

Roy, P. D, Jonathan MP. Ma. Macías MC, Sánchez J.L, Lozano, R. Srinivasalu S. (2012). Geological characteristics of 2011 Japan tsunami in the Southwestern coast of Mexico. *Chemie der Erde-Geochmistry* 72, 1:91-95.

Soria-Caballero, C. D., 2010. Estudio Bioestratigráfico y Mirneralógico de la Ciénega de Zacapu, Michoacán. Tesis de maestría. Instituto de Investigaciones Metalúrgicas, departamento de Geología. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Morelia, Michoacán, México. 144p.

Suárez, G.; Montfret, T.; Wittlinger, G. & David, C. Geometry of subduction and depth of the seismogenic zone in the Guerrero Gap, Mexico. *Nature*, 1990, N° 345, p. 336-338.

Stock, J. M. (1993). Tectónica de placas y la evolución del Bloque de Jalisco, México, *GEOS*, Bol. UGM, 13, 3-9.

Satake K., Okal, E. A., & Borrero, J. C. (2007). Tsunami and its Hazard in the Indian and Pacific Oceans: Introduction. *Pure and Applied Geophysics*, 164 (2), 249-259.

Singh, S. K., Astiz, L., & Havskov, J. (1981). Seismic gaps and recurrence periods of large earthquakes along the Mexican subduction zone: A reexamination. *Bulletin of the seismological Society of America*, 71 (3), 827-843.

Singh, S. K., Ponce, L., & Nishenko, S. P. (1985). The great Jalisco, Mexico, earthquakes of 1932: Subduction of the Rivera plate. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 75 (5), 1301- 1313.

Stein S. (2006). Limitations of a young science. *Seismological Research Letters*, 77 (3), 351-353.

Schmitt S. V., Charles De Mets, J. Stock, O. Sánchez, B. Márquez-Azúa y G. Reyes (2007). A geodetic study of the 2003 January 22 Tecmán, Colima, Mexico earthquake. *Geophys. J. Int.*, 169, 389-406.

Taffs, K.H. (2001) Diatoms as indicators on salinity in the upper South East of South Australia. *The Holocene*, 11(3): 281-290p.

Thompson R., R. W. Bttarbe, P.E. O ´Sullivan, F. Oldfiel. 1975. Magnetic susceptibility of lake sediments. *Limnology Oceanography* 20: 687-698.

Thompson R.e., Oldfield. 1986. Environmental Magnetism. Allen and Unwin, Londres.

Urrutia-Fucugauchi, J. and J. Rosas-Elguera (1994). Paleomagnetic study of the Eastern sector of Chapala lake and implicatios for the tectonics of west-central Mexico, *Tetonophysics*, 239, 61-71.

Urrutia-Fucugauchi, J. y González-Morán T., (2006). Estructural pattern at the north western sector of the Tepic-Zacoalco rift and tectonic implications for the Jalisco Block, western Mexico, *Earth Planet Space*, 58, 1302-1308.

Valdes-González, C. y Novelo-Casanova, A (1998), The western Guerrero, Mexico, seismogenic zone from the microseismicity associated to the Petatlan 1979 Petatlan and 1985 Zihuatanejo earthquakes. *Tectonophysics*, 287:271-277p.

Vázquez C. G. 2004. “Caracterización de los sedimentos del Holoceno Tardío del Lago de Santa María del Oro, Nayarit, Utilizando Métodos de Magnetismo Ambiental” Tesis de Maestría. Instituto de Geofísica UNAM. 153 pp.

Wassmer, P., Schneider, J. L. Fronfrége, A. V. Lavigne, F., Paris, R., & Gómez, C., 2010. Use of anisotropy of magnetic susceptibility (AMS) in the stdudy of tsunami deposits: Application to the 2004 deposit on the eastern coast of Banda Aceh, Noth Sumatra, Indonesia: *Marine Geology*, v. 275, p. 225-272. Doi:10.1016/j.margeo.2010.06.007.

Yang, T., S. P. Grand, D. Wilson, M. Guzman-Speziale, J. M. Gómez-González, T. Dominguez-Reyes and J. Ni (2009). Seismic structure beneath the Rivera subduction zone from finite-frequency seismic tomography, *J. Geophys. Res.*, 114, B01302.

0.1 <http://mapserver.inegi.gob.mx/geografía/español/estados/col/geolo.cfm>.

02. <http://www.geologia.unam.mx/igl/index.php/parks/laboratorios/laboratorios-de-geoquimica/fluorescencia-de-rayos-x/631-metodos-analiticos-empleados>.
03. www.radiocarbon.com/espa%F1ol/carbono-datacion-conchas.htm

16- ANEXOS

16.1 Anexo I de Difracción de Rayos X

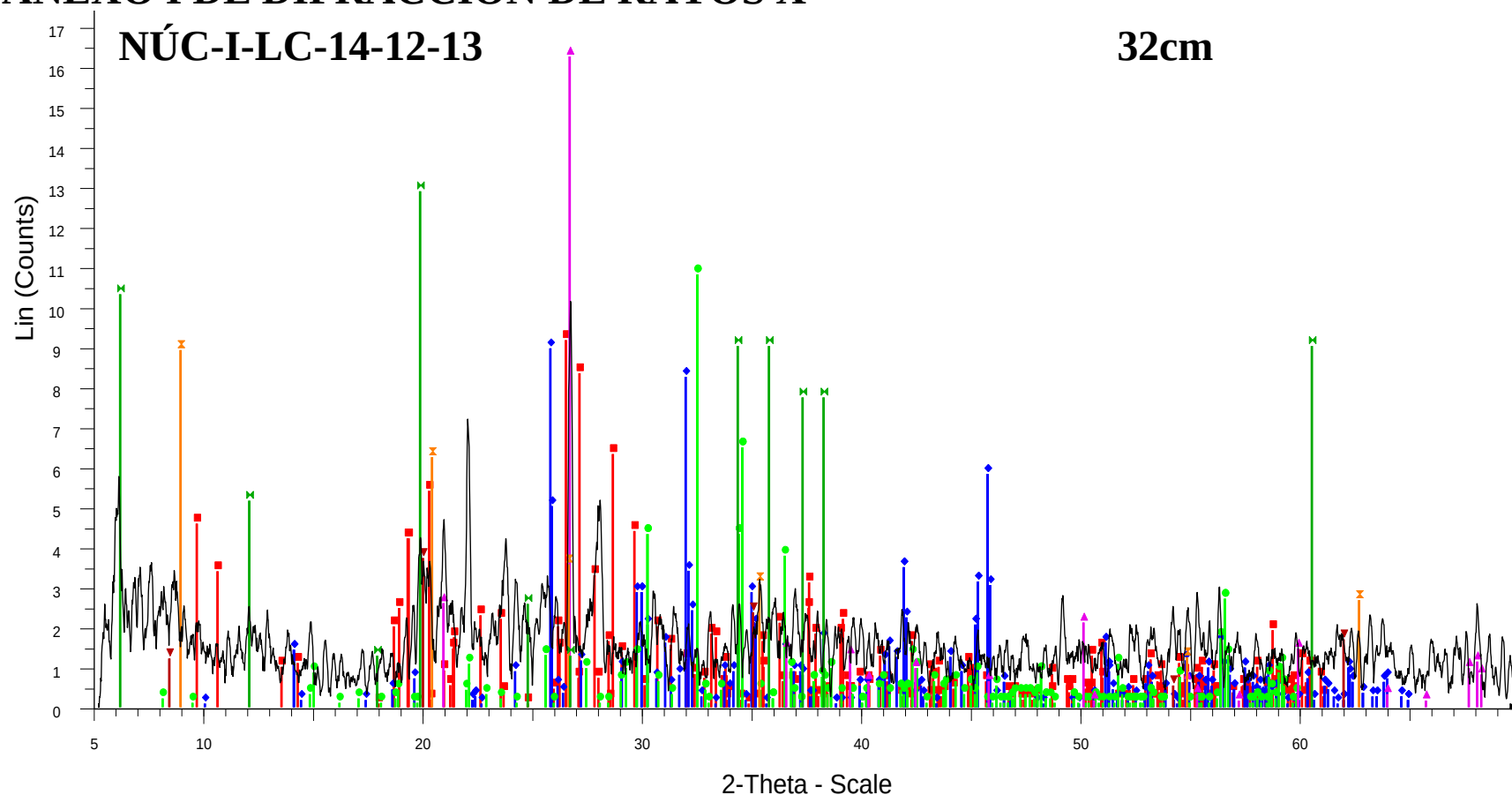
16.2 Anexo II de Espectroscopía de Infrarroja

16.3 Microscopia Electrónica de Barrido

ANEXO I DE DIFRACCIÓN DE RAYOS X

NÚC-I-LC-14-12-13

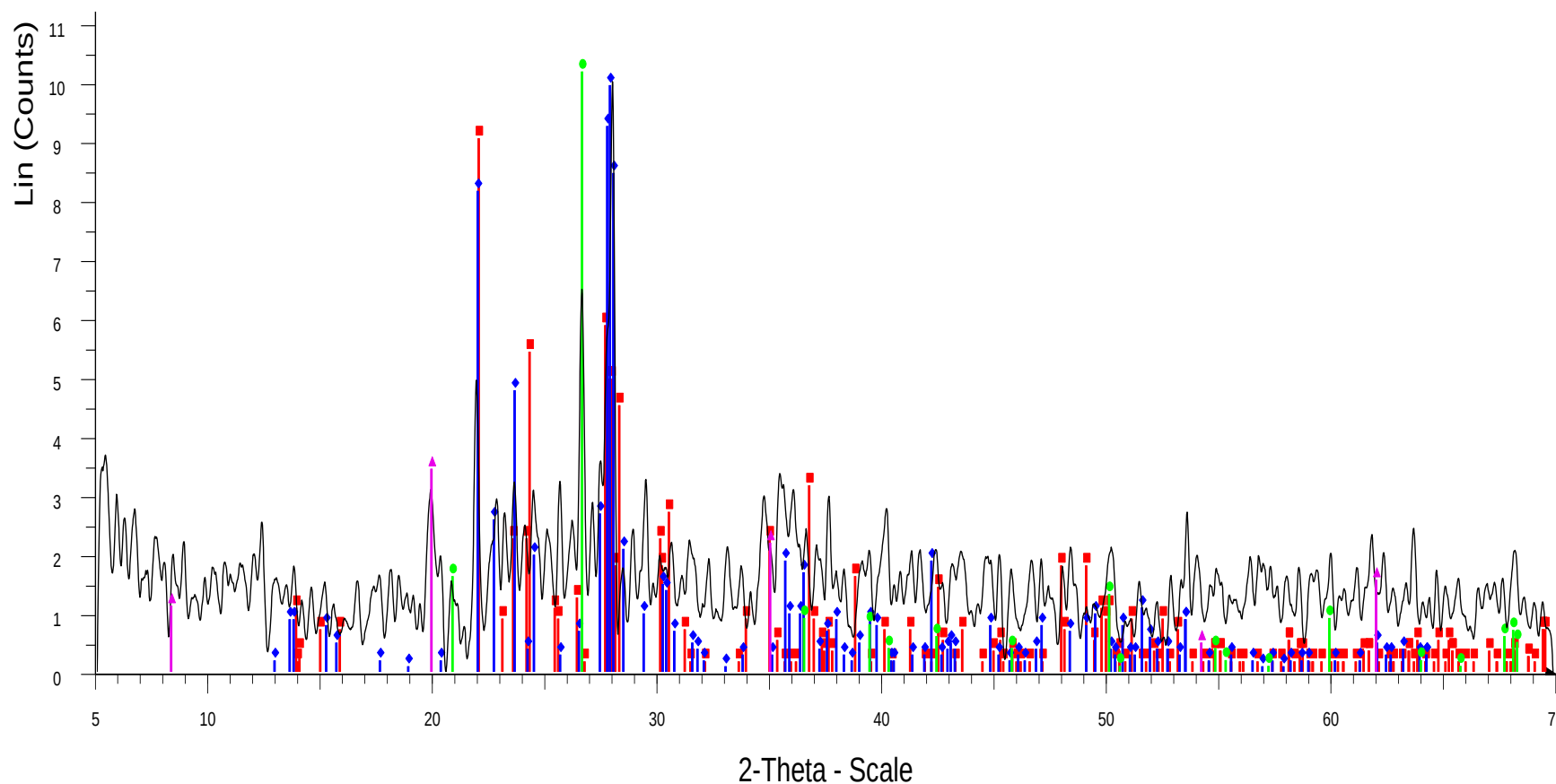
32cm



NUC-I-LC-14-12-13-32 cm - File: NUC-I-LC-14-12-13-32 cm.raw - Type: 2Th/Th locked - Start: 5.00
 Operations: Smooth 0.150 | Background 1.000,1.000 | Import
 00-030-0789 (I) - Saponite-15A, aluminian - $(\text{Mg}_2\text{Al})(\text{Si}_3\text{Al})\text{O}_{10}(\text{OH})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ - Y: 127.23 % - d x by:
 00-051-1489 (*) - Unnamed mineral [NR] - $(\text{Mg},\text{Ca},\text{Zn})_5(\text{AsO}_4)_2[\text{AsO}_3(\text{OH})]_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ - Y: 90.48 % - d
 00-053-1202 (I) - Ferro-axinite - $\text{Ca}_2\text{FeAl}_2\text{BSi}_4\text{O}_{15}(\text{OH})$ - Y: 88.51 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Tric
 00-038-0474 (I) - Vesuvianite, ferrian - $\text{Ca}_{19}(\text{Al},\text{Mg},\text{Fe})_{11}(\text{Si},\text{Al})_{18}\text{O}_{69}(\text{OH})_9$ - Y: 106.74 % - d x by:
 00-046-1045 (*) - Quartz, syn - SiO_2 - Y: 160.42 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Hexagonal - a 4.9134
 00-029-1499 (*) - Montmorillonite-22A - $\text{Na}_{0.3}(\text{Al},\text{Mg})_2\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ - Y: 66.80 % - d x by: 1.
 00-029-1489 (*) - Halloysite-10A - $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ - Y: 88.04 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - He

NUC-I-LC-14-12-13

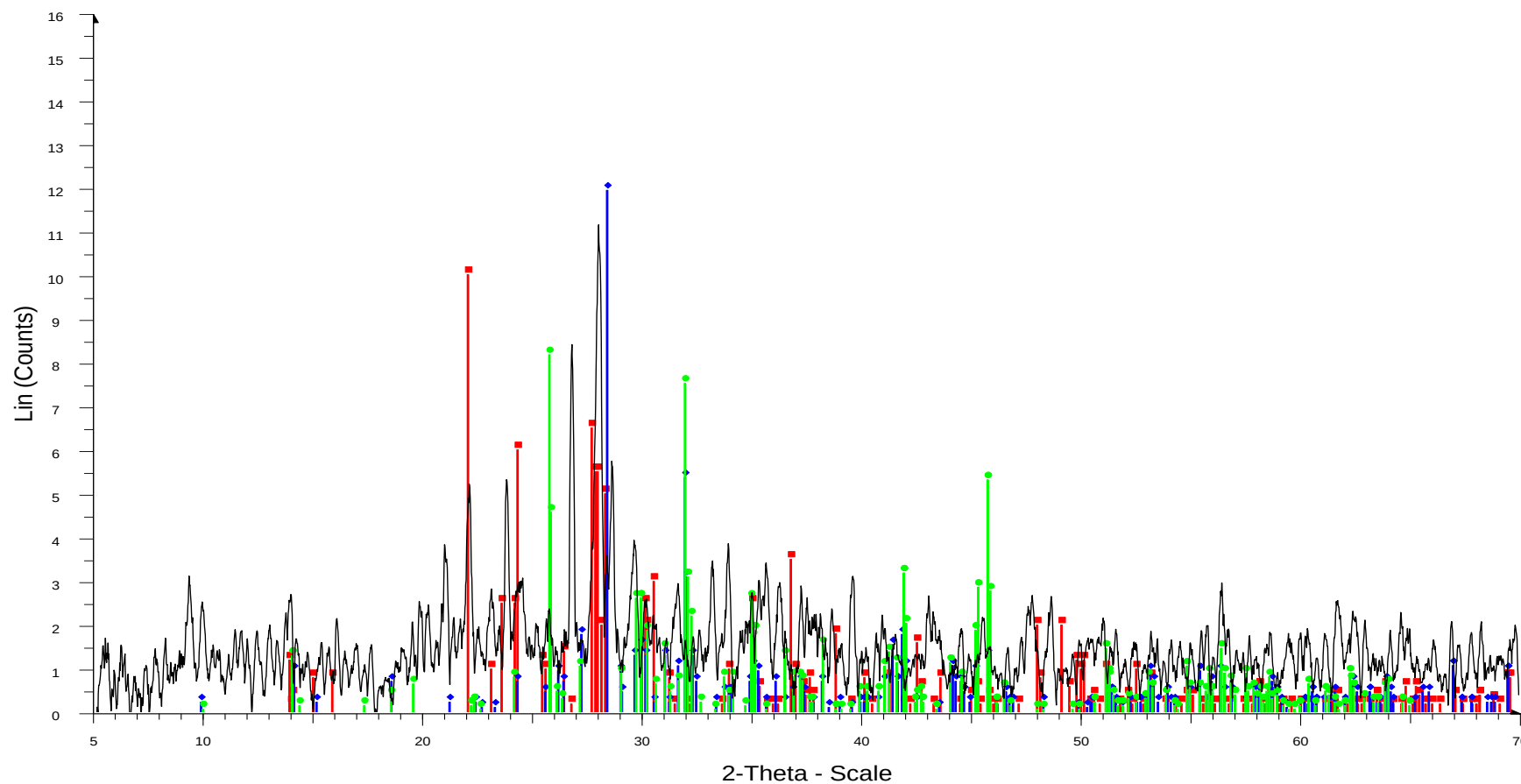
64cm



☒ NUC-I-LC-14-12-13-64 cm - File: NUC-I-LC-14-12-13- 64 cm.raw - Type: 2Th/Th locked - Start: 5.000 ° - End: 70.000 ° - Step: 0.020 ° - Step time: 0.6 s - Temp.: 25 °C (Room) - Time Started: 6 s - 2-Theta:
 Operations: Smooth 0.150 | Smooth 0.150 | Background 1.000,1.000 | Import
☒ 00-019-1184 (I) - Albite, ordered - NaAlSi₃O₈ - Y: 90.44 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Triclinic - a 8.13800 - b 12.79000 - c 7.16100 - alpha 94.270 - beta 116.600 - gamma 87.690 - Base-centered - C-1 (0) -
☒ 00-020-0528 (C) - Anorthite, sodian, ordered - (Ca,Na)(Al,Si)₂Si₂O₈ - Y: 99.45 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Triclinic - a 8.17800 - b 12.87000 - c 14.18700 - alpha 93.500 - beta 115.900 - gamma 90.630 - Pr
☒ 00-046-1045 (*) - Quartz, syn - SiO₂ - Y: 101.76 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Hexagonal - a 4.91344 - b 4.91344 - c 5.40524 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.000 - Primitive - P3221 (154) - 3 - 113
☒ 00-029-1499 (*) - Montmorillonite-22A - Na_{0.3}(Al,Mg)₂Si₄O₁₀(OH)₂·8H₂O - Y: 62.58 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Hexagonal - a 5.21000 - b 5.21000 - c 22.00000 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120

NUC-I-LC-14-12-13

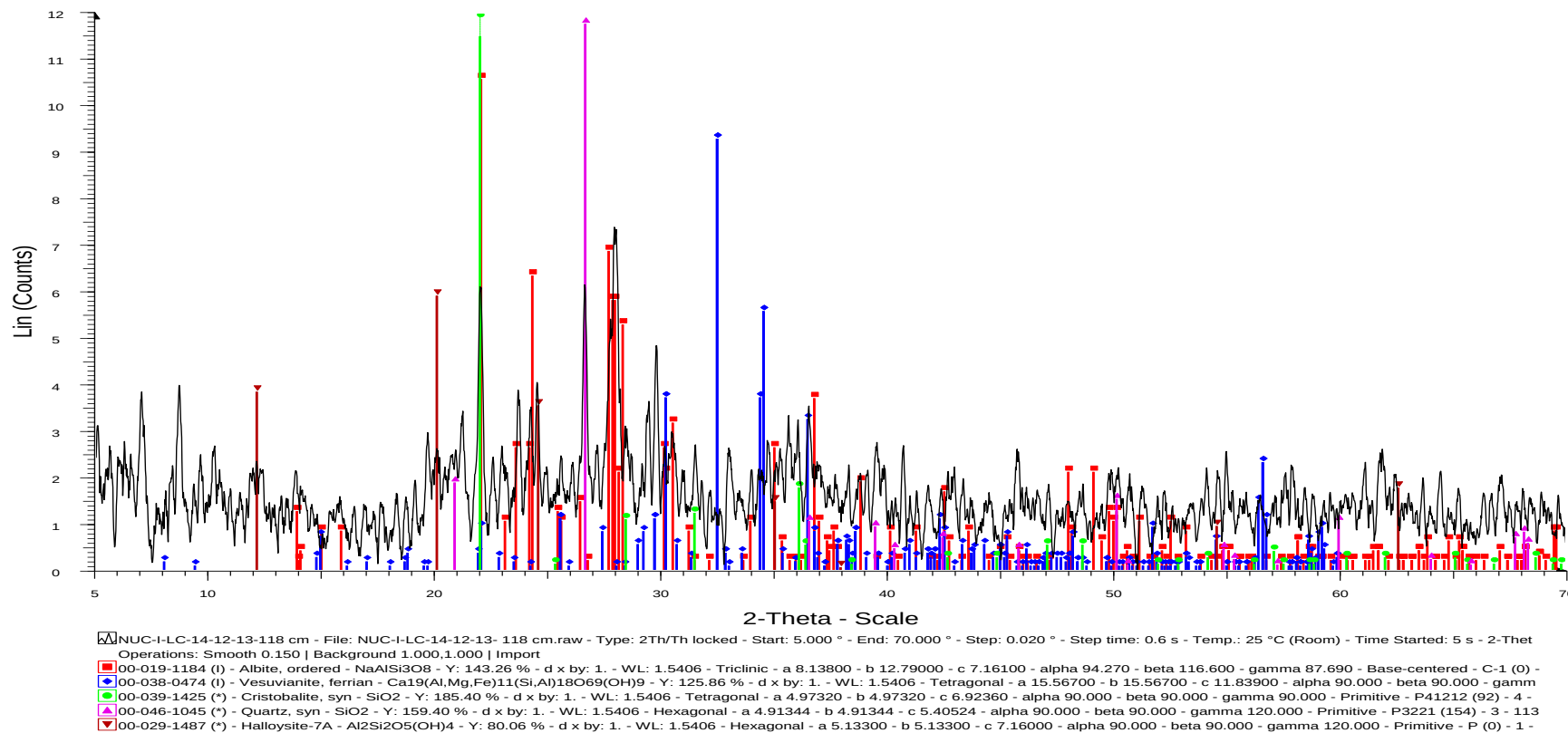
84cm



[X] NUC-I-LC-14-12-13-84 cm - File: NUC-I-LC-14-12-13- 84 cm.raw - Type: 2Th/Th locked - Start: 5.000 ° - End: 70.000 ° - Step: 0.020 ° - Step time: 0.6 s - Temp.: 25 °C (Room) - Time Started: 5 s - 2-Theta:
 Operations: Smooth 0.150 | Background 1.000,1.000 | Import
 [] 00-019-1184 (I) - Albite, ordered - NaAlSi₃O₈ - Y: 89.88 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Triclinic - a 8.13800 - b 12.79000 - c 7.16100 - alpha 94.270 - beta 116.600 - gamma 87.690 - Base-centered - C-1 (0) -
 [] 00-053-1201 (I) - Magnesio-axinite - Ca₂MgAl₂BSi₄O₁₅(OH) - Y: 107.20 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Triclinic - a 7.13810 - b 9.16260 - c 8.94210 - alpha 91.903 - beta 98.105 - gamma 77.468 - Primitive -
 [] 00-053-1202 (I) - Ferro-axinite - Ca₂FeAl₂BSi₄O₁₅(OH) - Y: 73.45 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Triclinic - a 7.14200 - b 9.19400 - c 8.95000 - alpha 91.880 - beta 98.180 - gamma 77.340 - Primitive - P-1 (2)

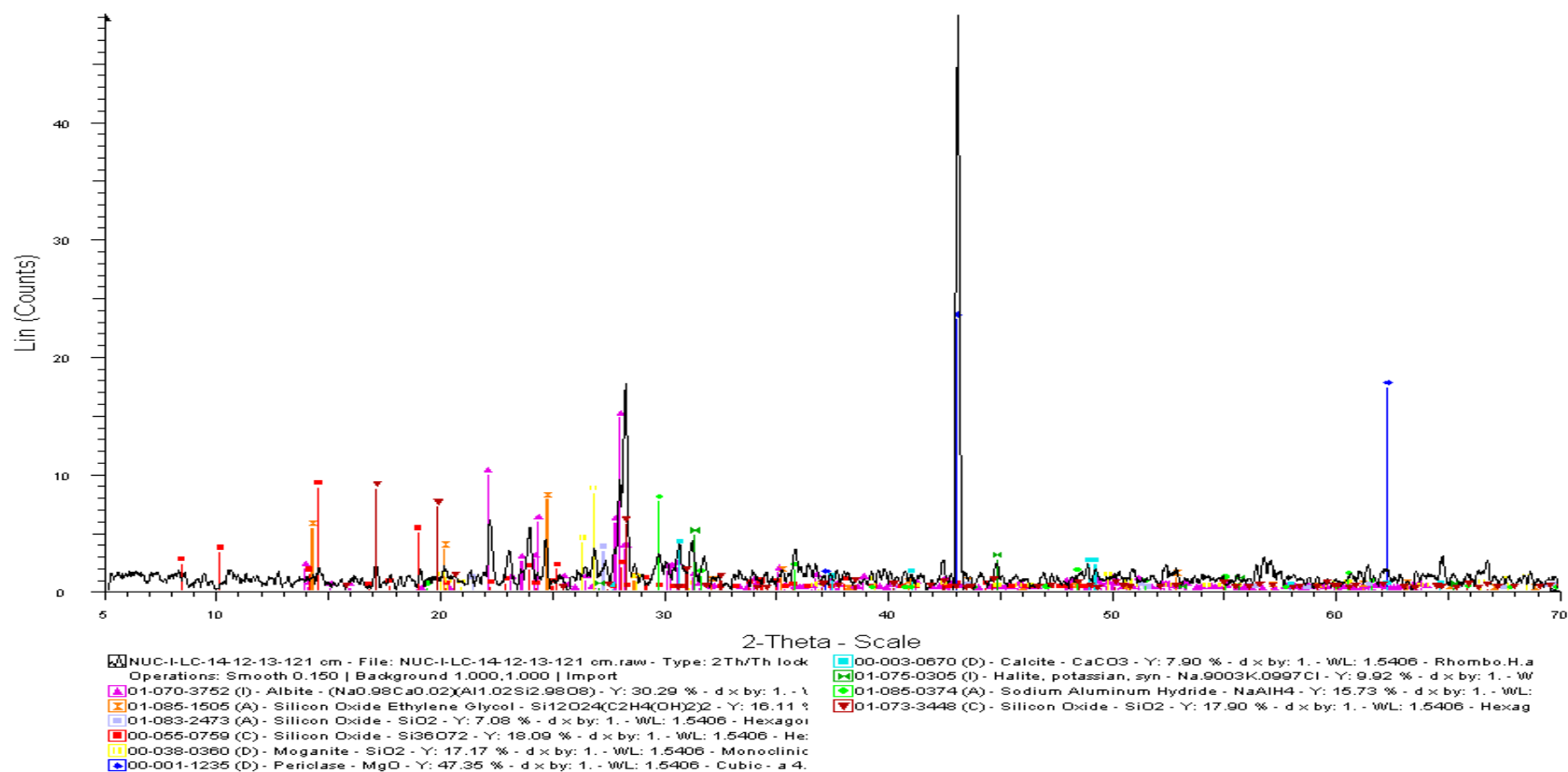
NUC-I-LC-14-12-13

118cm



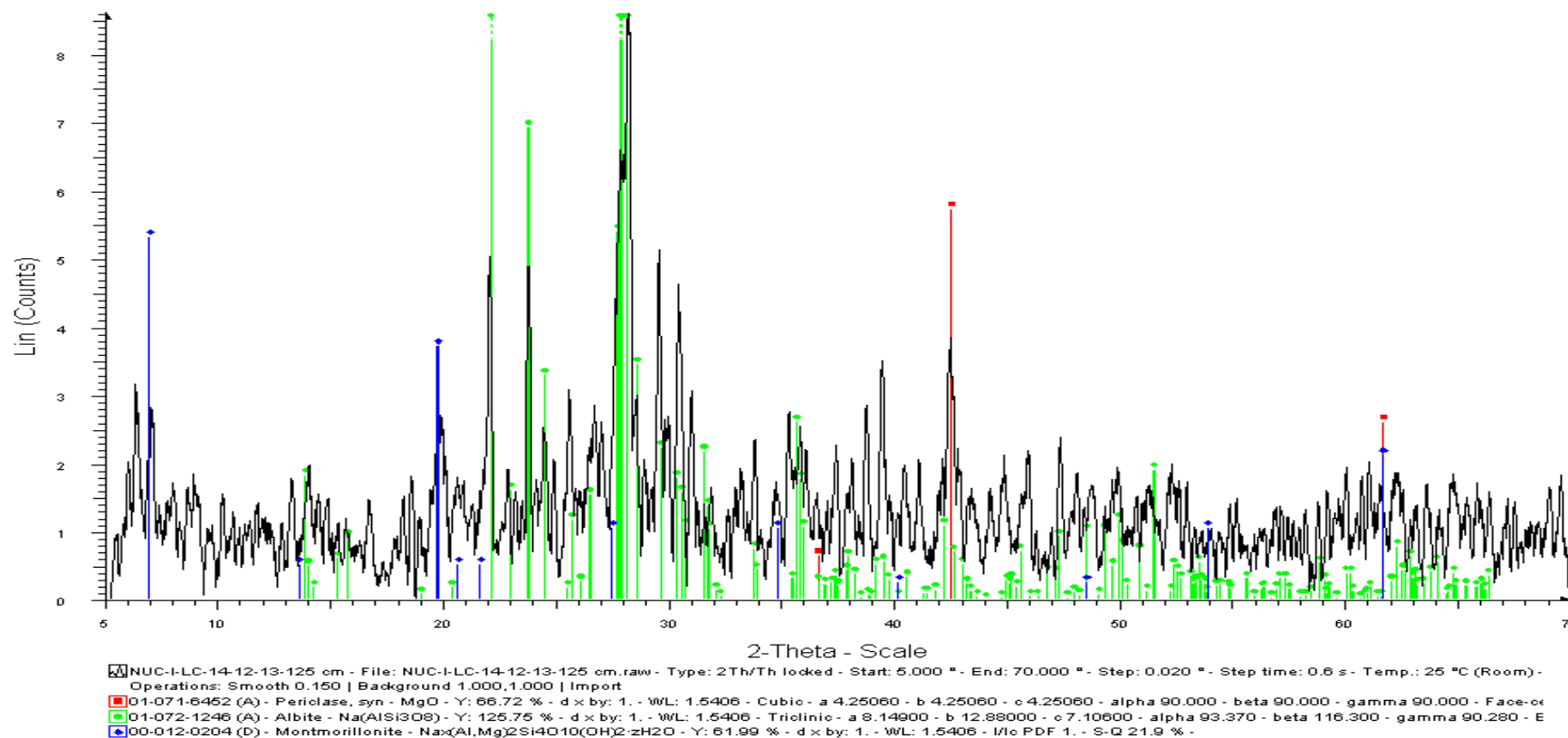
NUC-I-LC-14-12-13

121cm



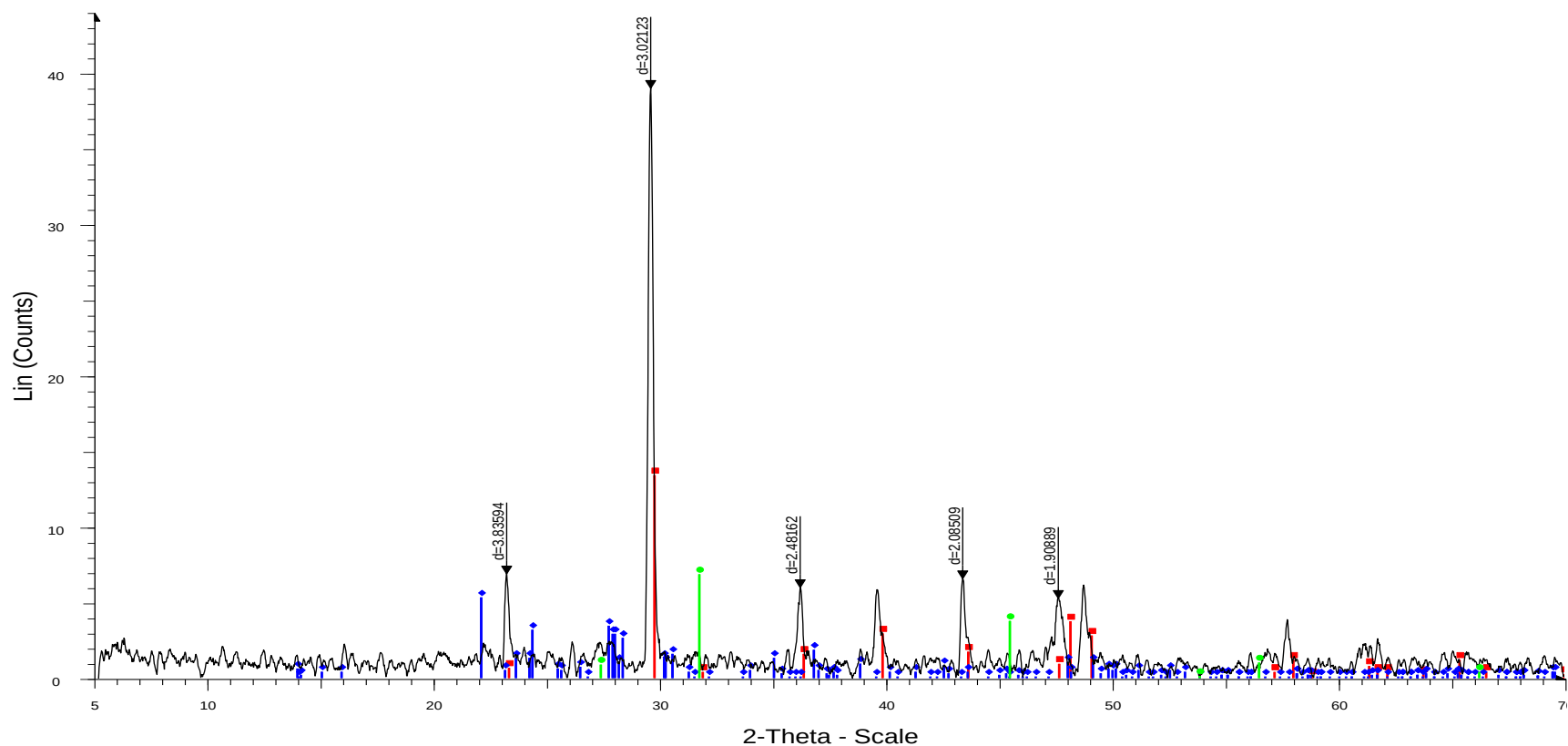
NUC-I-LC-14-12-13

125cm



NÚC-II-LC-14-12-13

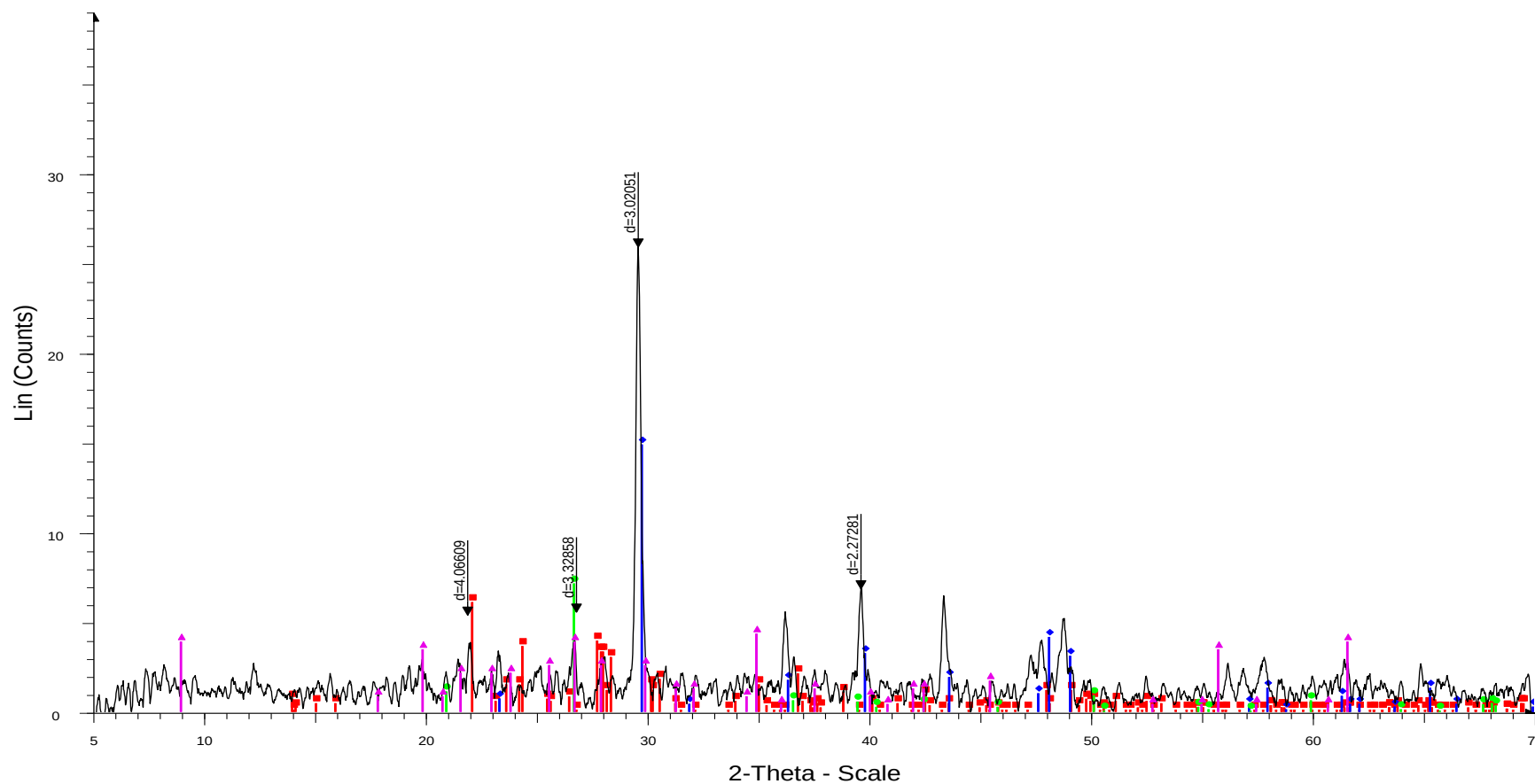
2cm



NucII-LCV-III-14-12-13-2cm - File: NucII-LCV-III-14-12-13-2cm.raw - Type: 2Th/Th locked - Start: 5.000 ° - End: 70.000 ° - Step: 0.020 ° - Step time: 0.6 s - Temp.: 25 °C (Room) - Time Started: 6 s - 2-Theta
 Operations: Smooth 0.150 | Background 1.000,1.000 | Import
 ■ 00-043-0697 (*) - Calcite, magnesian - (Ca,Mg)CO₃ - Y: 34.41 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Rhombo.H.axes - a 4.94260 - b 4.94260 - c 16.85200 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.000 - Primitive -
 ● 00-005-0628 (*) - Halite, syn - NaCl - Y: 17.62 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Cubic - a 5.64020 - b 5.64020 - c 5.64020 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 90.000 - Face-centered - Fm-3m (225) - 4 - 179.4
 ◆ 00-019-1184 (I) - Albite, ordered - NaAlSi₃O₈ - Y: 13.68 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Triclinic - a 8.13800 - b 12.79000 - c 7.16100 - alpha 94.270 - beta 116.600 - gamma 87.690 - Base-centered - C-1 (0) -

NÚC-II-LC-14-12-13

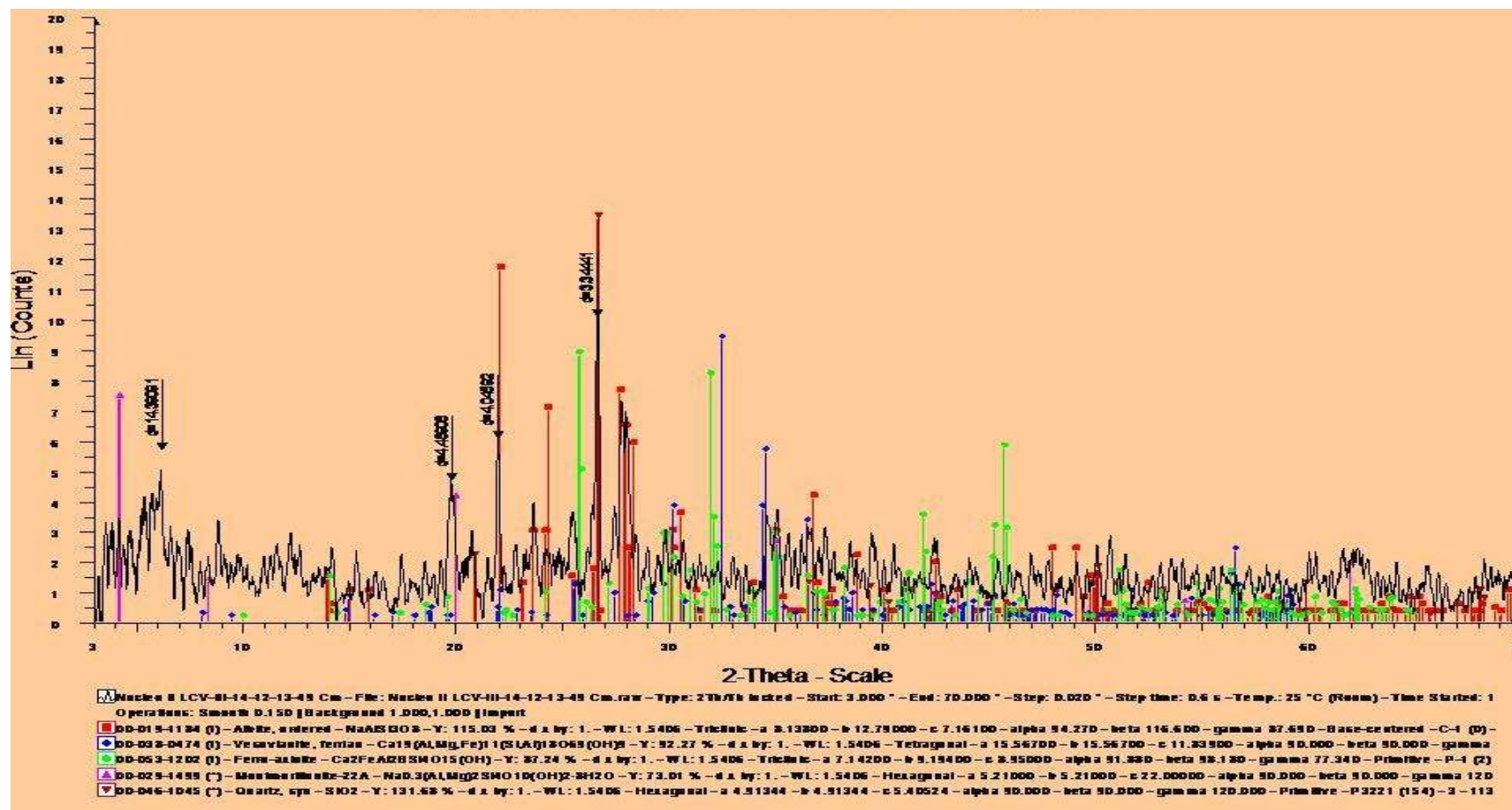
41cm



Nuc-II-lcvIII-14-12-13-41cm - File: Nuc-II-lcvIII-14-12-13-41cm.raw - Type: 2Th/Th locked - Start: 5.000 ° - End: 70.000 ° - Step: 0.020 ° - Step time: 0.6 s - Temp.: 25 °C (Room) - Time Started: 8 s - 2-Theta:
 Operations: Smooth 0.150 | Background 1.000,1.000 | Import
 00-019-1184 (I) - Albite, ordered - NaAlSi3O8 - Y: 23.63 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Triclinic - a 8.13800 - b 12.79000 - c 7.16100 - alpha 94.270 - beta 116.600 - gamma 87.690 - Base-centered - C-1 (0) -
 00-043-0697 (*) - Calcite, magnesian - (Ca,Mg)CO3 - Y: 57.54 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Rhombo.H.axes - a 4.94260 - b 4.94260 - c 16.85200 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.000 - Primitive -
 00-046-1045 (*) - Quartz, syn - SiO2 - Y: 27.63 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Hexagonal - a 4.91344 - b 4.91344 - c 5.40524 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.000 - Primitive - P3221 (154) - 3 - 113.
 00-019-0814 (I) - Muscovite-2M1, vanadian - K(Al,V)2(Si,Al)4O10(OH)2 - Y: 16.82 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Monoclinic - a 5.19300 - b 9.04500 - c 20.04400 - alpha 90.000 - beta 95.800 - gamma 90.000

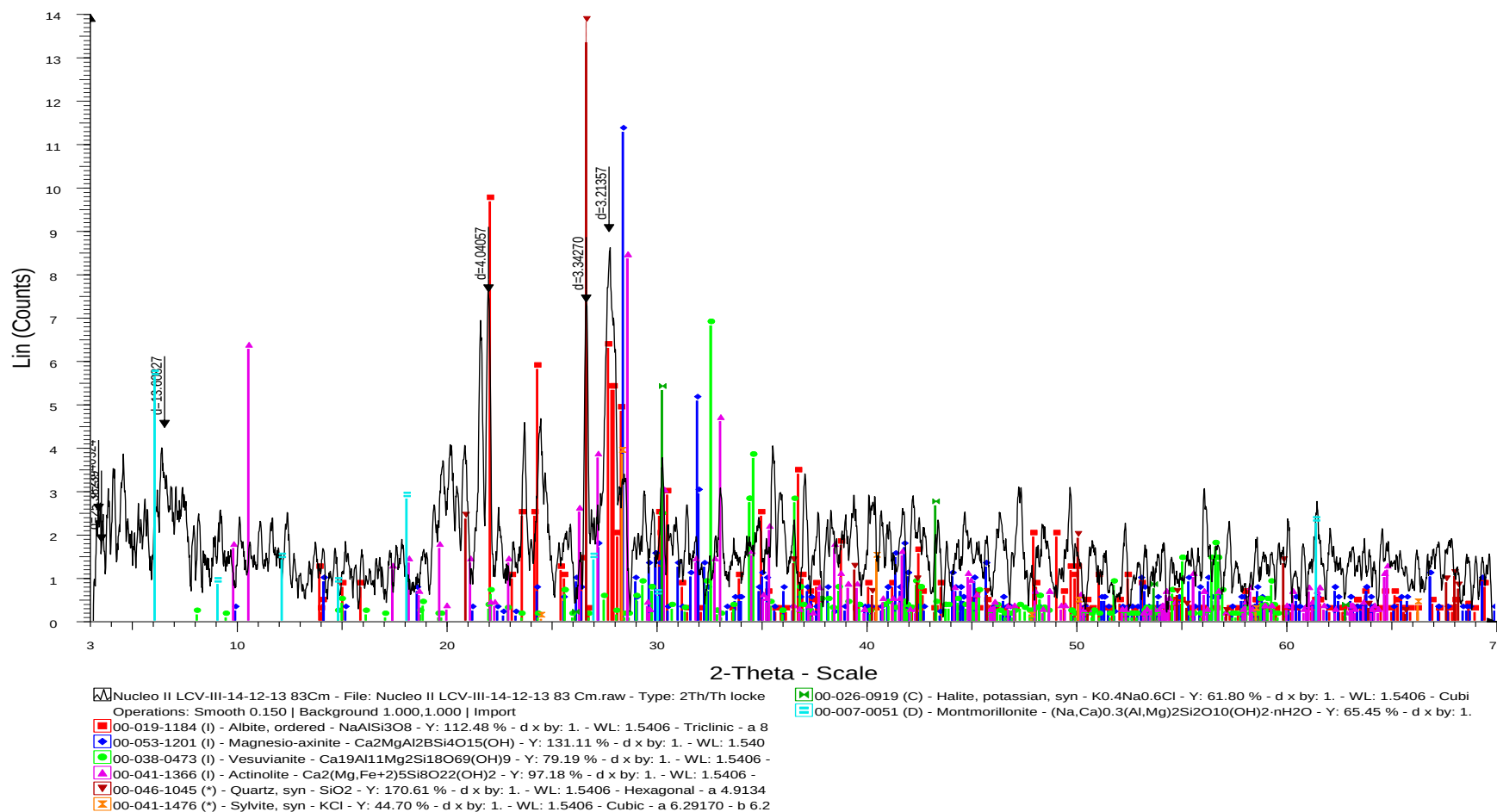
NÚC-II-LC-14-12-13

49cm



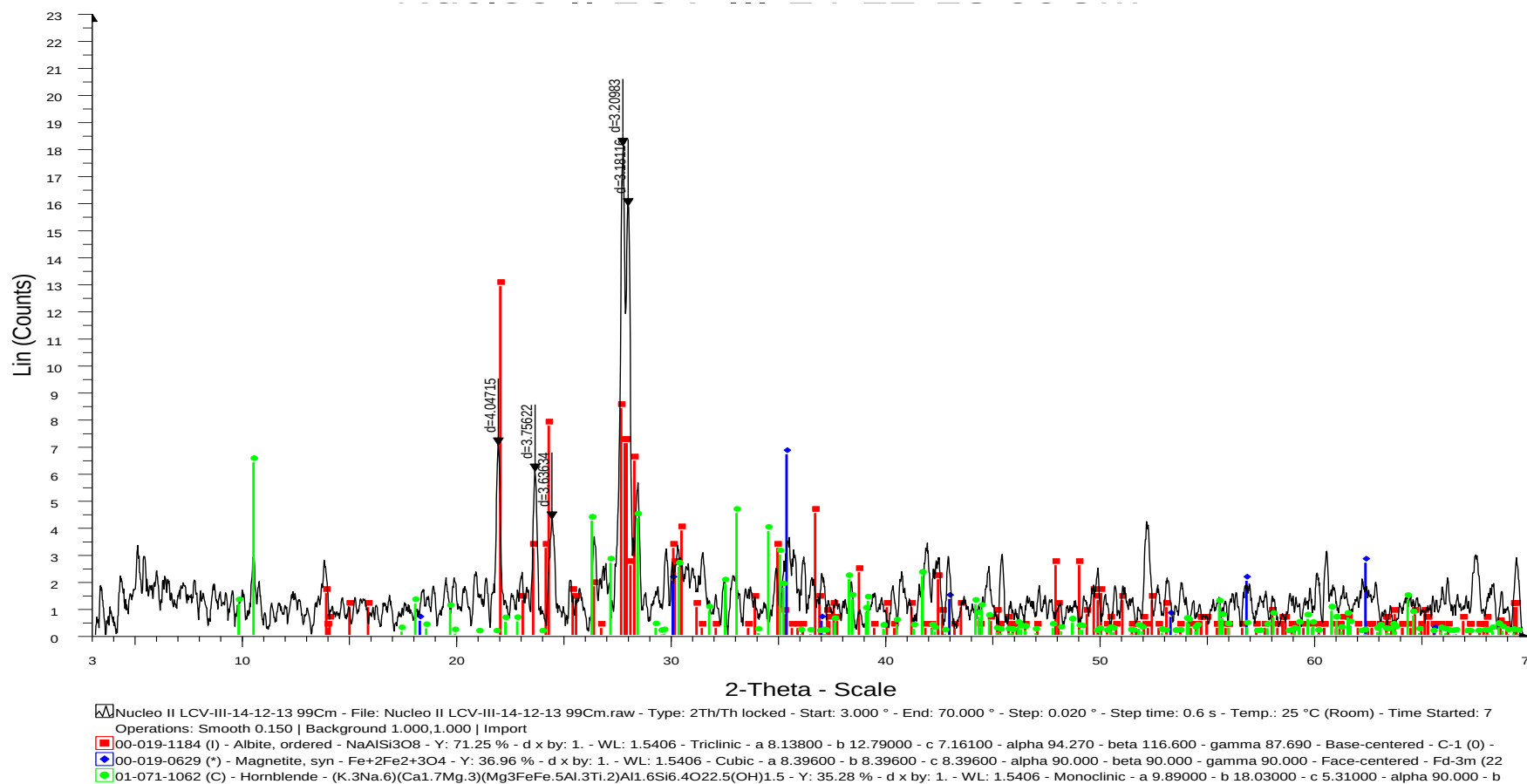
NÚC-II-LC-14-12-13

83cm



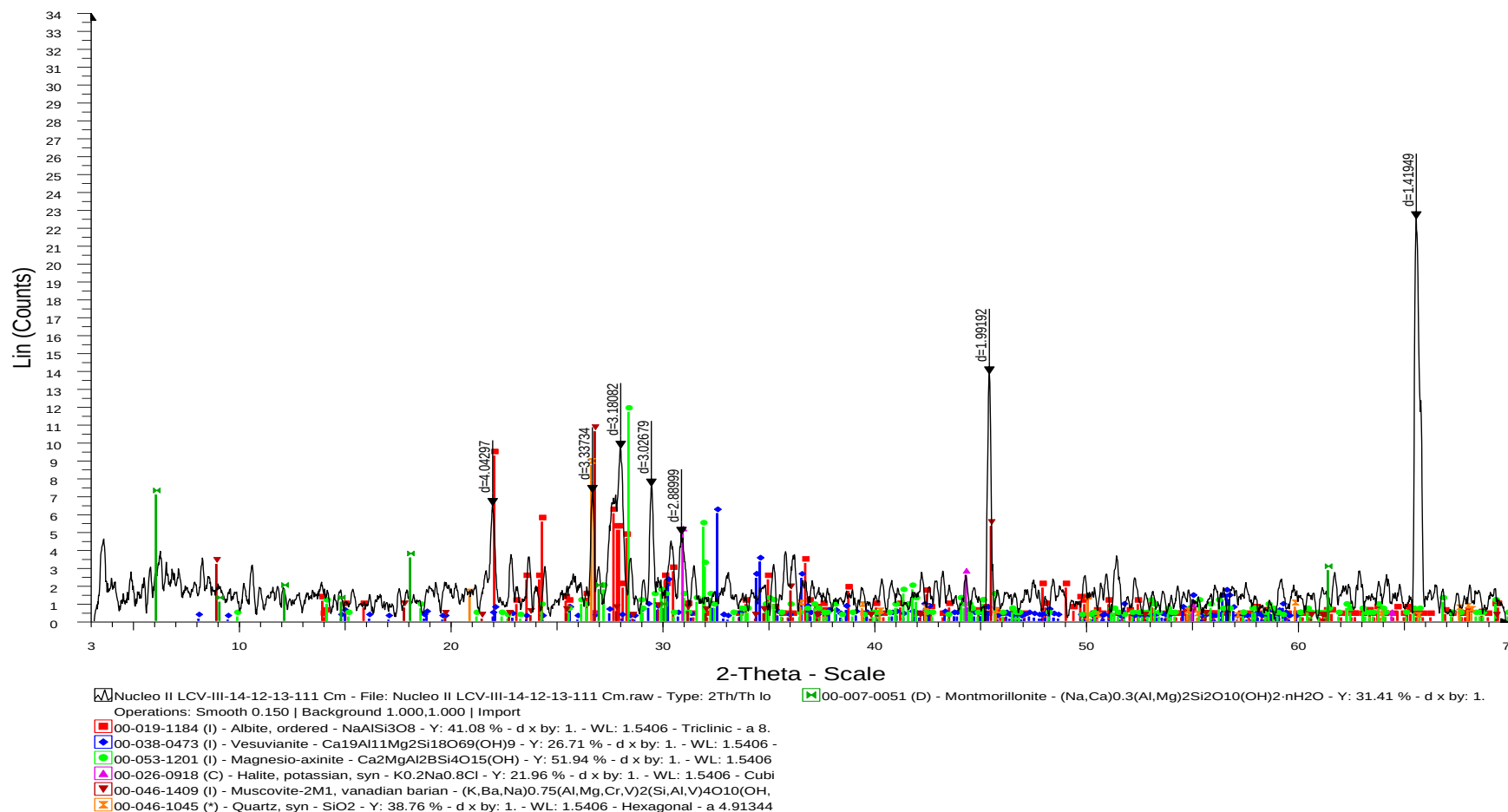
NÚC-II-LC-14-12-13

99cm



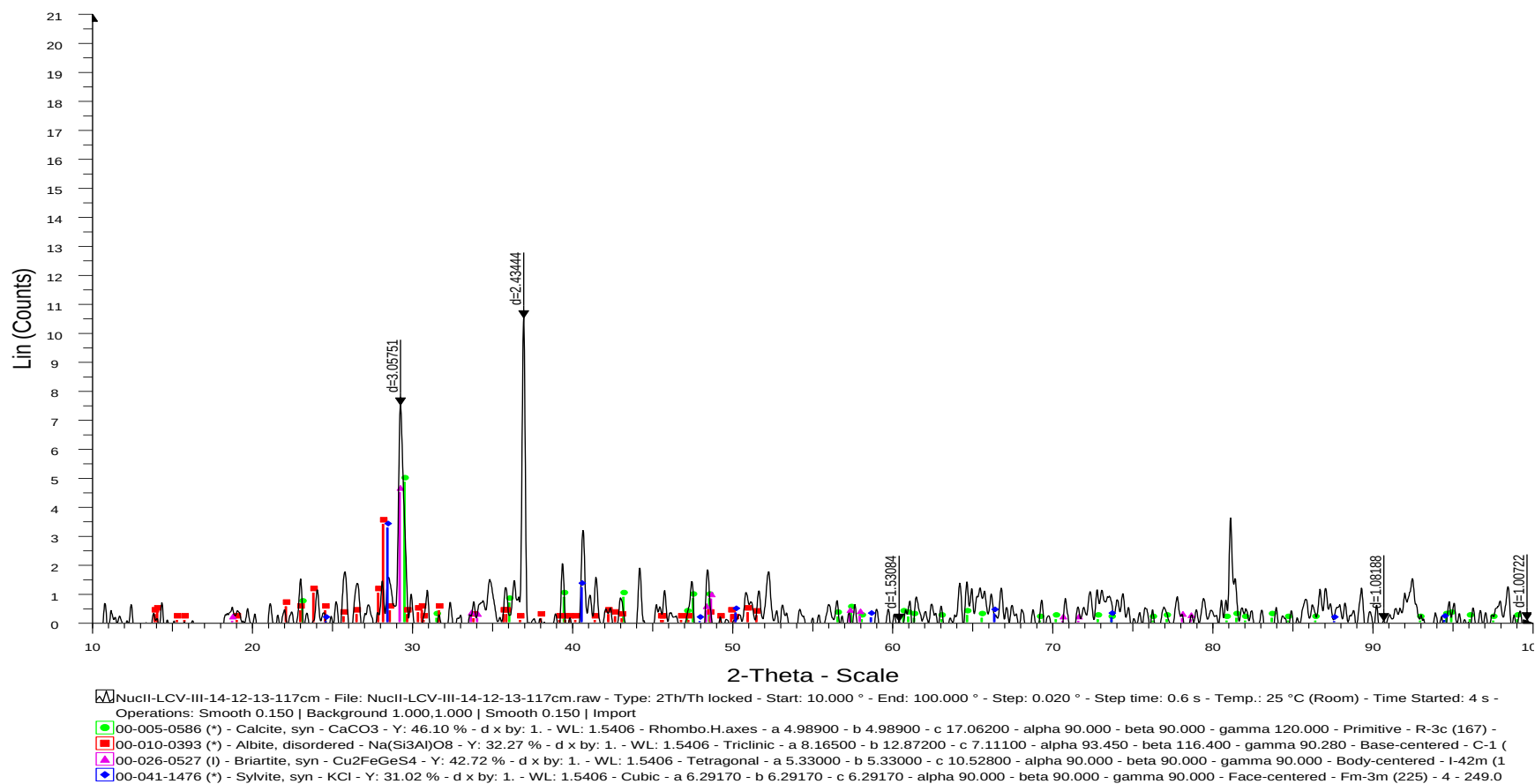
NÚC-II-LC-14-12-13

111cm



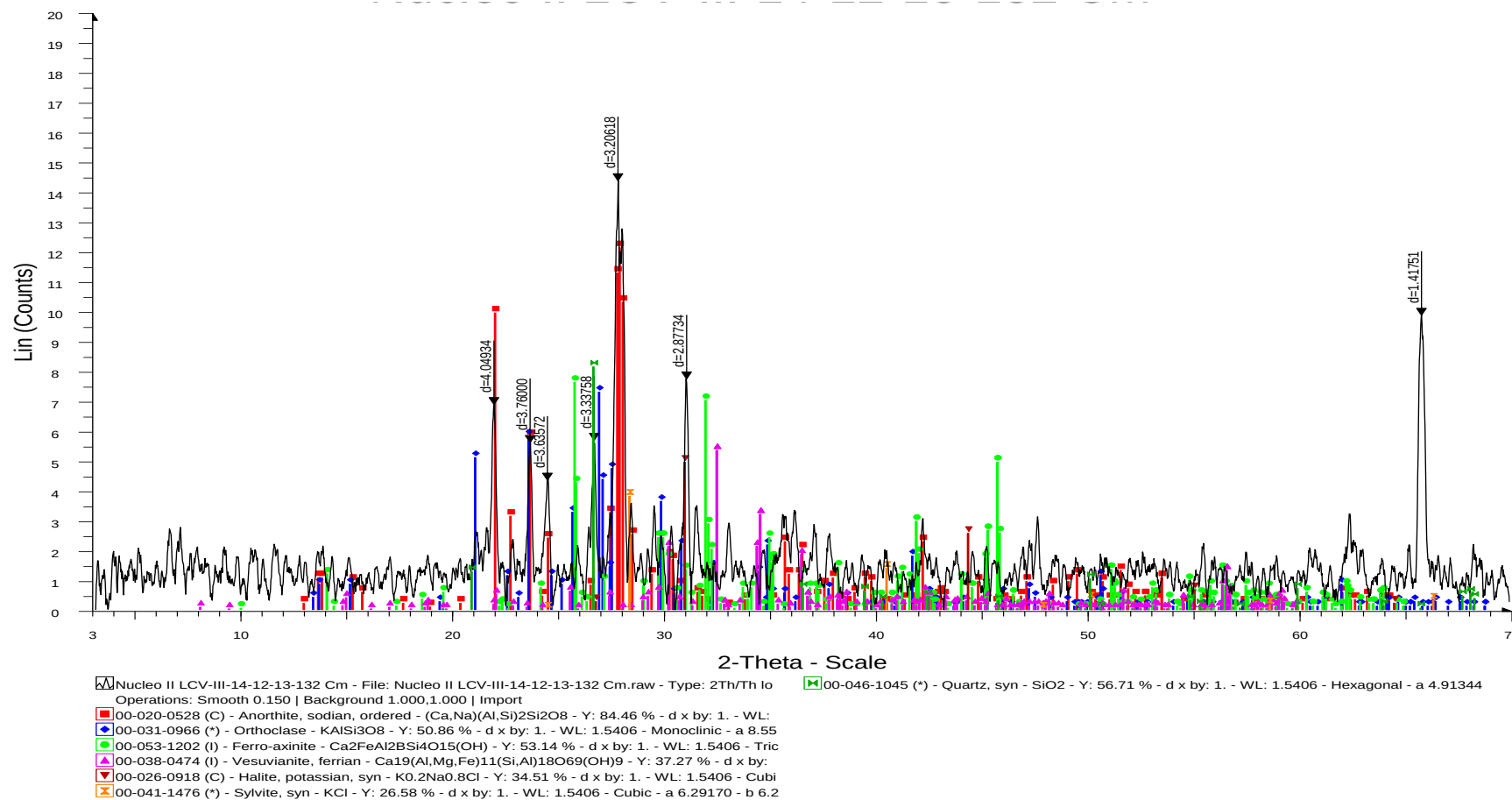
NÚC-II-LC-14-12-13

117cm



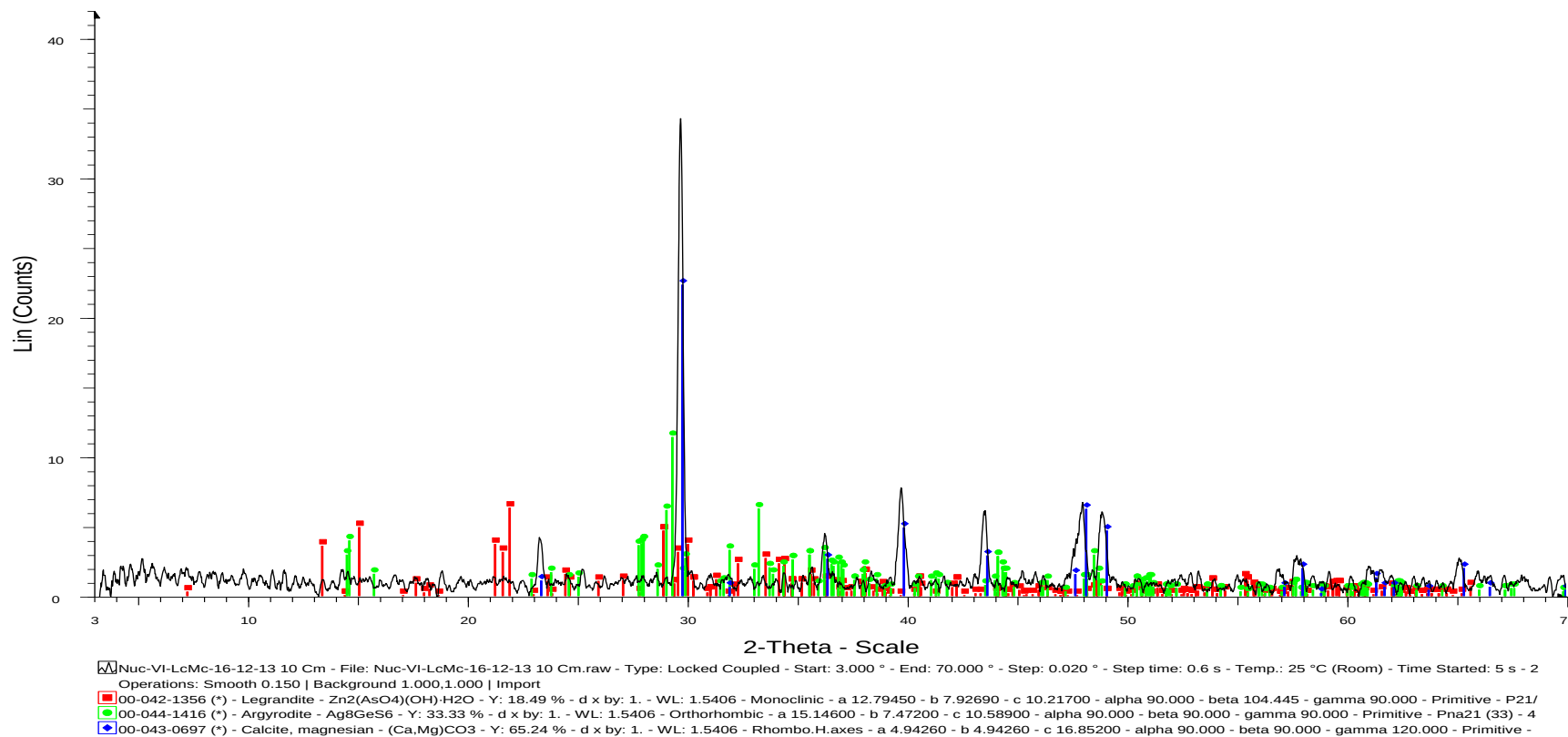
NÚC-II-LC-14-12-13

132cm



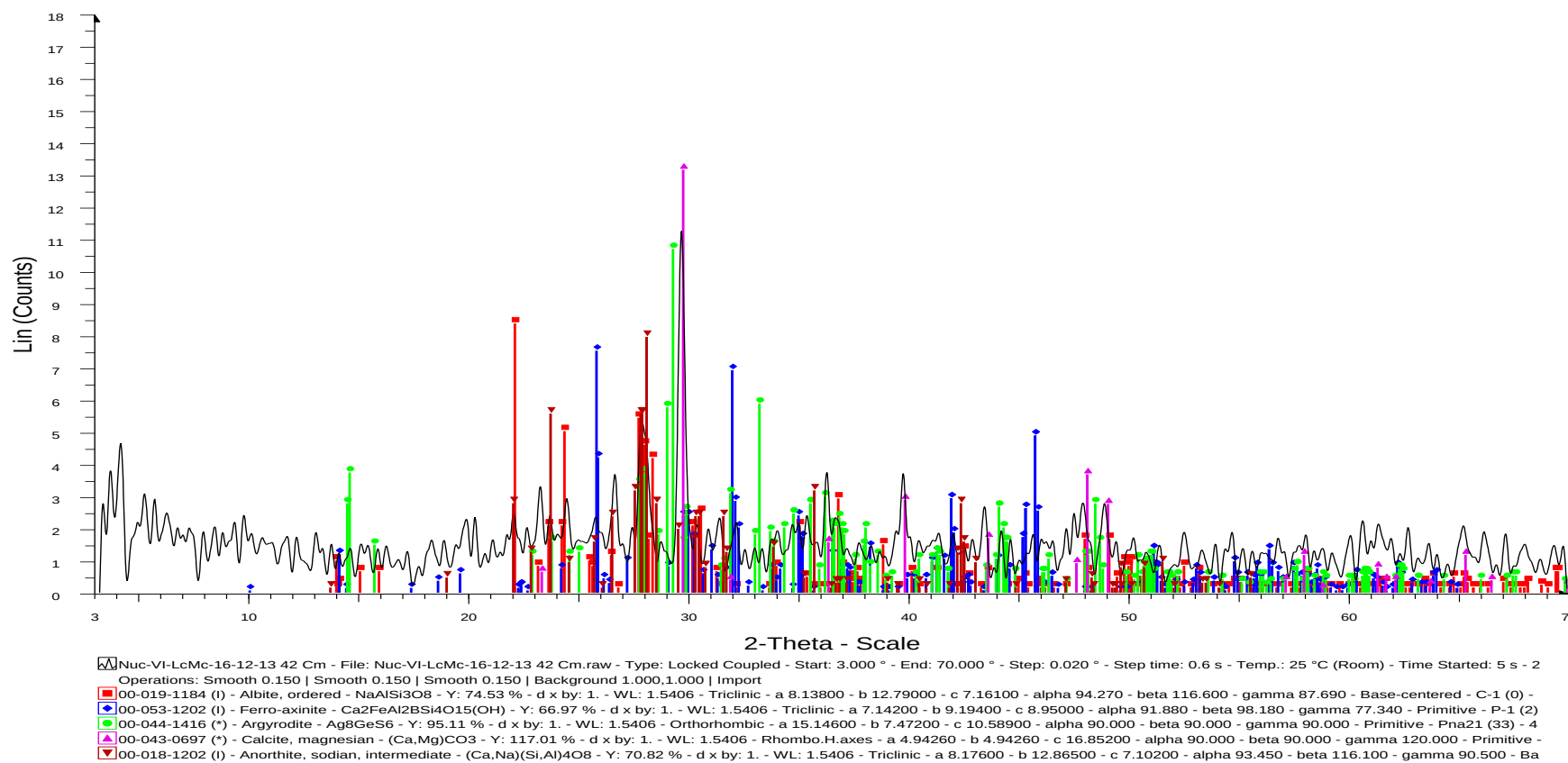
NÚC-VI-LC-16-12-13

10cm



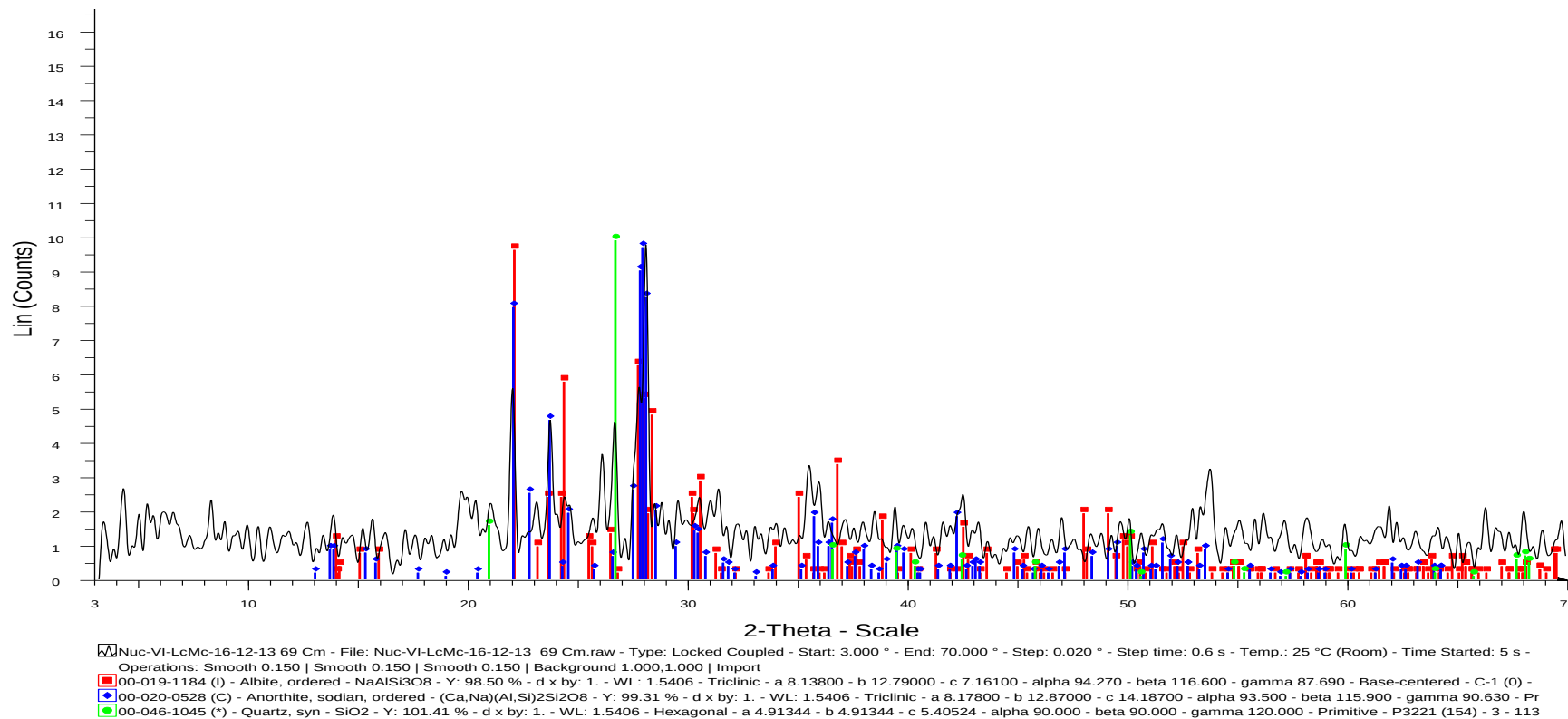
NÚC-VI-LC-16-12-13

42cm



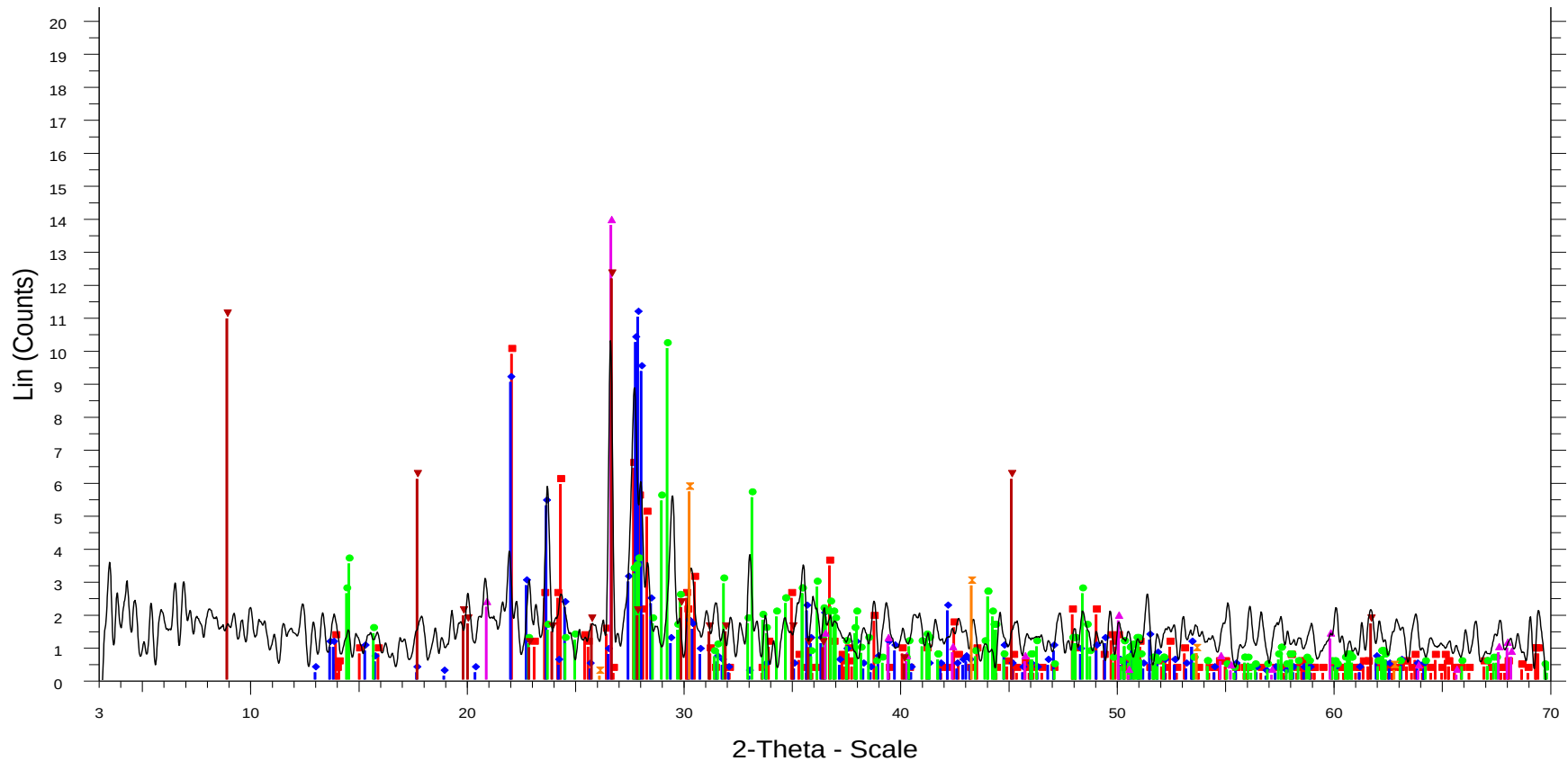
NÚC-VI-LC-16-12-13

69cm



NÚC-VI-LC-16-12-13

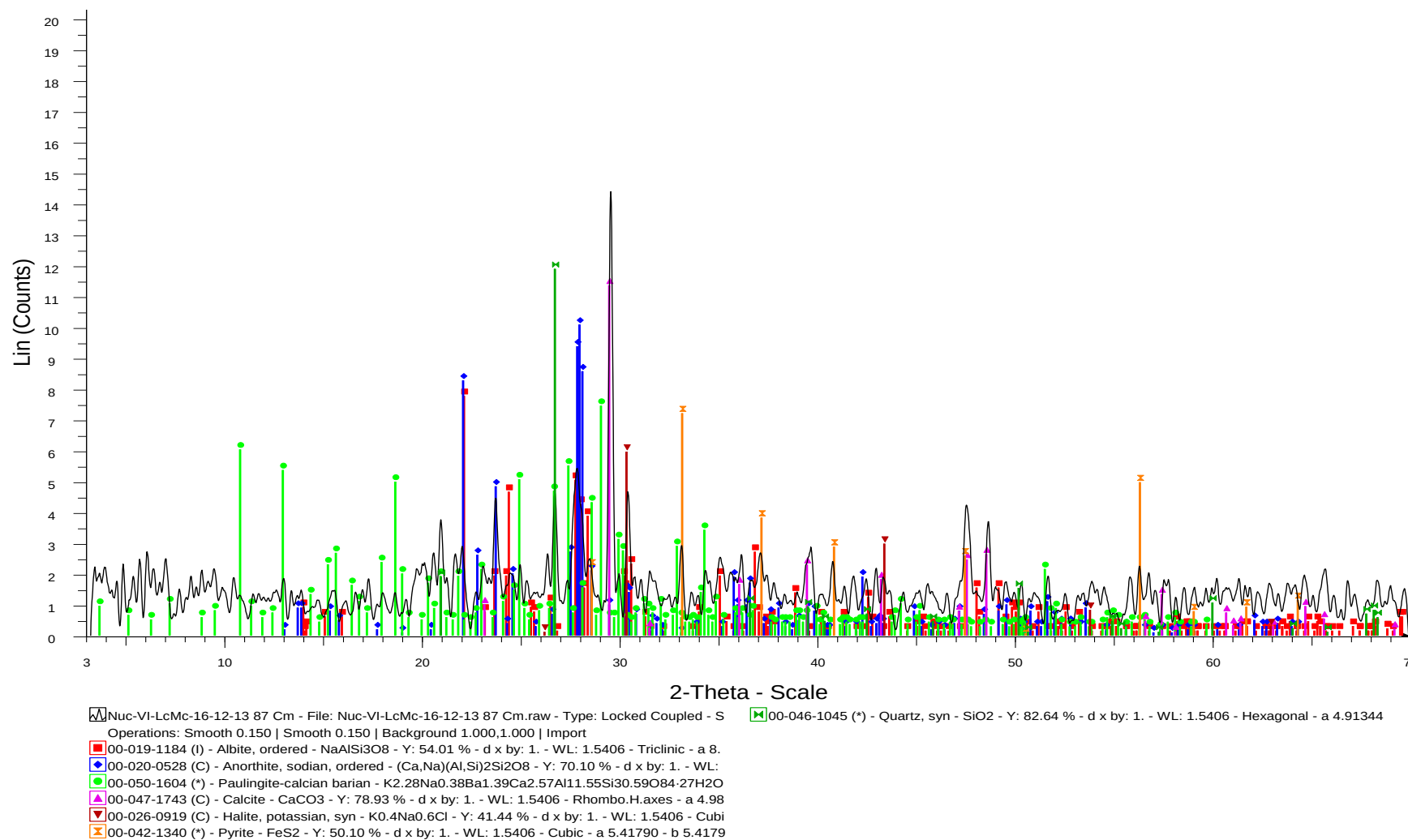
80cm



☒ Nuc-VI-LcMc-16-12-13 80 Cm - File: Nuc-VI-LcMc-16-12-13 80 Cm.raw - Type: Locked Coupled - Start: 3.000 ° - End: 70.000 ° - Step: 0.020 ° - Step time: 0.6 s - Temp.: 25 °C (Room) - Time
 Operations: Smooth 0.150 | Smooth 0.150 | Background 1.000,1.000 | Import
☒ 00-019-1184 (I) - Albite, ordered - NaAlSi₃O₈ - Y: 96.19 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Triclinic - a 8.13800 - b 12.79000 - c 7.16100 - alpha 94.270 - beta 116.600 - gamma 87.690 - Base-center
☒ 00-020-0528 (C) - Anorthite, sodian, ordered - (Ca,Na)(Al,Si)₂Si₂O₈ - Y: 107.19 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Triclinic - a 8.17800 - b 12.87000 - c 14.18700 - alpha 93.500 - beta 115.900 - gamma 87.690 - Base-center
☒ 00-044-1416 (*) - Argyrodite - Ag₈GeS₆ - Y: 97.92 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Orthorhombic - a 15.14600 - b 7.47200 - c 10.58900 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 90.000 - Primitive -
☒ 00-046-1045 (*) - Quartz, syn - SiO₂ - Y: 134.28 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Hexagonal - a 4.91344 - b 4.91344 - c 5.40524 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.000 - Primitive - P3221
☒ 00-026-0911 (I) - Illite-2M1 [NR] - (K,H₃O)Al₂Si₃AlO₁₀(OH)₂ - Y: 118.47 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Monoclinic - a 5.19000 - b 9.00000 - c 20.16000 - alpha 90.000 - beta 95.180 - gamma 90.000 - Primitive - P3221
☒ 00-026-0919 (C) - Halite, potassian, syn - K_{0.4}Na_{0.6}Cl - Y: 55.53 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Cubic - a 5.90180 - b 5.90180 - c 5.90180 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 90.000 - Face-c

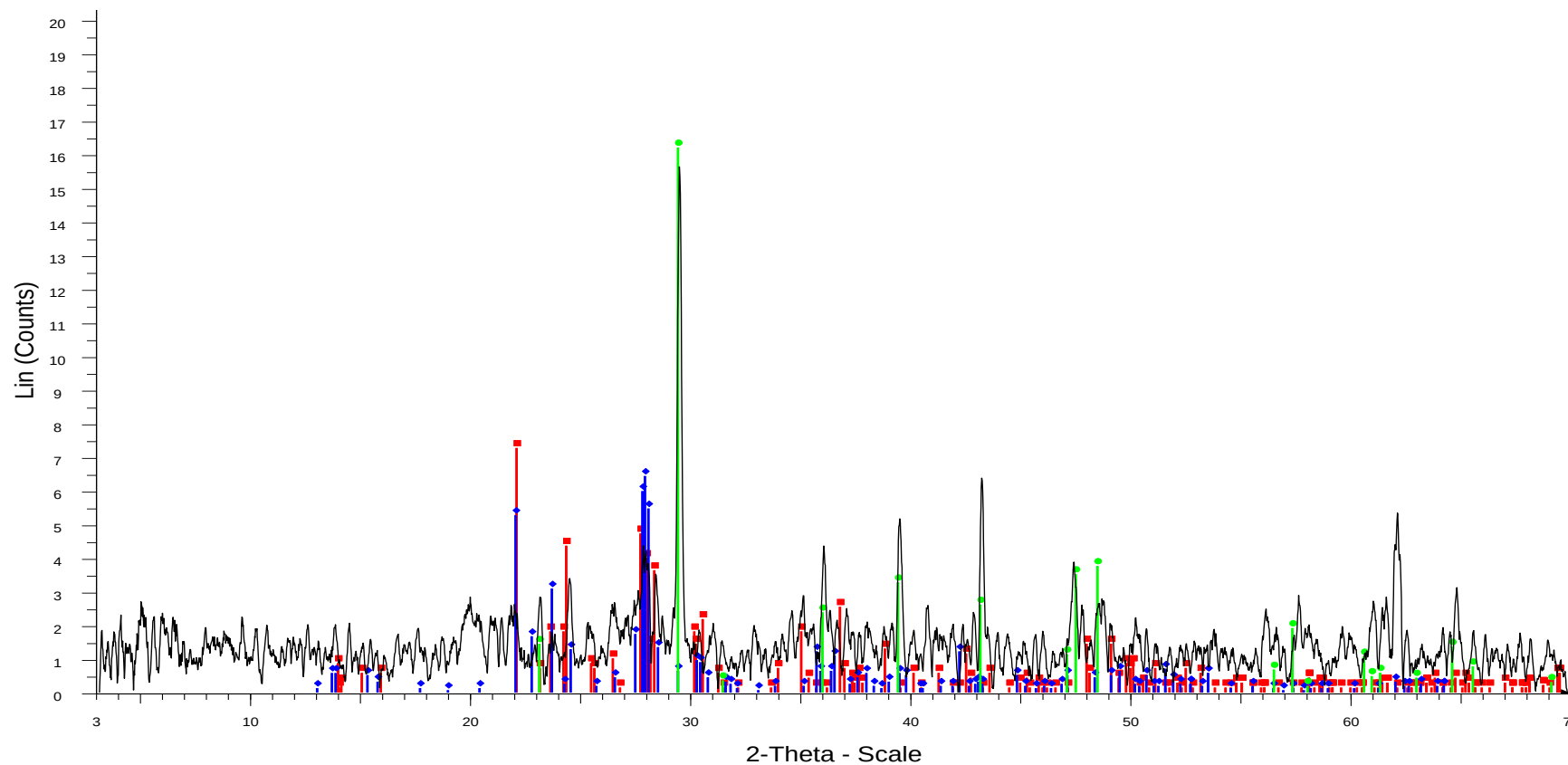
NÚC-VI-LC-16-12-13

87cm



NÚC-VI-LC-16-12-13

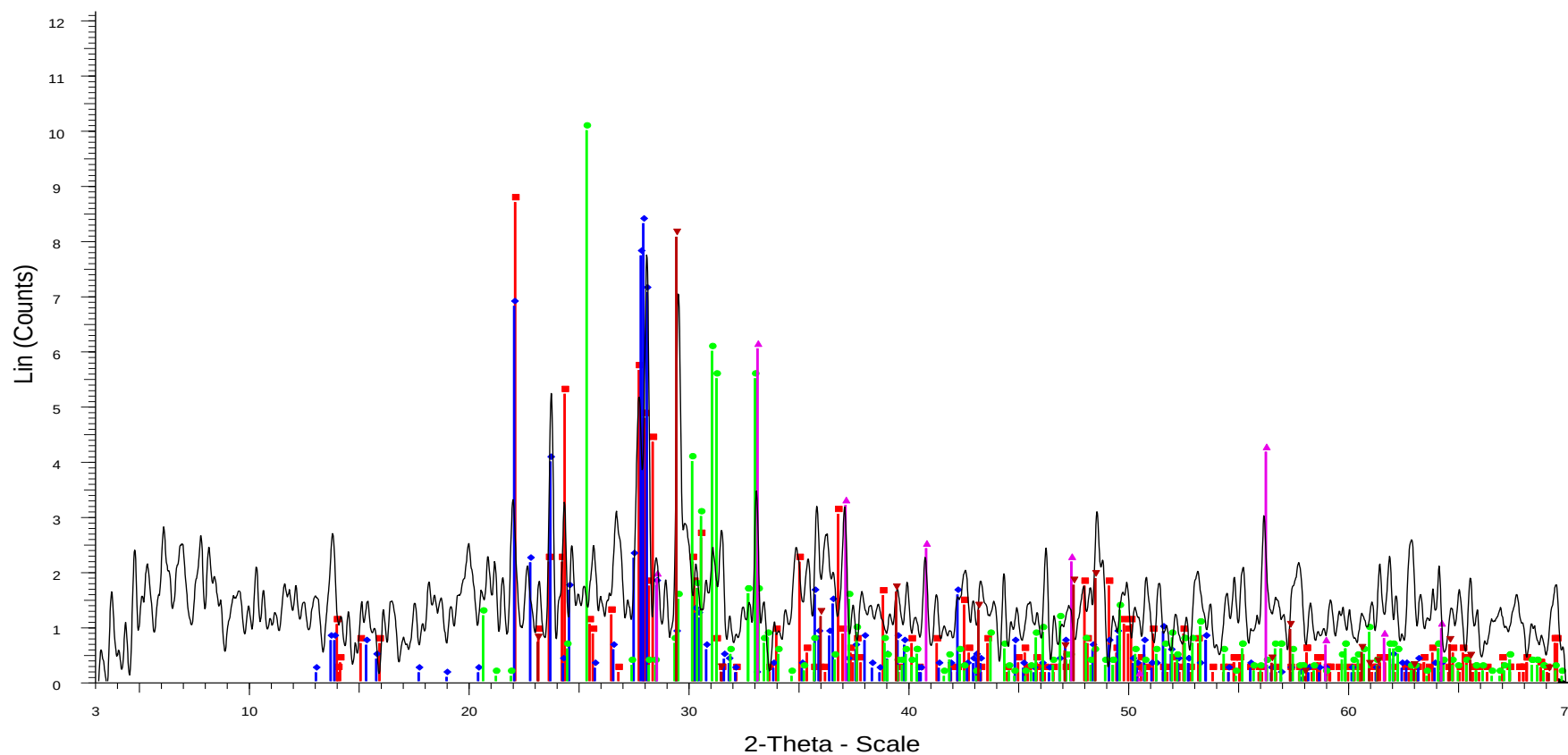
96cm



Nuc-VI-LcMc-16-12-13 96 Cm - File: Nuc-VI-LcMc-16-12-13 96 Cm.raw - Type: Locked Coupled - Start: 3.000 ° - End: 70.000 ° - Step: 0.020 ° - Step time: 0.6 s - Temp.: 25 °C (Room) - Time Started: 5 s - 2
 Operations: Smooth 0.150 | Background 1.000,1.000 | Import
 00-019-1184 (I) - Albite, ordered - NaAlSi3O8 - Y: 46.52 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Triclinic - a 8.13800 - b 12.79000 - c 7.16100 - alpha 94.270 - beta 116.600 - gamma 87.690 - Base-centered - C-1 (0) -
 00-020-0528 (C) - Anorthite, sodian, ordered - (Ca,Na)(Al,Si)2Si2O8 - Y: 41.18 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Triclinic - a 8.17800 - b 12.87000 - c 14.18700 - alpha 93.500 - beta 115.900 - gamma 90.630 - Pr
 00-047-1743 (C) - Calcite - CaCO3 - Y: 103.70 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Rhombo.H.axes - a 4.98960 - b 4.98960 - c 17.06100 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.000 - Primitive - R-3c (167) - 6 -

NÚC-VI-LC-16-12-13

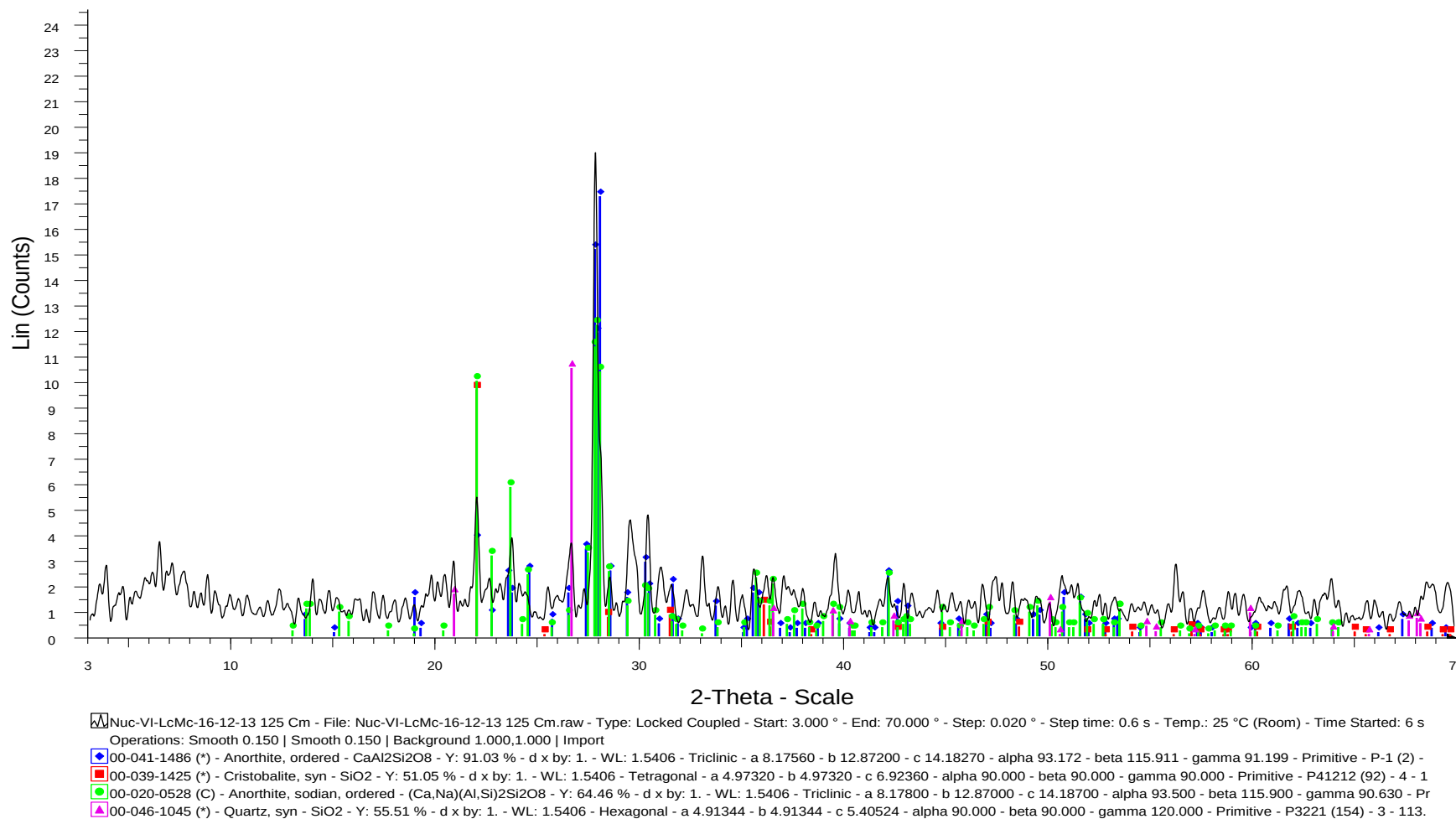
107cm



☒ Nuc-VI-LcMc-16-12-13 107 Cm - File: Nuc-VI-LcMc-16-12-13 107 Cm.raw - Type: Locked Coupled - Start: 3.000 ° - End: 70.000 ° - Step: 0.020 ° - Step time: 0.6 s - Temp.: 25 °C (Room) - Time Started: 6 s
 Operations: Smooth 0.150 | Smooth 0.150 | Background 1.000,1.000 | Import
☒ 00-019-1184 (I) - Albite, ordered - NaAlSi₃O₈ - Y: 112.47 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Triclinic - a 8.13800 - b 12.79000 - c 7.16100 - alpha 94.270 - beta 116.600 - gamma 87.690 - Base-centered - C-1 (0) -
☒ 00-020-0528 (C) - Anorthite, sodian, ordered - (Ca,Na)(Al,Si)₂Si₂O₈ - Y: 107.50 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Triclinic - a 8.17800 - b 12.87000 - c 14.18700 - alpha 93.500 - beta 115.900 - gamma 90.630 -
☒ 00-036-0401 (*) - Beusite - (Mn+2,Fe+2)₃(PO₄)₂ - Y: 129.32 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Monoclinic - a 8.79570 - b 11.55630 - c 6.17060 - alpha 90.000 - beta 99.150 - gamma 90.000 - Primitive - P2₁/c (1
☒ 00-042-1340 (*) - Pyrite - FeS₂ - Y: 78.16 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Cubic - a 5.41790 - b 5.41790 - c 5.41790 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 90.000 - Primitive - Pa-3 (205) - 4 - 159.035 - I/Ic PDF
☒ 00-047-1743 (C) - Calcite - CaCO₃ - Y: 104.38 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Rhombo.H.axes - a 4.98960 - b 4.98960 - c 17.06100 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.000 - Primitive - R-3c (167) - 6 -

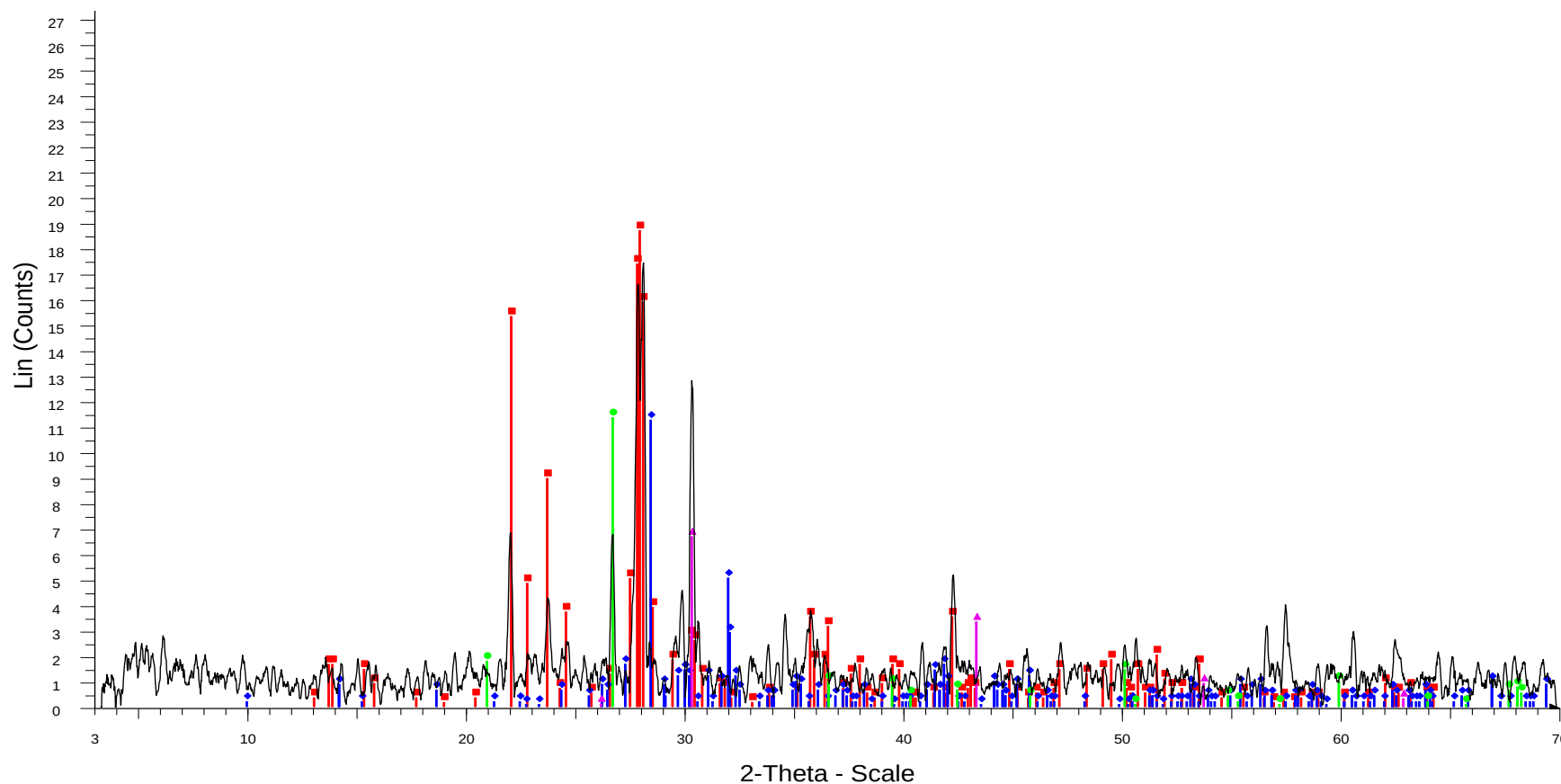
NÚC-VI-LC-16-12-13

125cm



NÚC-VI-LC-16-12-13

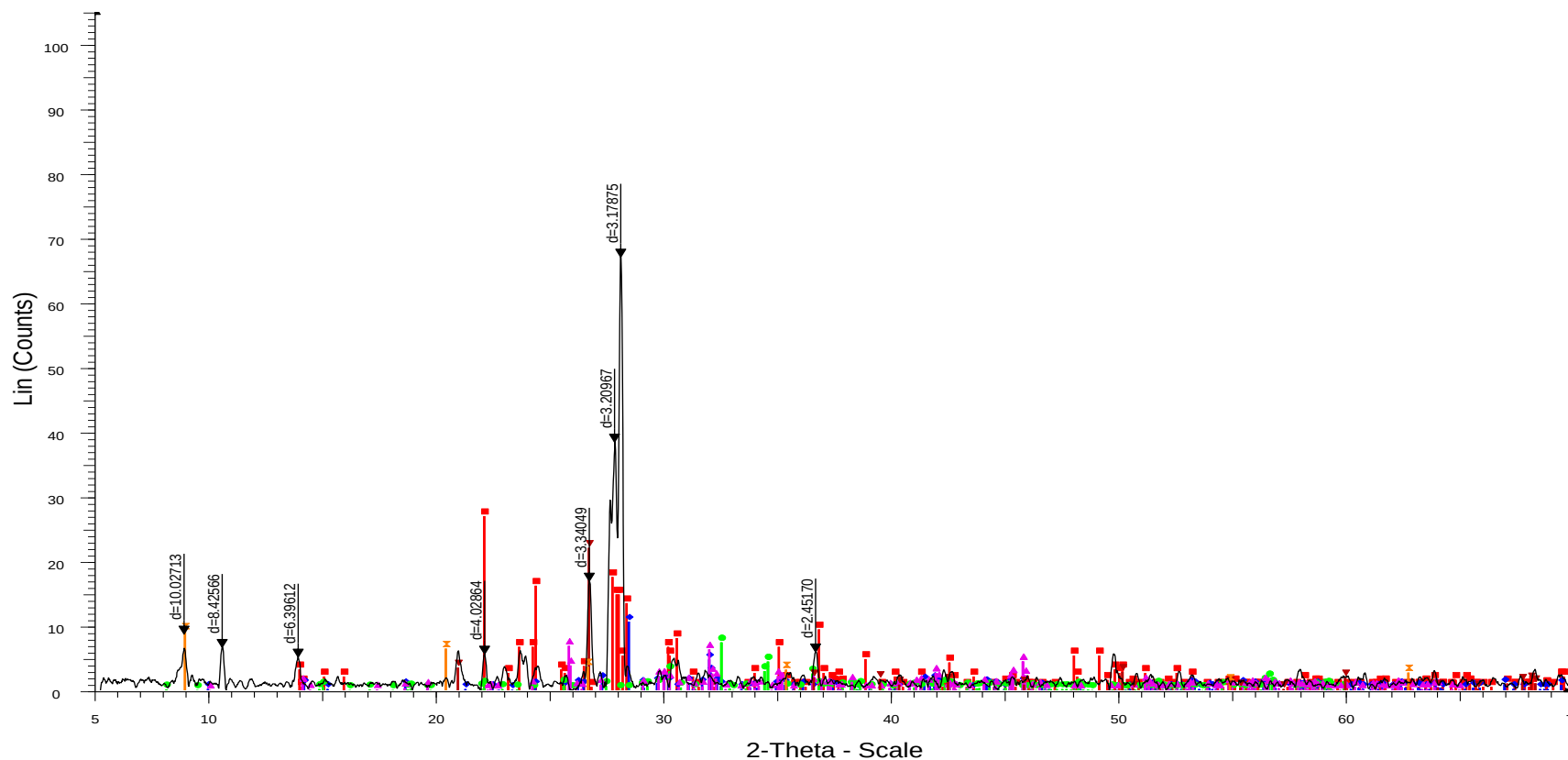
139cm



☒ Nuc-VI-LcMc-16-12-13 139 Cm - File: Nuc-VI-LcMc-16-12-13 139 Cm.raw - Type: Locked Coupled - Start: 3.000 ° - End: 70.000 ° - Step: 0.020 ° - Step time: 0.6 s - Temp.: 25 °C (Room) - Time Started: 6 s
 Operations: Smooth 0.150 | Background 1.000,1.000 | Import
☒ 00-020-0528 (C) - Anorthite, sodian, ordered - $(\text{Ca},\text{Na})(\text{Al},\text{Si})_2\text{Si}_2\text{O}_8$ - Y: 107.38 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Triclinic - a 8.17800 - b 12.87000 - c 14.18700 - alpha 93.500 - beta 115.900 - gamma 90.630 -
☒ 00-053-1201 (I) - Magnesio-axinite - $\text{Ca}_2\text{MgAl}_2\text{BSi}_4\text{O}_{15}(\text{OH})$ - Y: 64.73 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Triclinic - a 7.13810 - b 9.16260 - c 8.94210 - alpha 91.903 - beta 98.105 - gamma 77.468 - Primitive - P-
☒ 00-026-0919 (C) - Halite, potassian, syn - $\text{K}_0.4\text{Na}_0.6\text{Cl}$ - Y: 38.44 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Cubic - a 5.90180 - b 5.90180 - c 5.90180 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 90.000 - Face-centered - Fm-
☒ 00-046-1045 (*) - Quartz, syn - SiO_2 - Y: 65.24 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Hexagonal - a 4.91344 - b 4.91344 - c 5.40524 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.000 - Primitive - P3221 (154) - 3 - 113.

NÚC-III-LLB-15-12-13

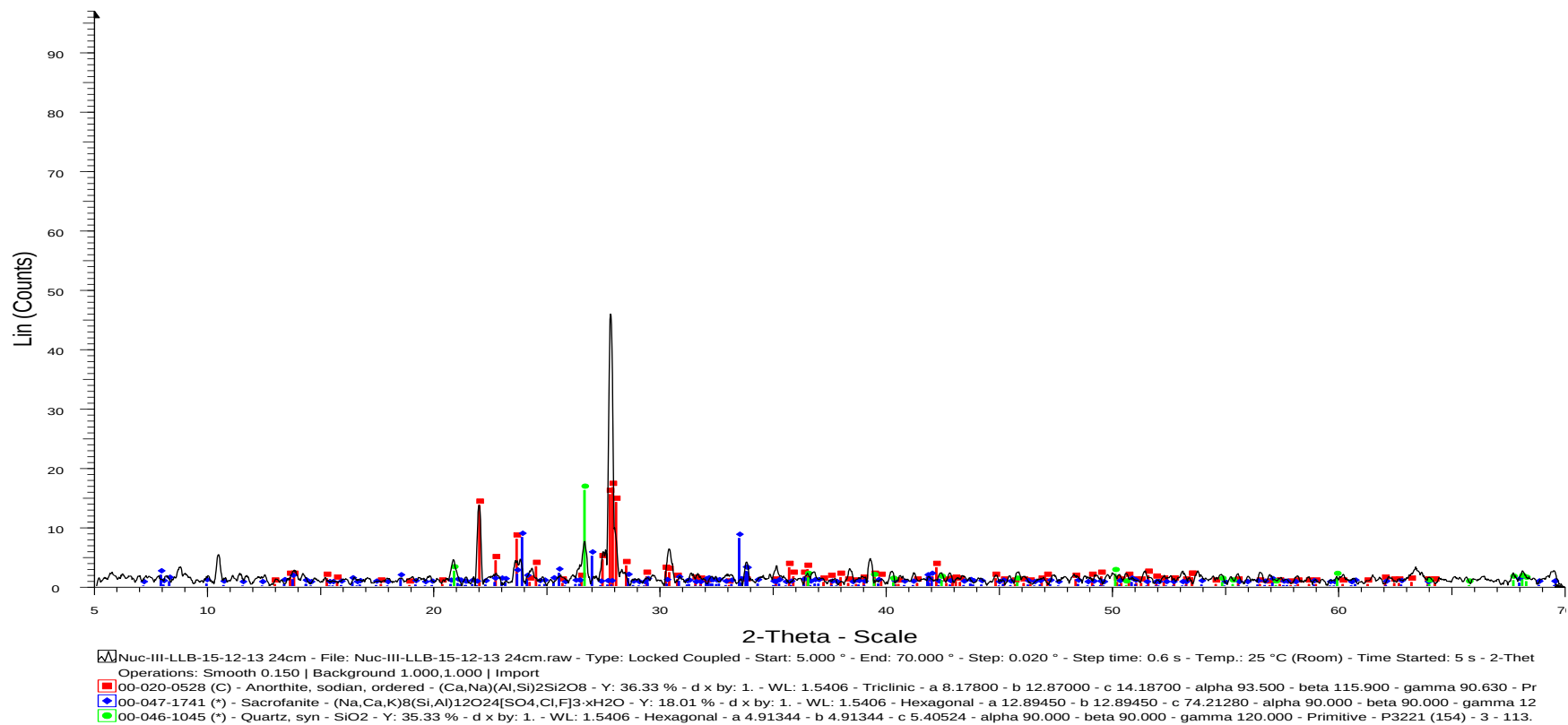
2cm



Nuc-III-LLB-15-12-13 2cm la boquita - File: Nuc-III-LLB-15-12-13 2cm la boquita.raw - Type: Locked Coupled - Start: 5.000 ° - End: 70.000 ° - Step: 0.020 ° - Step time: 0.6 s - Temp.: 25 °C (Room) - Time St
 Operations: Smooth 0.150 | Background 1.000,1.000 | Import
 00-019-1184 (I) - Albite, ordered - NaAlSi₃O₈ - Y: 40.24 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Triclinic - a 8.13800 - b 12.79000 - c 7.16100 - alpha 94.270 - beta 116.600 - gamma 87.690 - Base-centered - C-1 (0) -
 00-053-1201 (I) - Magnesio-axinite - Ca₂MgAl₂BSi₄O₁₅(OH) - Y: 15.90 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Triclinic - a 7.13810 - b 9.16260 - c 8.94210 - alpha 91.903 - beta 98.105 - gamma 77.468 - Primitive - P-
 00-038-0474 (I) - Vesuvianite, ferrian - Ca₁₉(Al,Mg,Fe)₁₁(Si,Al)₁₈O₆₉(OH)₉ - Y: 11.06 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Tetragonal - a 15.56700 - b 15.56700 - c 11.83900 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma
 00-053-1202 (I) - Ferro-axinite - Ca₂FeAl₂BSi₄O₁₅(OH) - Y: 10.29 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Triclinic - a 7.14200 - b 9.19400 - c 8.95000 - alpha 91.880 - beta 98.180 - gamma 77.340 - Primitive - P-1 (2)
 00-046-1045 (*) - Quartz, syn - SiO₂ - Y: 32.89 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Hexagonal - a 4.91344 - b 4.91344 - c 5.40524 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.000 - Primitive - P3221 (154) - 3 - 113.
 00-029-1489 (*) - Halloysite-10A - Al₂Si₂O₅(OH)₄·2H₂O - Y: 13.78 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Hexagonal - a 5.11800 - b 5.11800 - c 10.03000 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.000 - Primitive - P

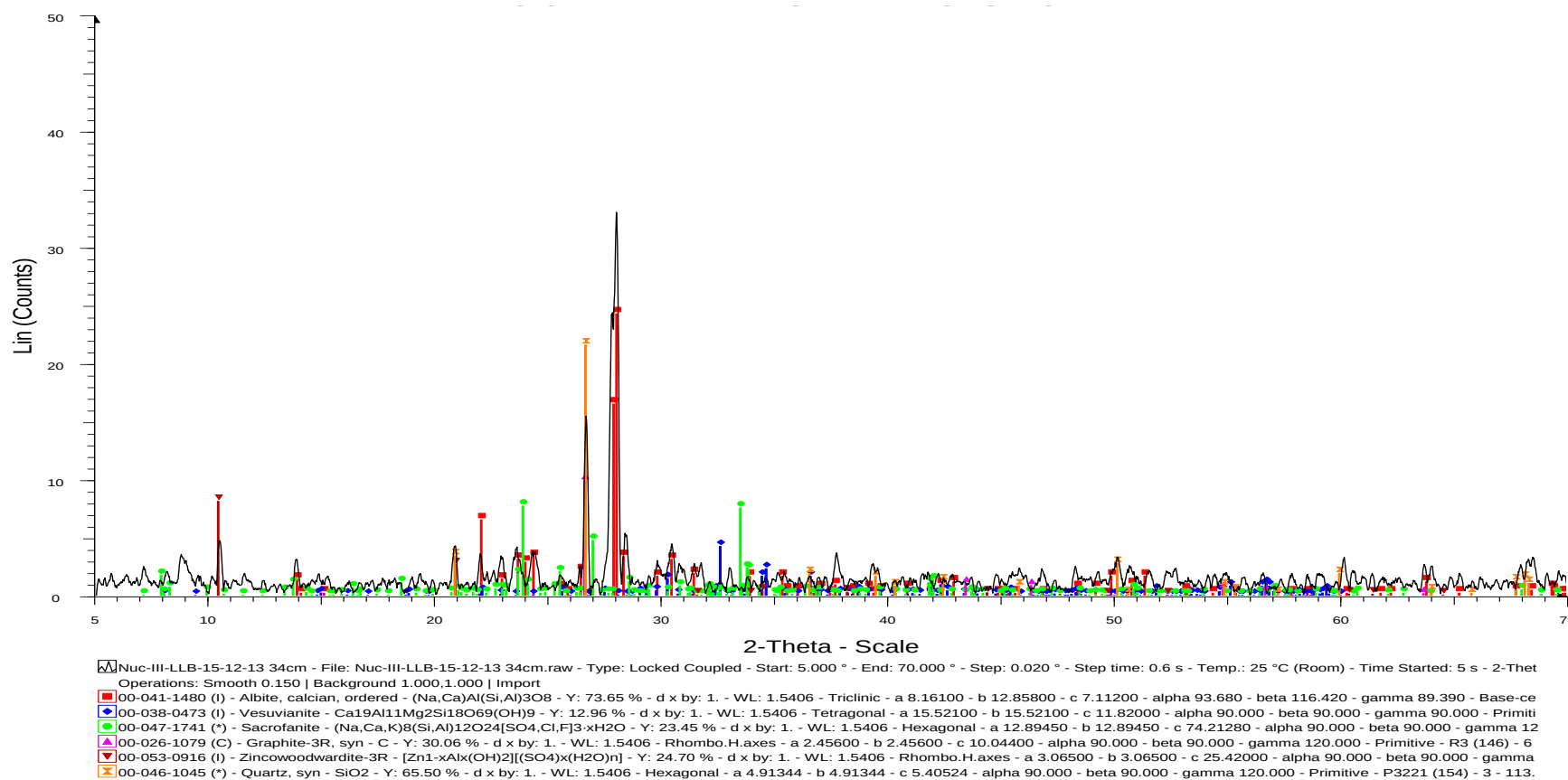
NÚC-III-LLB-15-12-13

24cm



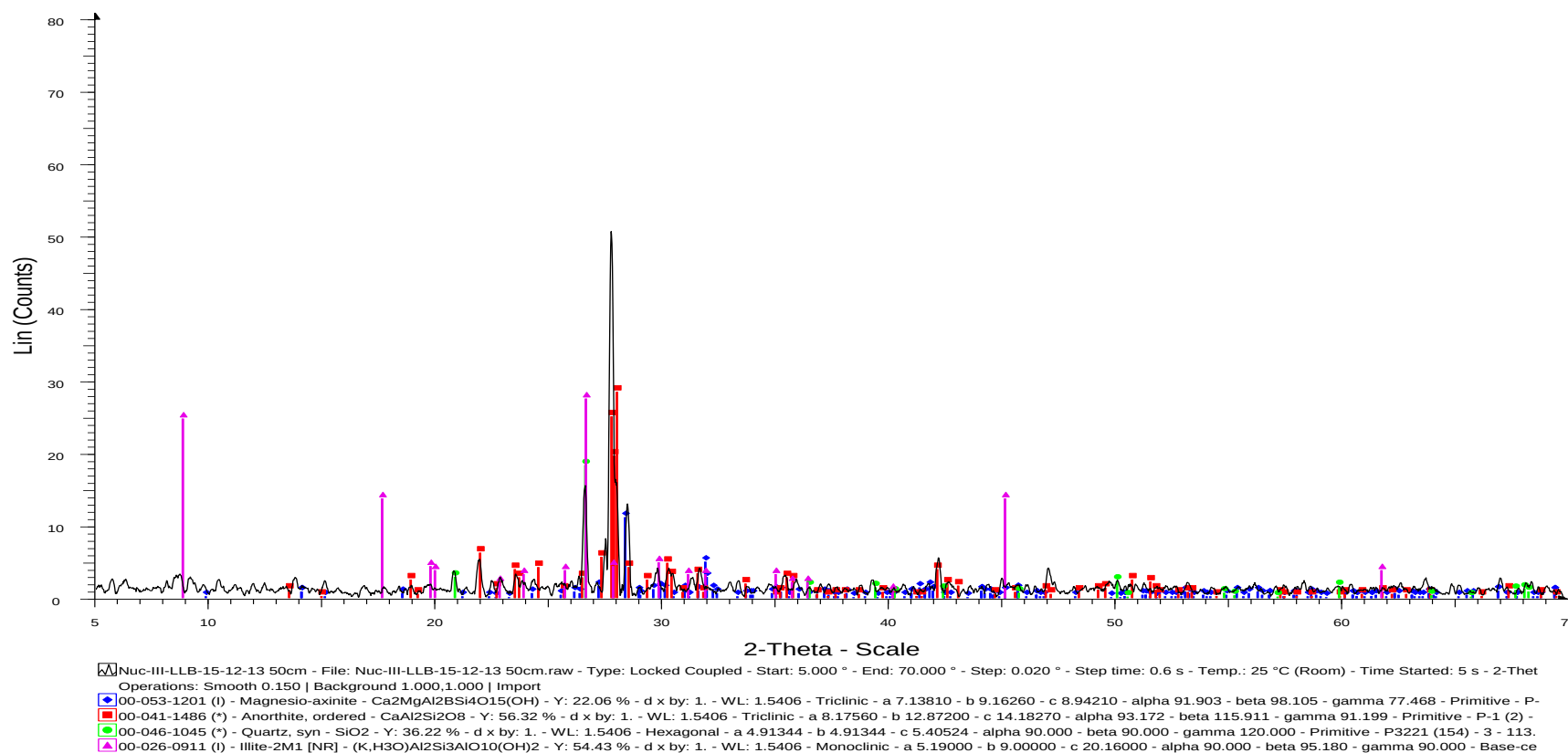
NÚC-III-LLB-15-12-13

34cm



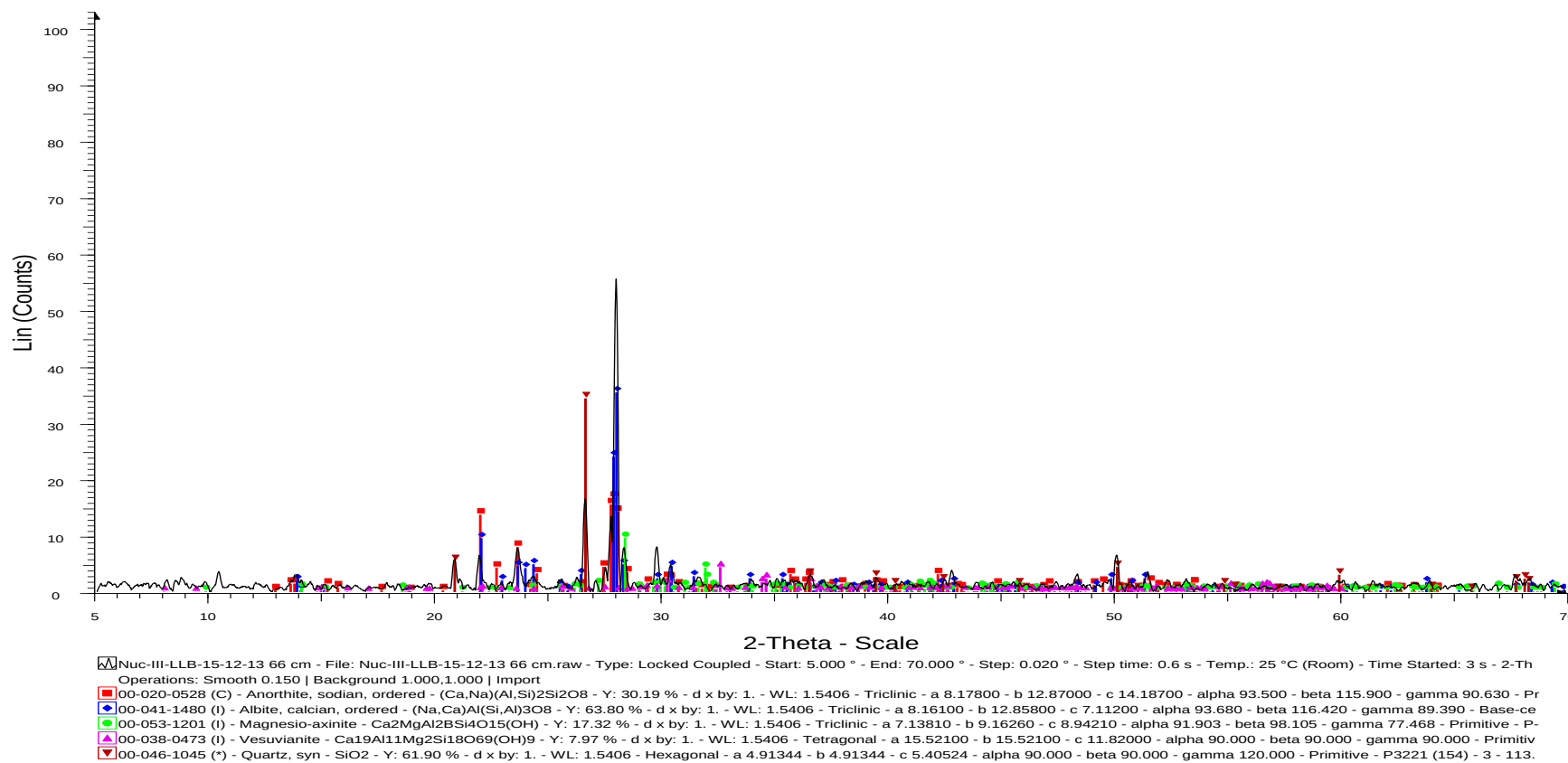
NÚC-III-LLB-15-12-13

50cm



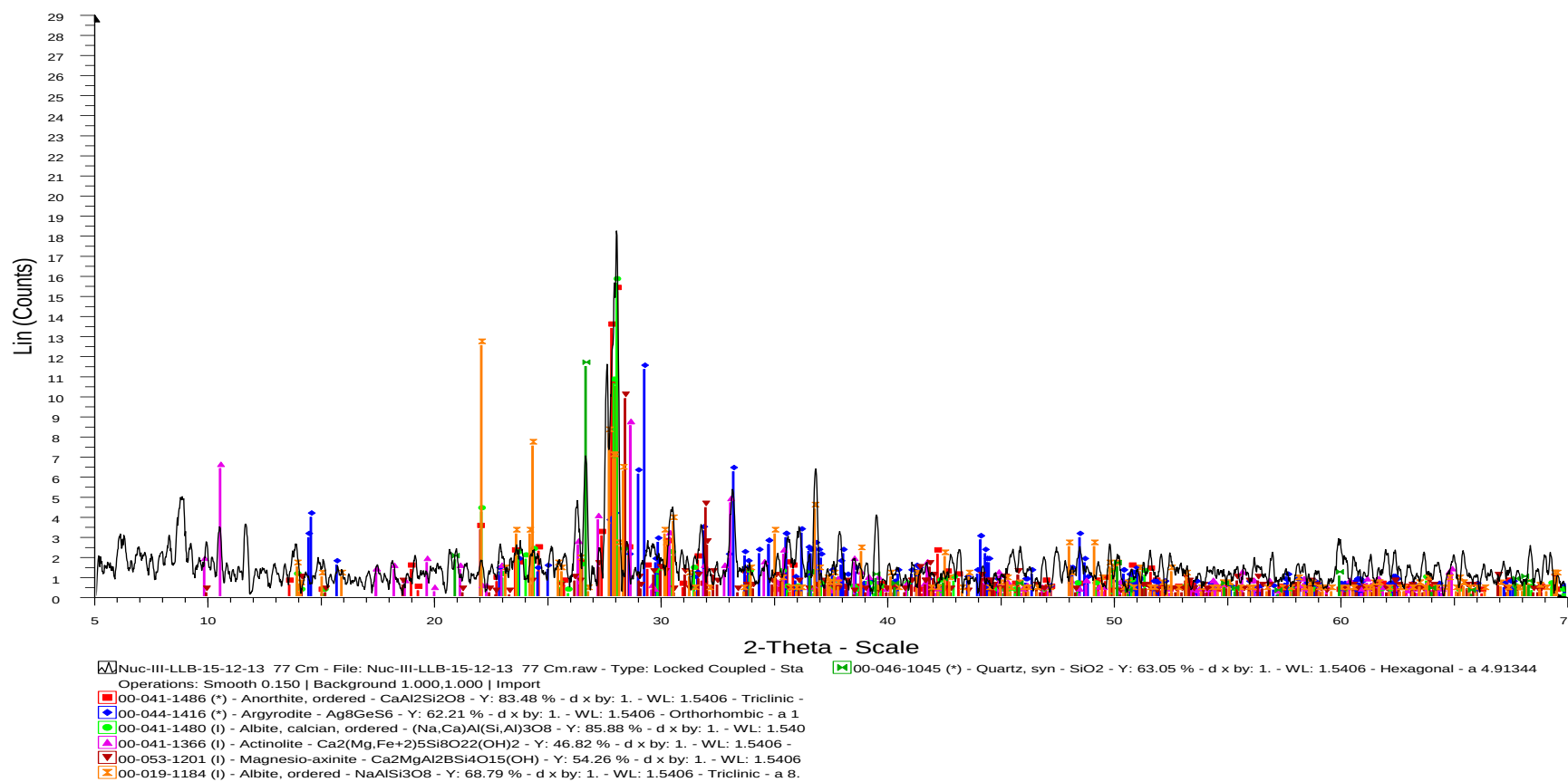
NÚC-III-LLB-15-12-13

66m



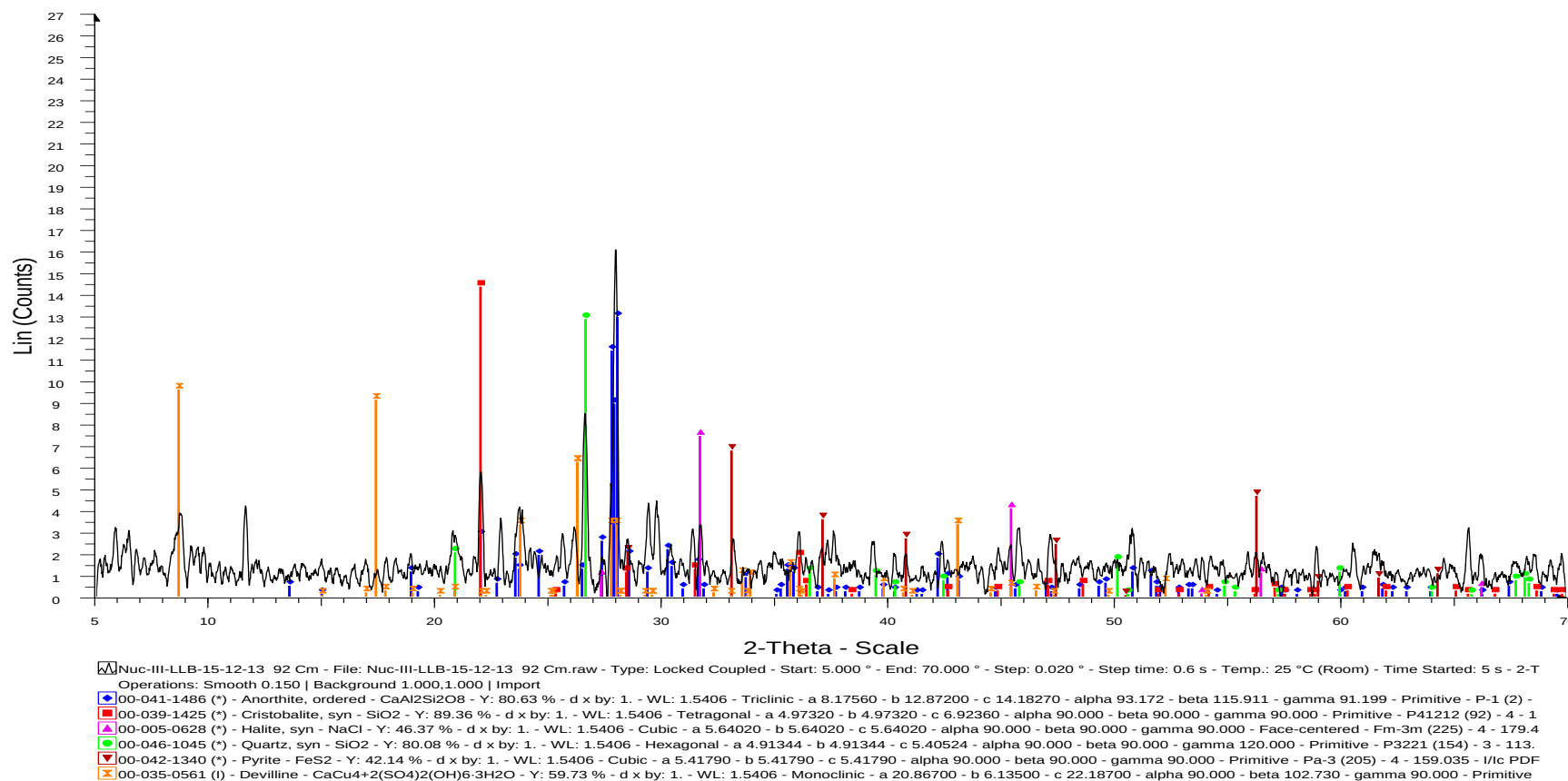
NÚC-III-LLB-15-12-13

77cm



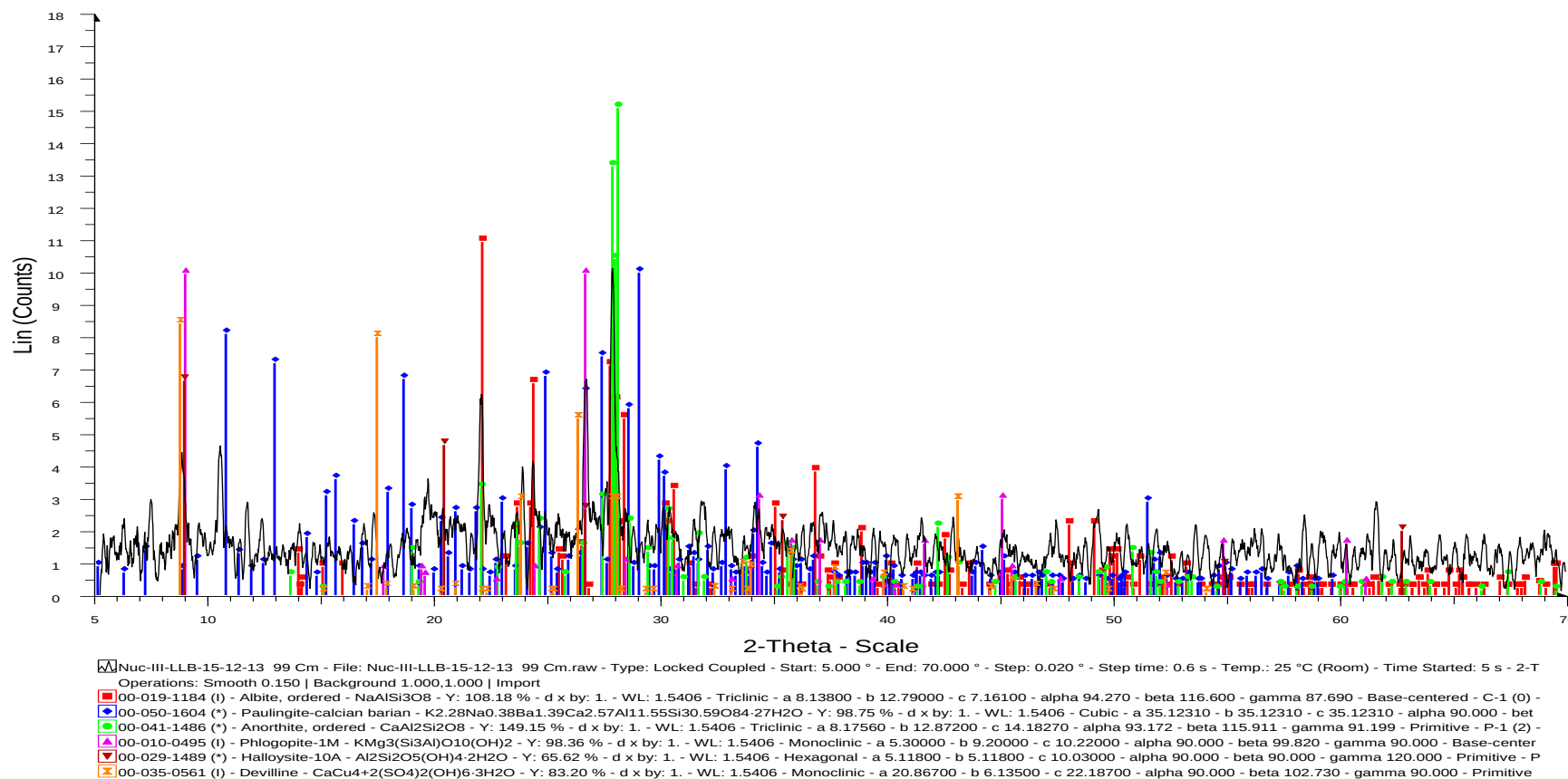
NÚC-III-LLB-15-12-13

92cm



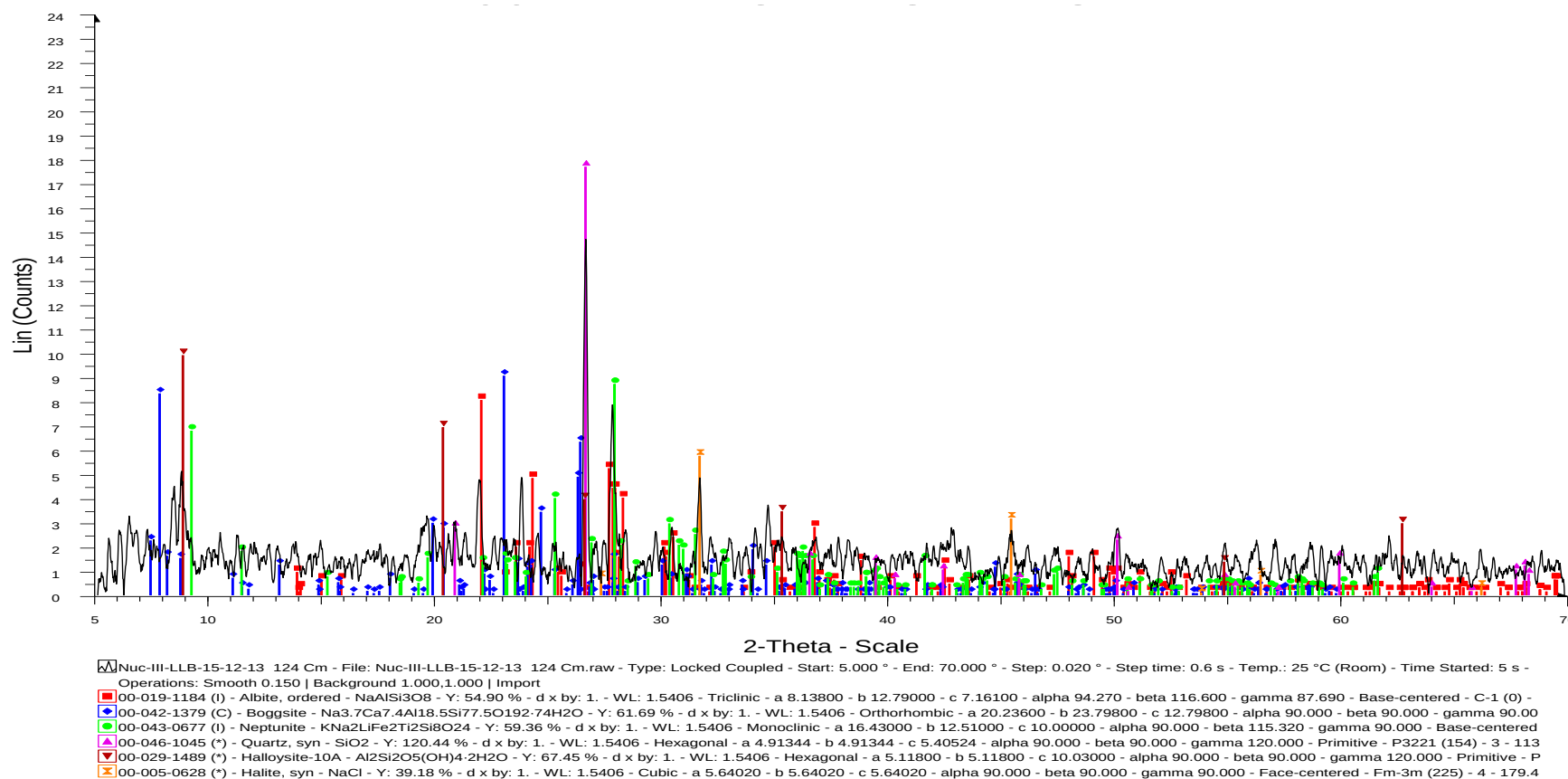
NÚC-III-LLB-15-12-13

99cm



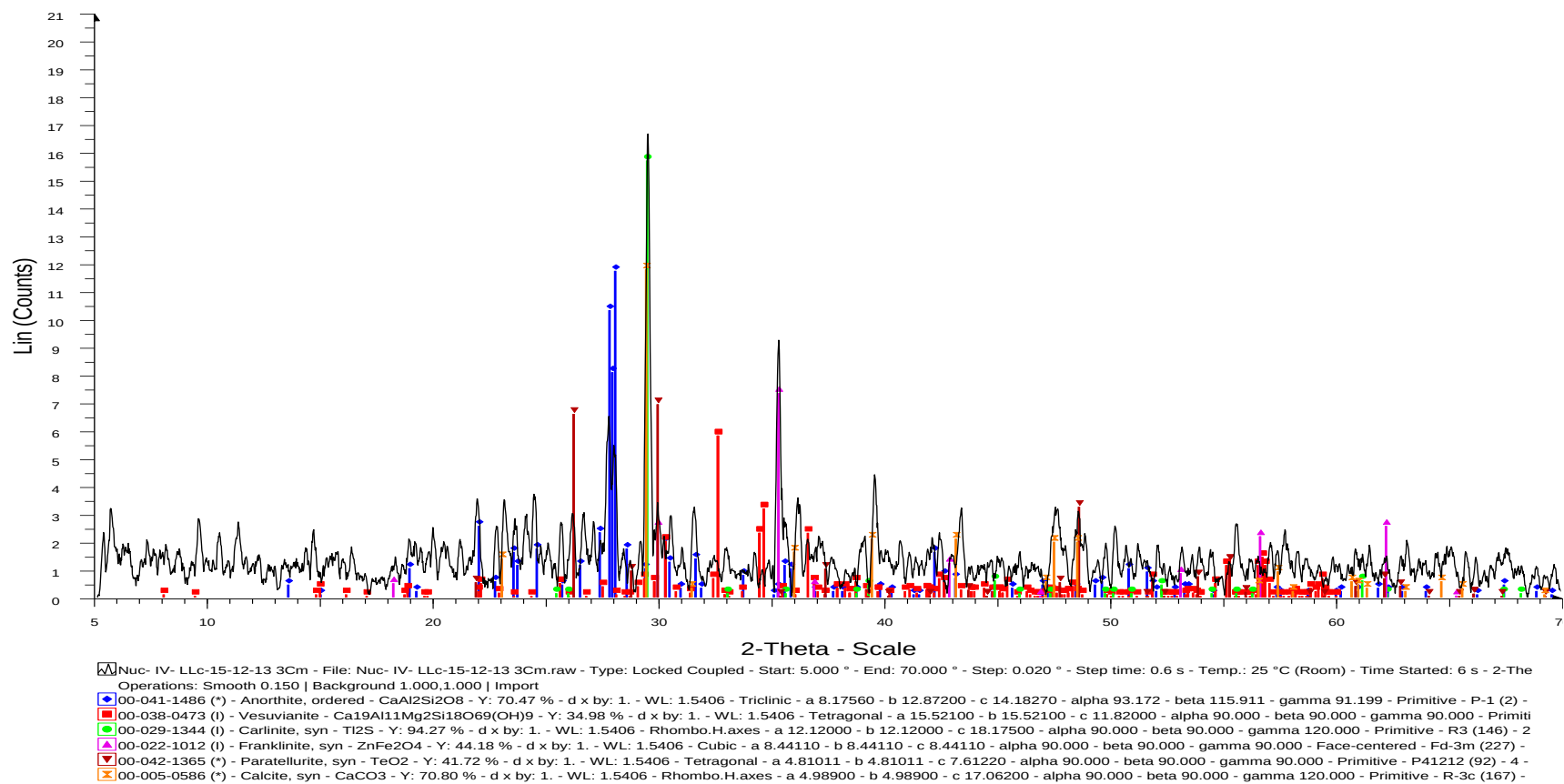
NÚC-III-LLB-15-12-13

124cm



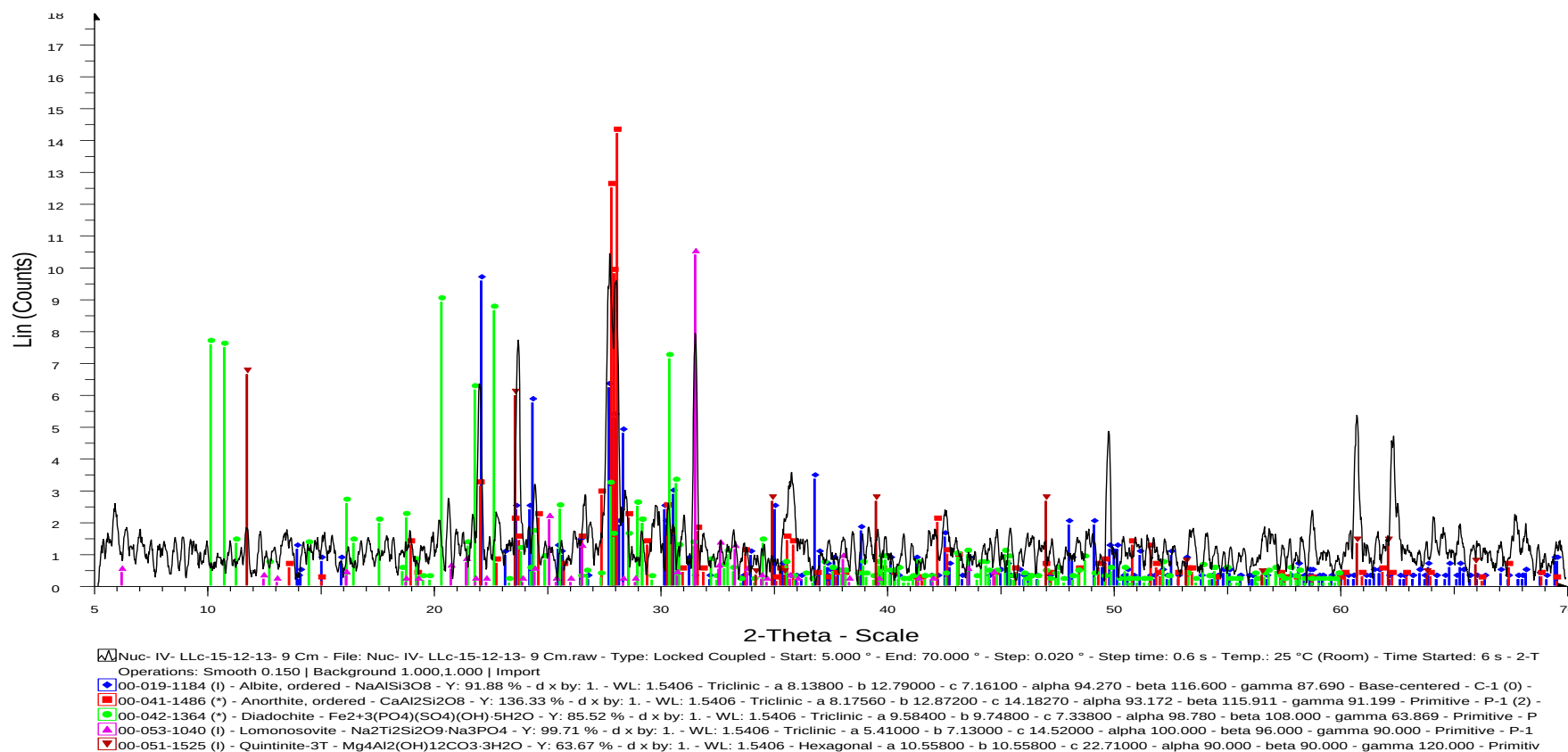
NÚC-IV-LLC-15-12-13

3cm



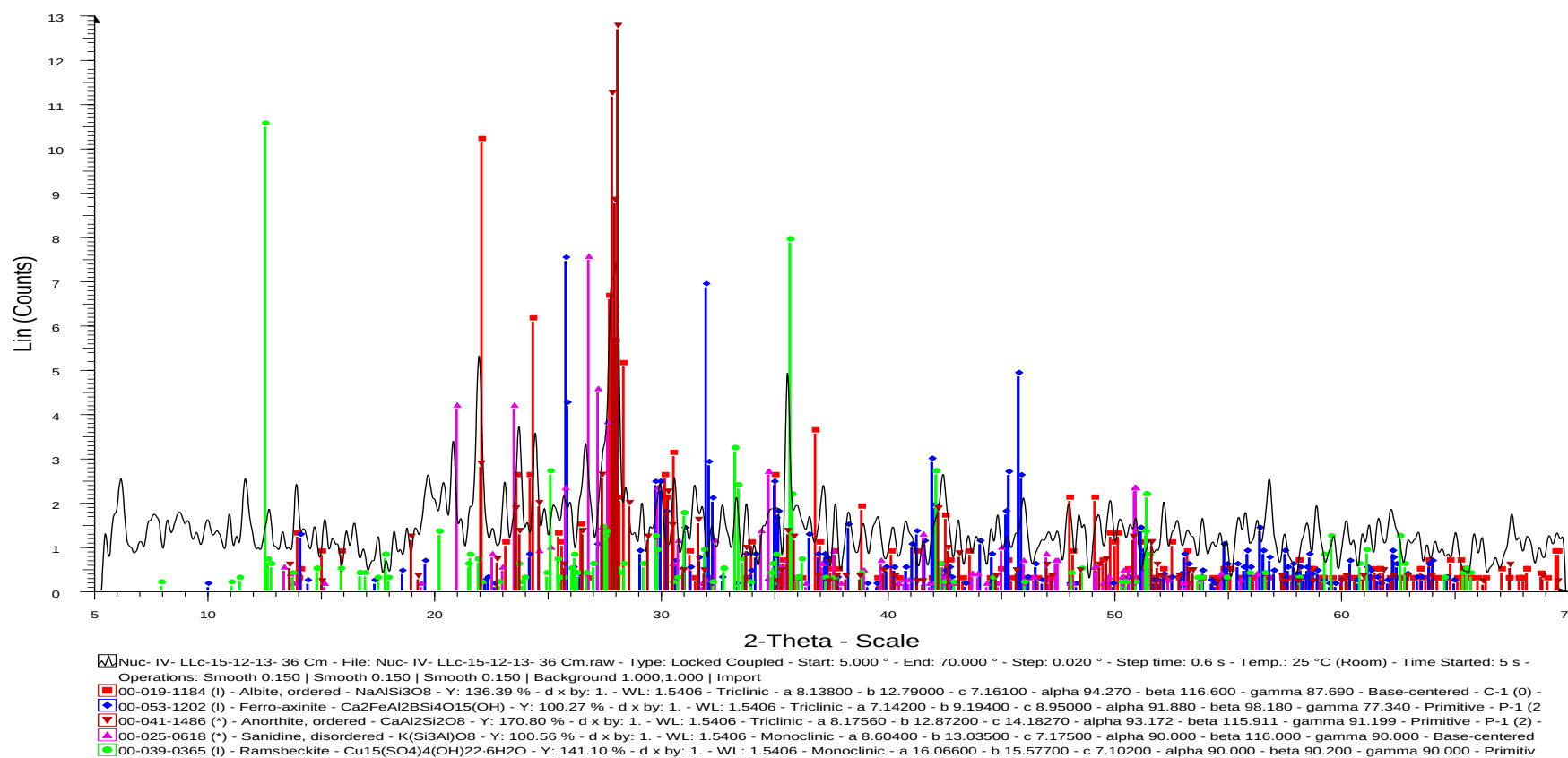
NÚC-IV-LLC-15-12-13

9cm



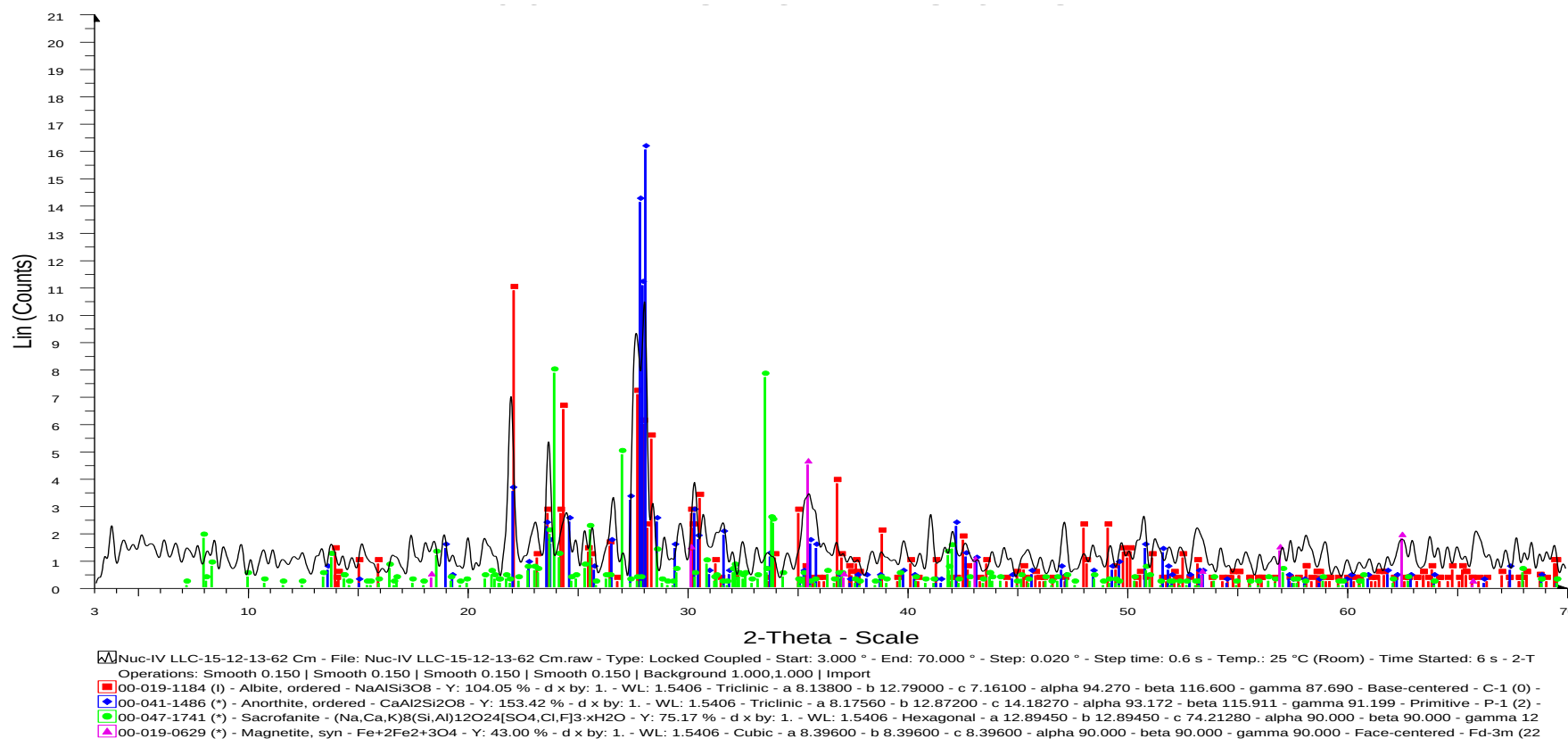
NÚC-IV-LLC-15-12-13

36cm



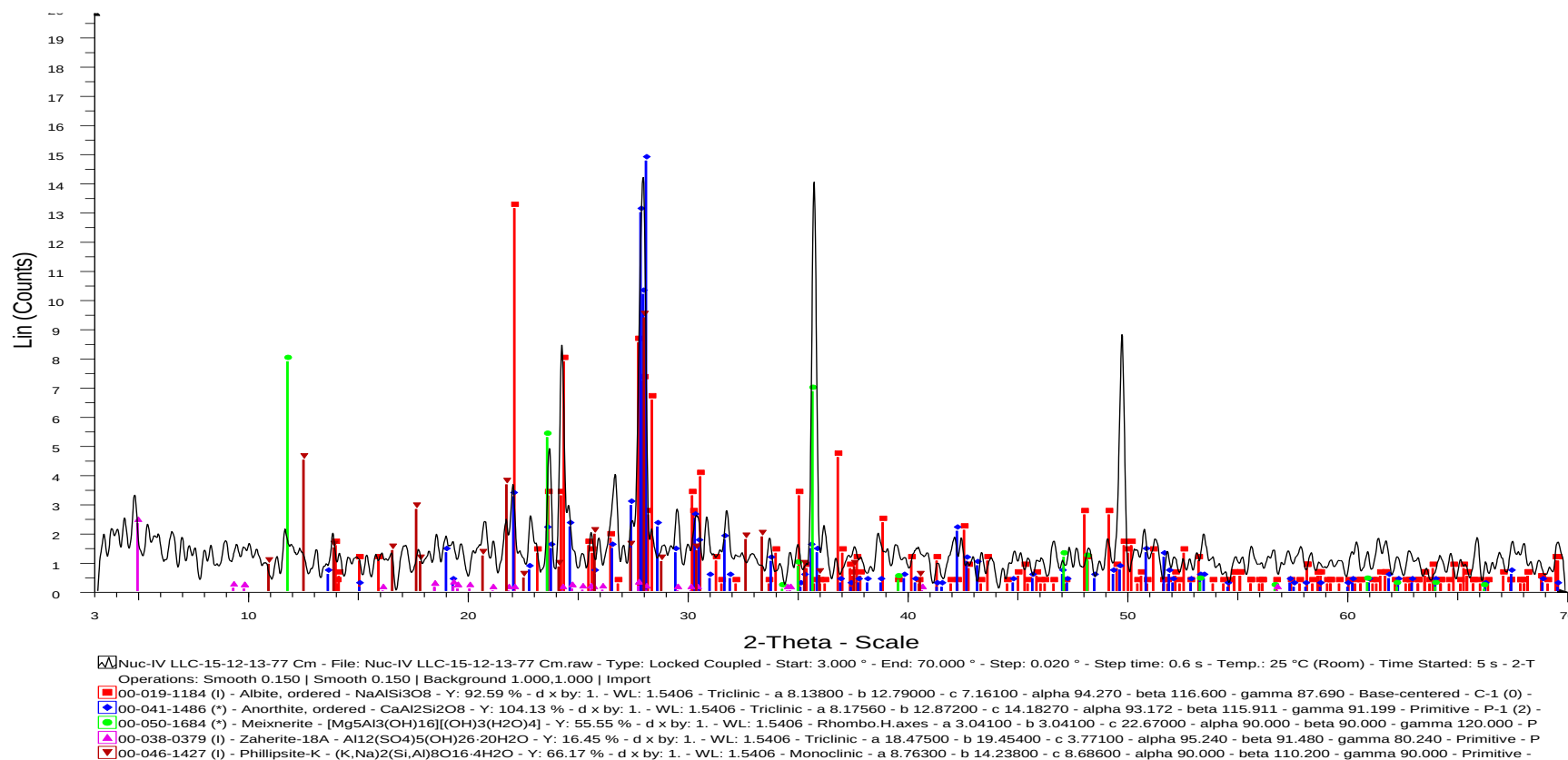
NÚC-IV-LLC-15-12-13

62cm



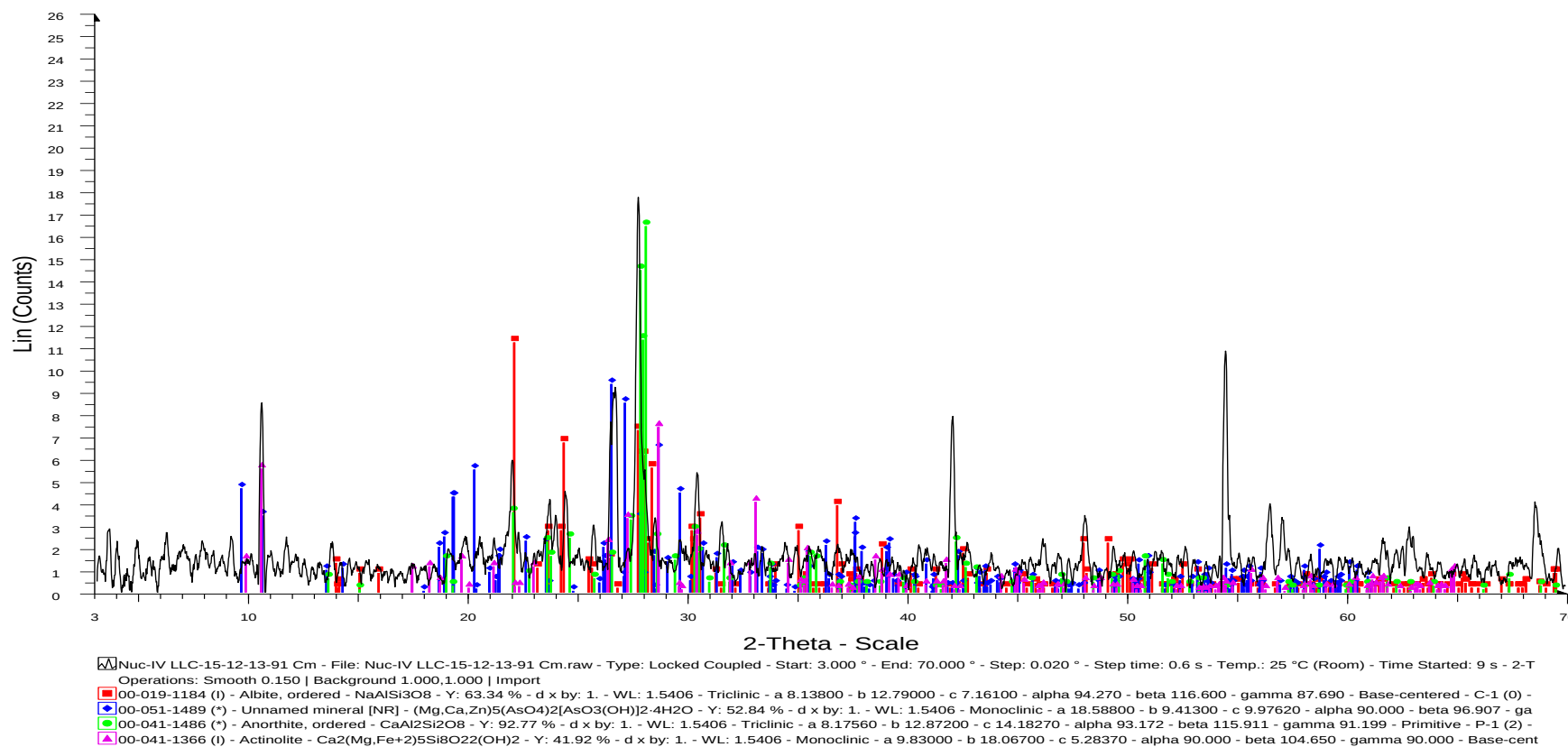
NÚC-IV-LLC-15-12-13

77cm



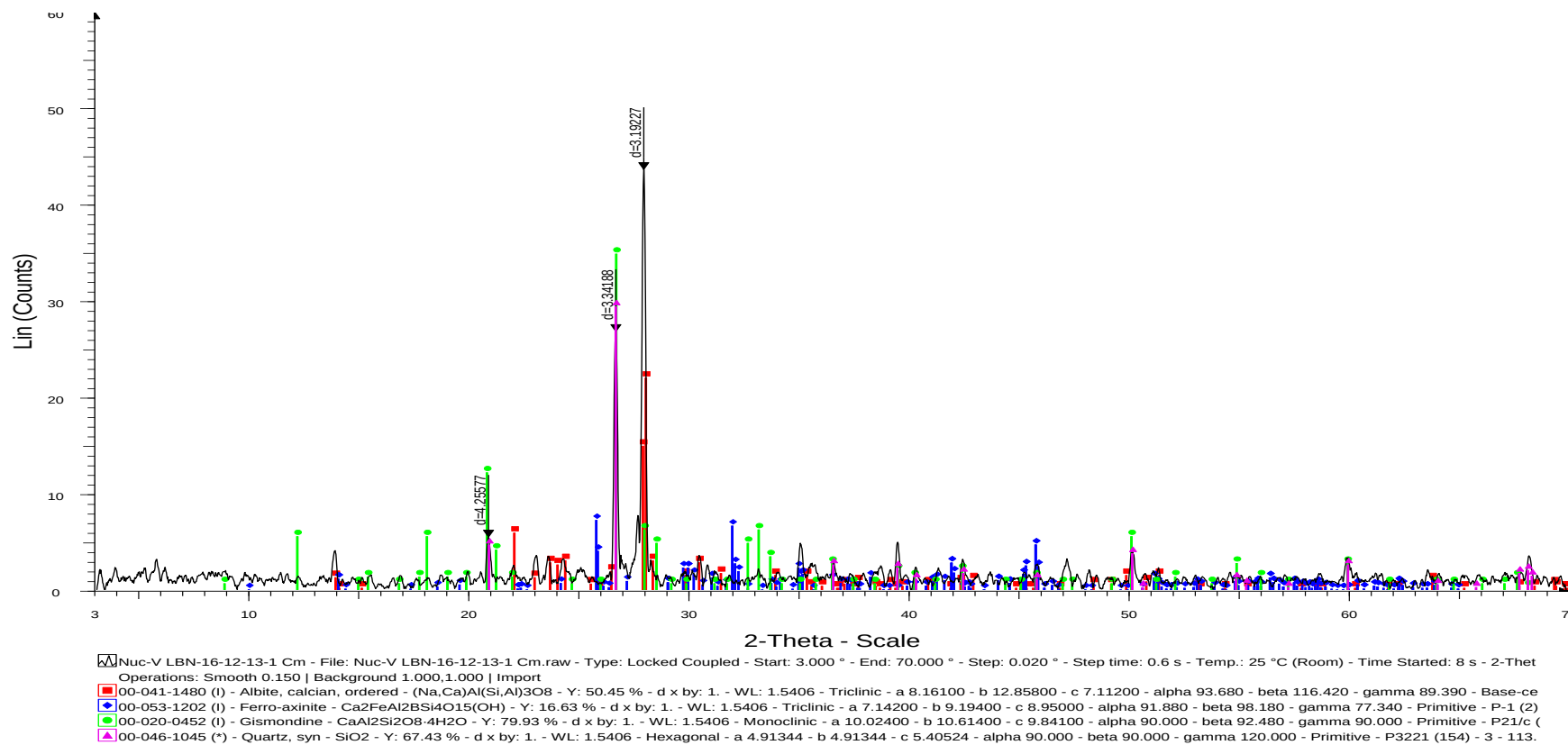
NÚC-IV-LLC-15-12-13

91cm



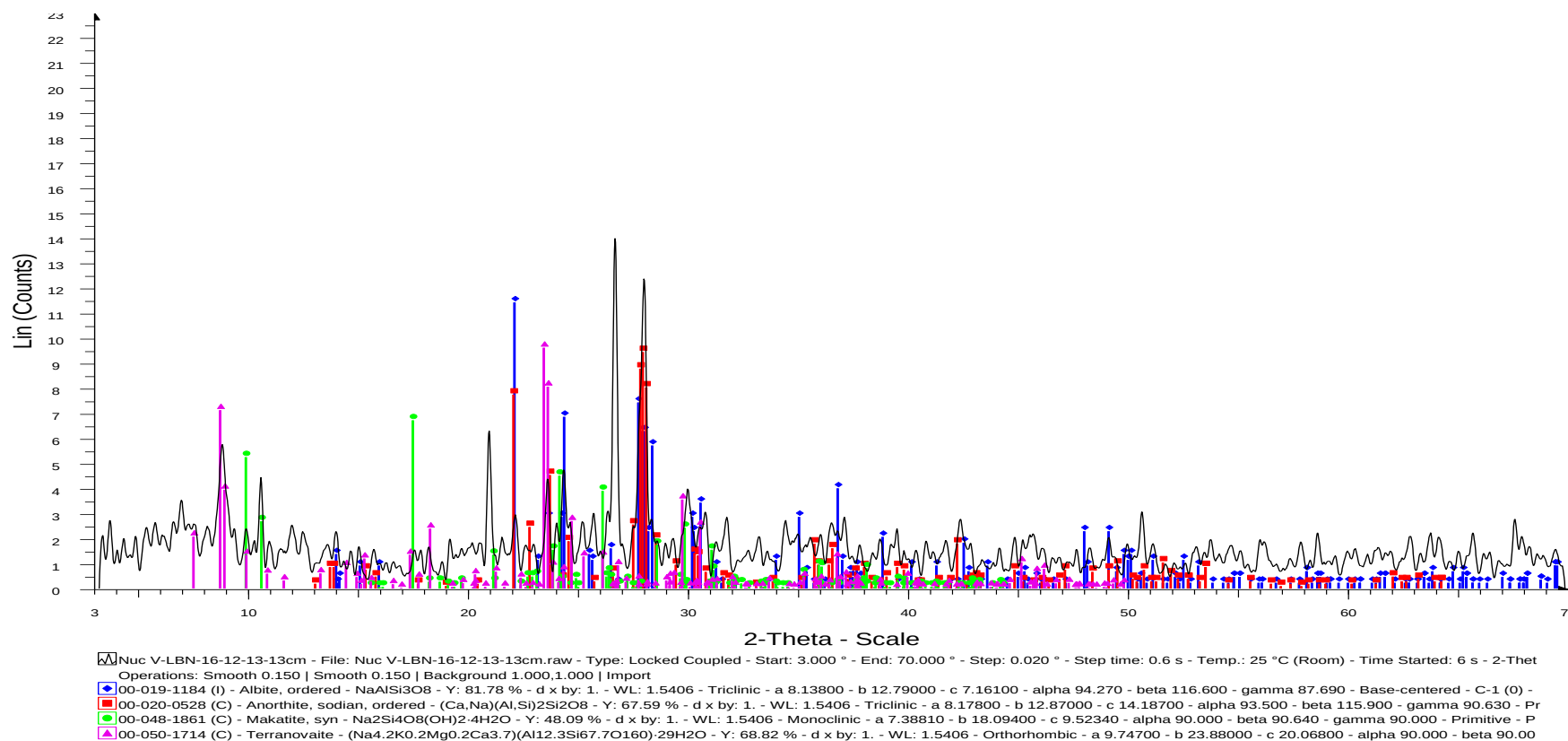
NÚC-V-LBN-16-12-13

1cm



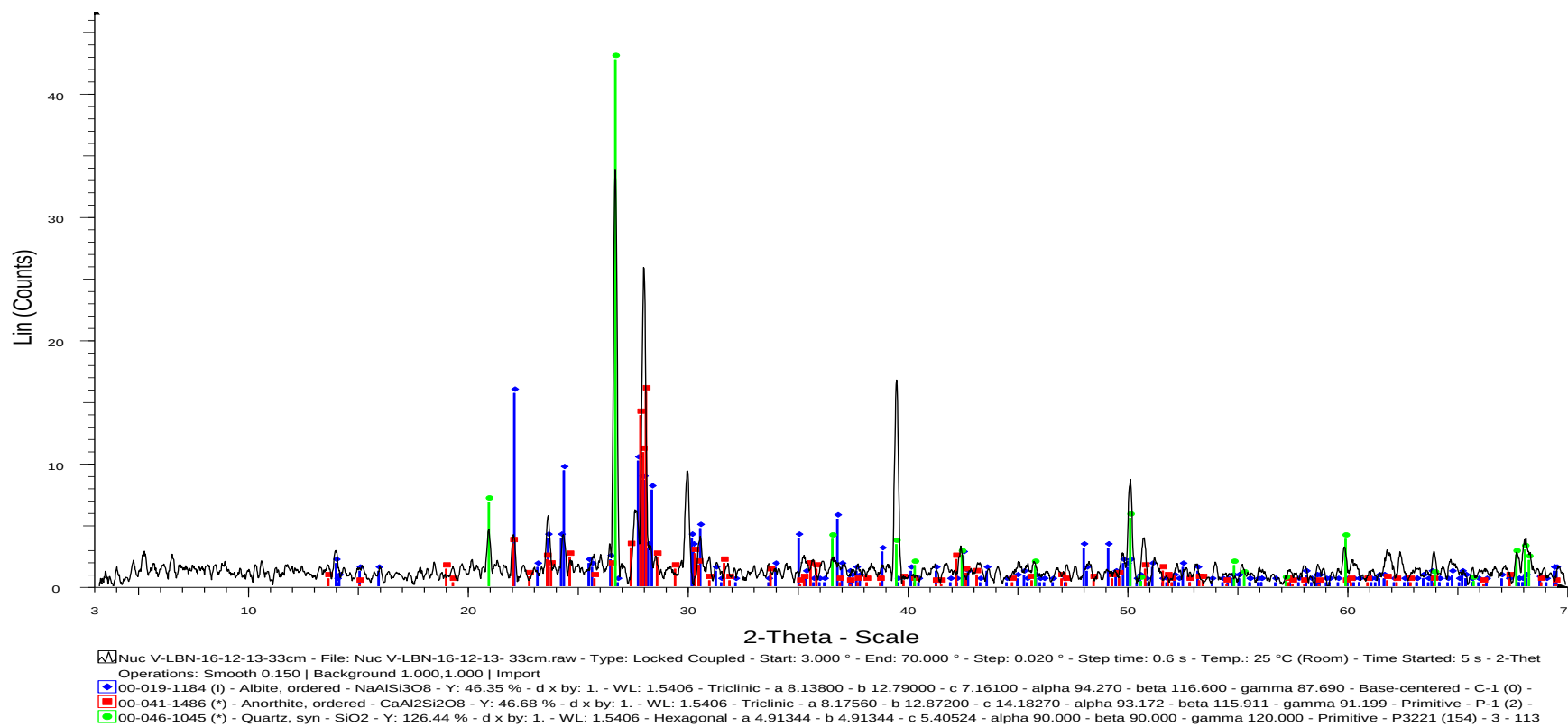
NÚC-V-LBN-16-12-13

13cm



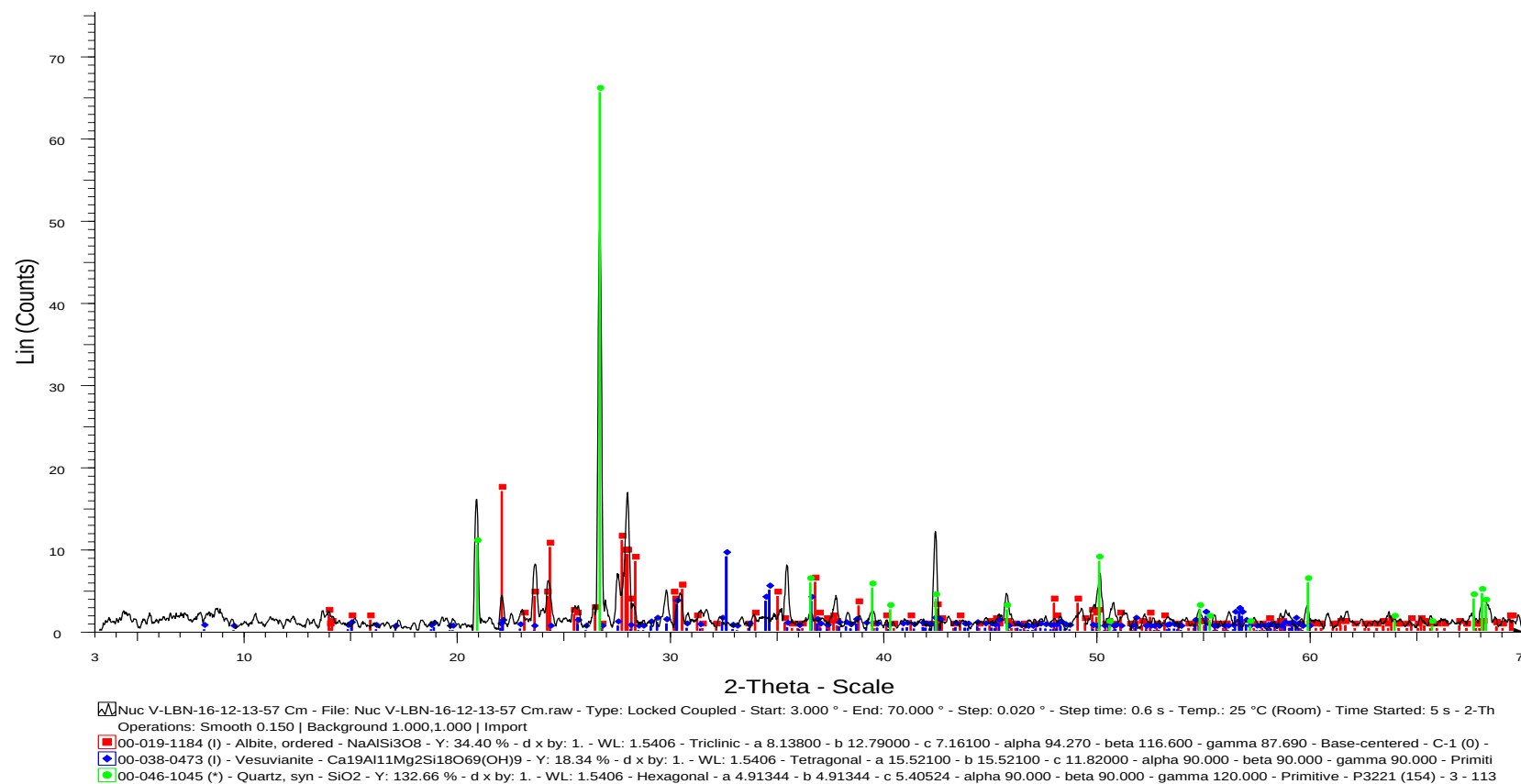
NÚC-V-LBN-16-12-13

33cm



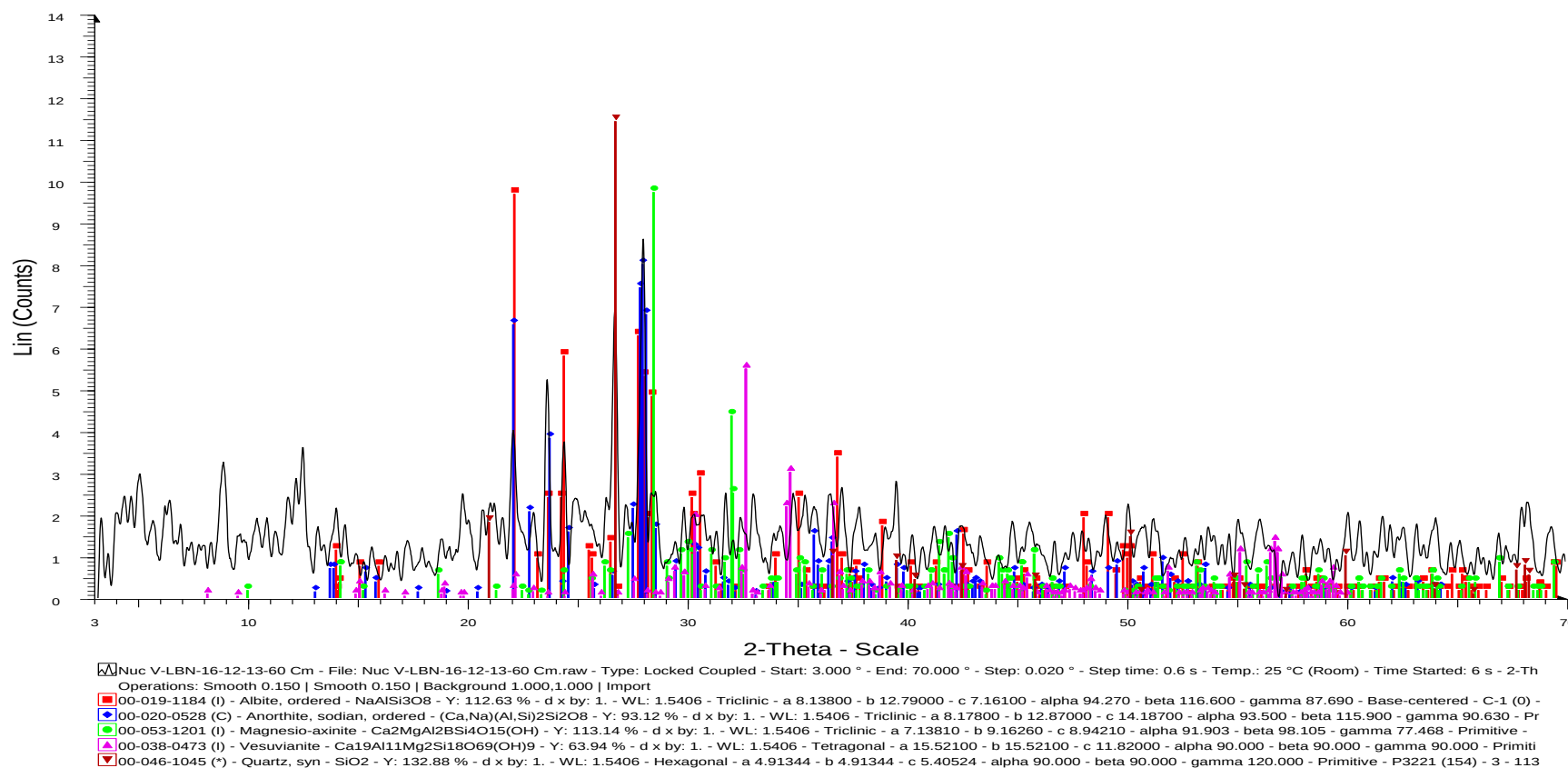
NÚC-V-LBN-16-12-13

57cm



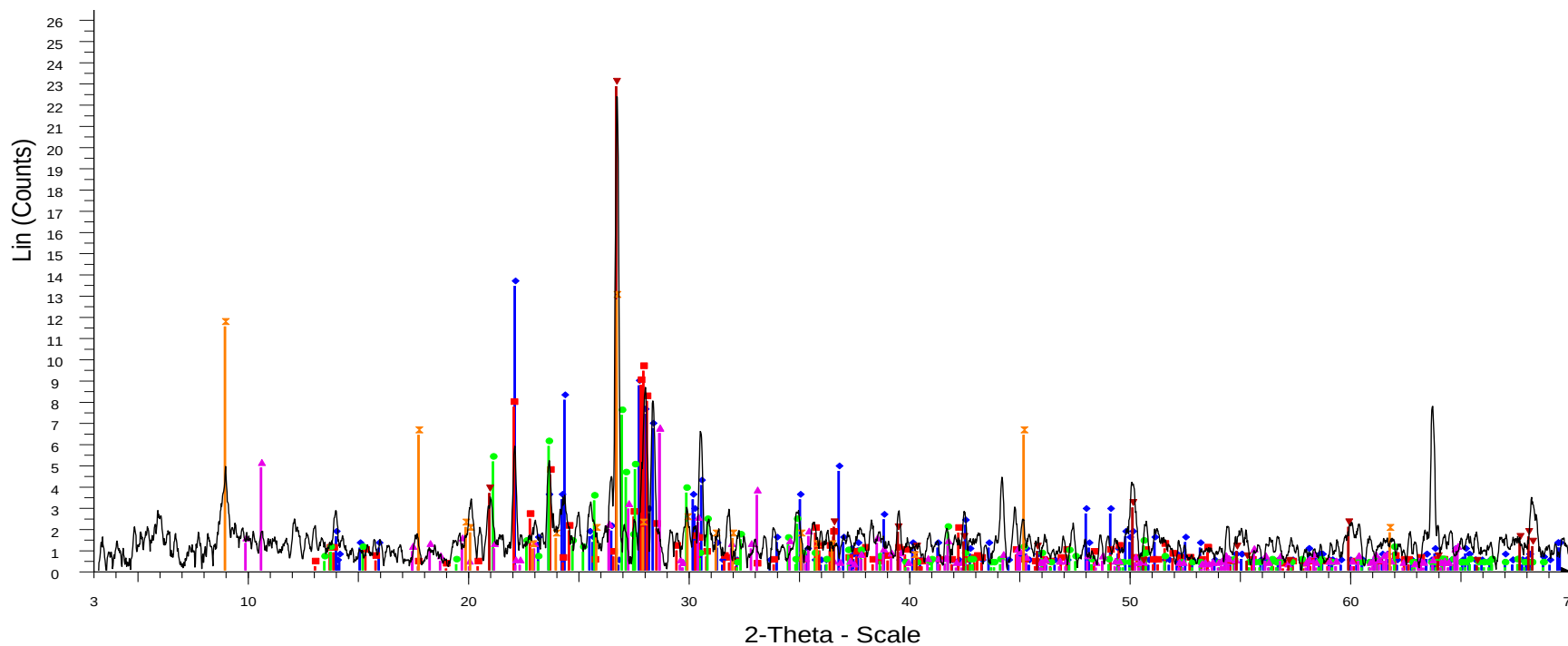
NÚC-V-LBN-16-12-13

60cm



NÚC-V-LBN-16-12-13

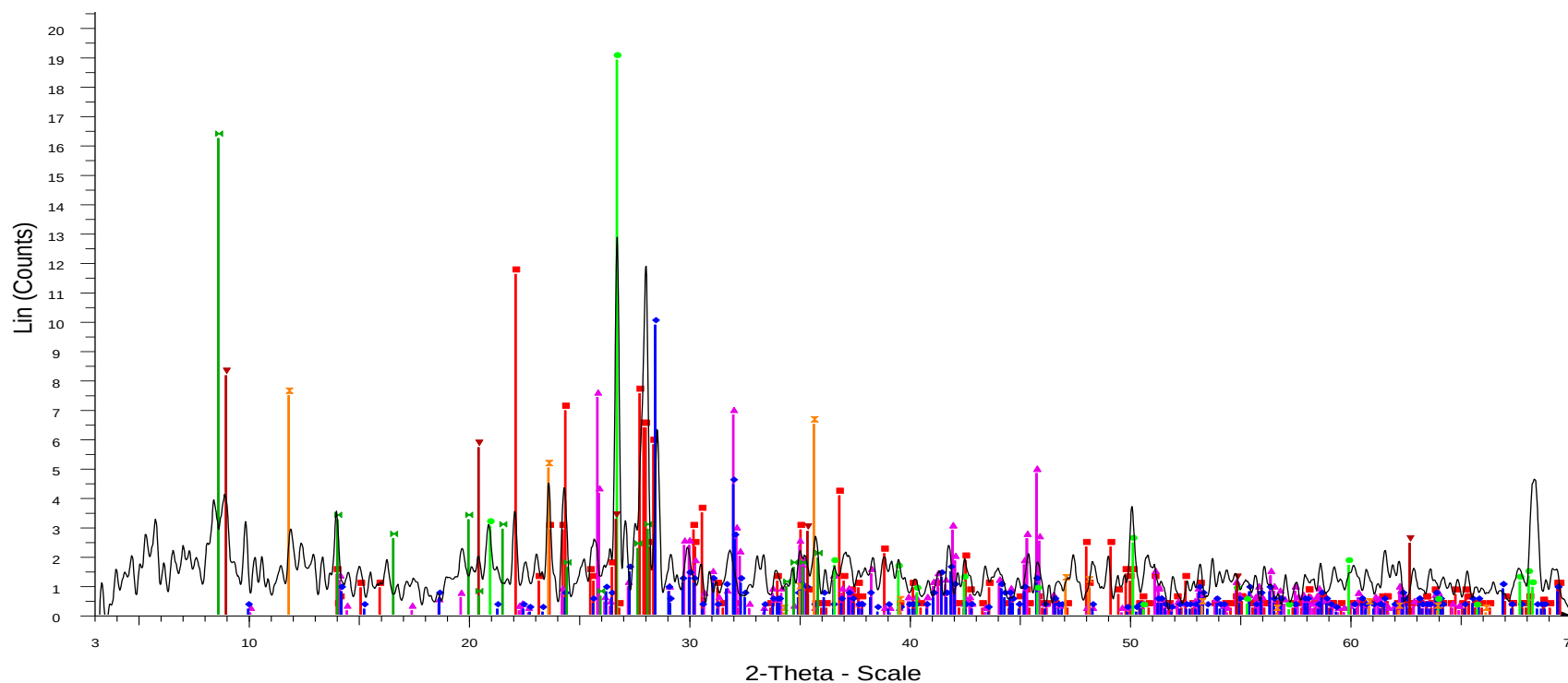
73cm



☒ Nuc V-LBN-16-12-13-73 Cm - File: Nuc V-LBN-16-12-13-73 Cm.raw - Type: Locked Coupled - Start: 3.000 ° - End: 70.000 ° - Step: 0.020 ° - Step time: 0.6 s - Temp.: 25 °C (Room) - Time Started: 6 s - 2-Theta
 Operations: Smooth 0.150 | Background 1.000,1.000 | Import
☒ 00-019-1184 (I) - Albite, ordered - NaAlSi₃O₈ - Y: 60.06 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Triclinic - a 8.13800 - b 12.79000 - c 7.16100 - alpha 94.270 - beta 116.600 - gamma 87.690 - Base-centered - C-1 (0) -
☒ 00-020-0528 (C) - Anorthite, sodian, ordered - (Ca,Na)(Al,Si)₂Si₂O₈ - Y: 42.13 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Triclinic - a 8.17800 - b 12.87000 - c 14.18700 - alpha 93.500 - beta 115.900 - gamma 90.630 - Pr
☒ 00-031-0966 (*) - Orthoclase - KAlSi₃O₈ - Y: 32.85 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Monoclinic - a 8.55600 - b 12.98000 - c 7.20500 - alpha 90.000 - beta 116.010 - gamma 90.000 - Base-centered - C2/m (12) -
☒ 00-041-1366 (I) - Actinolite - Ca₂(Mg,Fe+2)5Si₈O₂₂(OH)₂ - Y: 28.99 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Monoclinic - a 9.83000 - b 18.06700 - c 5.28370 - alpha 90.000 - beta 104.650 - gamma 90.000 - Base-cent
☒ 00-046-1045 (*) - Quartz, syn - SiO₂ - Y: 102.19 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Hexagonal - a 4.91344 - b 4.91344 - c 5.40524 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.000 - Primitive - P3221 (154) - 3 - 113
☒ 00-026-0911 (I) - Illite-2M1 [NR] - (K,H₃O)Al₂Si₃AlO₁₀(OH)₂ - Y: 57.21 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Monoclinic - a 5.19000 - b 9.00000 - c 20.16000 - alpha 90.000 - beta 95.180 - gamma 90.000 - Base-ce

NÚC-V-LBN-16-12-13

88cm



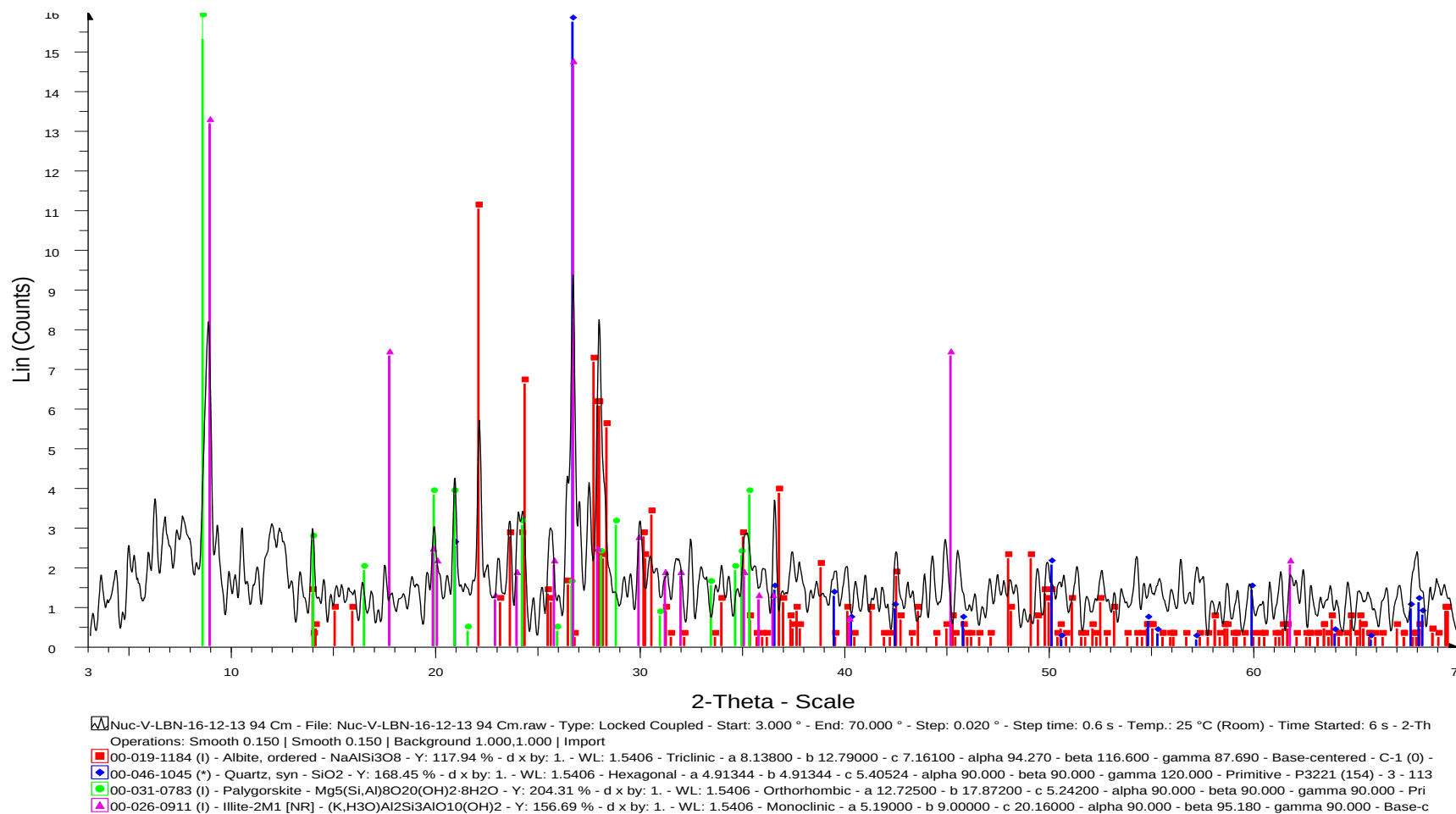
Nuc V-LBN-16-12-13-88 Cm - File: Nuc V-LBN-16-12-13-88 Cm.raw - Type: Locked Coupled - Start
 Operations: Smooth 0.150 | Smooth 0.150 | Background 1.000,1.000 | Import

00-019-1184 (I) - Albite, ordered - $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ - Y: 90.29 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Triclinic - a 8.
 00-053-1202 (I) - Ferro-axinite - $\text{Ca}_2\text{FeAl}_2\text{BSi}_4\text{O}_{15}(\text{OH})$ - Y: 57.70 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Triclinic - a 8.
 00-053-1201 (I) - Magnesio-axinite - $\text{Ca}_2\text{MgAl}_2\text{BSi}_4\text{O}_{15}(\text{OH})$ - Y: 76.87 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Triclinic - a 8.
 00-046-1045 (*) - Quartz, syn - SiO_2 - Y: 147.14 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Hexagonal - a 4.9134
 00-029-1489 (*) - Halloysite-10A - $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ - Y: 63.43 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - He
 00-050-1684 (*) - Meixnerite - $[\text{Mg}_5\text{Al}_3(\text{OH})_{16}][(\text{OH})_3(\text{H}_2\text{O})_4]$ - Y: 58.15 % - d x by: 1. - WL: 1.5406

00-021-0958 (I) - Palygorskite - $(\text{Mg},\text{Al})_5(\text{Si},\text{Al})_8\text{O}_{20}(\text{OH})_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ - Y: 126.33 % - d x by: 1. - WL: 1.

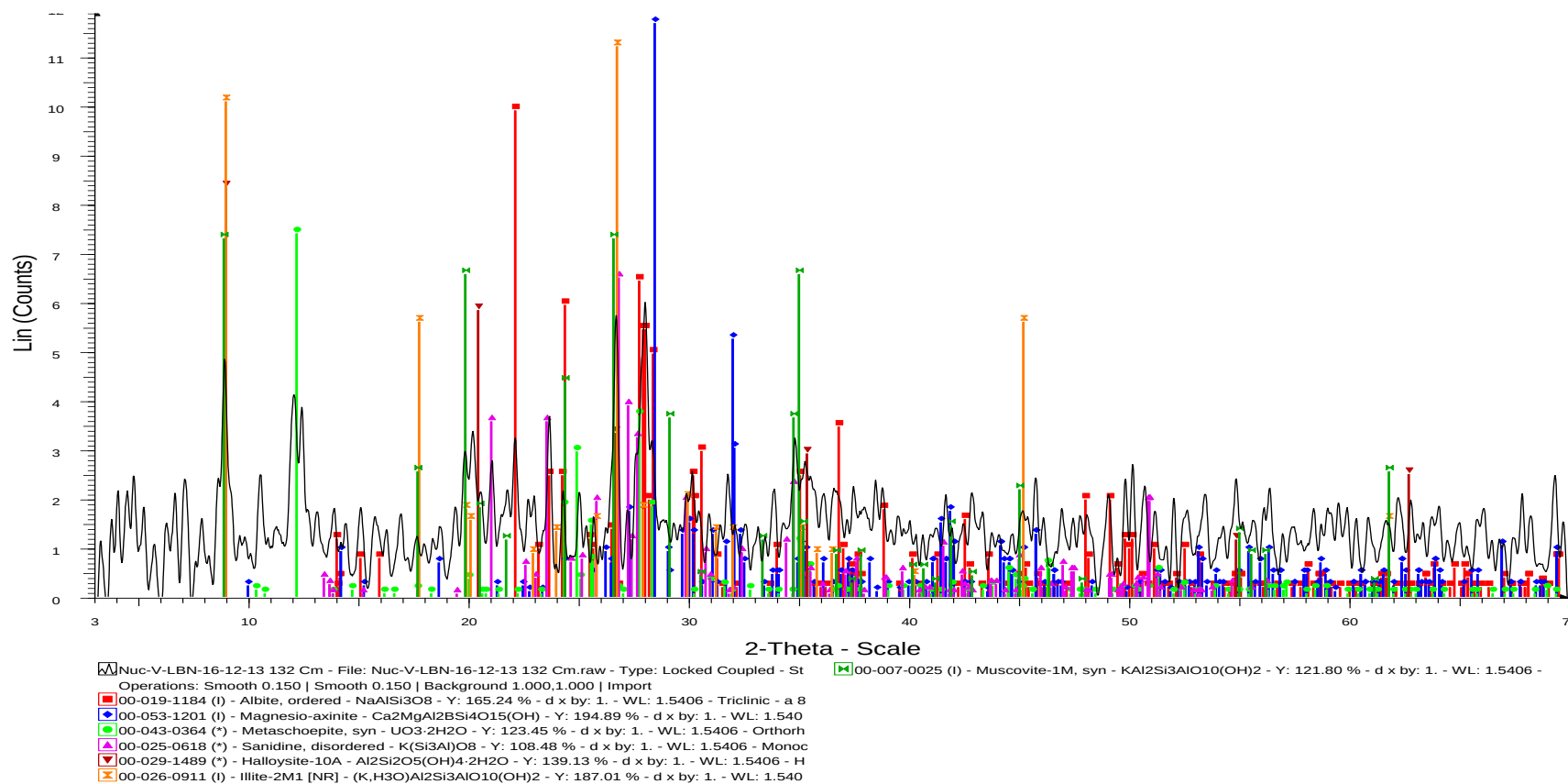
NÚC-V-LBN-16-12-13

94cm

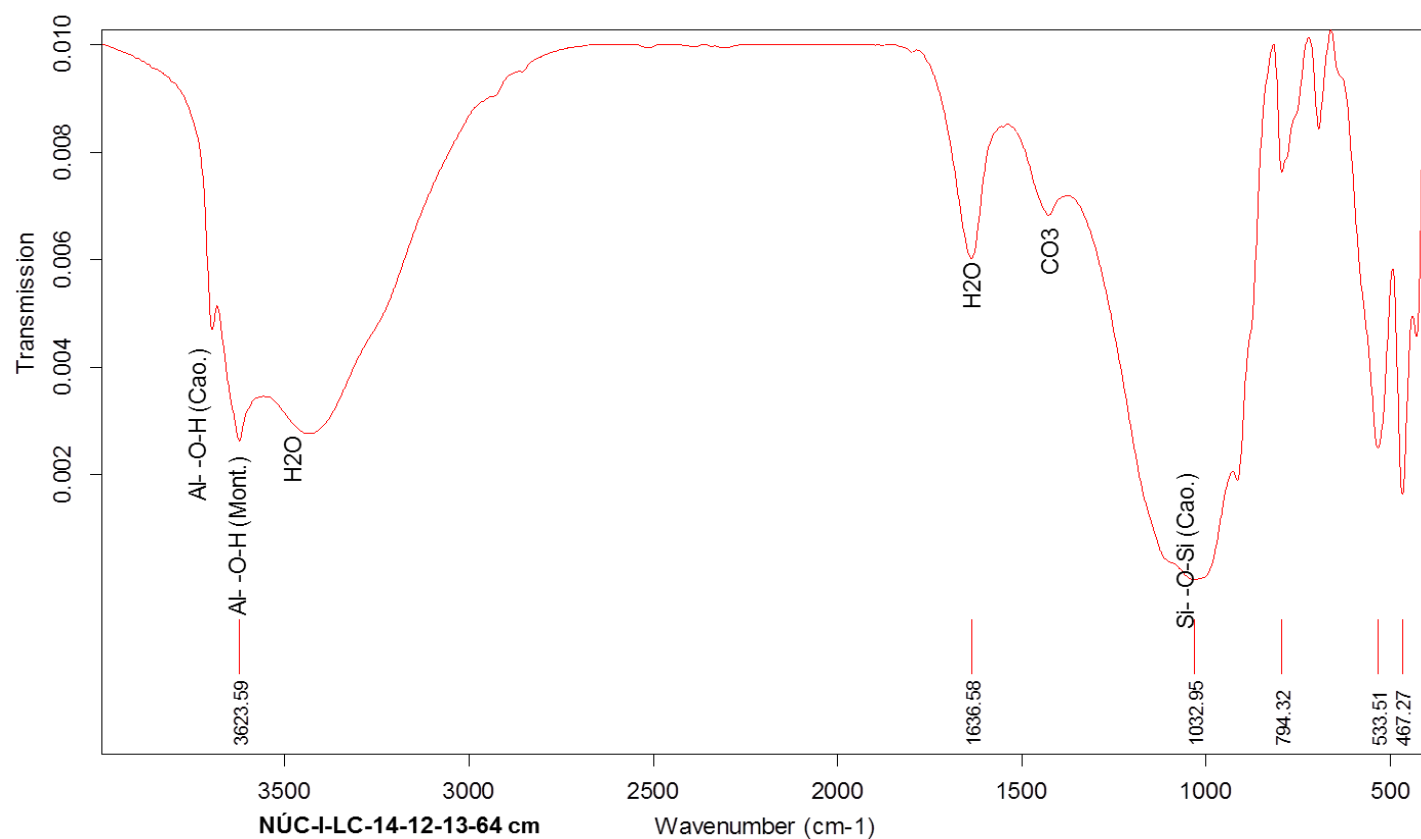
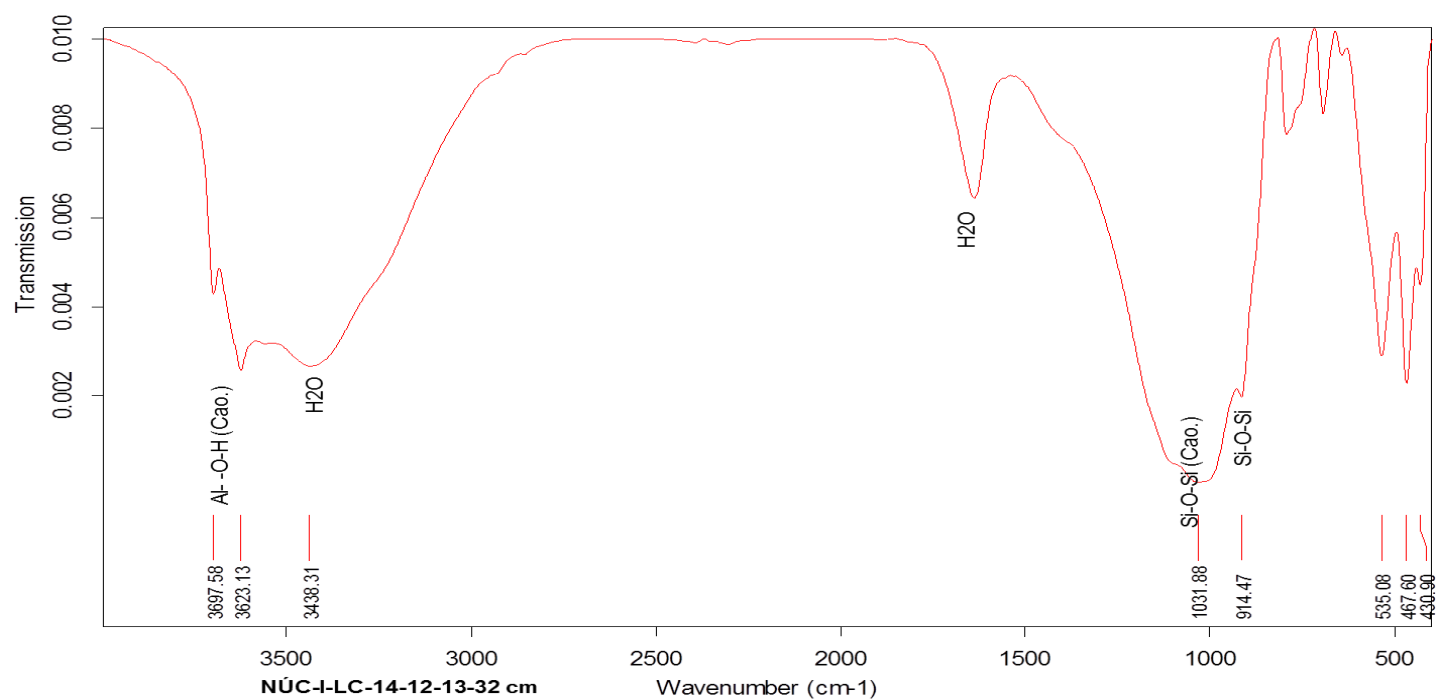


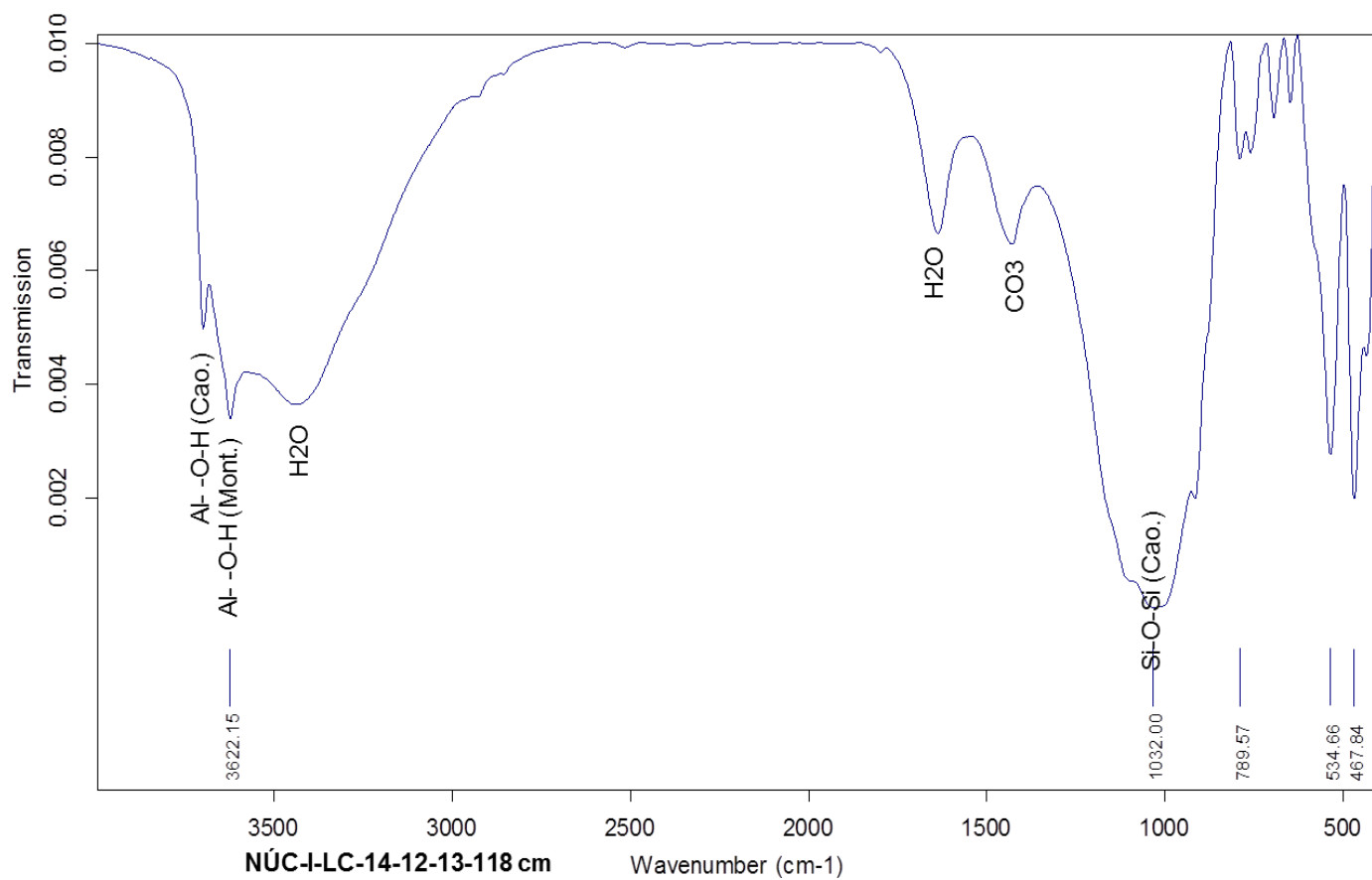
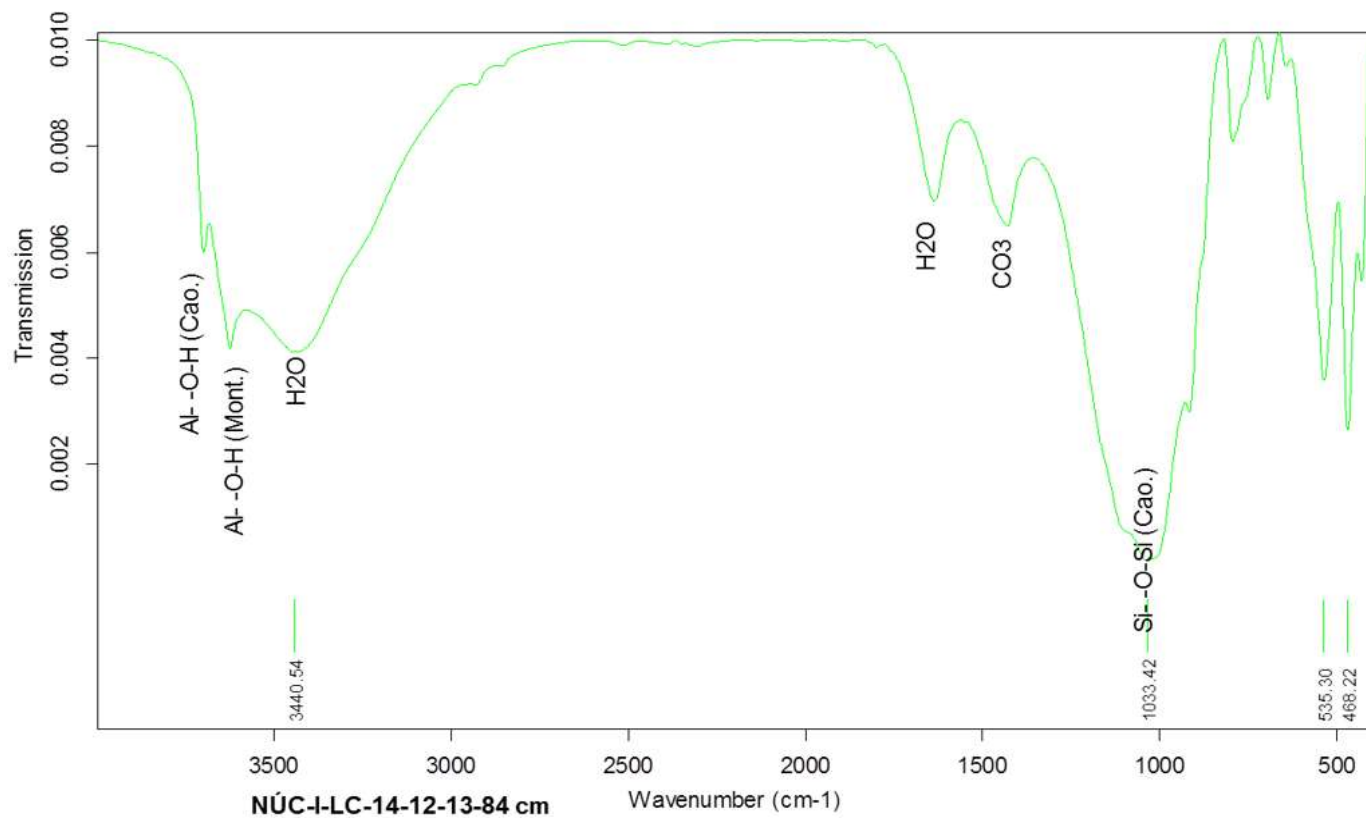
NÚC-V-LBN-16-12-13

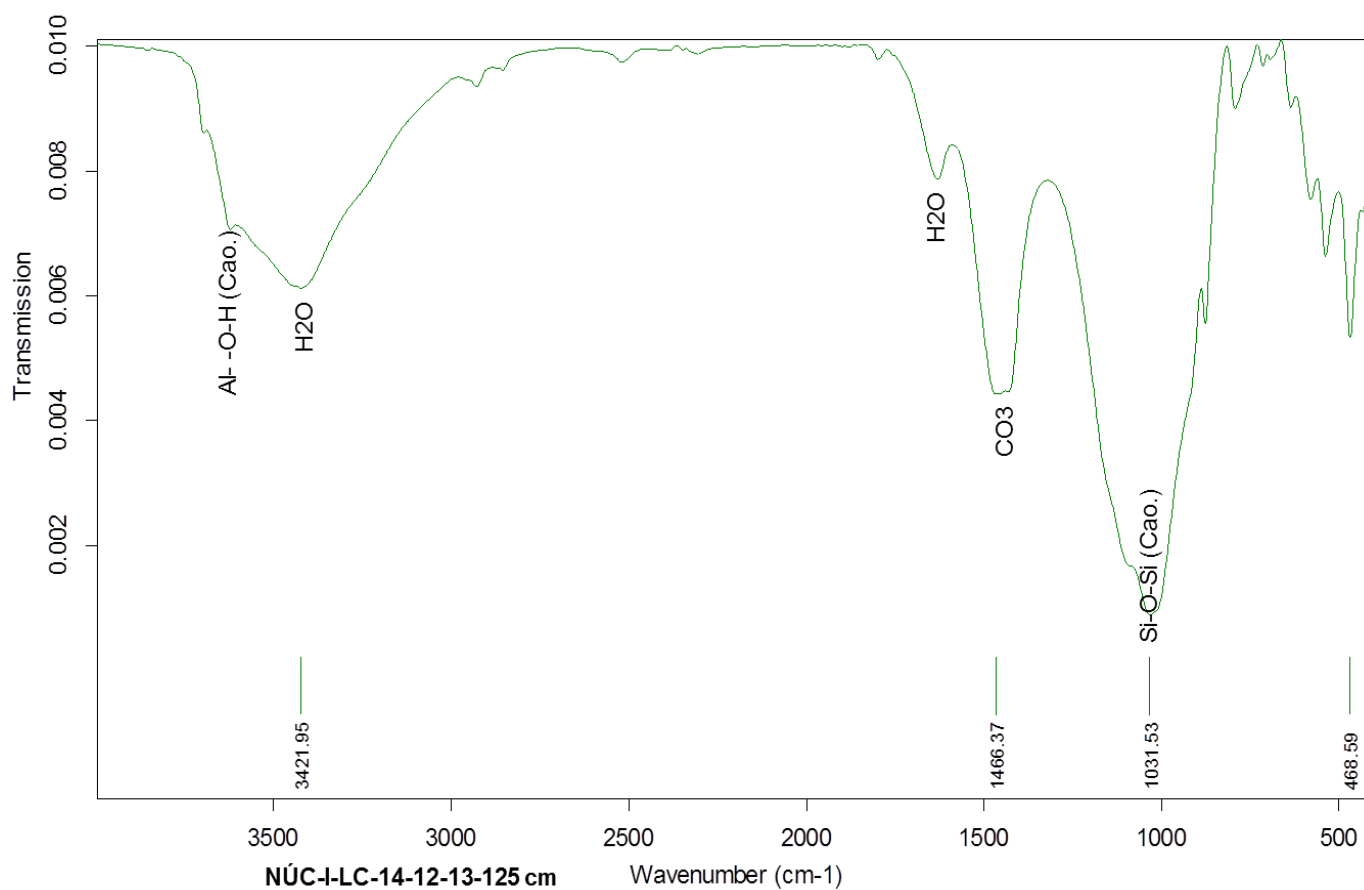
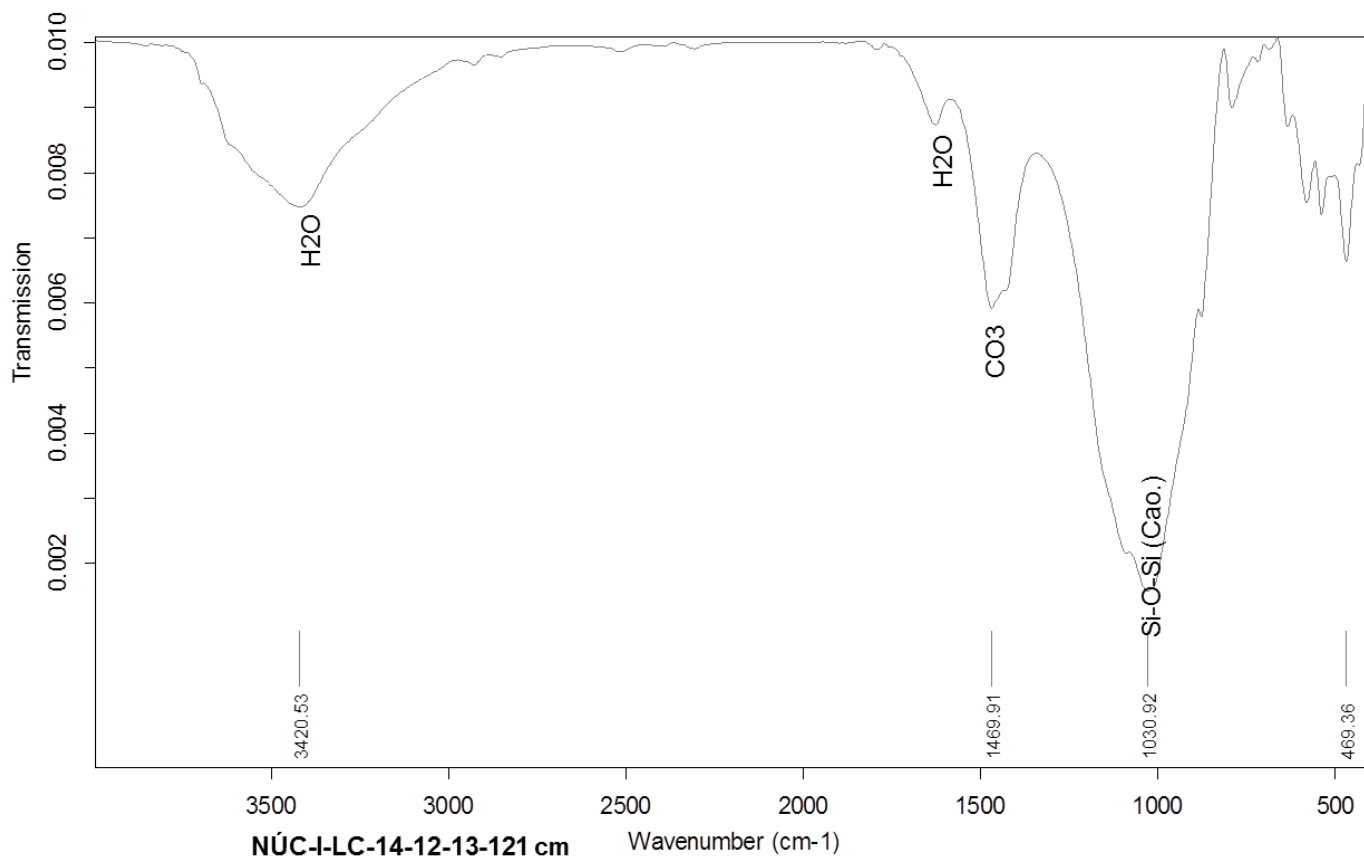
132cm

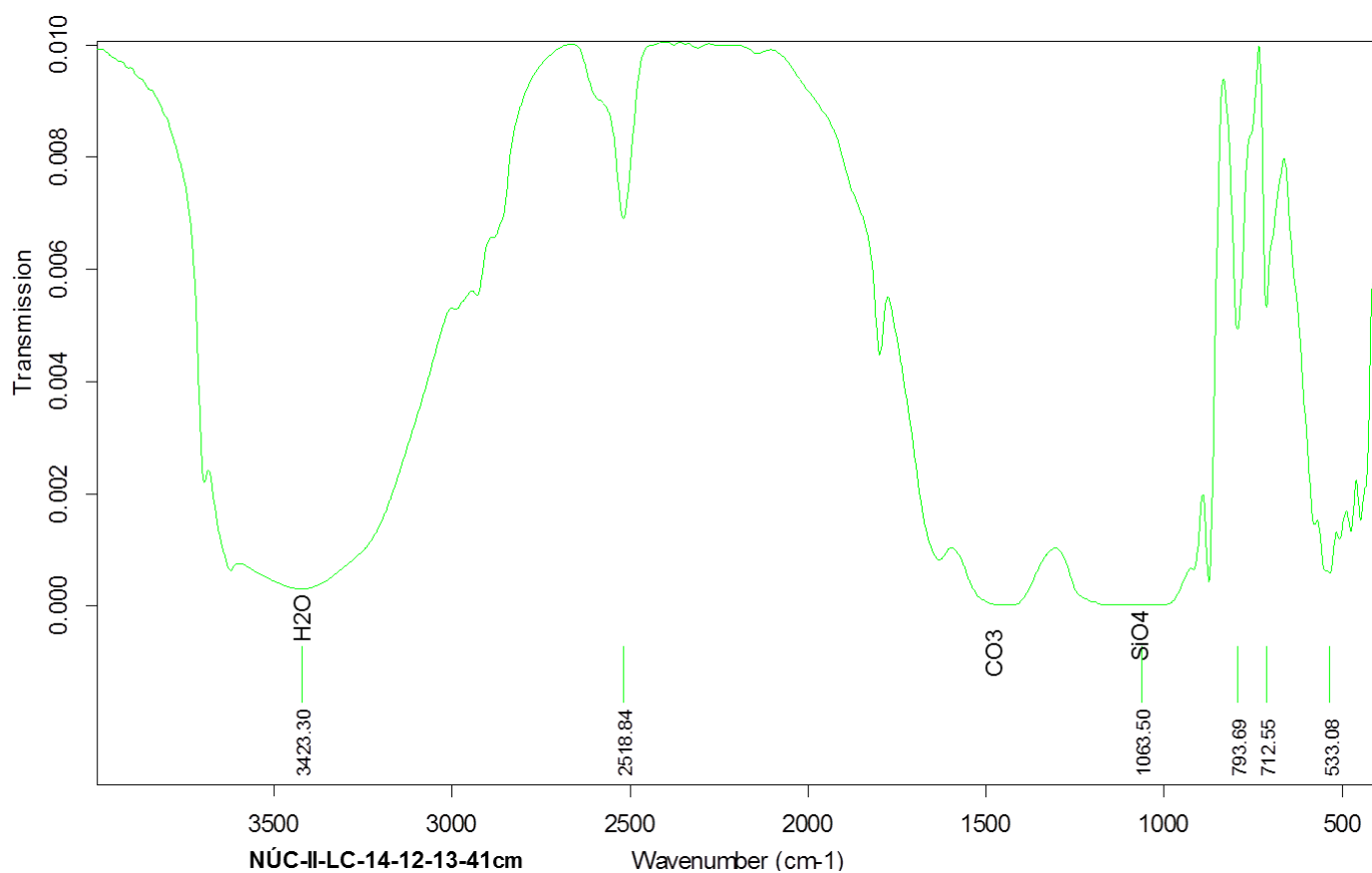
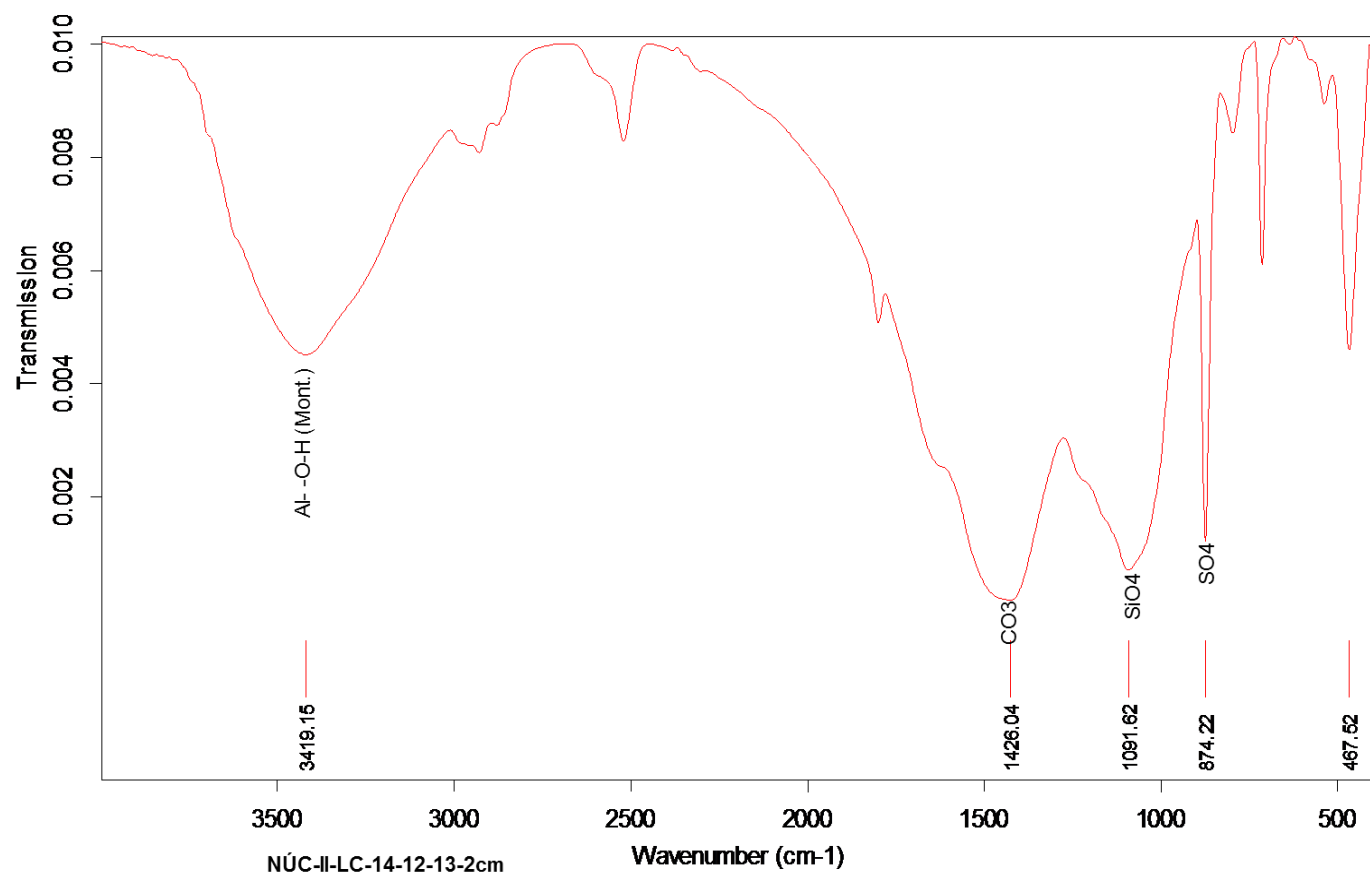


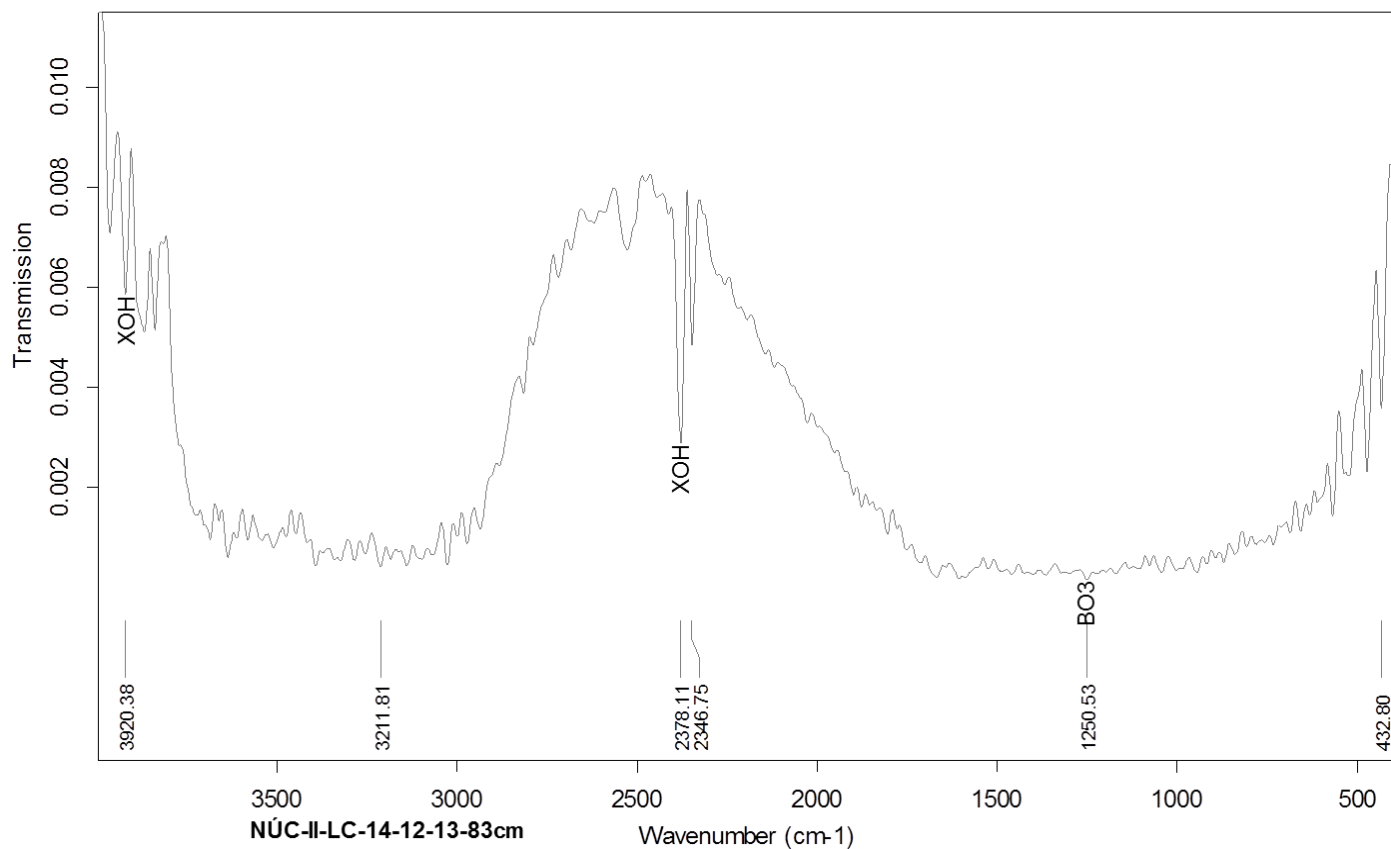
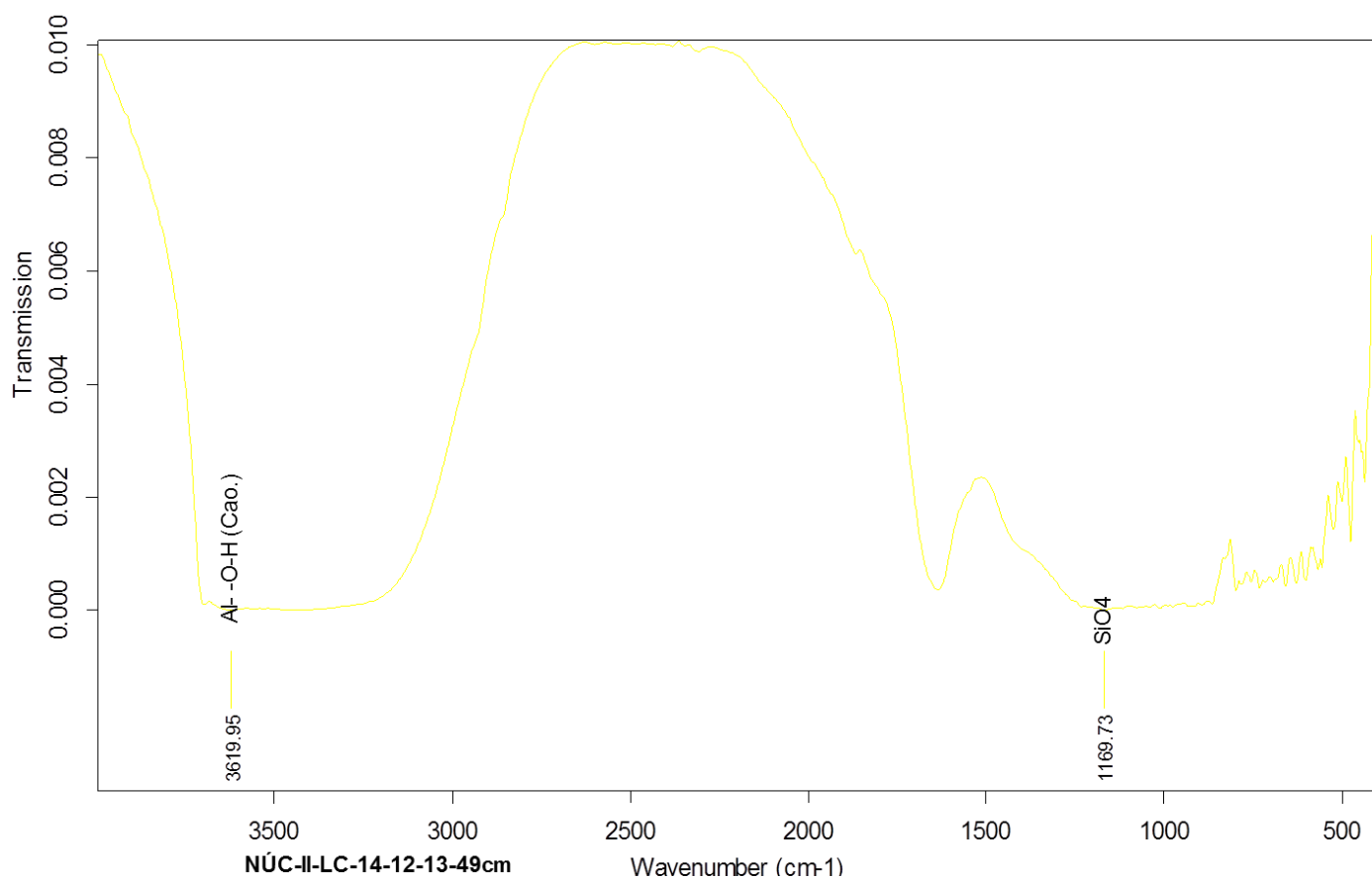
ANEXO II DE ESPECTROSCOPIA DE INFRARROJA (EIR)

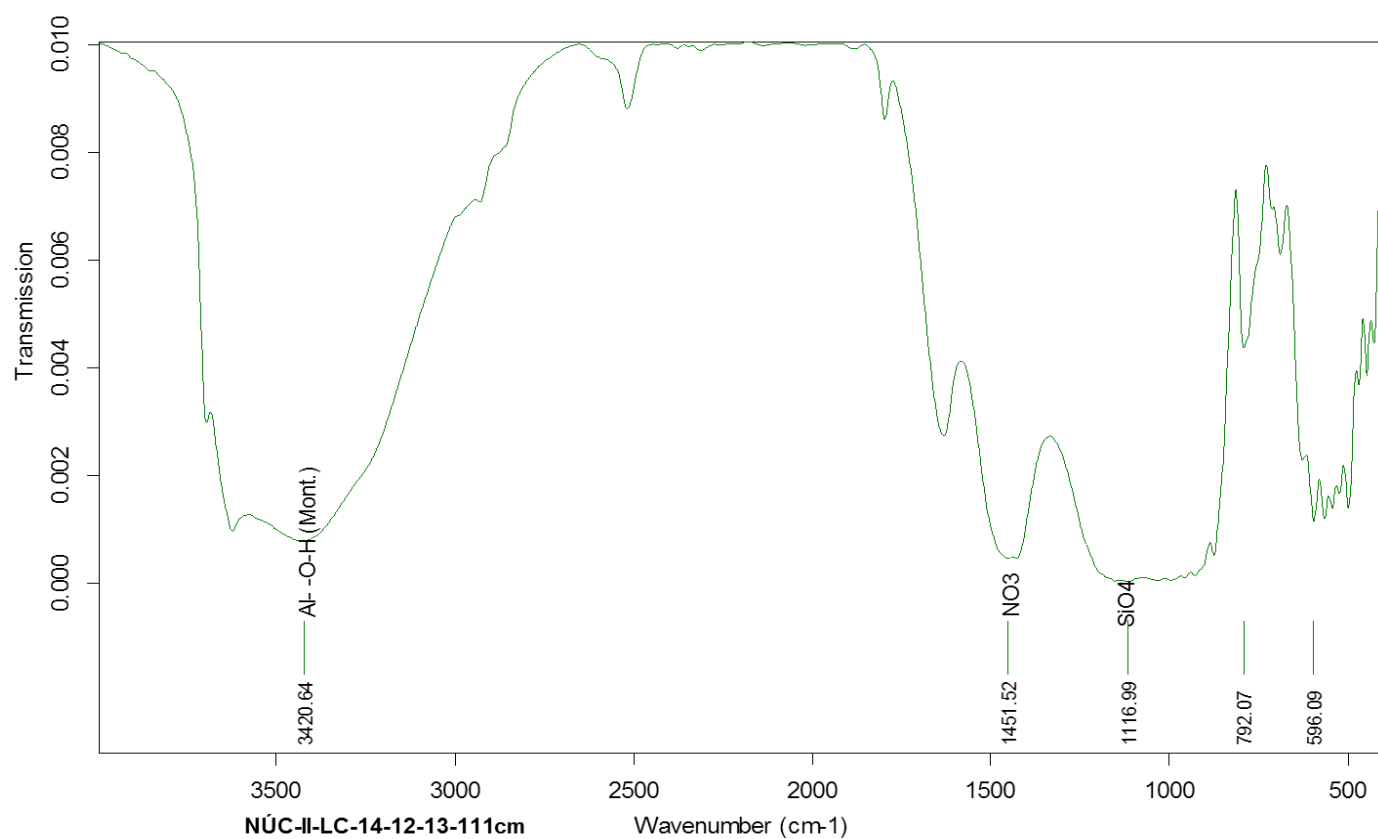
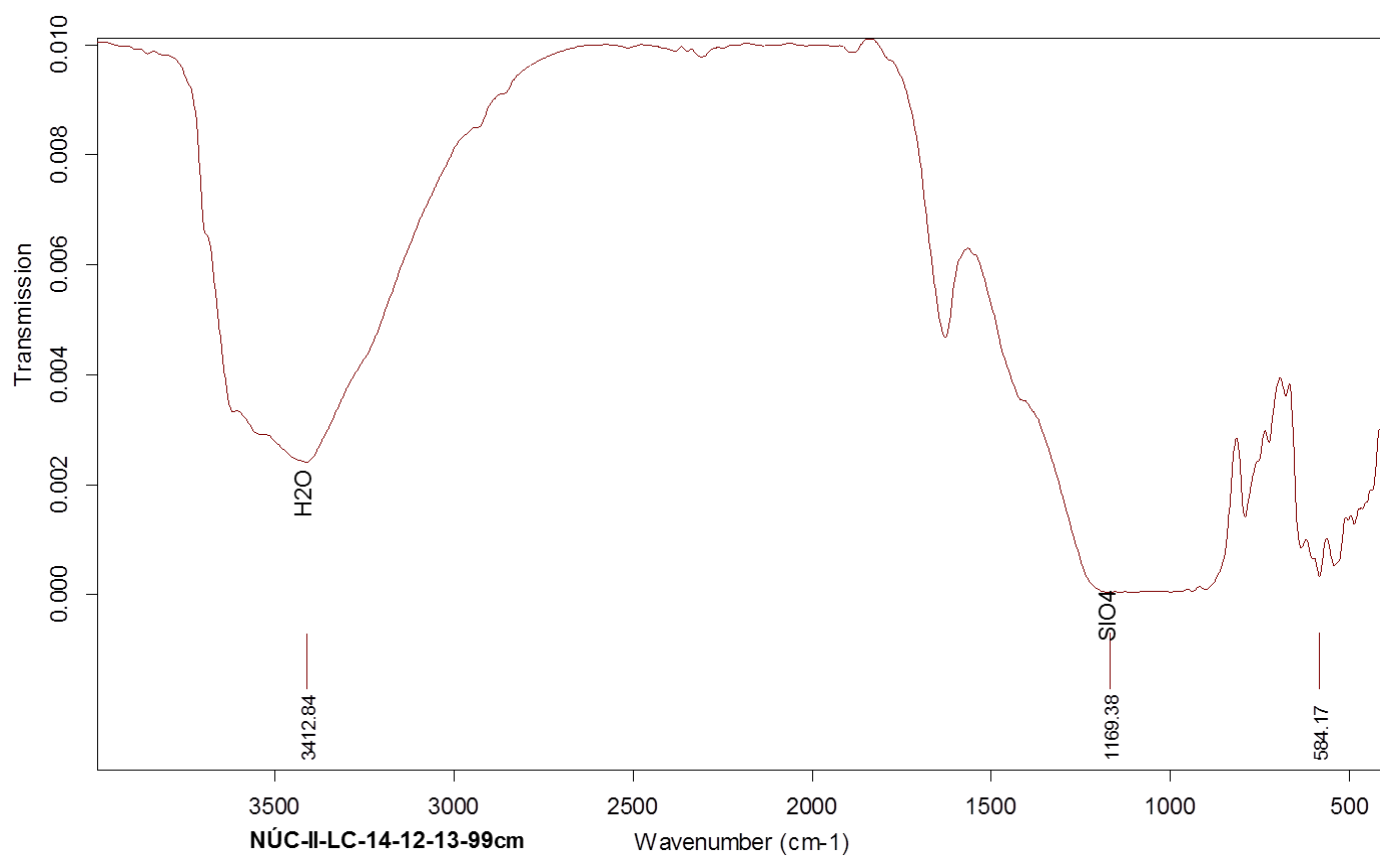


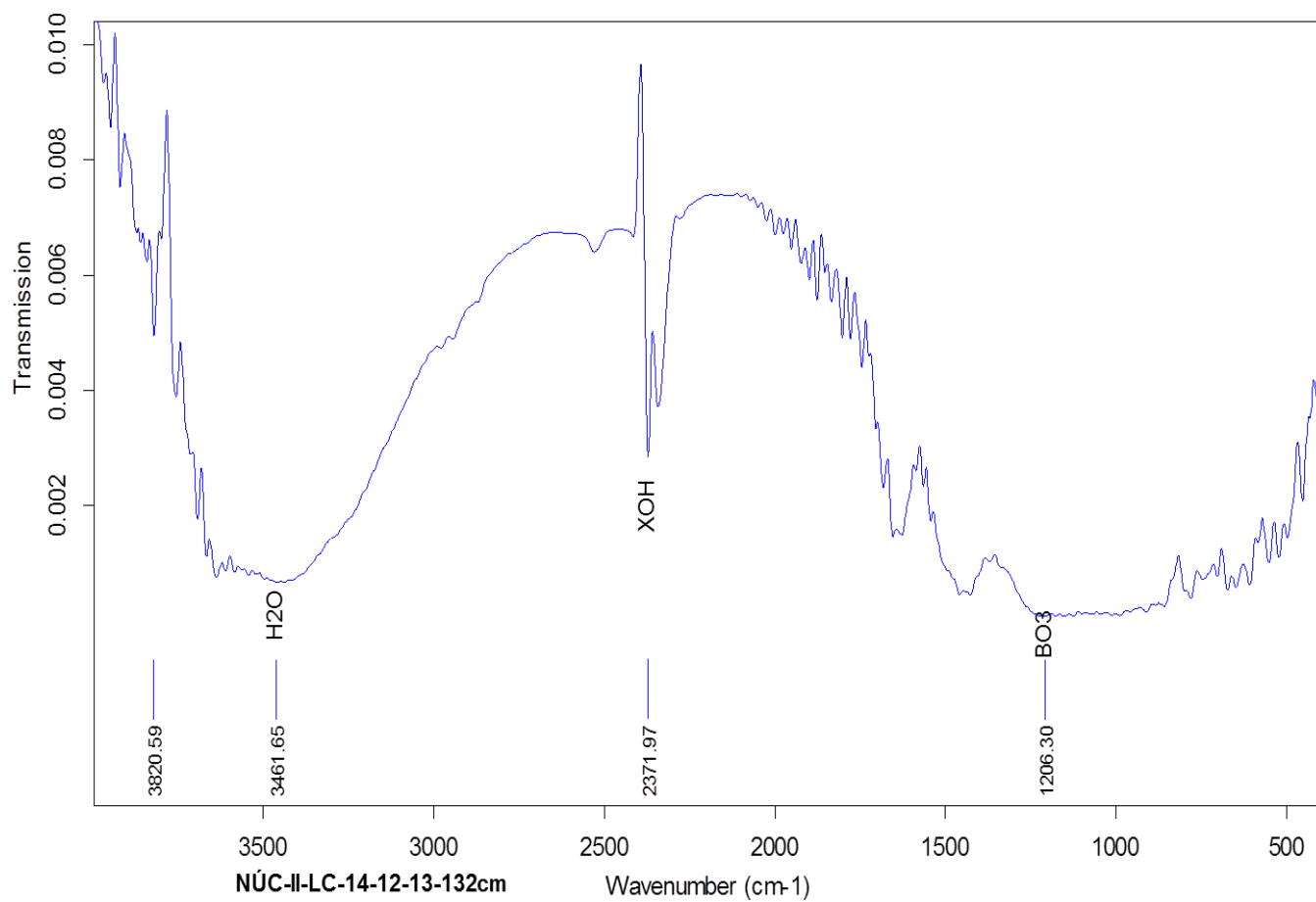
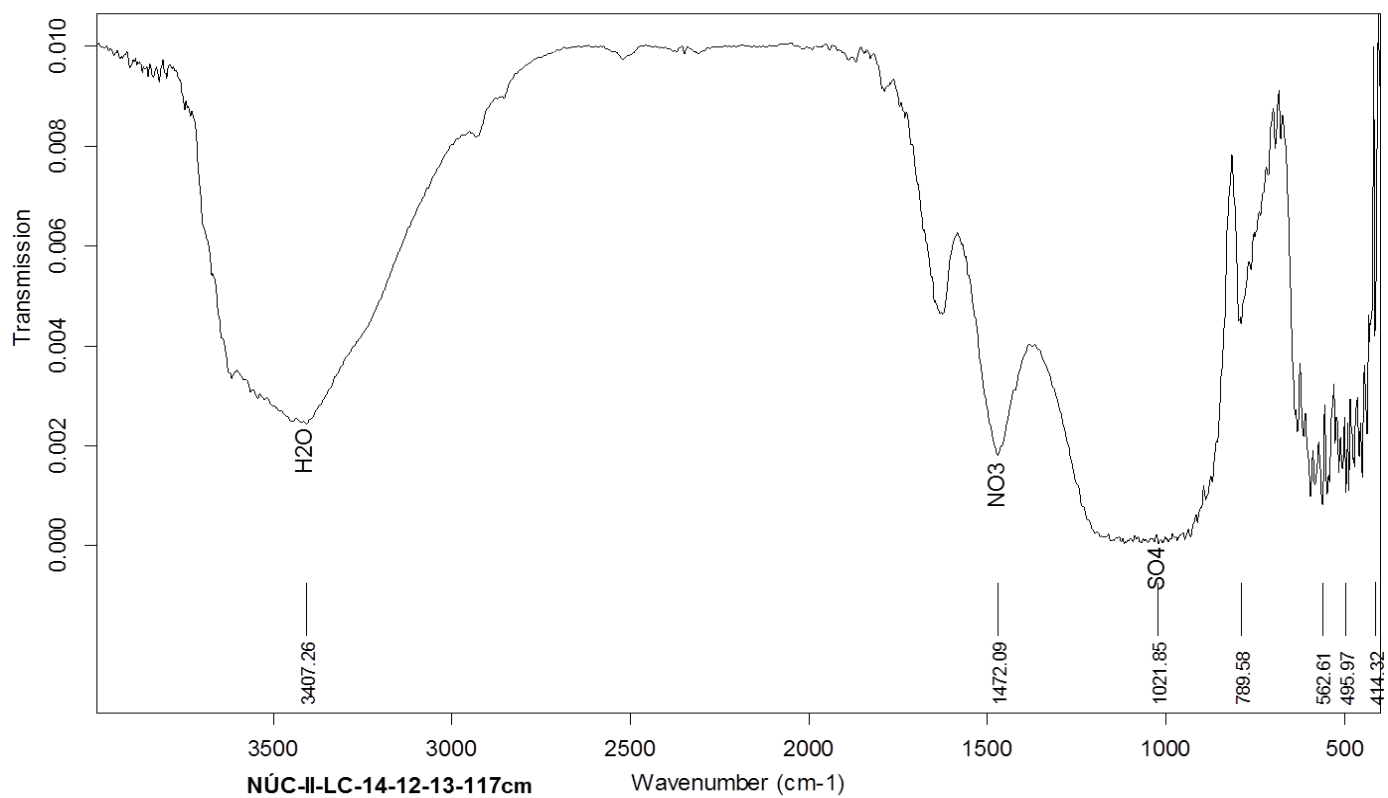


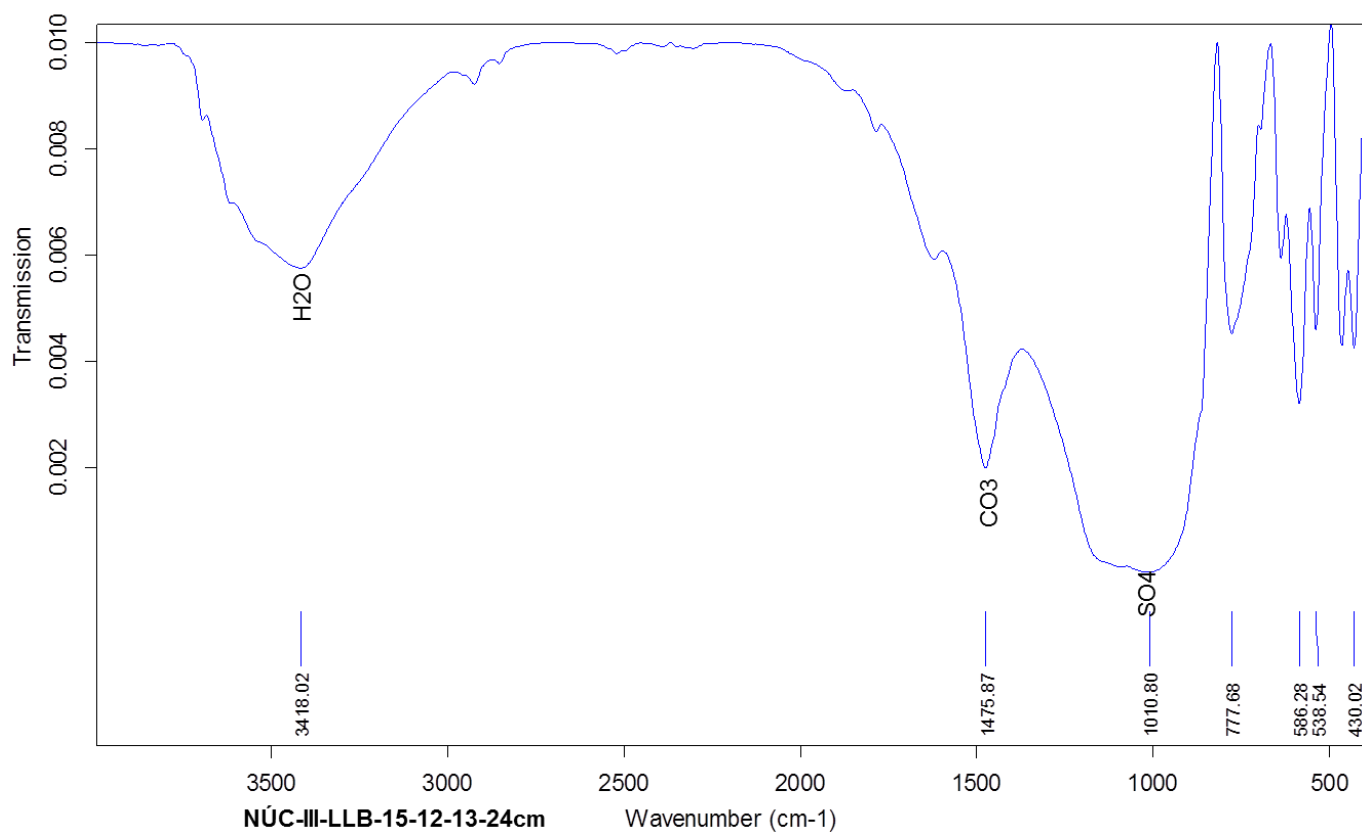
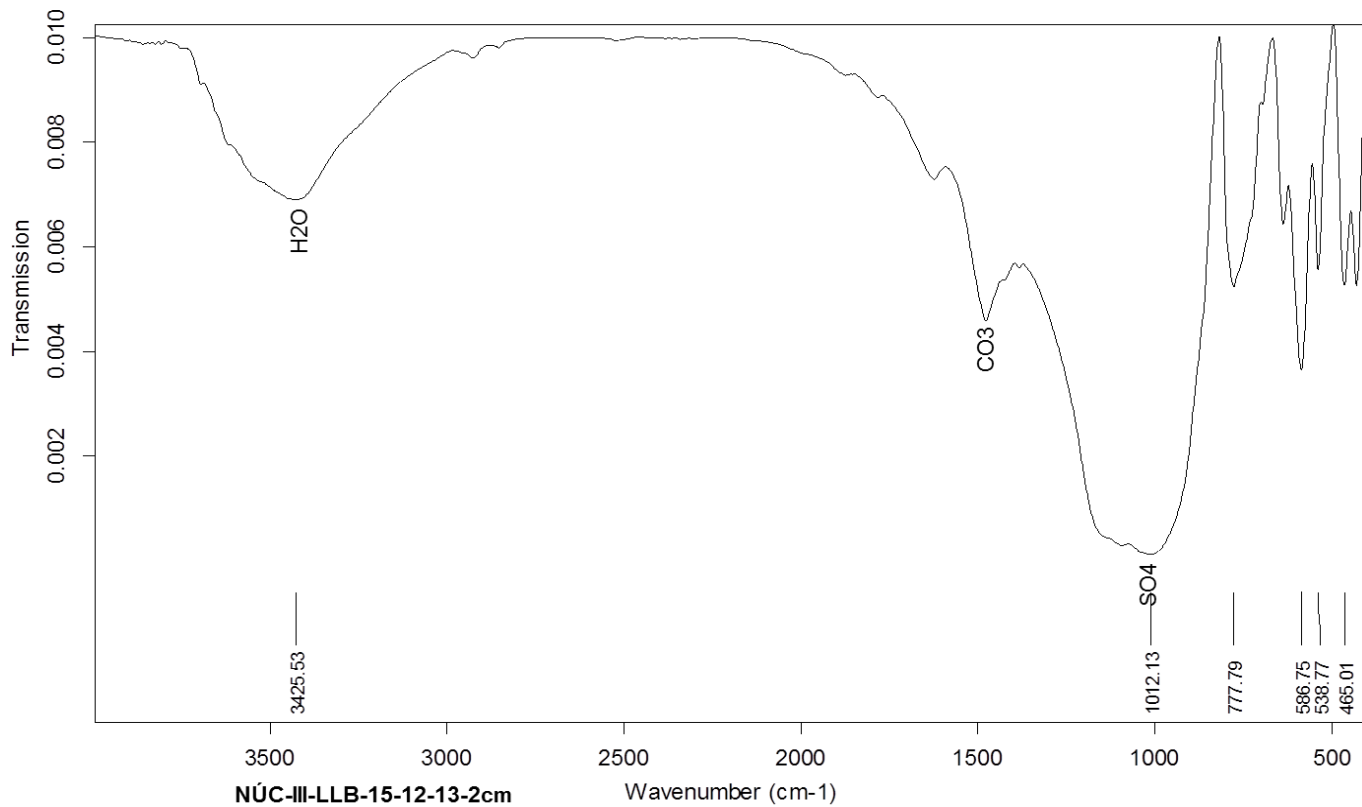


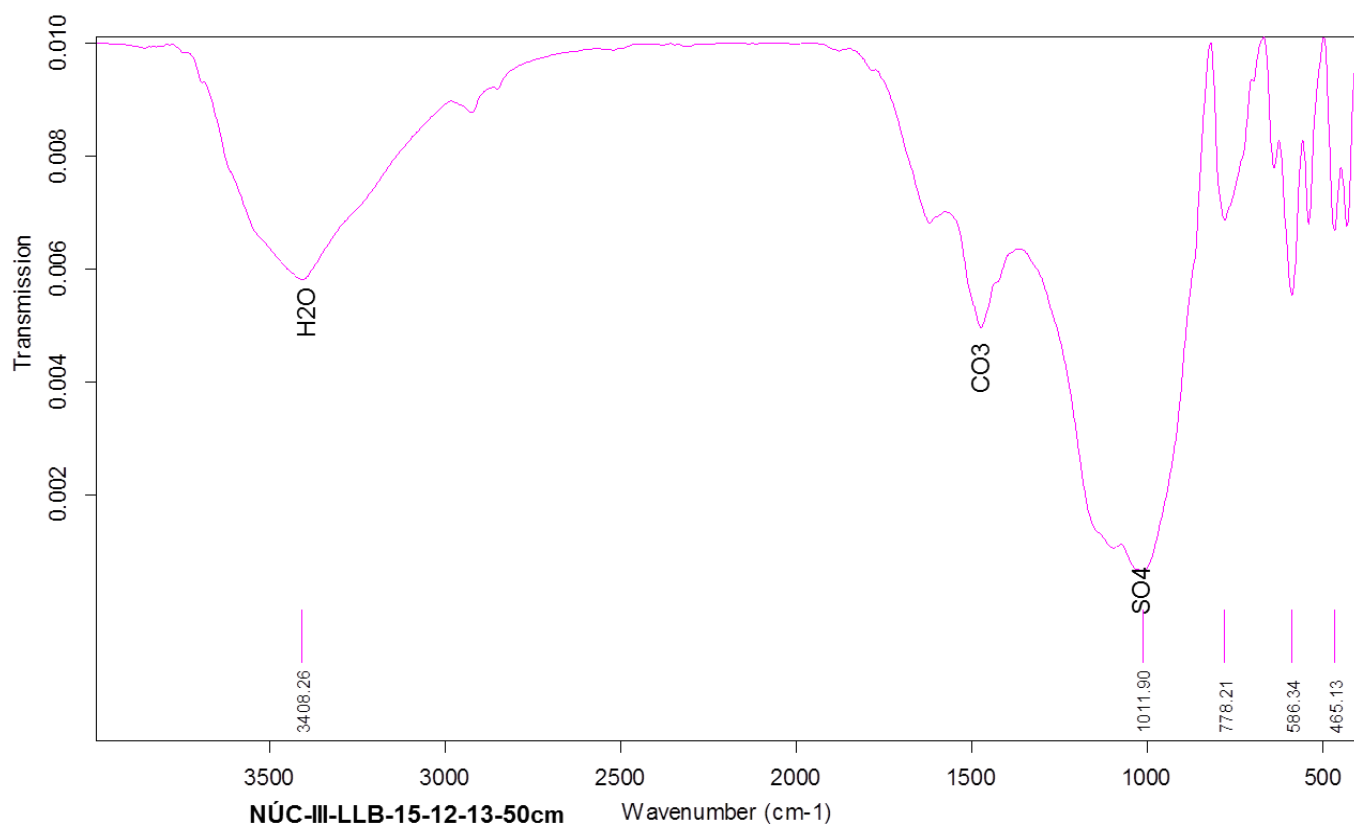
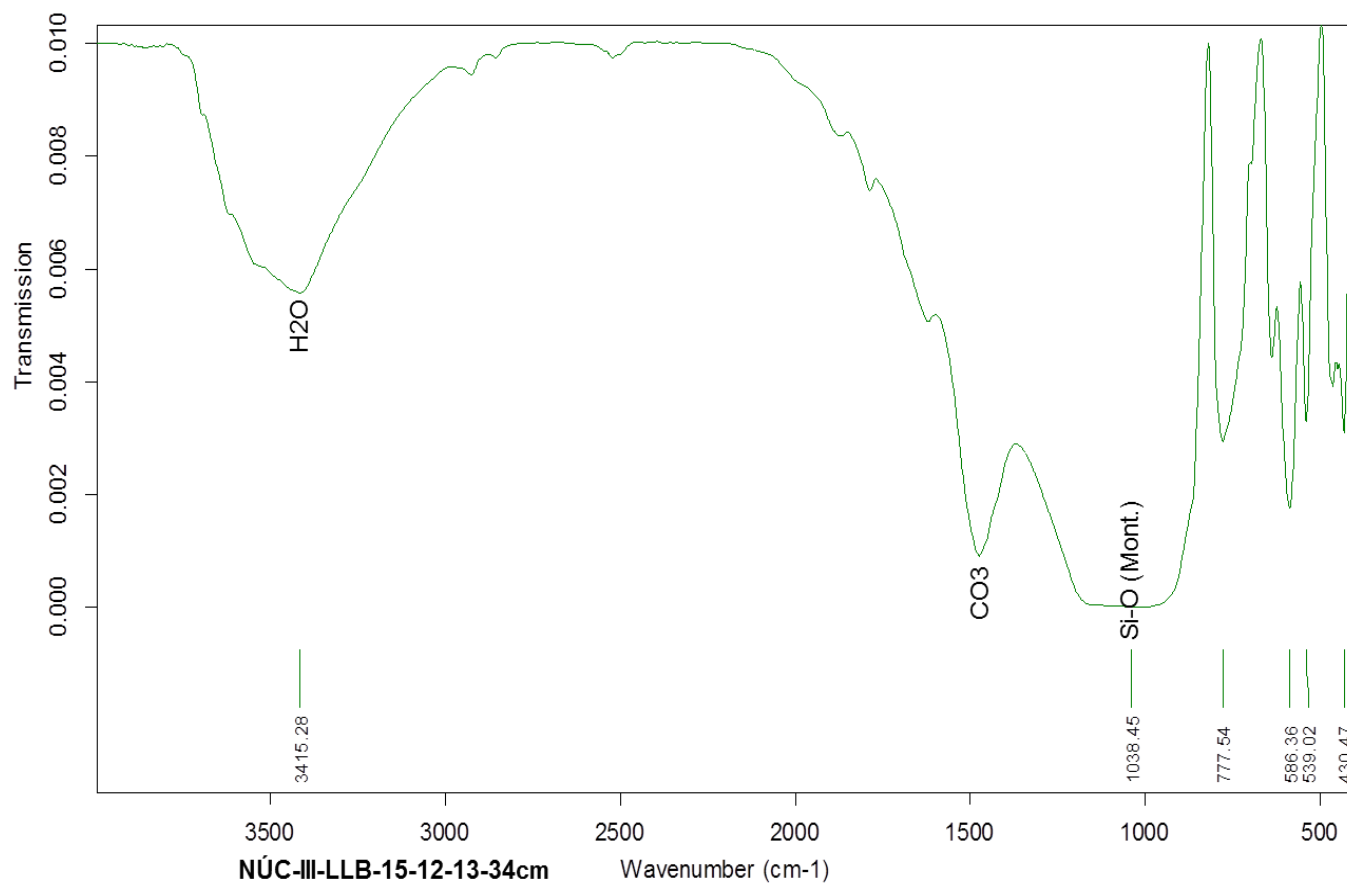


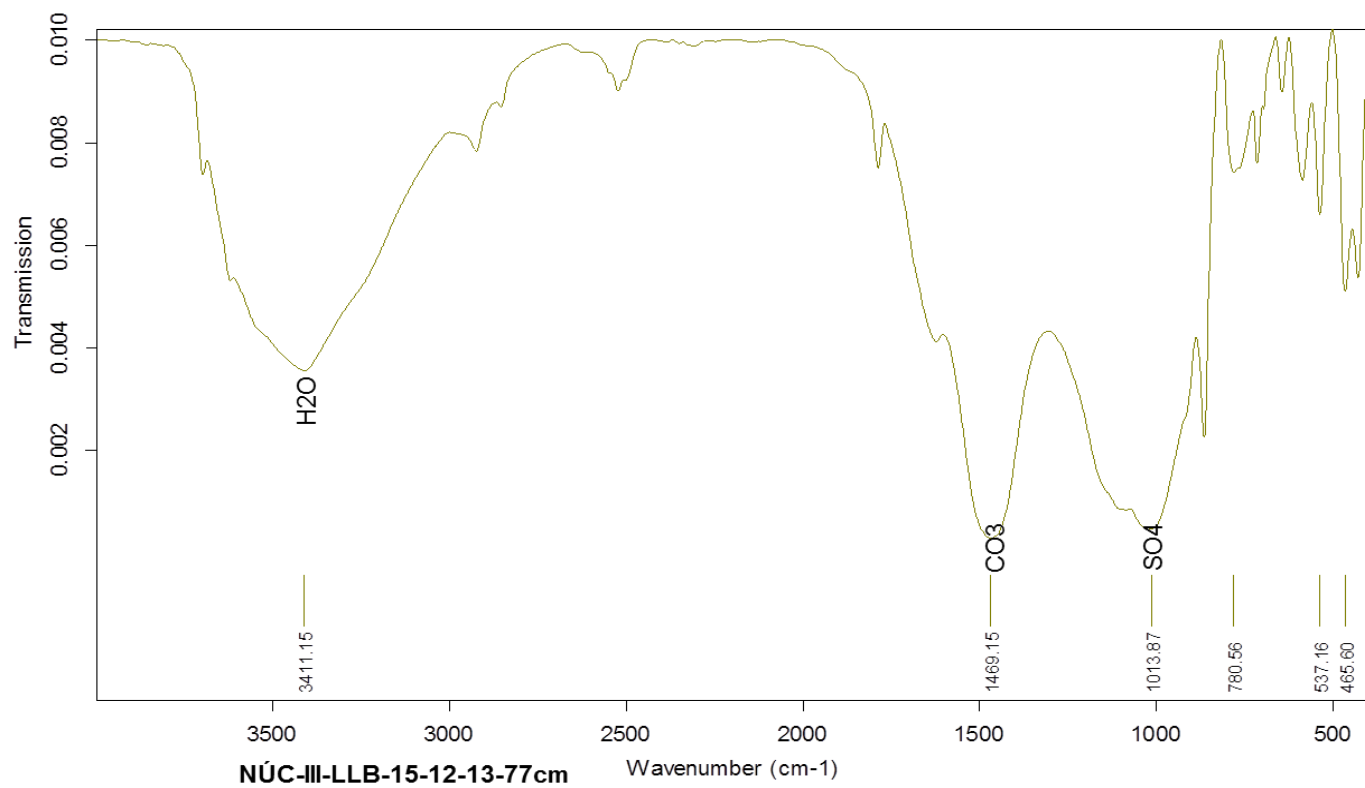
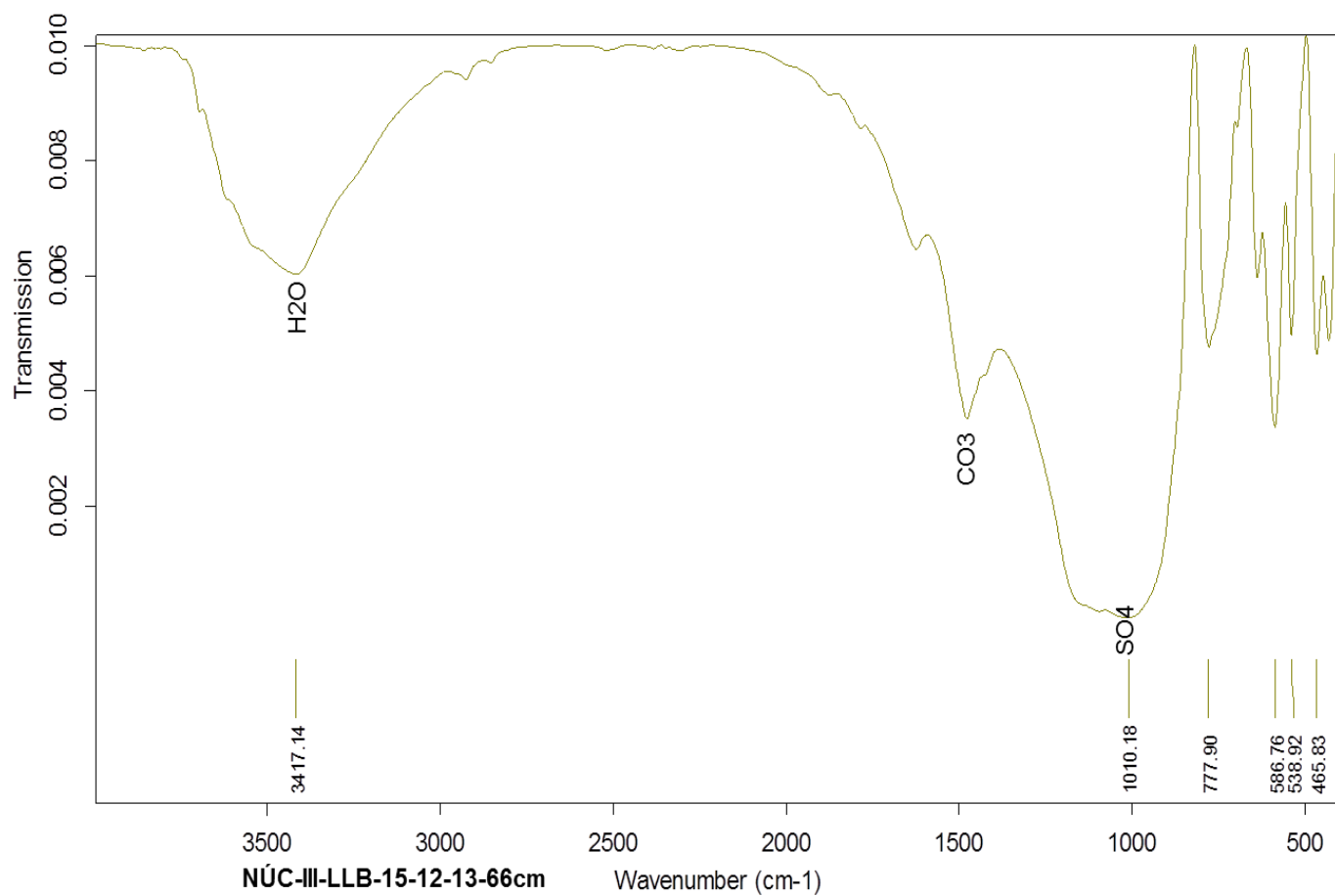


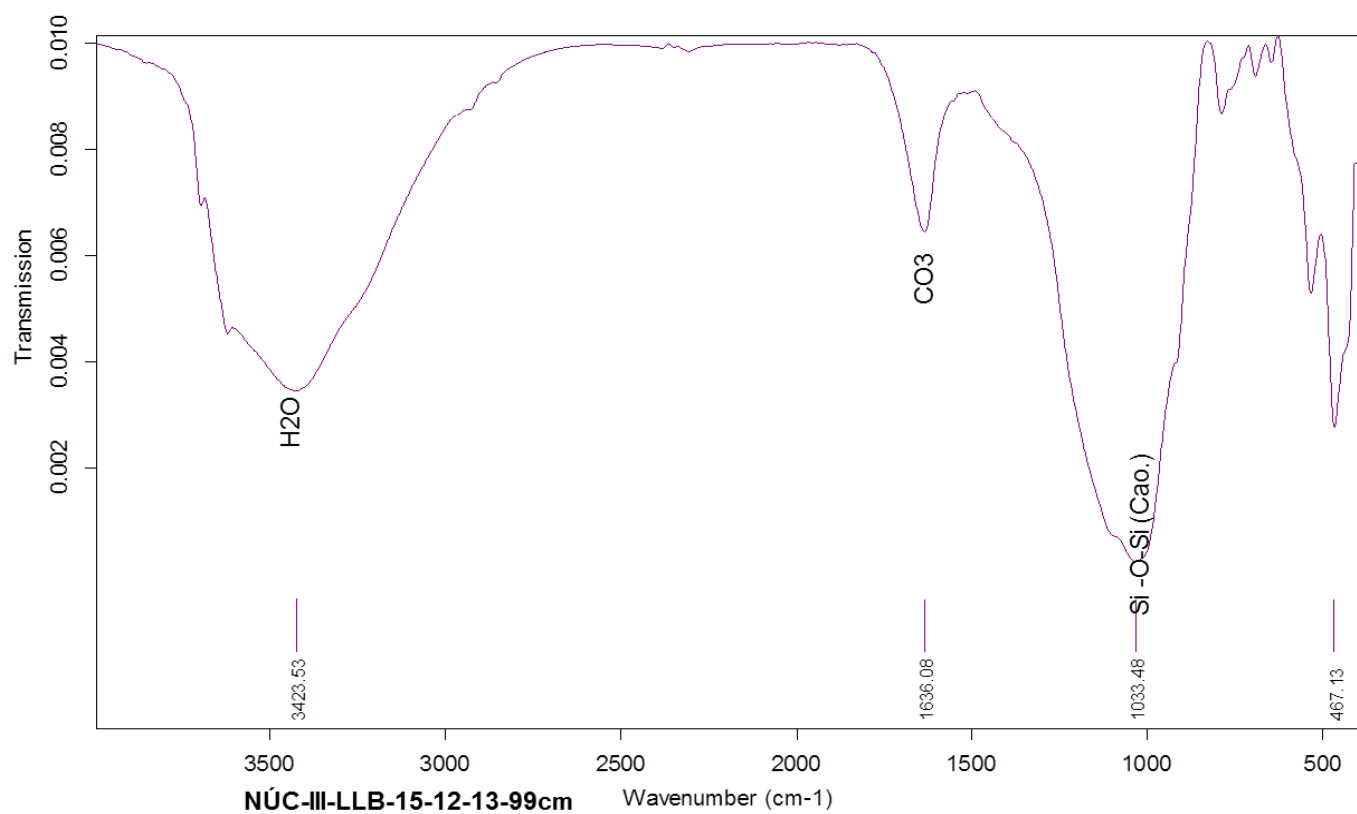
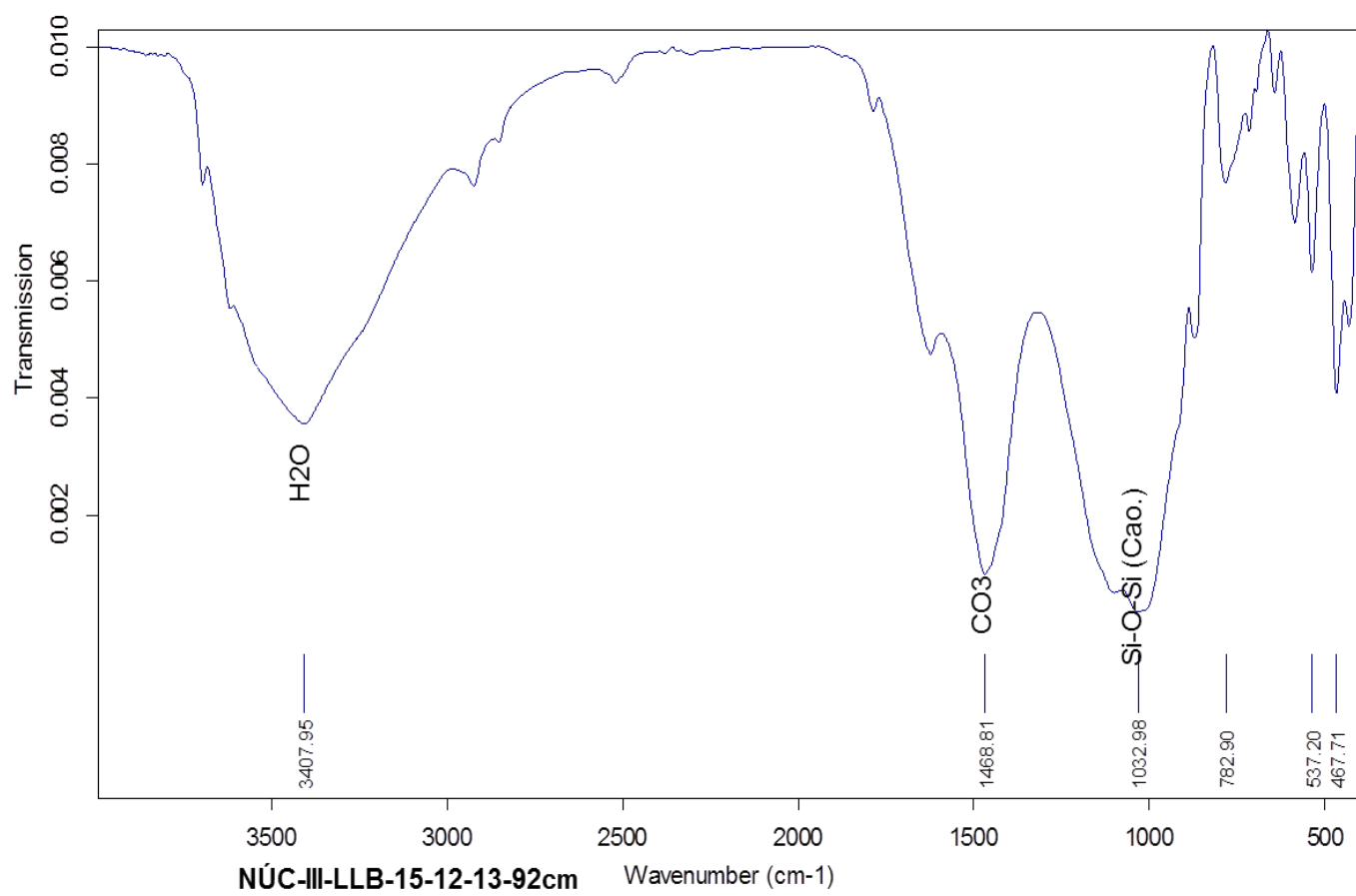


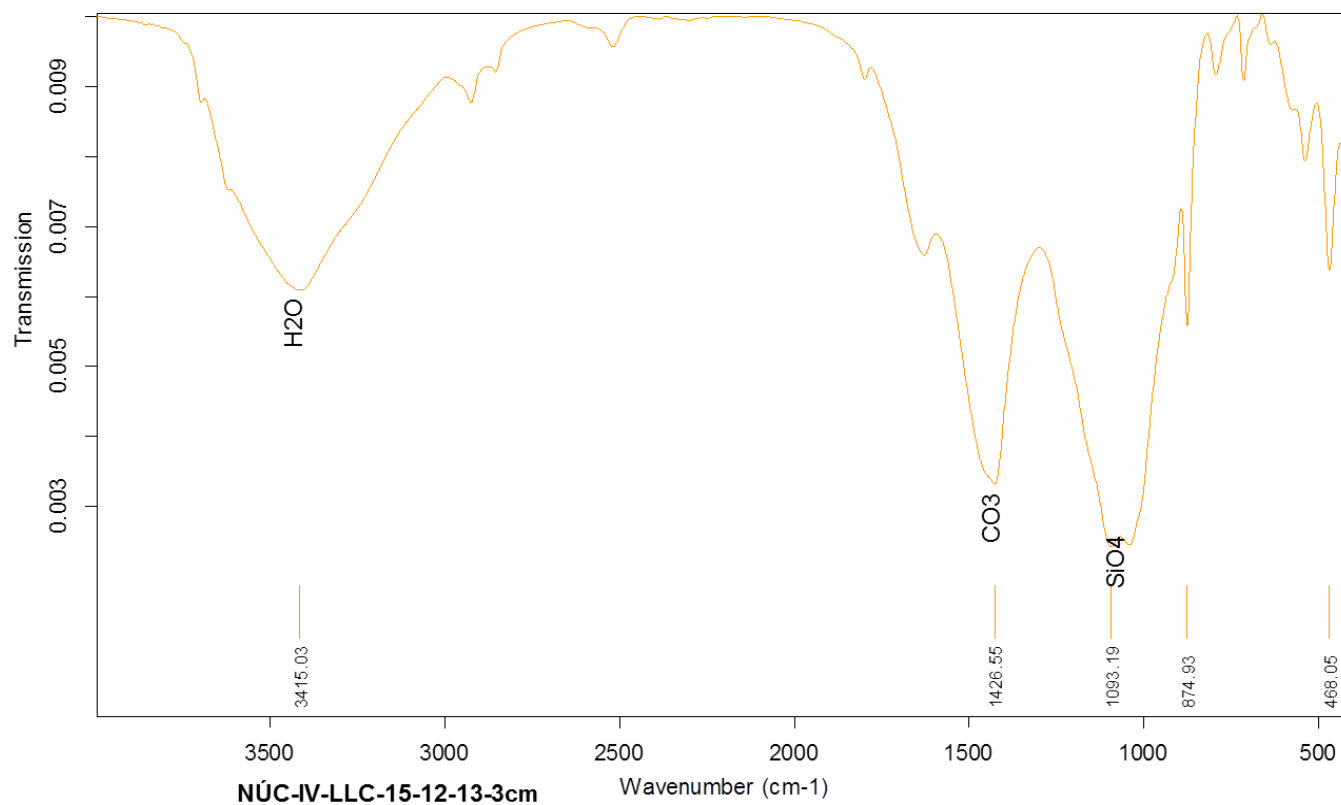
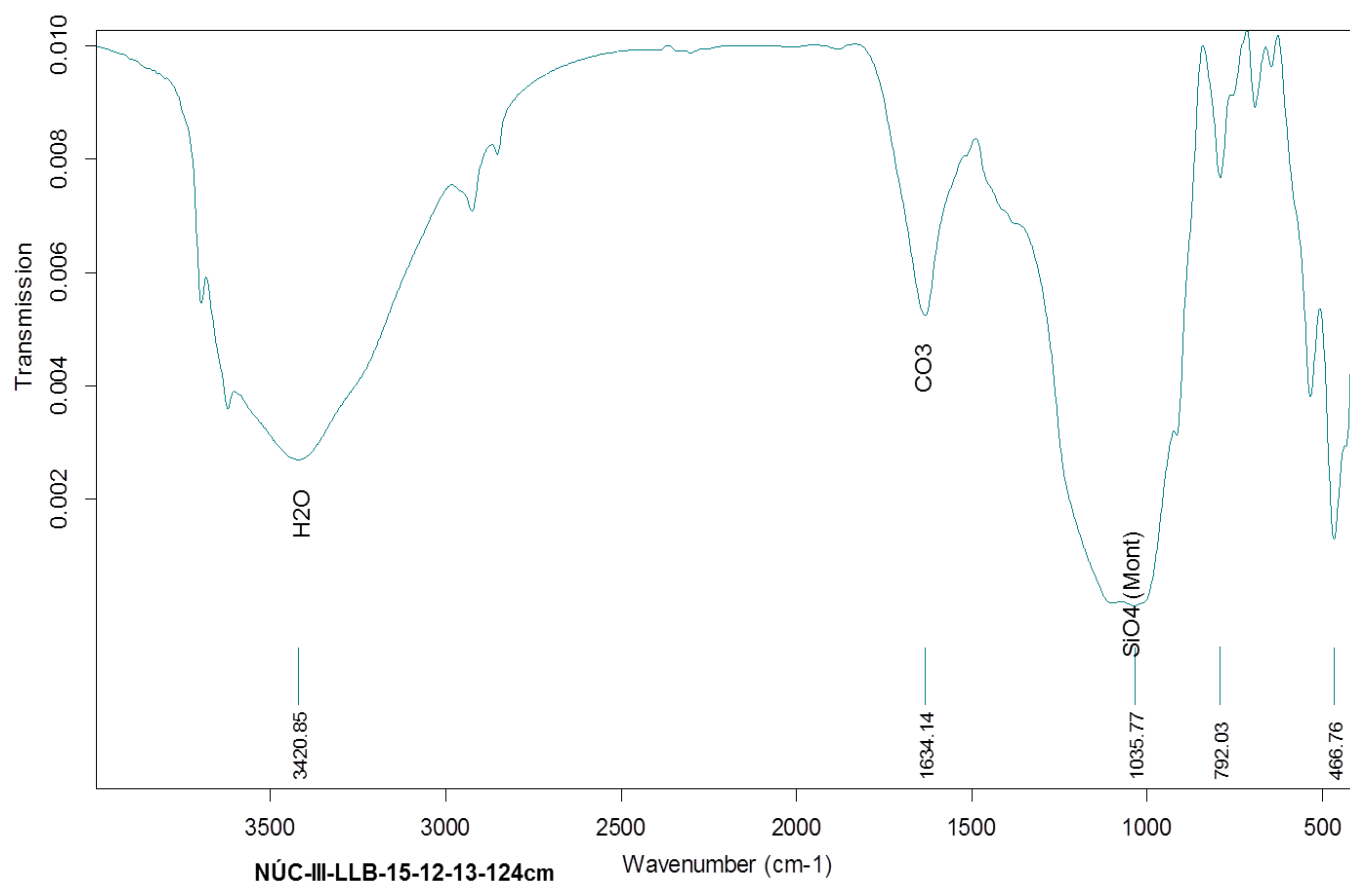


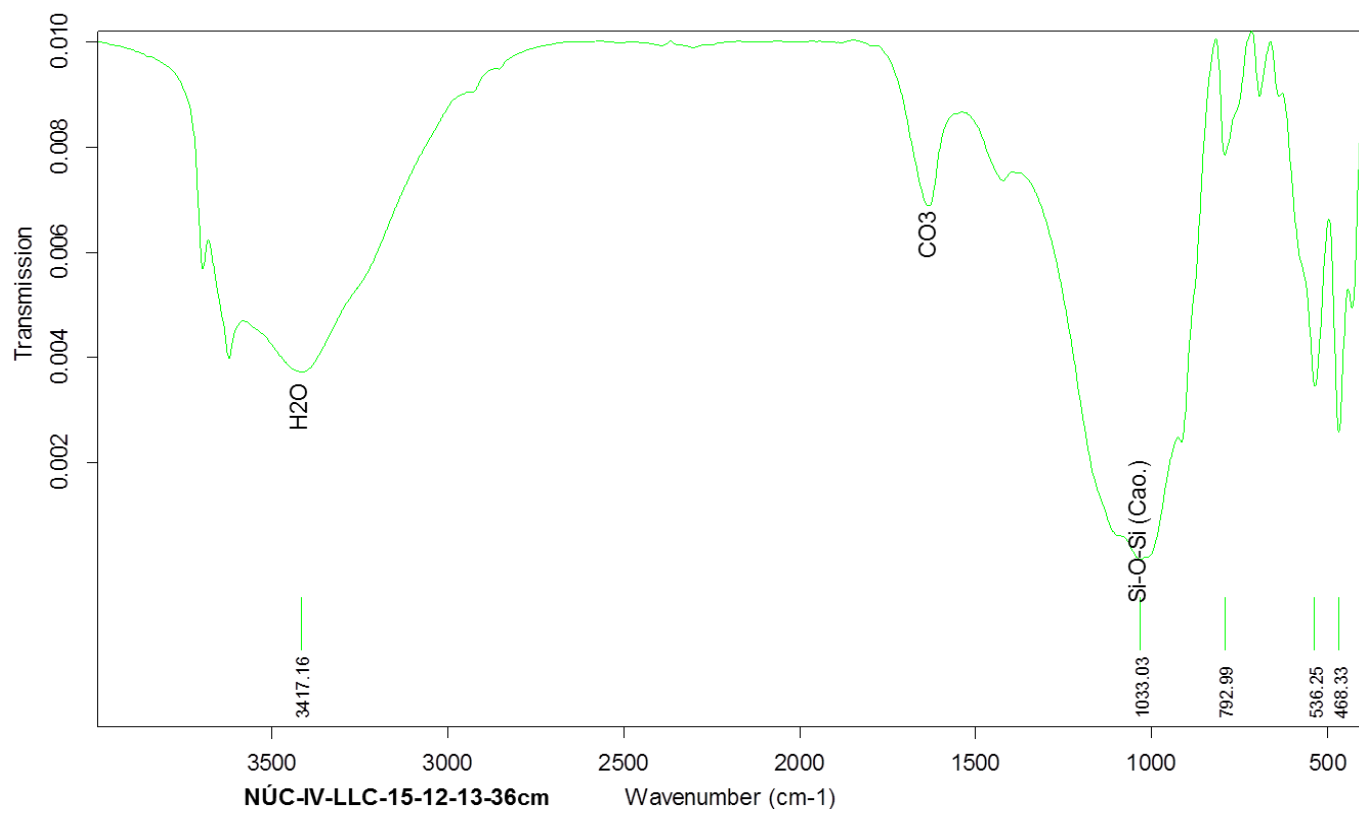
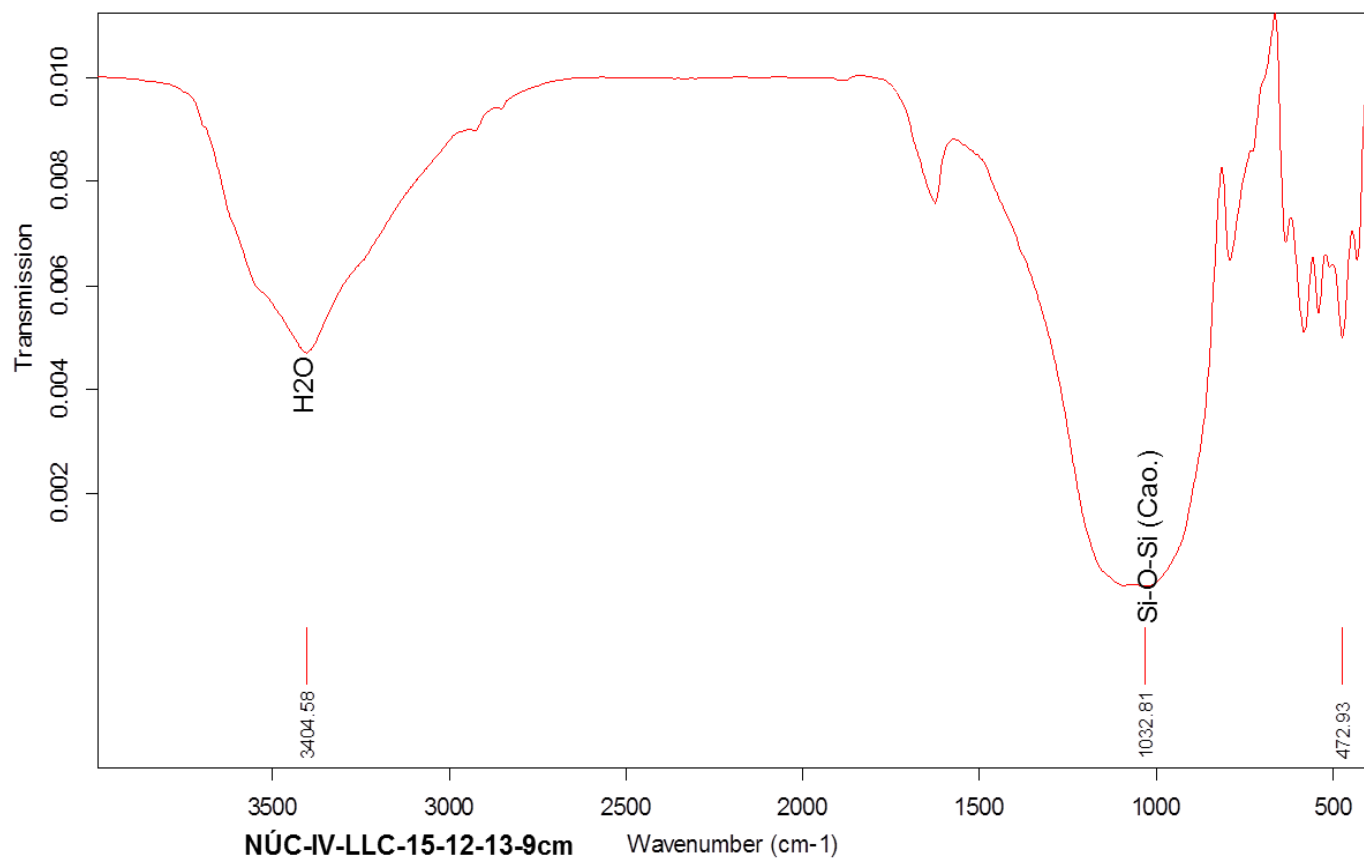


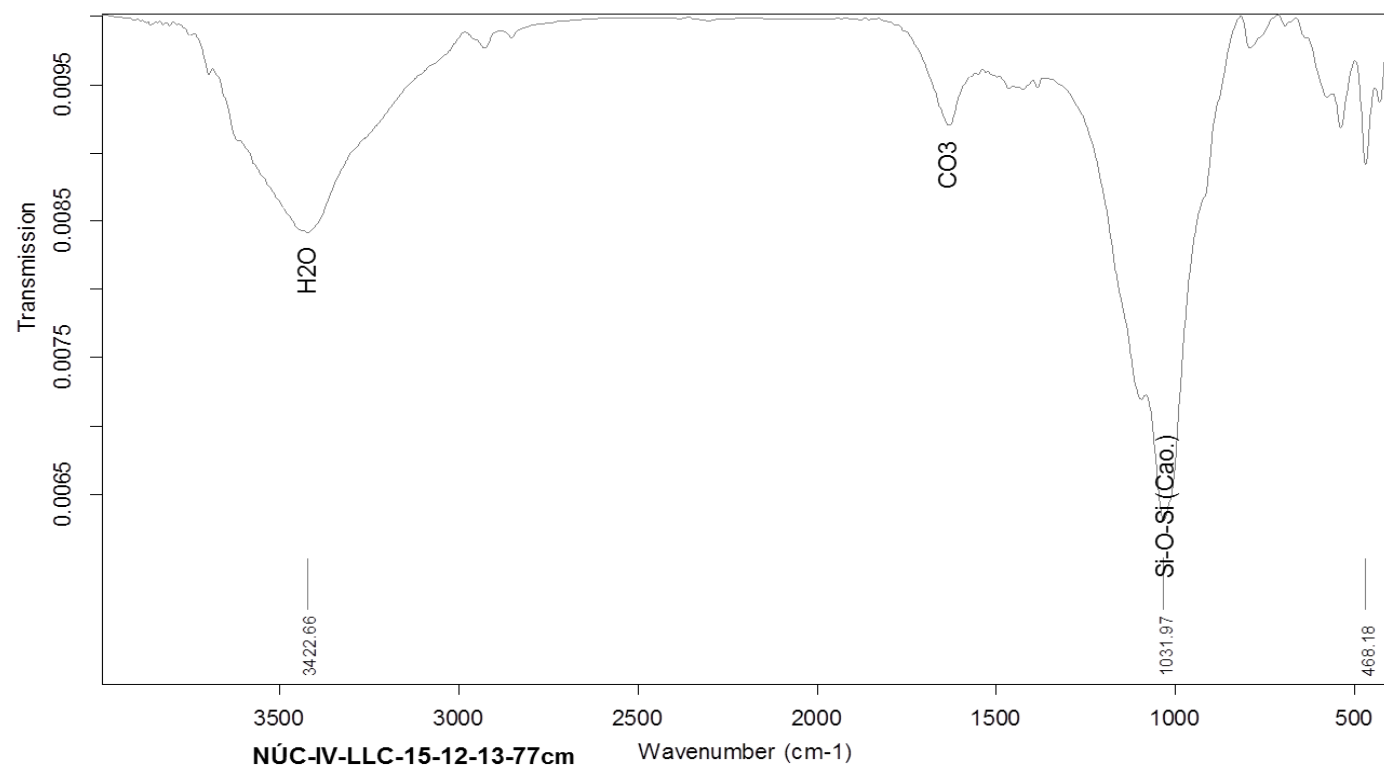
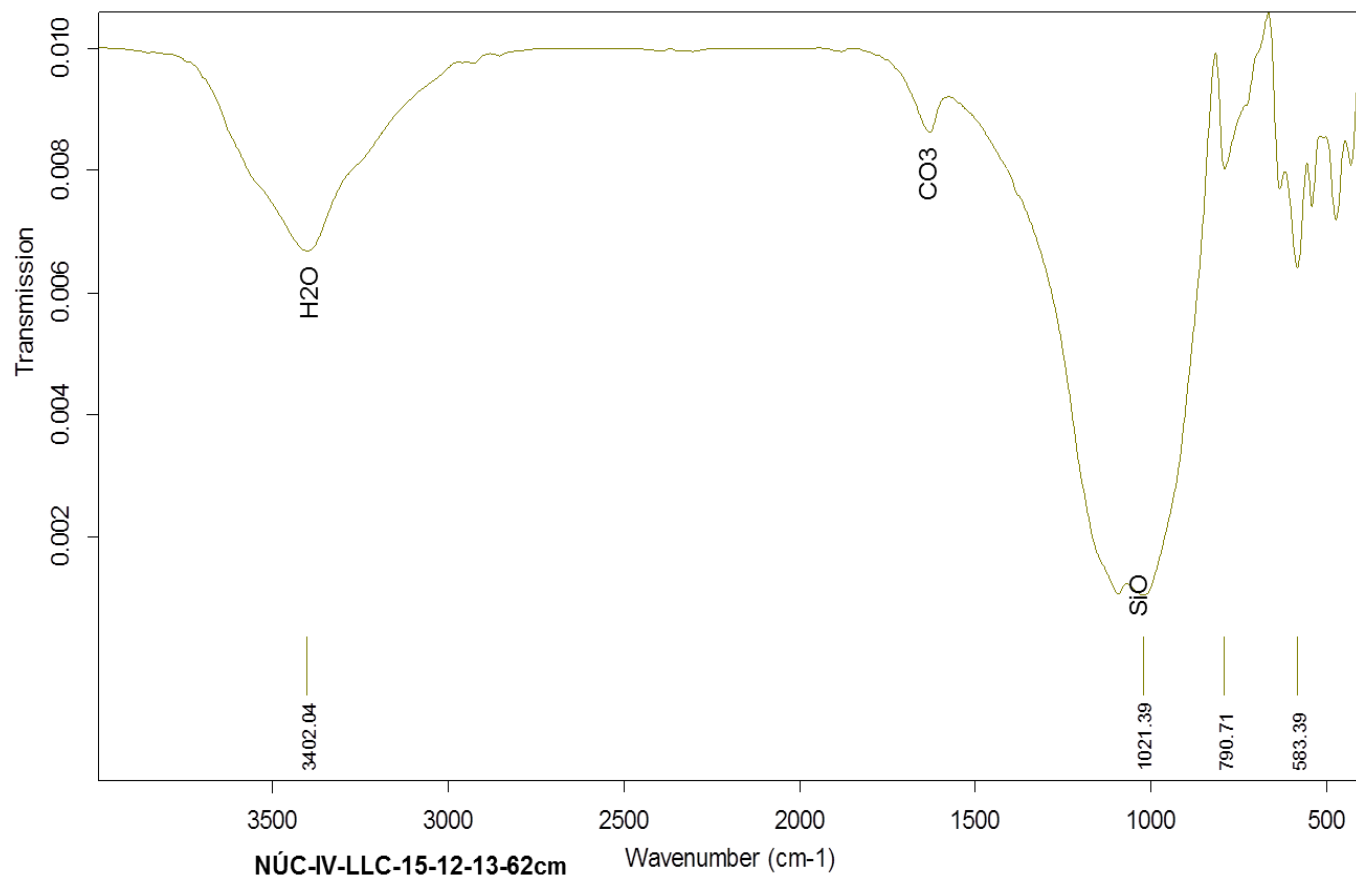


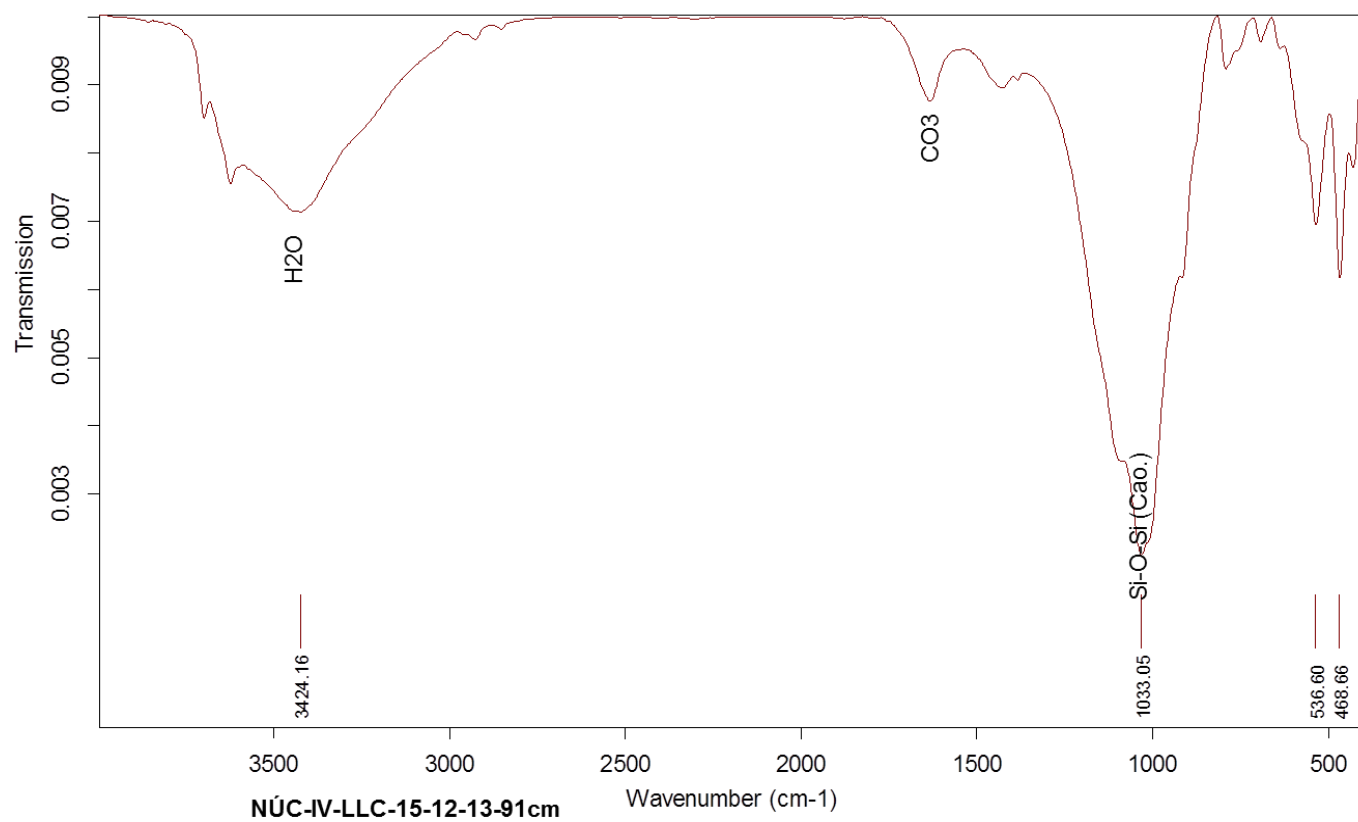


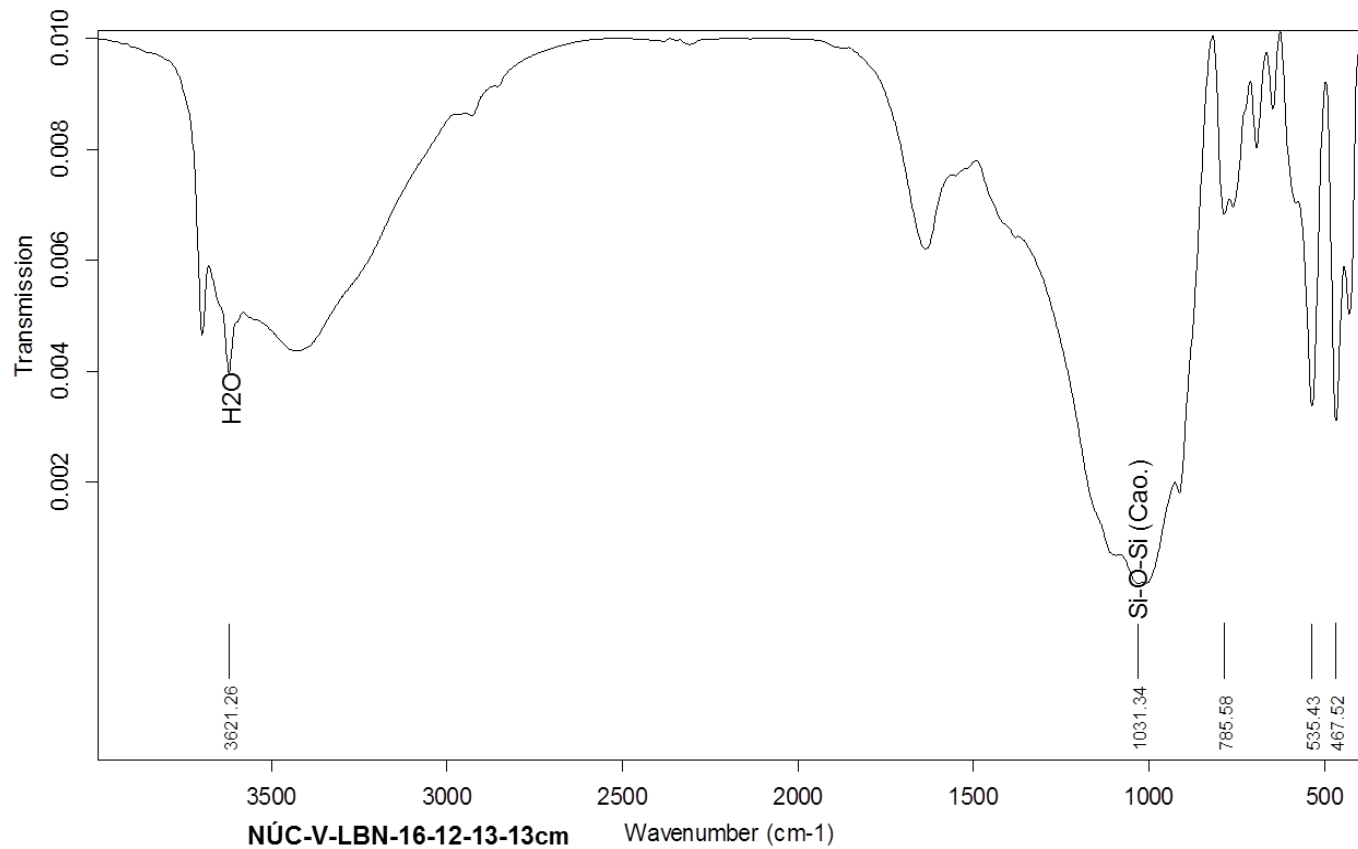
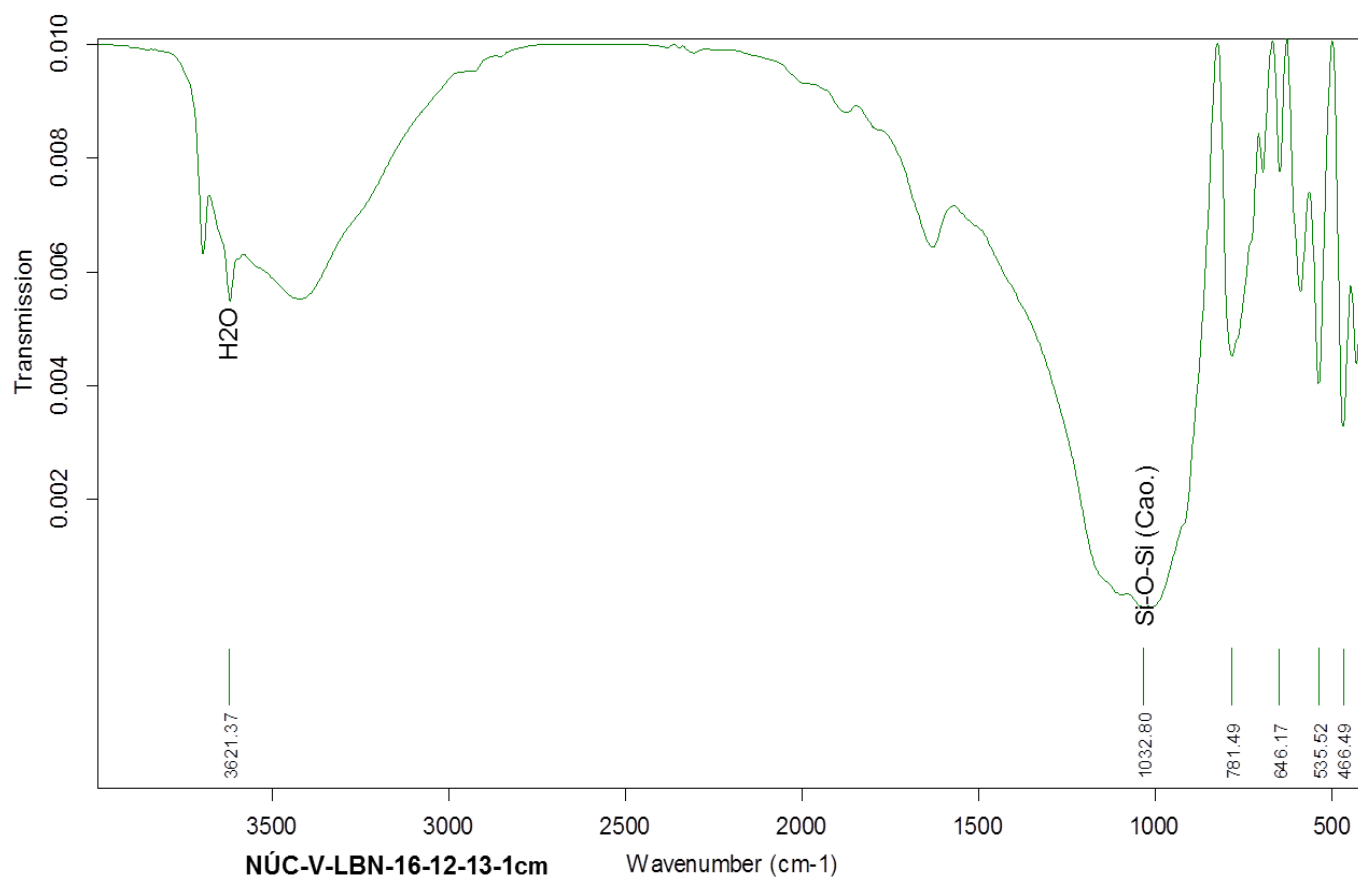


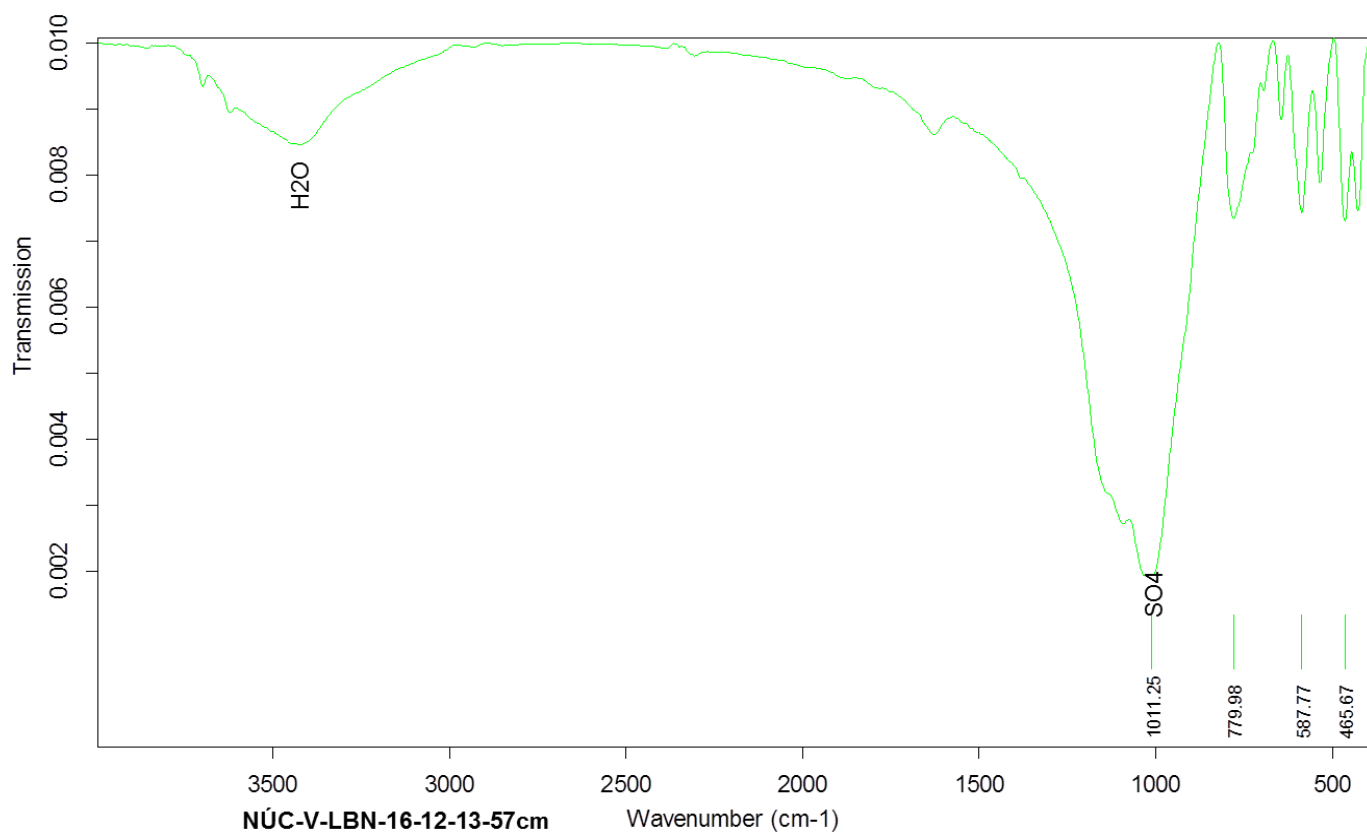
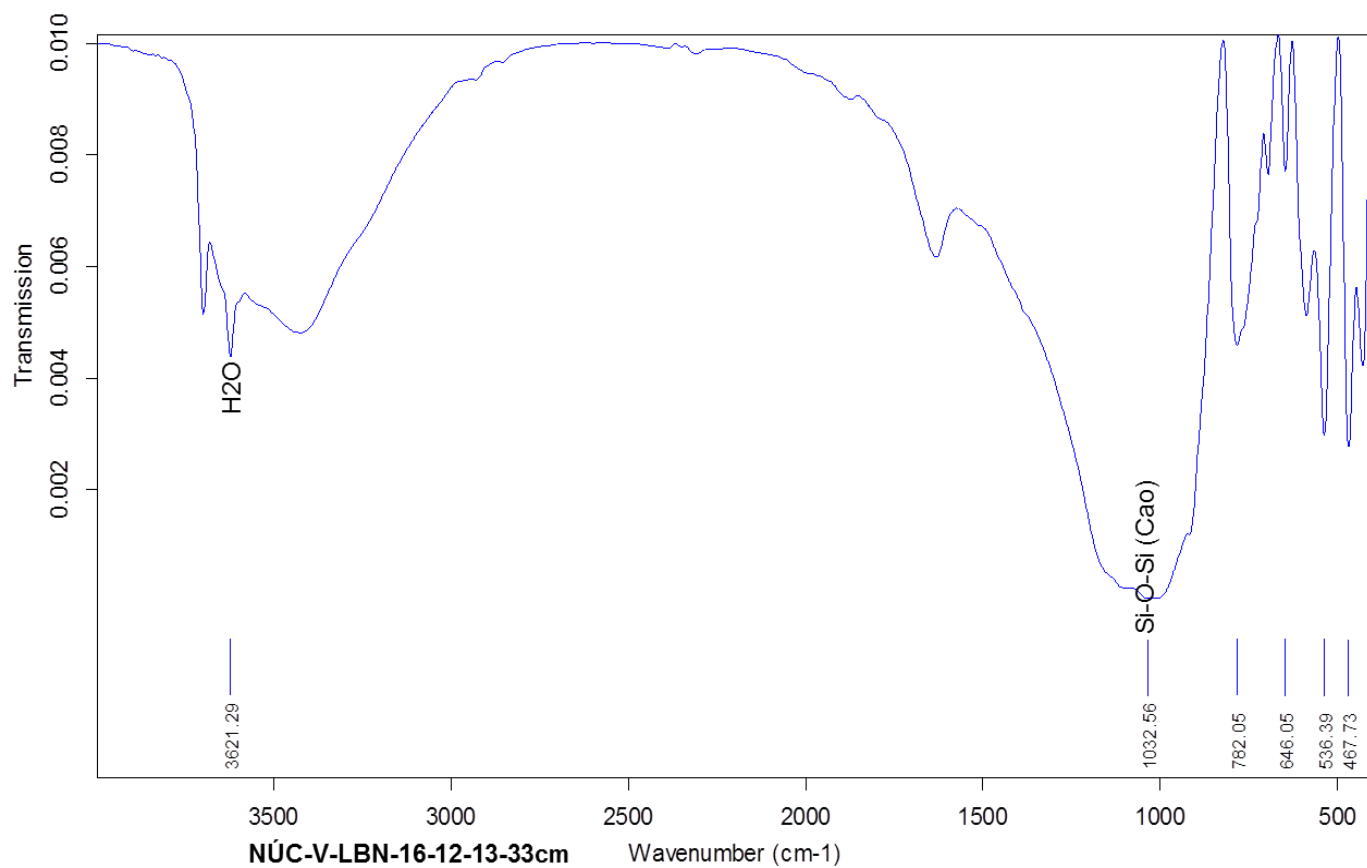


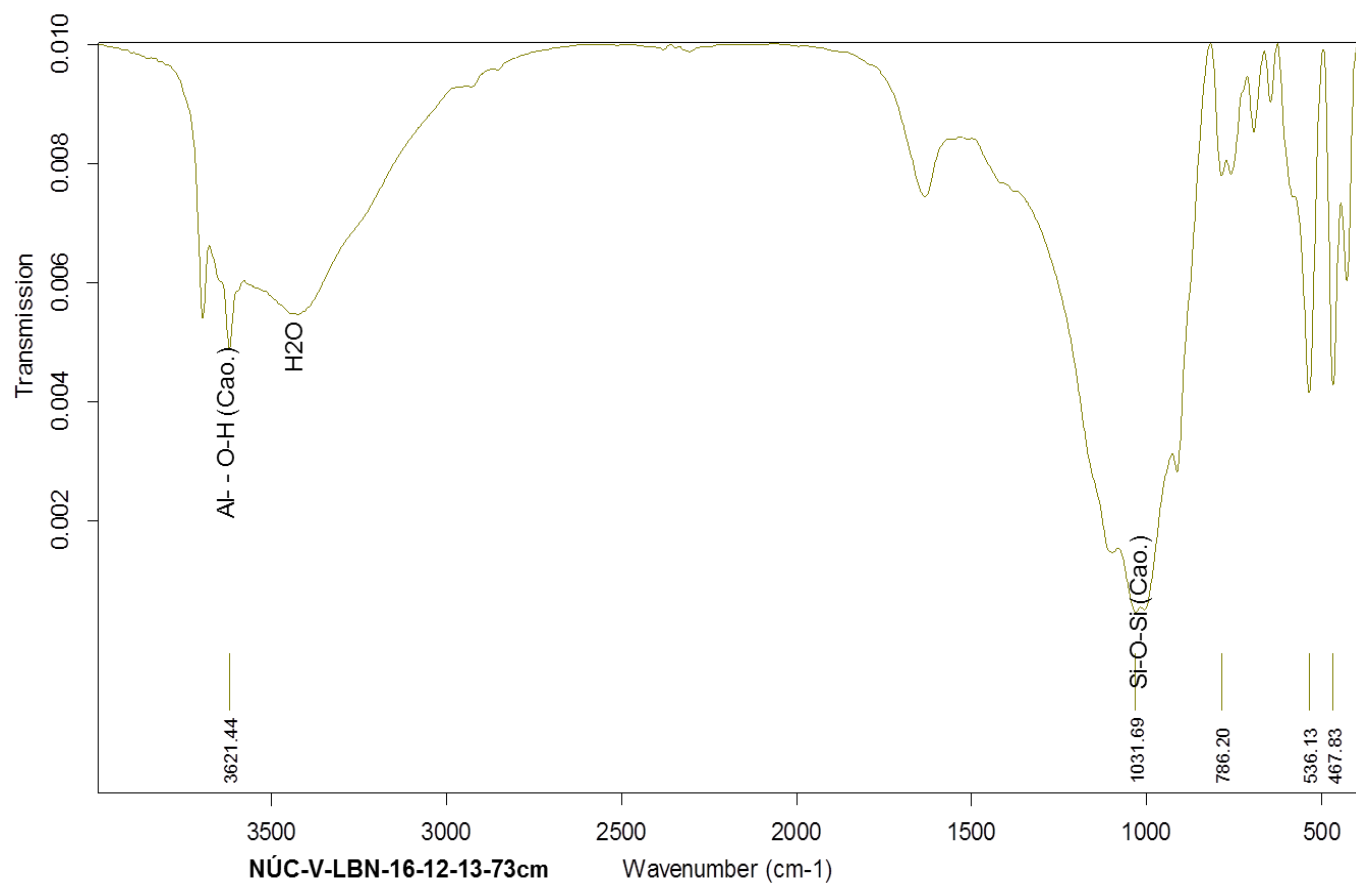
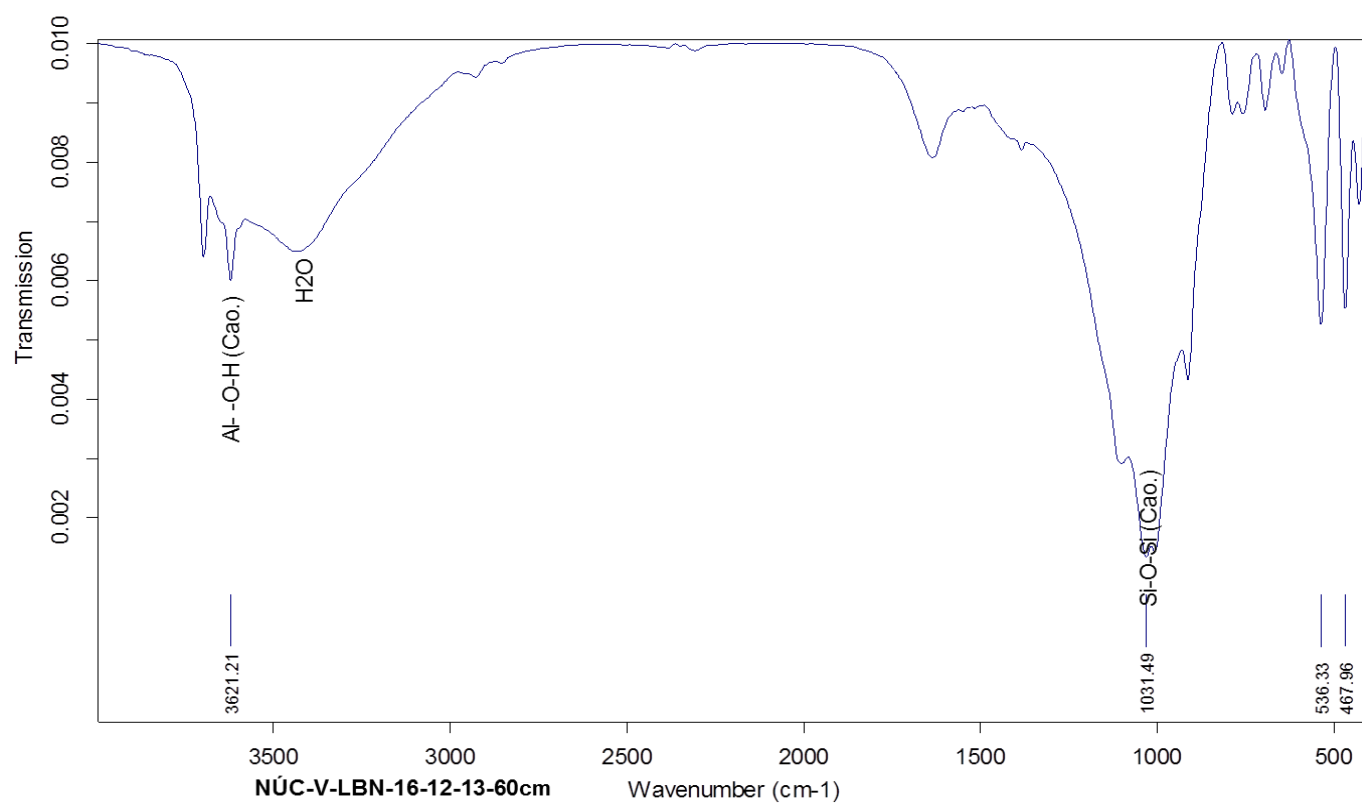


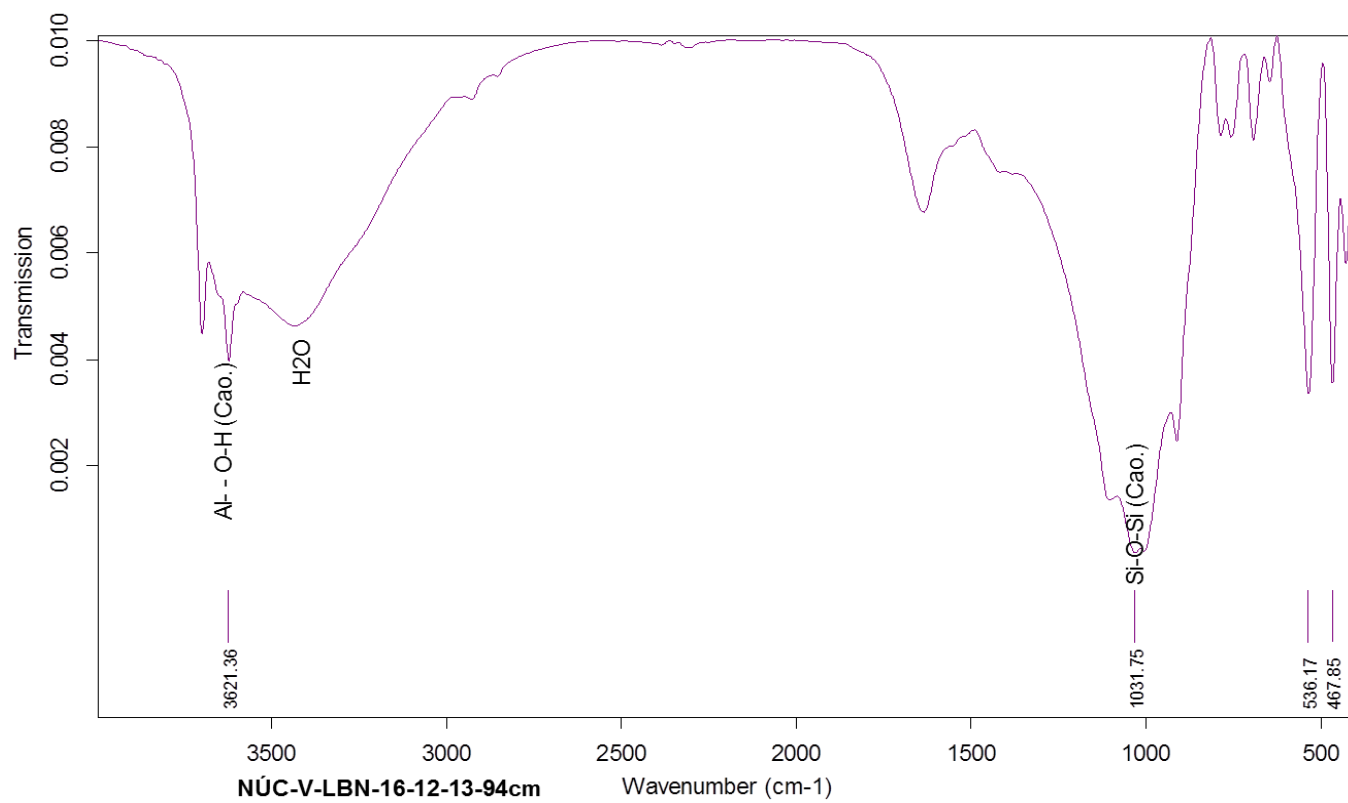
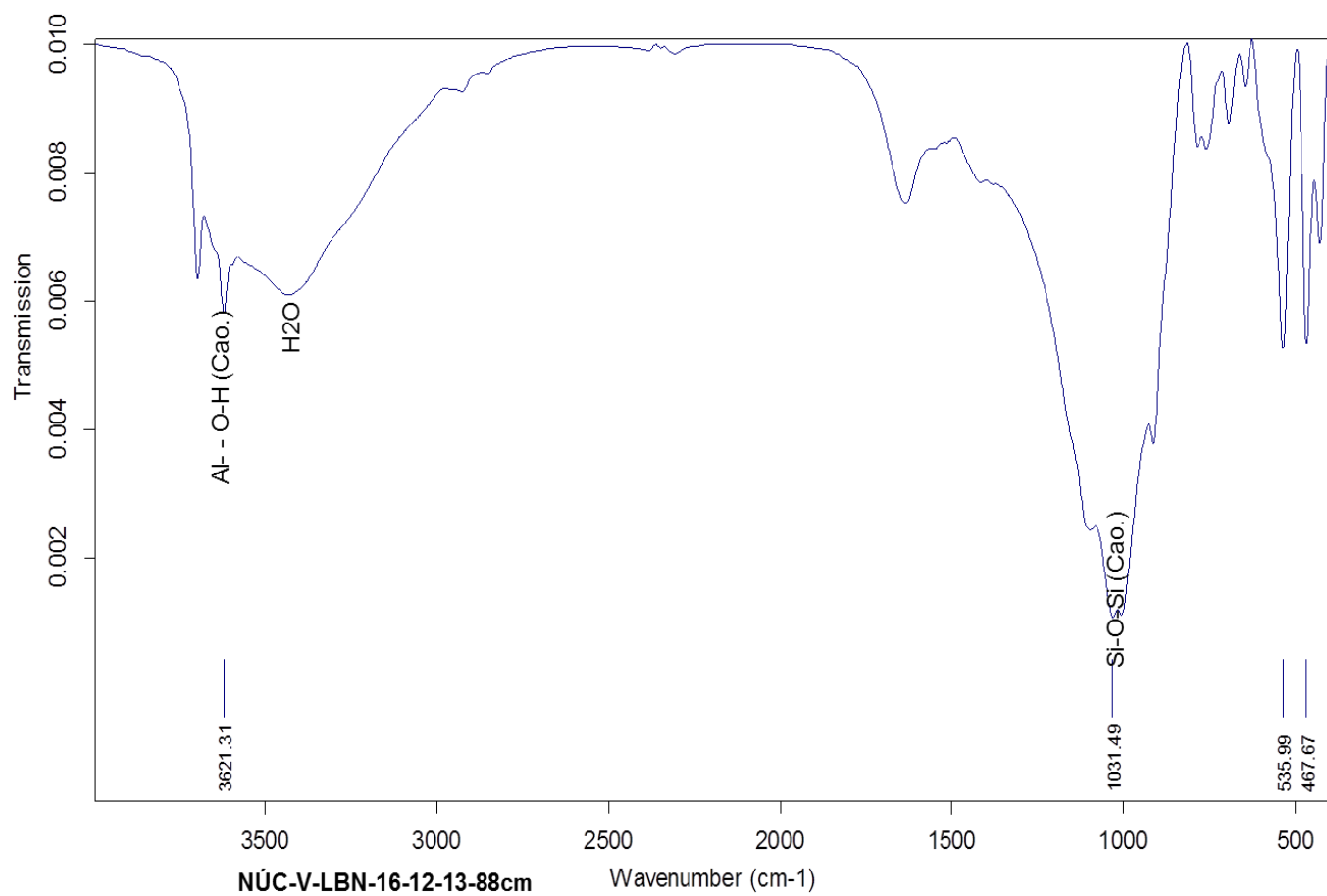


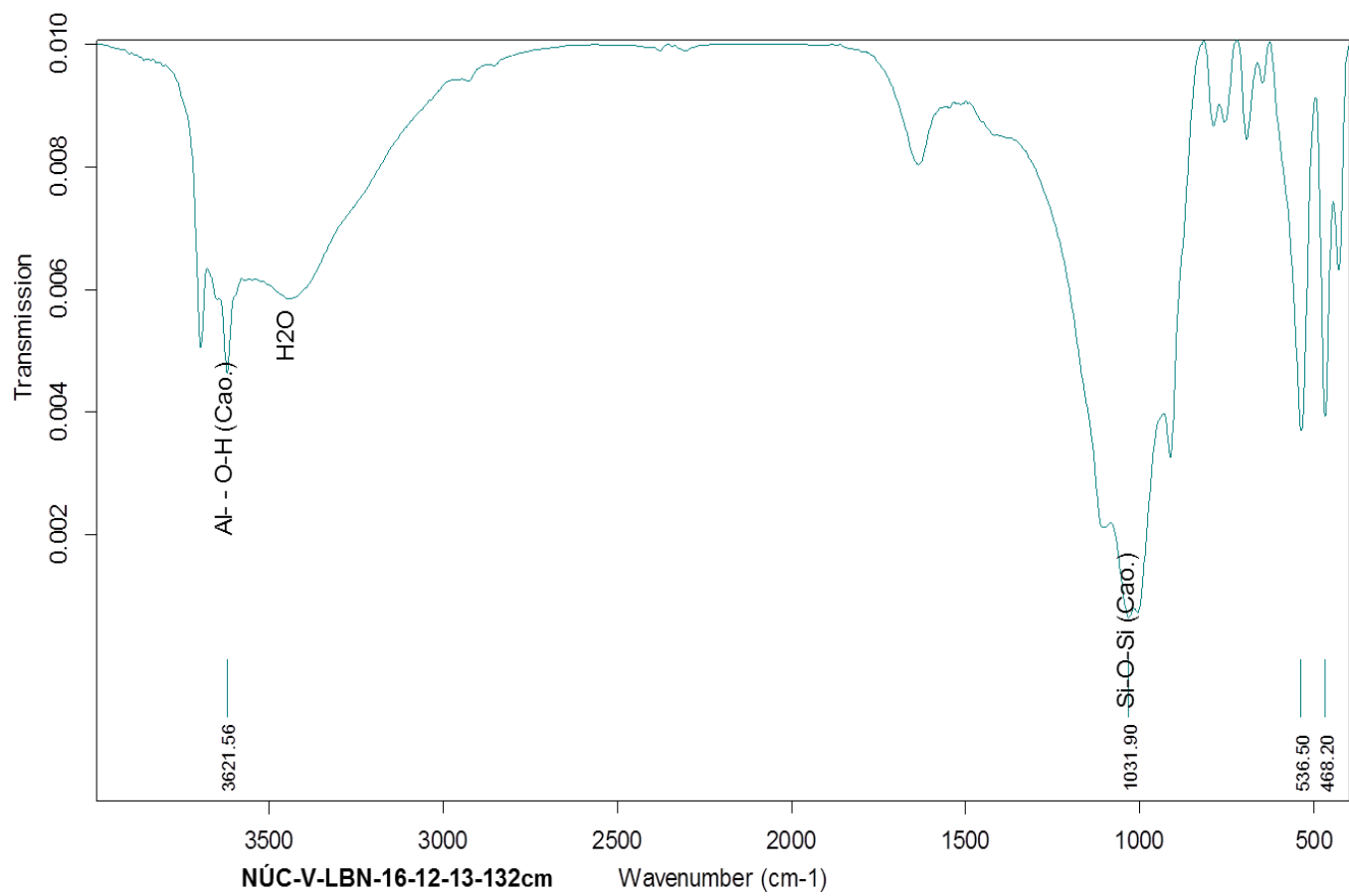


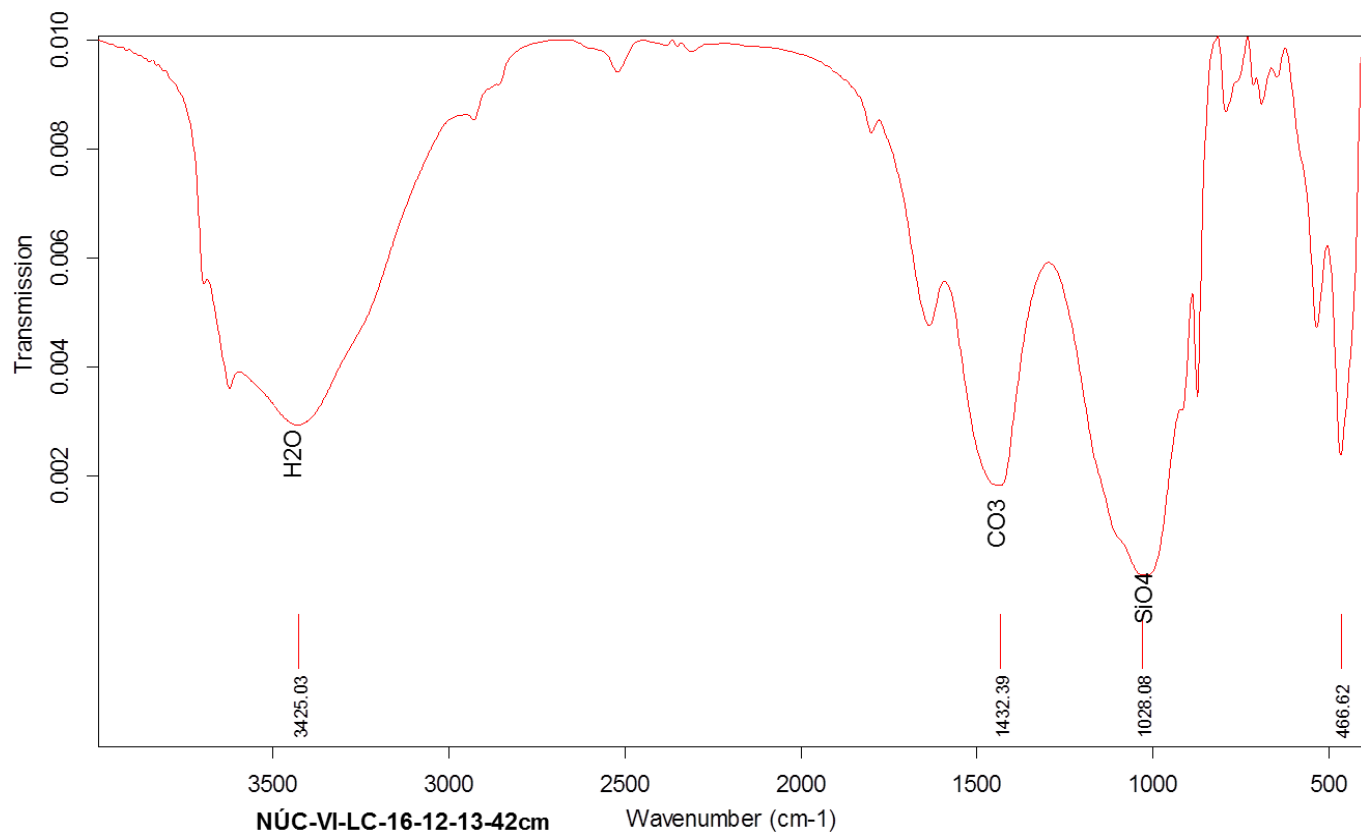
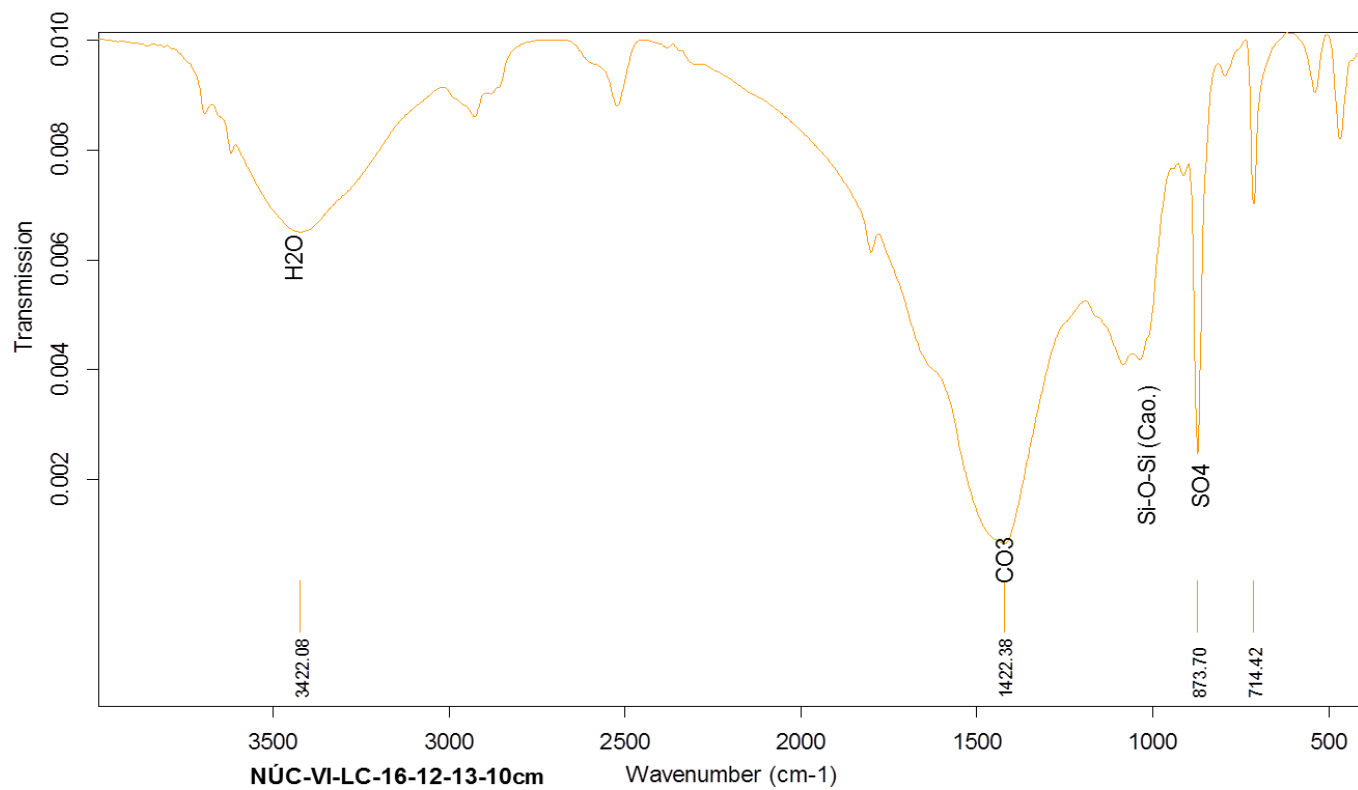


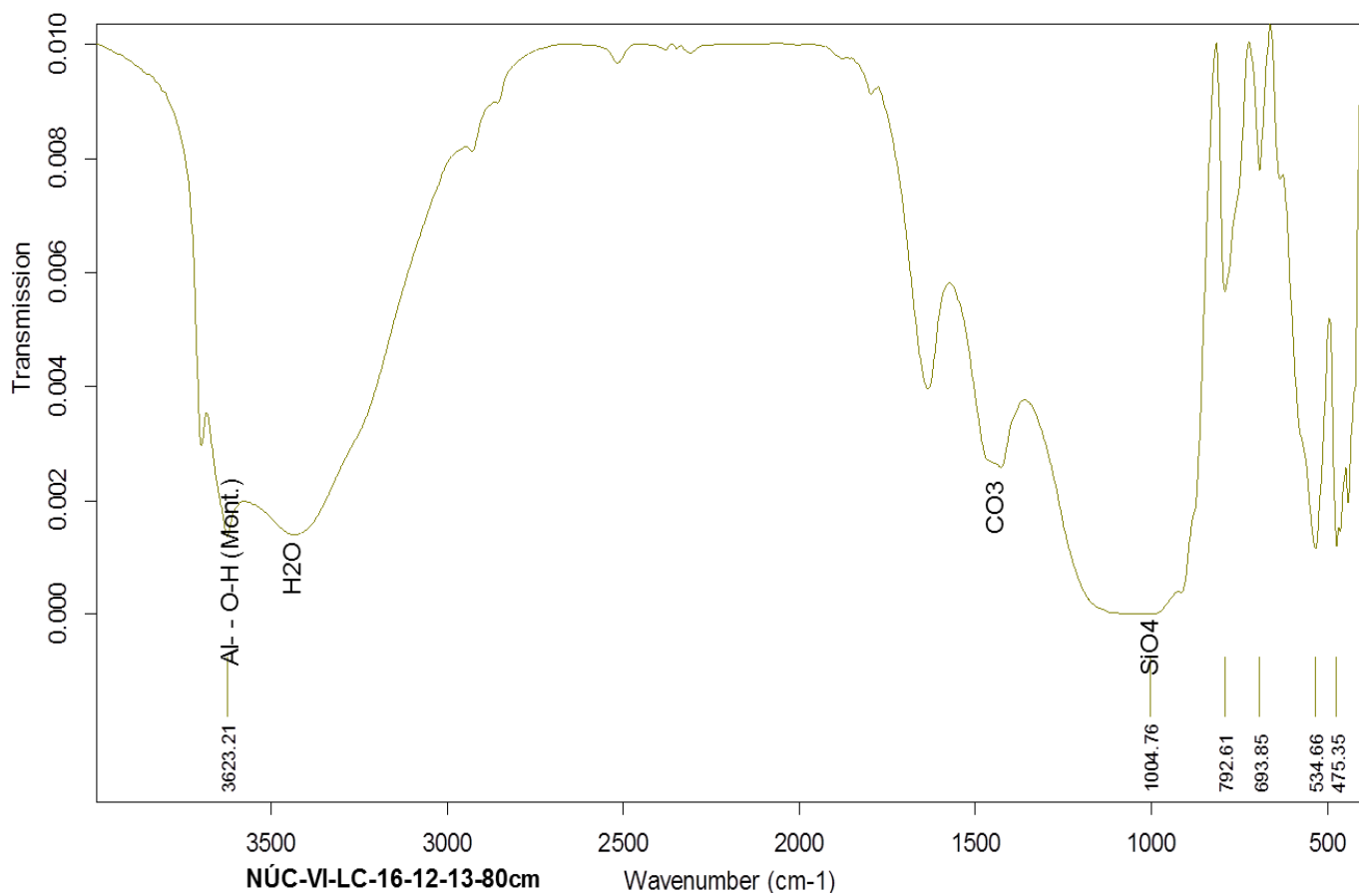
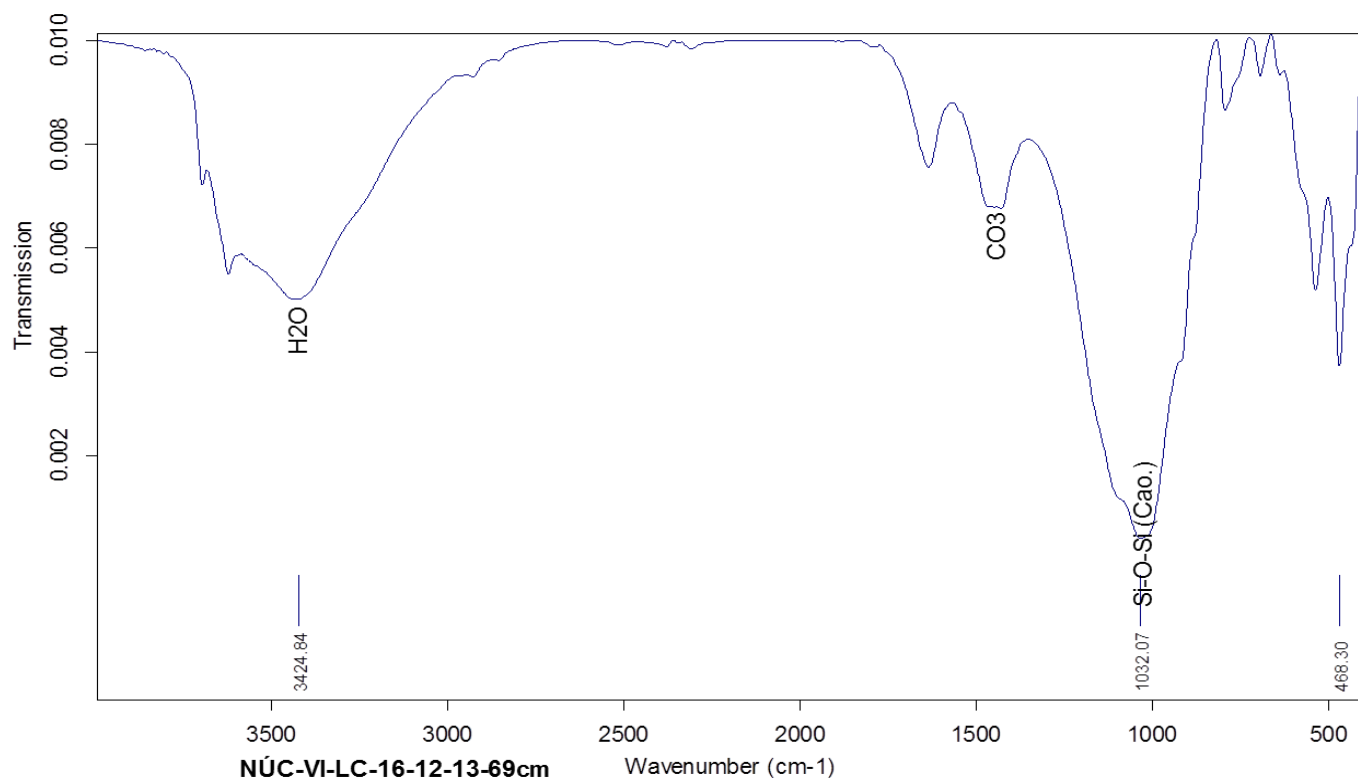


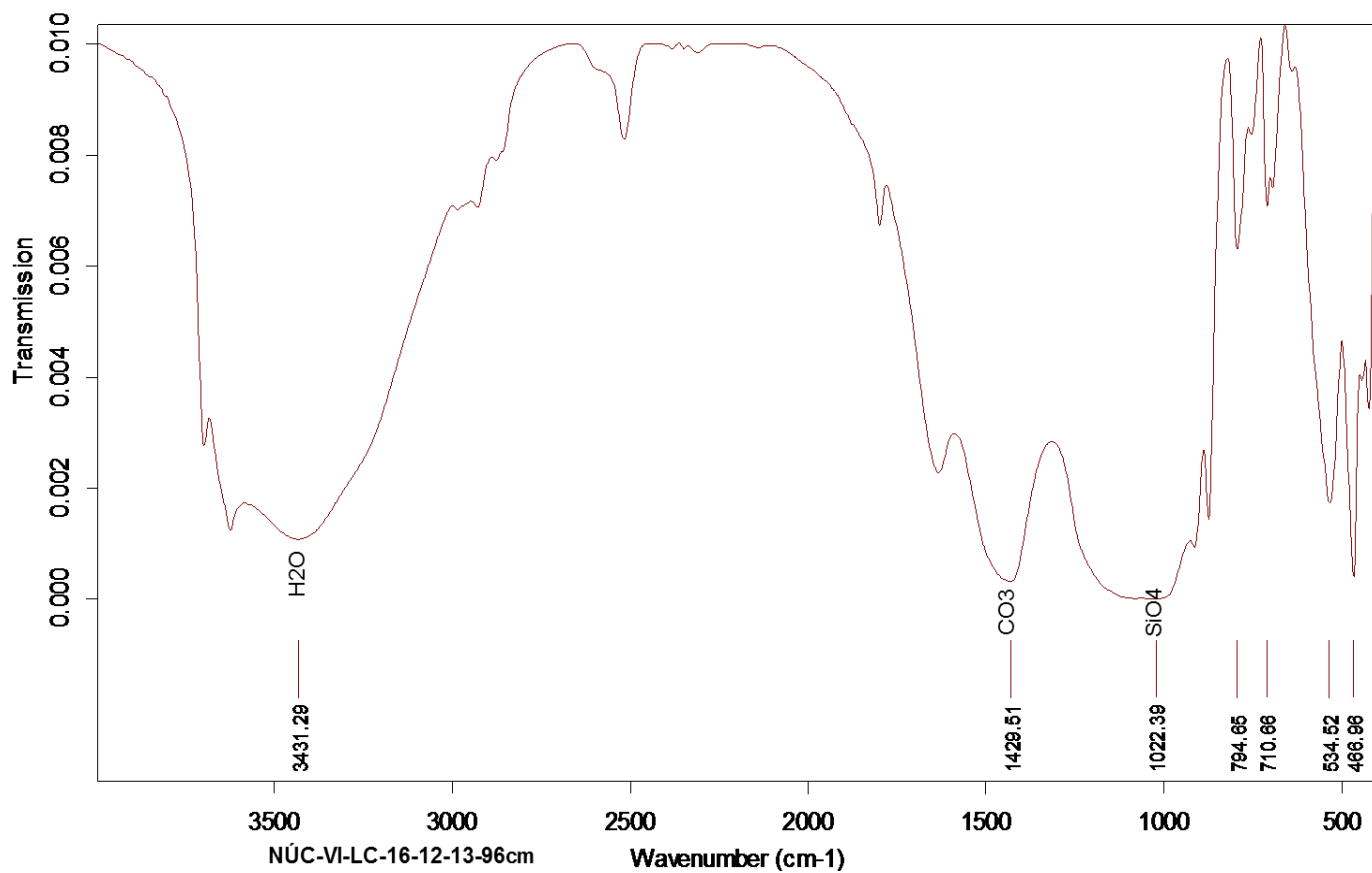
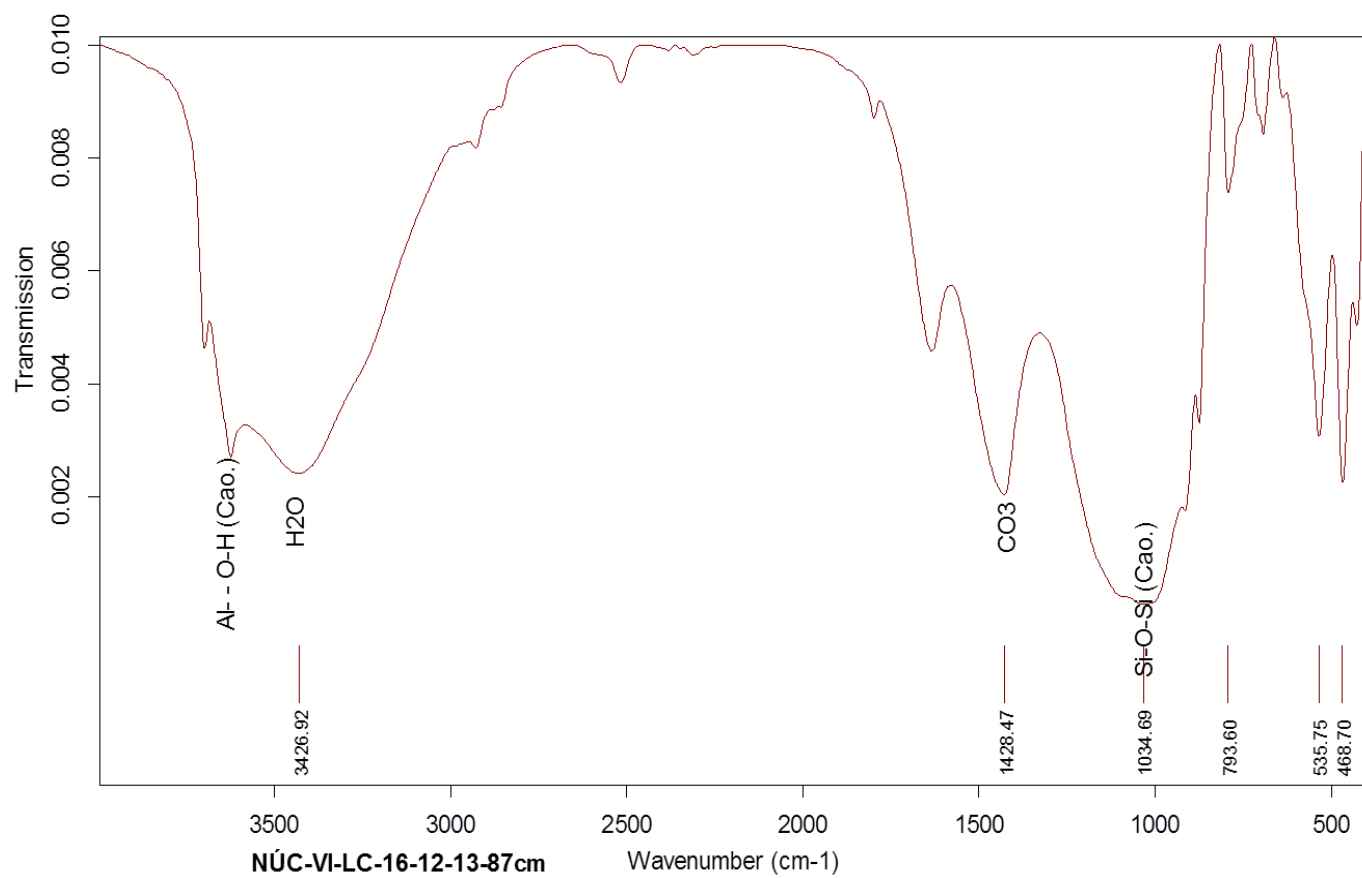


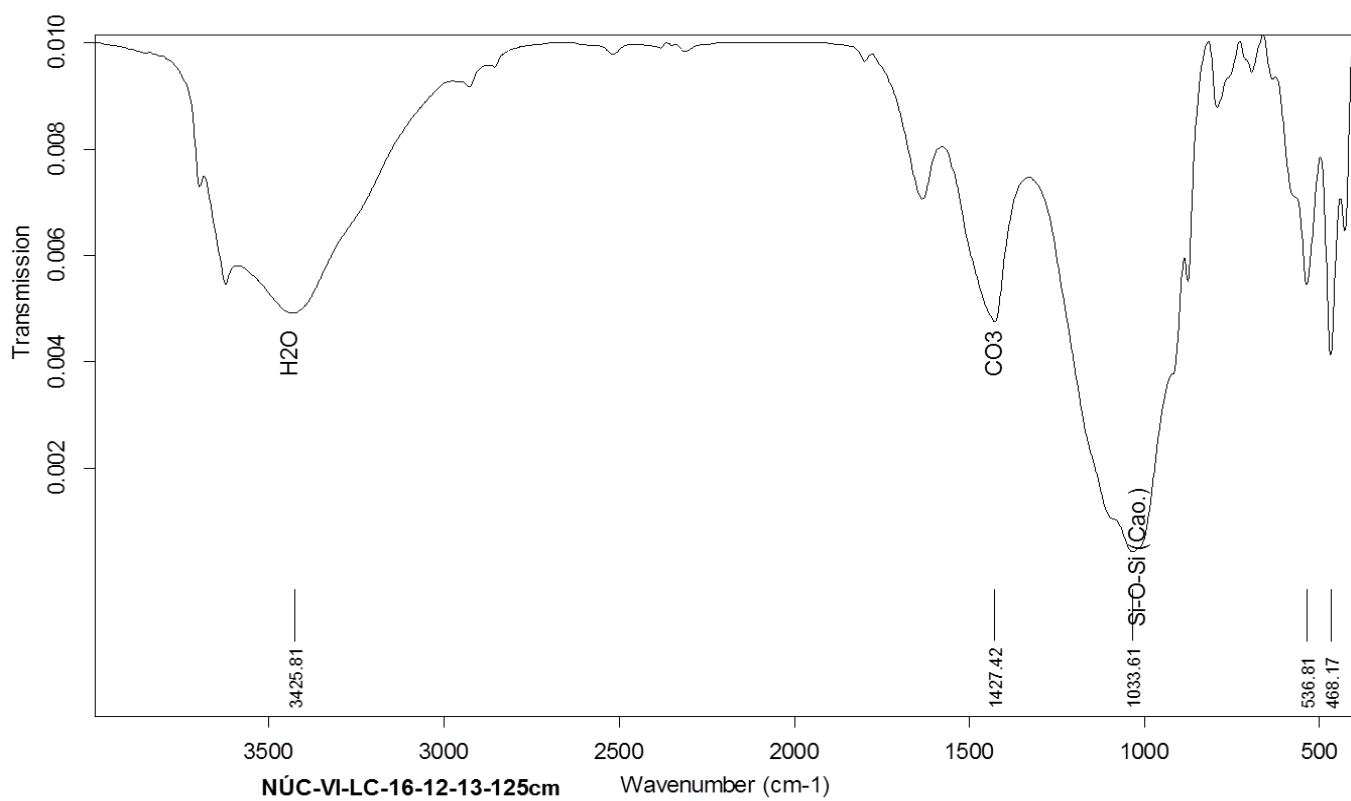
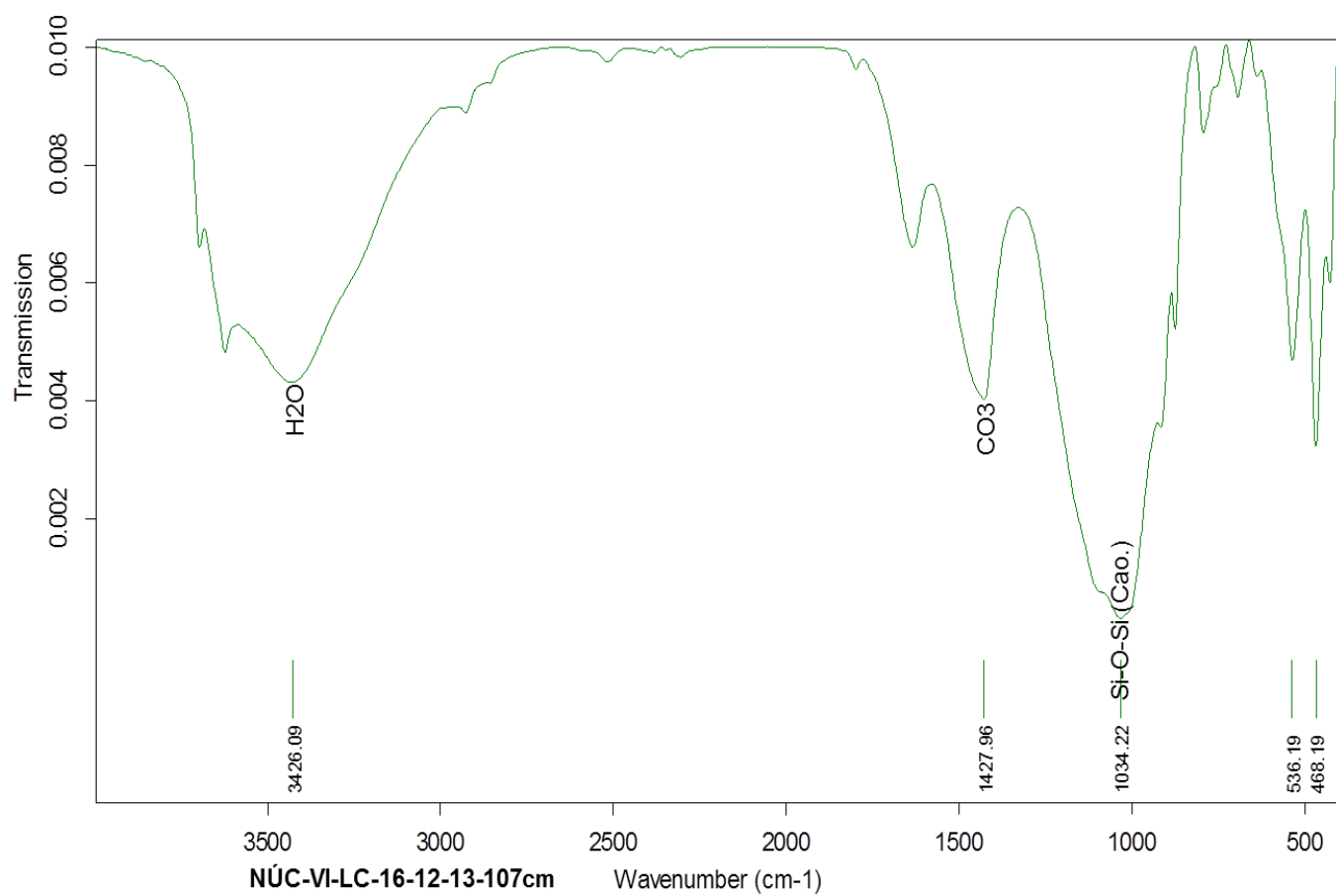


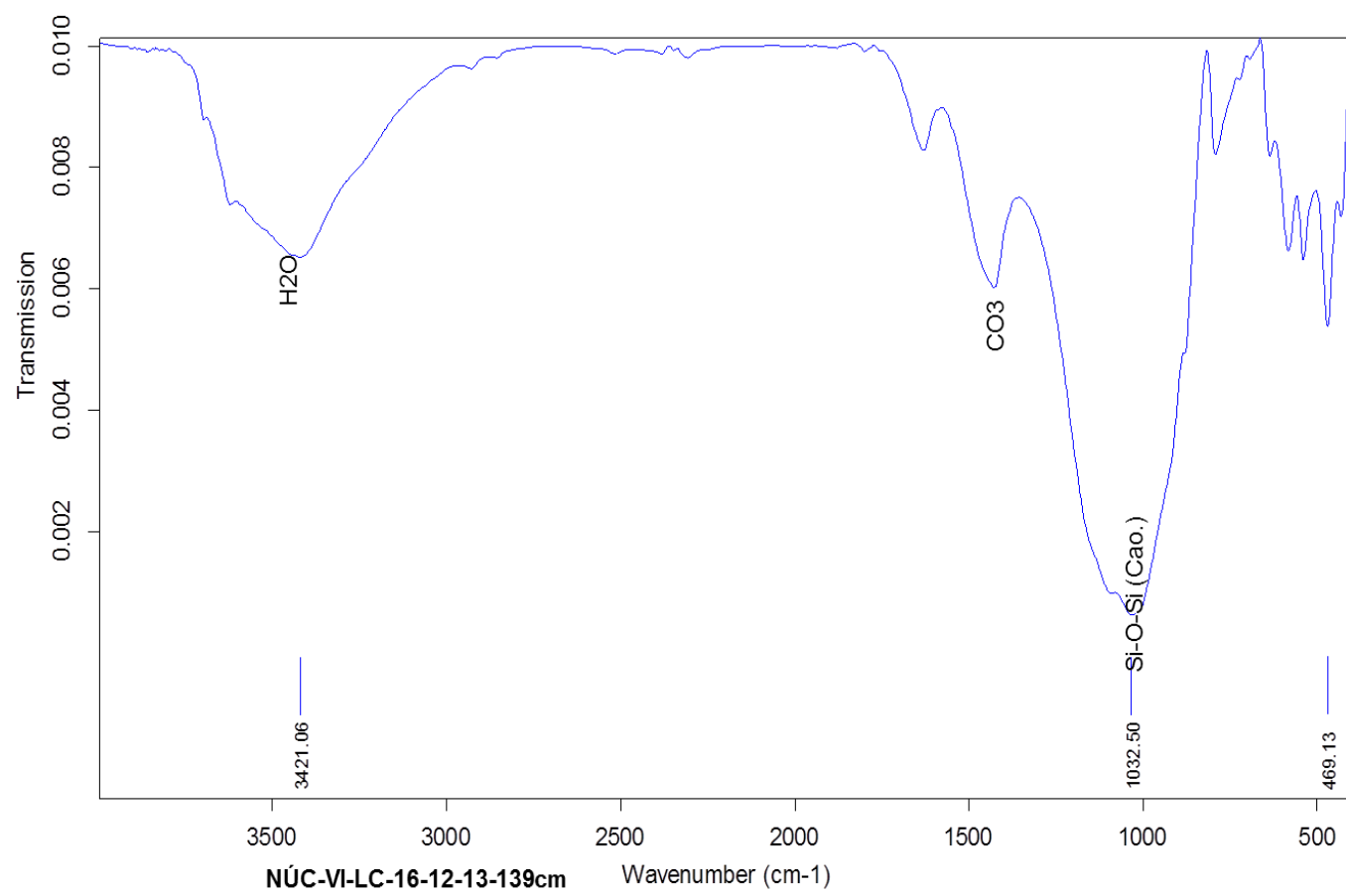






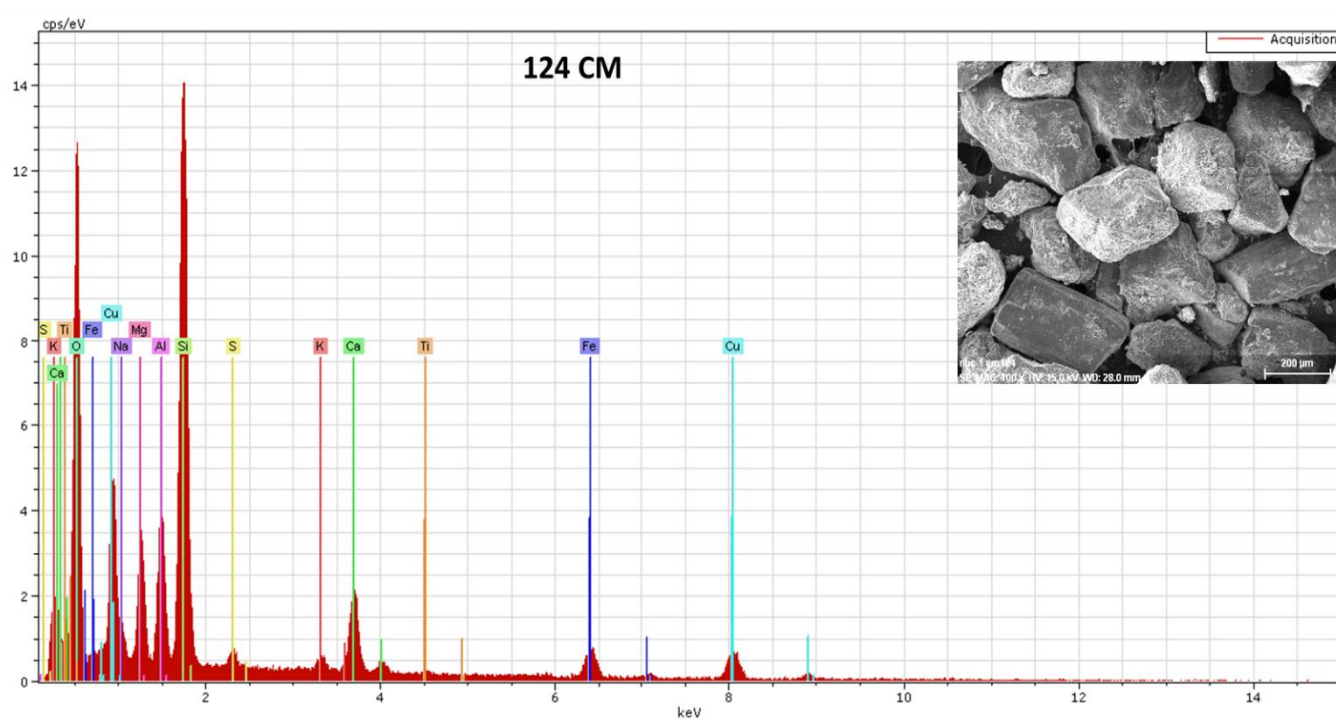
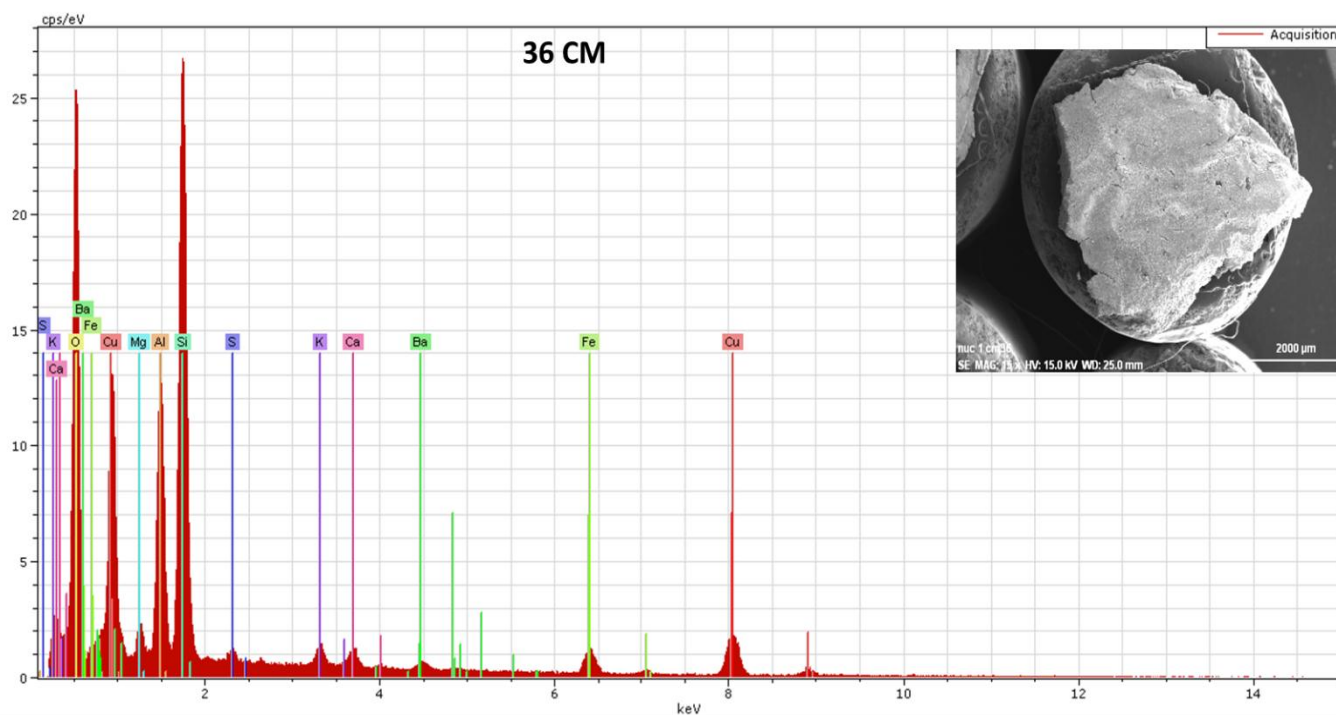




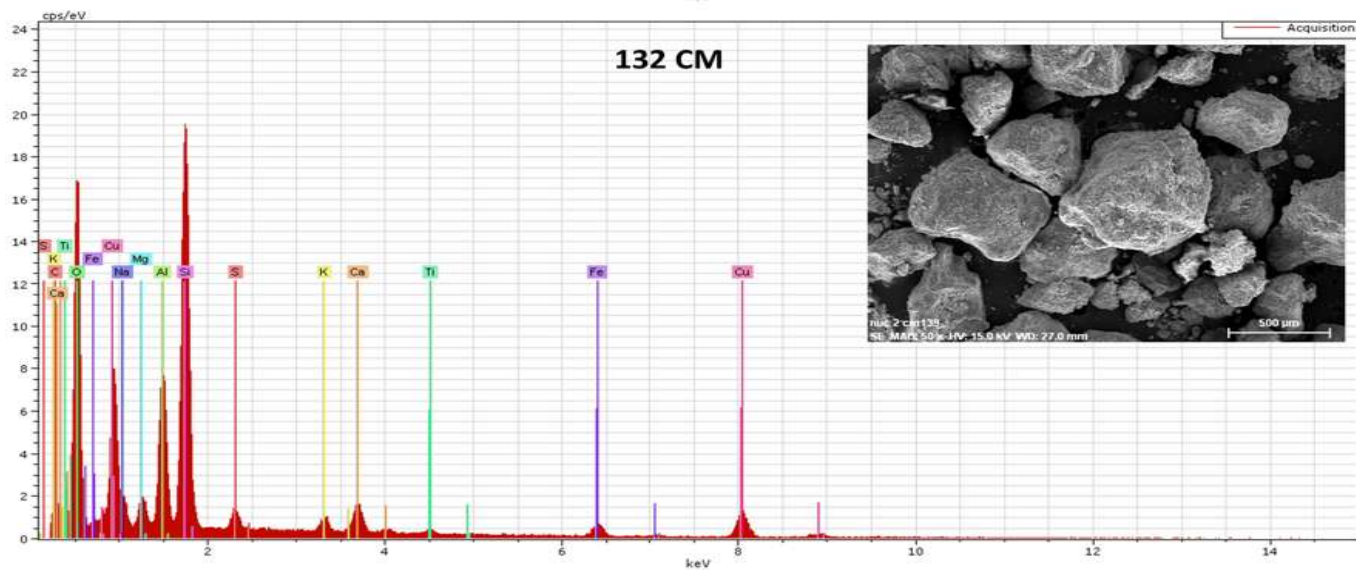
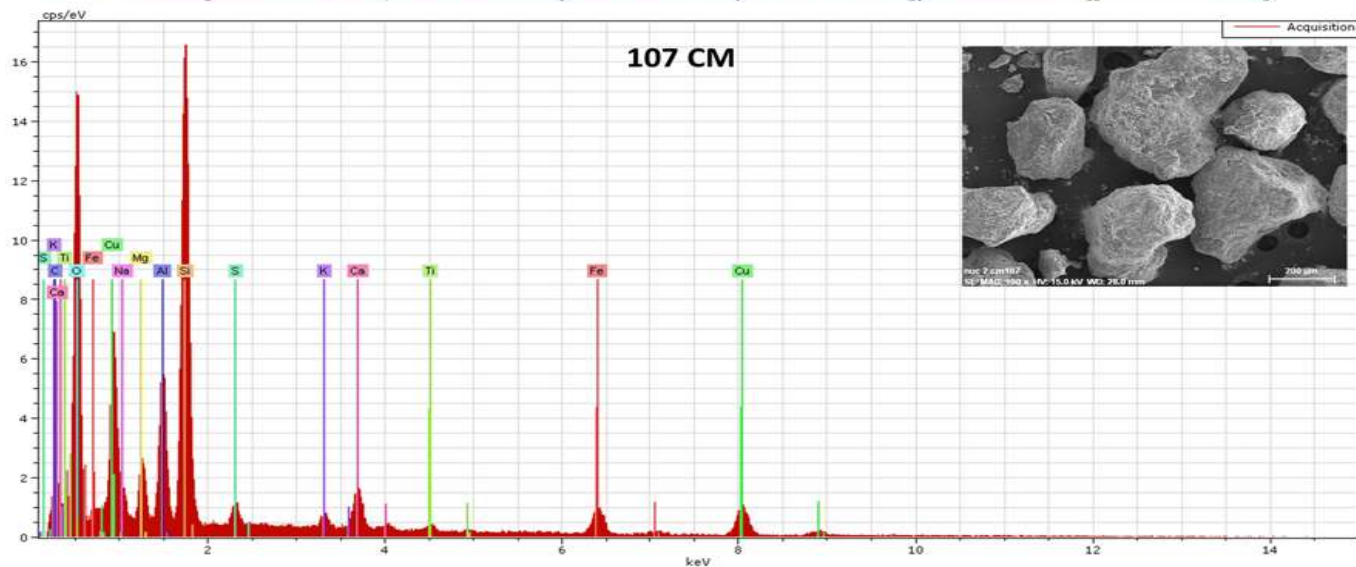
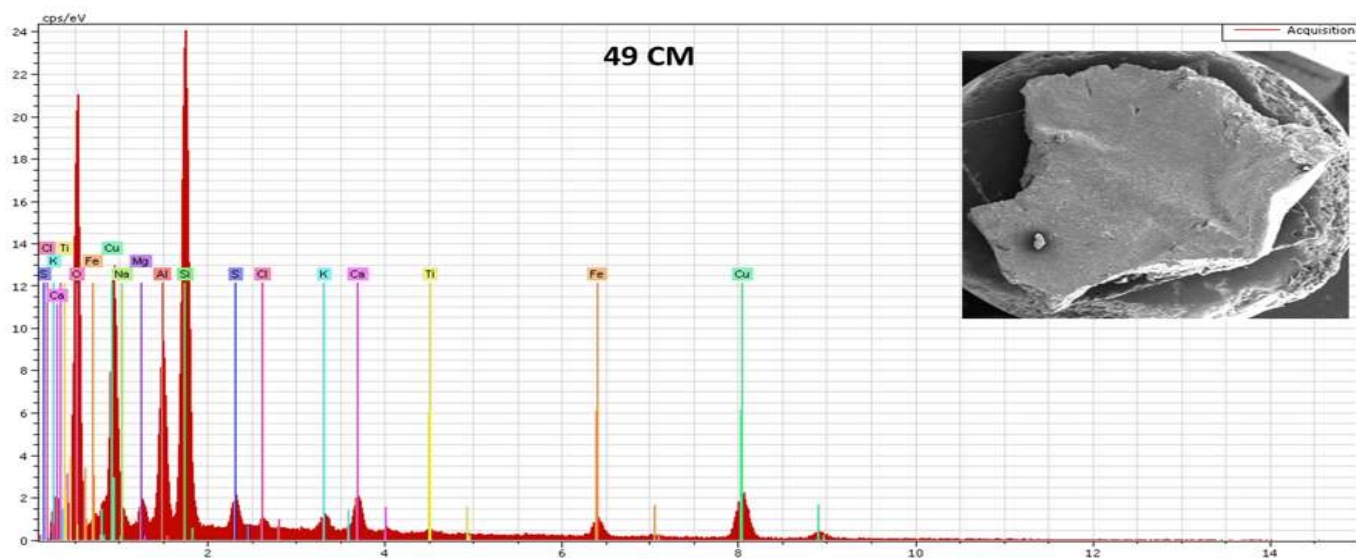


ANEXO III DE MICROSCOPIA ELECTRÓNICA DE BARRIDO (MEB)

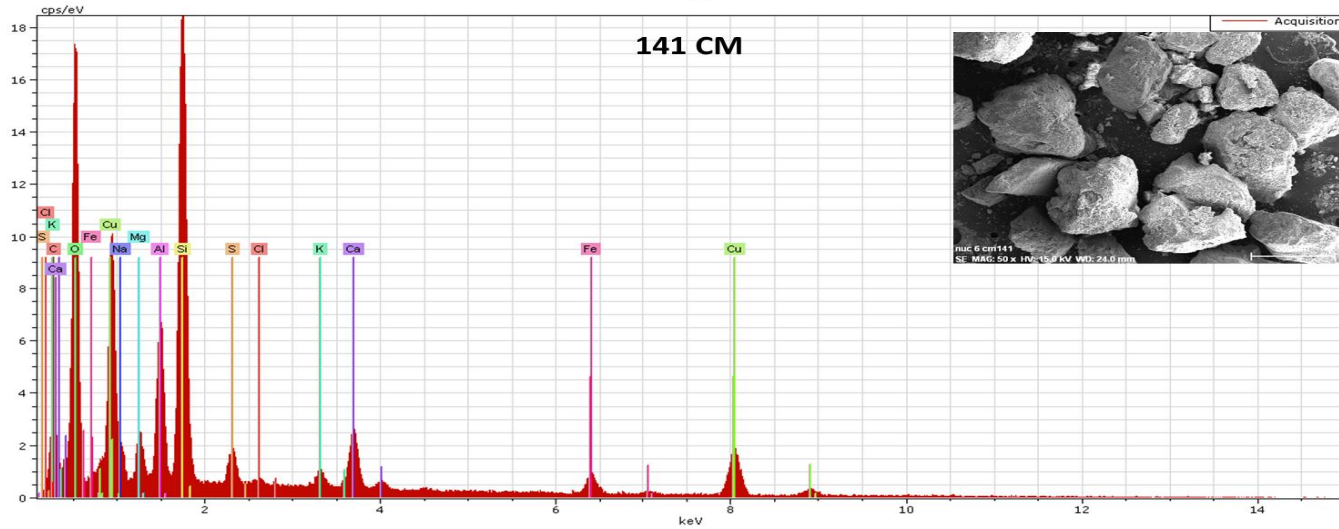
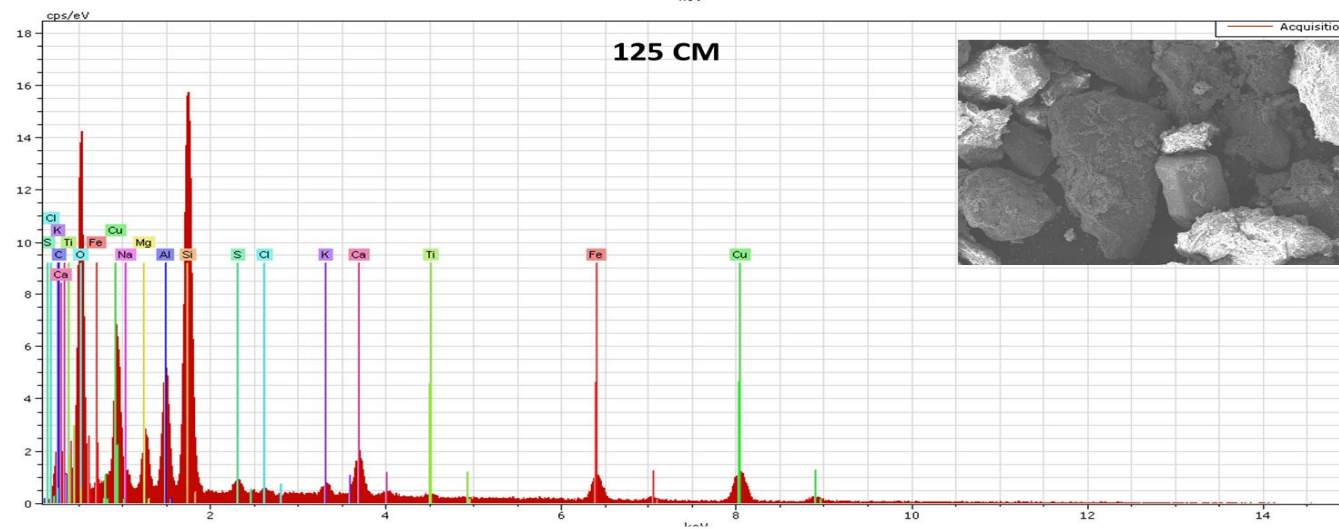
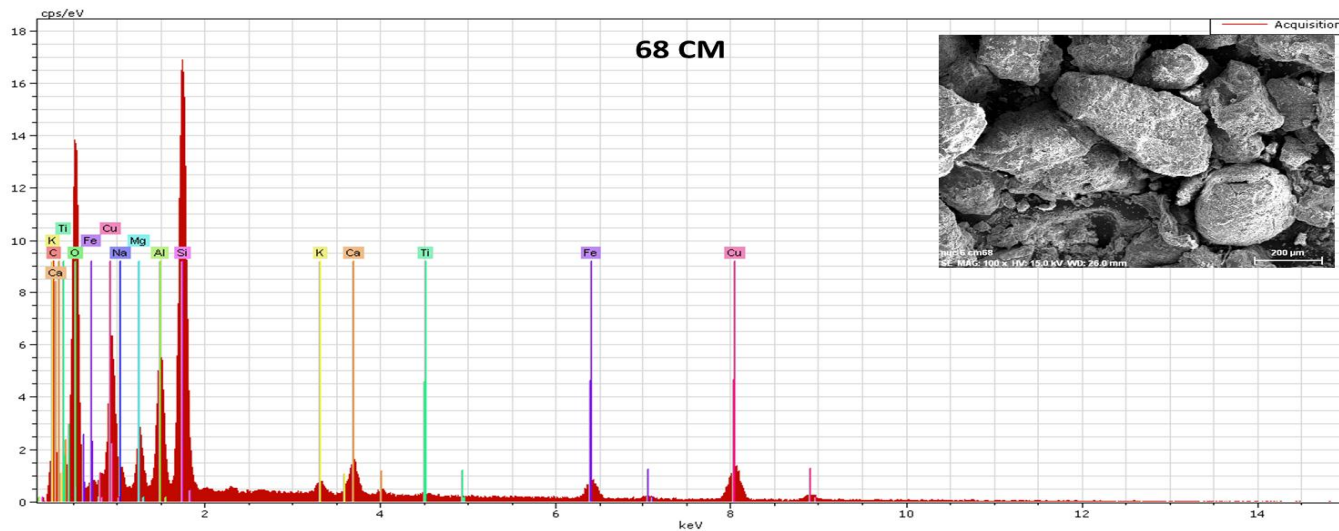
NÚC-I-LC-14-12-13



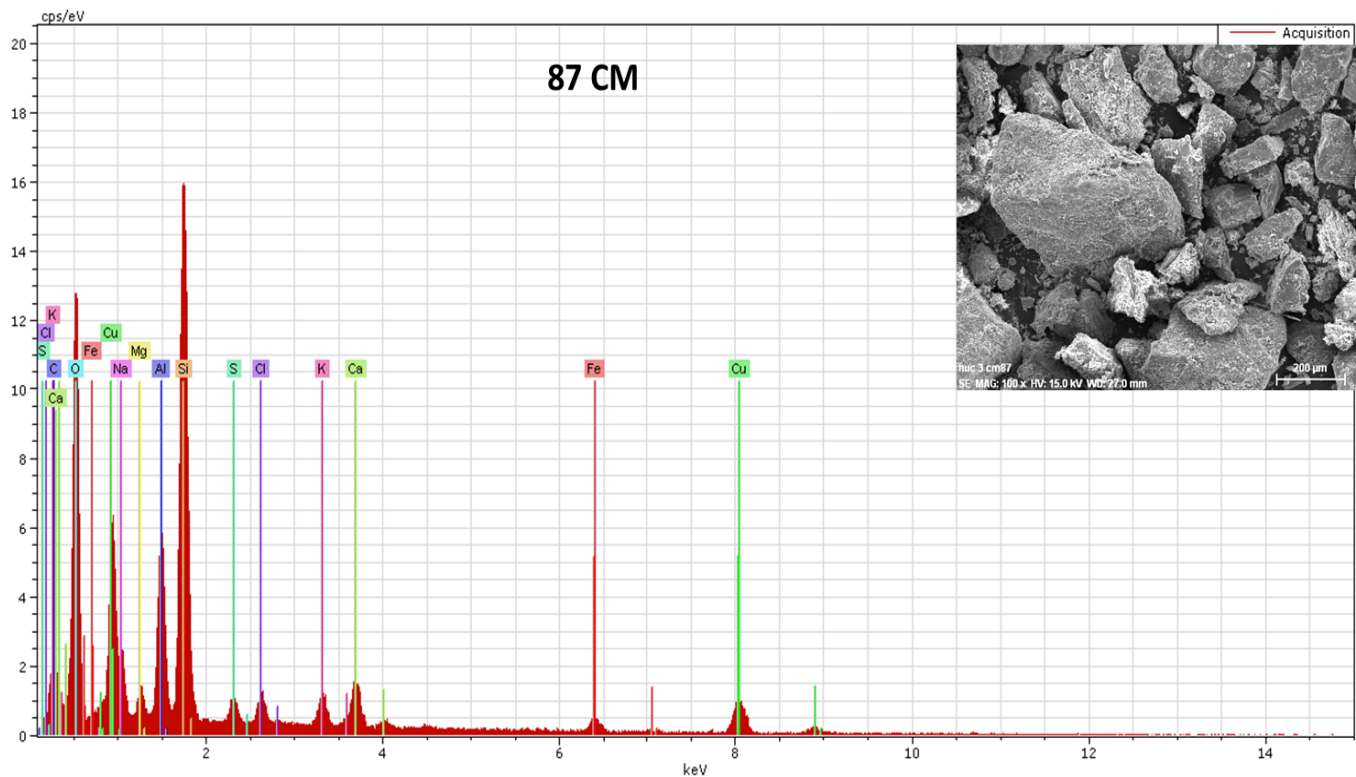
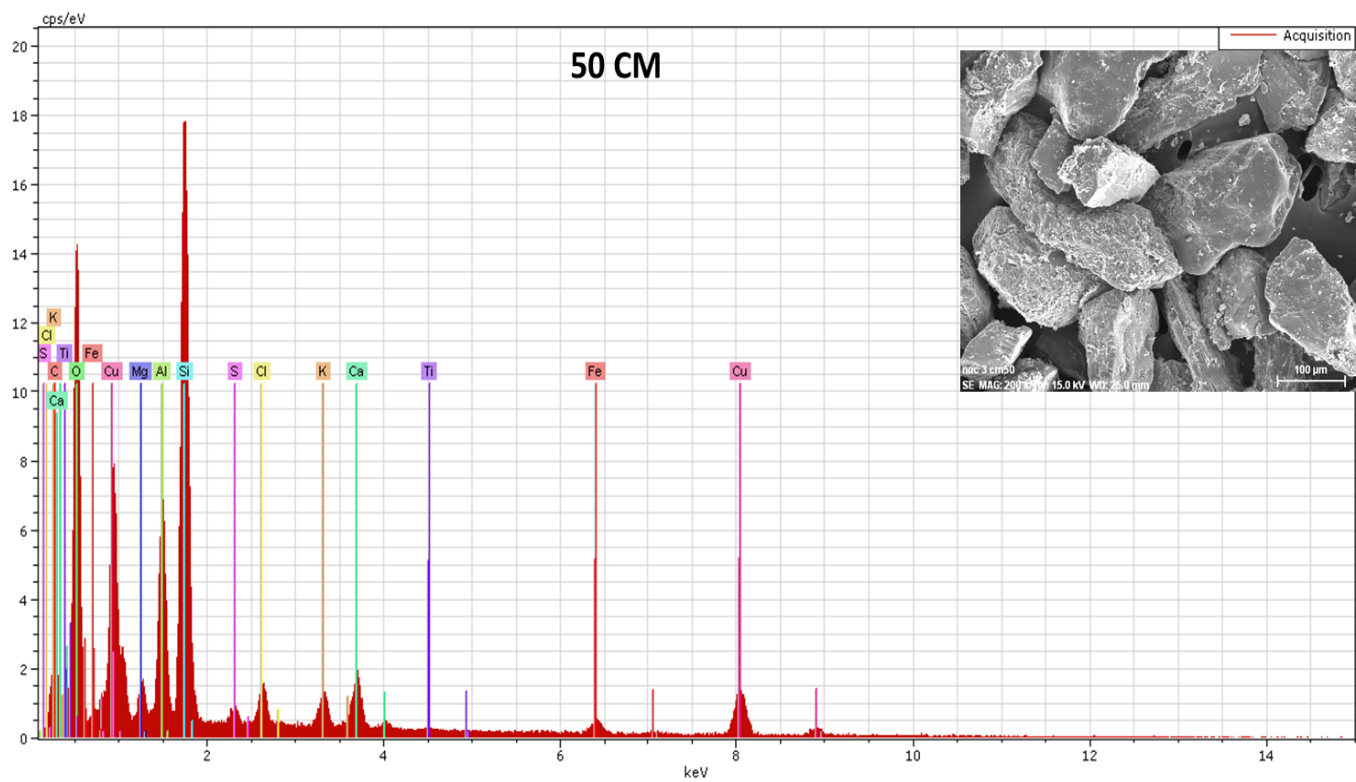
NÚC-II-LC-14-12-13

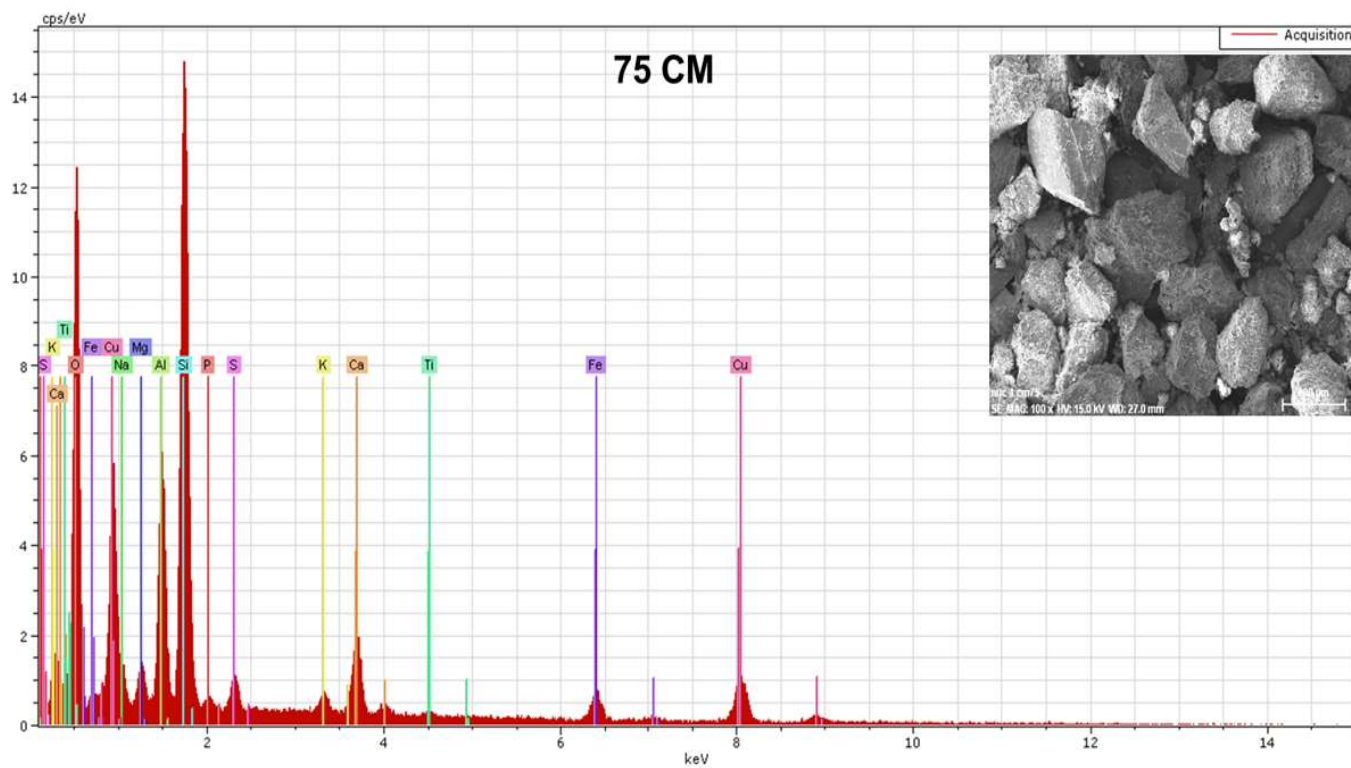


NÚC-VI-LC-16-12-13



NÚC-III-LLB-15-12-13





NÚC-V-LBN-16-12-13

