UNIVERSIDAD DEL MAR

Campus Puerto Ángel

Evolución trófica, flujos y enriquecimiento de metales pesados (Cadmio, Cobre, Cromo y Plomo) en un perfil sedimentario de la laguna Pastoría (Parque Nacional Lagunas de Chacahua) Oaxaca

T E S I S

Que para obtener el Título Profesional de:

Licenciado en Biología Marina

Presenta

Diana Yurani Roque Castro

Director

Dr. Vladislav Carnero Bravo

Codirector

Dr. Jorge Feliciano Ontiveros Cuadras

Ciudad Universitaria, Puerto Ángel, Oaxaca, México a Mayo 2024

Resumen

Las lagunas costeras son los sistemas naturales más productivos en el mundo, estos ecosistemas de aguas someras son altamente sensibles a fenómenos naturales y antropogénicos. Uno de los problemas más complejos que se presenta en un sistema lagunar es la contaminación (p.e., metales pesados) al igual que la eutrofización. Los registros sedimentarios pueden proporcionar valiosas reconstrucciones temporales en las zonas costeras. Este trabajo tiene la finalidad de conocer la evolución de las concentraciones de metales (Cd, Cu, Cr y Pb) a través de un marco temporal inferido por ^{210}Pb en un núcleo sedimentario recolectado en junio del 2022 en la laguna de Pastoría, ubicada en el estado de Oaxaca. El análisis de los metales fue a través de espectroscopía de absorción atómica, el ^{210}Pb fue por espectrometría gamma; también, se realizó el análisis de pérdida por ignición y granulometría. Como resultado se obtuvo un intervalo de 33 a 46 % para materia orgánica, de 19 a 28 % de carbono orgánico, de 1 a 8 % de carbono inorgánico. El análisis de tamaño de grano arrojó que los sedimentos finos predominan (arcillas y limos) en esta zona, mientras que, los intervalos de metales pesados mostraron el siguiente orden: Cr (7–75 mg kg $^{-1}$), Cu (19–44 mg kg $^{-1}$), Pb (0.3–4.0 mg kg $^{-1}$) y Cd (0.16–0.31 mg kg $^{-1}$); cabe destacar que las concentraciones más altas de estos metales son encontradas en los sedimentos arcillosos. A través de la actividad del ^{210}Pb y el modelo de flujo y sedimentación constante (*CF:CS*), se obtuvo una tasa de acumulación másica (*r*) de 0.25±0.07 g cm^{-2} año^{-1} y sedimentaria (*s*) de 1.63±0.45 cm año^{-1}. Con el análisis de los resultados obtenidos se concluyó que no existe una contaminación por estos metales pesados en la laguna, y no se presenta un posible efecto en el ambiente, aunque, es importante realizar un seguimiento de estos metales en la laguna para evaluar los posibles impactos en esta zona. Con los flujos de carbón orgánico se pudo definir un estado hipertrófico en la Laguna Pastoría; las concentraciones de metales pesados durante el período 2004-2022 muestran una disminución hacia la parte más reciente, es importante mencionar que el cambio en el flujo de CO podría estar relacionado a un cambio en el estado trófico de la laguna, esto a su vez ligado con la apertura y cierre de la bocabarra que conecta al mar (zona de Cerro Hermoso).

Palabras clave: Elementos potencialmente tóxicos, laguna costera, hipertrófico, geocronología, tasa de acumulación másica, tasa de acreción sedimentaria.

Abstract

Coastal lagoons are the most productive natural systems in the world, these shallow water ecosystems are very sensitive to natural and anthropogenic phenomena. One of the most crucial problems in lagoon systems are pollution (e.g., heavy metals) and eutrophication. Sedimentary records can provide valuable temporal reconstructions in coastal areas. This work describes the recent evolution of metal concentrations (Cd, Cu, Cr and Pb) into a period about 20 years, the time was inferred by ^{210}Pb method in a sedimentary core collected in June 2022 in the Pastoría lagoon, located in Oaxaca state. Metal was performed by atomic absorption spectroscopy; ^{210}Pb concentration by gamma spectrometry, grain size by sieving-pipette method and organic matter and carbonates by loss on ignition. The obtained intervals were: organic matter from 33 to 46 %, organic carbon from 19 to 28 % and inorganic carbon from 1 to 8 %. The grain size analysis showed that the fine sediments (silts and clays) were the most abundant size. The concentrations of heavy metals showed the following intervals: Cr (7 – 75 mg kg $^{-1}$), Cu (19 – 44 mg kg $^{-1}$), Pb (0.3 – 4 mg kg $^{-1}$) and Cd (0.16 – 0.31 mg kg $^{-1}$); the highest concentrations of these metals were found in sections with high clay abundance. The geochronology was achieved sing the ^{210}Pb method and the constant flow and sedimentation model (*CF:CS*), the mass accumulation rate (*r*) was 0.25 ± 0.07 g cm^{-2} y^{-1} and the sediment accumulation rate (*s*) was 1.63 ± 0.45 cm y^{-1}. The results indicated non contamination level by these heavy metals into the lagoon, but the monitoring program is important to evaluate the possible changes. The high organic carbon fluxes could be indicating hypertrophic conditions in Pastoría, the metal concentrations decreased towards the present into the period 2004-2022 CE and the grain size indicated some changes between silts and clays. The changes on organic carbon flux, possibly related to the trophic condition, and are likely influenced by the connectivity between land and ocean (the opening and closing of sand bar in the Cerro Hermoso area).

Keywords: Trace elements concentration, coastal lagoon, hypertrophic, geochronology, mass rate, sedimentary rate.

Agradecimientos

Quiero expresar mi más profundo agradecimiento al **Dr. Vladislav Carnero Bravo**, mi director de tesis y al **Dr. Jorge Feliciano Ontiveros Cuadras**, mi codirector por todo su apoyo, paciencia, consejos, tiempos y oportunidades que me proporcionaron para poder realizar este proyecto, obtener más conocimientos y experiencias. Gracias por compartirme todos sus conocimientos.

Agradezco a los revisores de esta tesis, **Dra. María Luisa Leal Acosta, Dra. Cecilia Chapa Balcorta, Dr. Roberto Esteban Martínez López** porque sus tiempos, comentarios, sugerencias enriquecieron mi formación y este trabajo.

Estoy agradecida con la institución **"Universidad de Mar, campus Puerto Ángel"**, especialmente con el **Laboratorio de Oceanografía Geológica** y el **Laboratorio de Análisis de agua y Fisicoquímica** .Parte de la investigación también se realizó en los laboratorios de **Química Acuática y de Geoquímica Isotópica y Geocronología, del "Instituto de Ciencias del Mar y Limnología de la UNAM"**, y formó parte del proyecto "Evaluación de la contaminación por metales y metaloides en laguna de Términos, Campeche durante los últimos 150 años" financiado por el Programa de Apoyo a Proyectos de Investigación e Innovación Tecnológica, PAPIIT (clave IA202420). Gracias por brindarme sus espacios, recursos y equipos necesarios los cuales han sido fundamentales para la realización de los experimentos en el marco de mi tesis su compromiso con la investigación y la educación han marcado una diferencia significativa en mi trayectoria académica.

No puedo más que expresar mi gratitud a la **Q.F.B. Susana Santiago Pérez** por su amistad, atención, paciencia, apoyo, conocimientos y orientación en los ensayos químicos en mi estancia en la UNAM.

Extiendo mis agradecimientos a la **M.C. Bárbara Zavala Trujillo** por sus sugerencias y oportunidades que me brindó durante este proyecto, y por supuesto a todos los profesores que tuve a lo largo de la carrera, de quienes he aprendido mucho, gracias por compartir sus conocimientos, consejos y experiencias durante esta etapa.

Por último, pero no menos importante, quiero agradecer al **Lic. en Biol. Marina Hugo Oswaldo García Burciaga**, por todos los consejos, compañía, apoyo y ayuda no solo durante este trabajo, no hay palabras que definan su importancia para mí.

Dedicatorias

A mis padres **Yeni Castro & Joel Roque**, a mis hermanos **Adan Roque, Joadan Roque & Jonathan Roque**, quienes han sido pilares inquebrantables de apoyo y amor. Gracias por su constante apoyo, consejos y comprensión, por darme todas las herramientas que me facilitaron cada desafío que tuve y por celebrar conmigo cada logro en este camino.

A mis mejores amigos, **Viridiana Ortega y Jorge Murcia**. Gracias por todo su apoyo incondicional pase lo que pase, por brindarme su amistad y la oportunidad de contar con ustedes en todo momento, no hubiera sido lo mismo sin ustedes.

A mi familia adoptiva **Murcia López**. Gracias por darme muchas herramientas durante mi carrera universitaria y un lugar en su familia, no tengo palabras para agradecerles todo lo que hicieron por mí.

A mi familia paterna y materna que aún en la distancia siempre me motivan a seguir hacia delante y se sienten orgullosos de mí.

A mi grupo de amigos y compañeros, **Abraham Cortez, Edoardo Cruz, Laura Vásquez, Pablo Gómez, Fernanda Loyola, Anyeli Martínez, Cristopher Renero, Aldo Hernández, Armengol León, Daniel Ortiz**, **Michel Olivera, Evelyn Ortega** quienes, con sus consejos, buenas platicas y motivaciones, han hecho más ameno estas etapas de mi vida.

Al **Lic. en Biol. Alejandro Valencia Torres**, gracias por tu amistad y buena compañía durante mi estancia en Ciudad de México; a la **Lic. en Biol. Jazmín Villanueva** y al **Lic. en Biol. Ismael Espinosa,** mi grupo favorito de paleontología, gracias por su amistad.

A mis compañeros, amigos de laboratorio, oceanólogos y ambientales favoritos, **Erika Rodríguez, Constanza Castellón**, **Esmeralda Pérez, Geovanni Miguel y Lucero Rodríguez** gracias por sus buenas pláticas y consejos.

ÍNDICE GENERAL

1 Introducción 1

2 Antecedentes 7

2.1 Antecedentes regionales 7

2.2 Contaminación en PNLCh 7

2.3 Contaminación por metales pesados 8

2.4 Materia Orgánica y sedimentos 9

2.5 Geocronología con ^{210}Pb 9

3 Justificación 11

4 Hipótesis 12

5 Objetivos 13

5.1 Objetivo general 13

5.2 Objetivo específicos 13

6 Área de estudio 14

6.1 Localización geográfica 14

6.2 Geología y geomorfología 16

6.3 Suelos 16

6.4 Climatología 17

6.5 Características Hidrológicas de la Laguna de Pastoría 17

6.5.1 Temperatura 17

6.5.2 Salinidad 17

6.5.3 Oxígeno disuelto 18

6.5.4 pH 18

6.6 Zona de muestreo 18

7 Material y Métodos 20

7.1 Preparación del material 20

7.2 Recolecta del núcleo sedimentario 20

7.3 Seccionamiento del núcleo sedimentario 20

7.4 Liofilización de muestras 21

7.5 Pérdida por ignición (PPI) 23

7.6 Granulometría 26

7.6.1 Granulometría por tamizado húmedo 26

7.6.2 Granulometría por pipeteo 27

7. 7 Análisis de espectroscopia de absorción atómica (EAA) 28

7.7.1 Preparación y digestión de muestras para EAA 28

7.7.2 Lectura a través de EAA 31

7.7.3 Análisis de Aluminio, Cadmio, Cobre, Cromo y Plomo 31

7.8 Envasado de muestras para el análisis de ^{210}Pb, ^{226}Ra y ^{137}Cs 34

7.9 Análisis e integración de los datos obtenidos 35

7.9.1 Análisis estadístico 35

7.9.2 Factores de enriquecimiento y Factor de geoacumulación 36

7.9.3 Modelo de flujo y sedimentación constante (CF:CS) 36

7.9.4 Modelo de fechado 37

8 Resultados 38

8.1 Materia orgánica (MO) 38

8.2 Carbono orgánico (CO) 39

8.3 Carbonatos 39

8.3.1 Carbonato (CO_3^{-2}) 39

8.3.2 Carbono inorgánico (IC) 40

8.4 Granulometría 43

8.5 Comportamiento de los metales (Cd, Cu, Cr y Pb) 44

8.5.1 Aluminio 45

8.5.2 Cadmio 45

8.5.3 Cobre 46

8.5.4 Cromo 47

8.5.5 Plomo 48

8.6 Factores de enriquecimiento(EF) 51
8.6.1 Factor de Enriquecimiento de Cadmio (Cd EF_{Al}) 51
8.6.2 Factor de Enriquecimiento de Cobre (Cu EF_{Al}) 53
8.6.3 Factor de Enriquecimiento de Cromo (Cr EF_{Al}) 54
8.6.4 Factor de Enriquecimiento de Plomo (Pb EF_{Al}) 55
8.7 Índice de geoacumulación 55
8.7.1 Igeo para Cd, Cu, Cr y Pb 56
8.8 Geocronología 57
8.8.1 Actividad del ^{210}Pb 57
8.8.2 Tasa de acumulación másica (r) y de acreción sedimentaria (s): Modelo CF:CS. 59
8.8.3 Fechado de sedimentos 62
8.9 Flujos de metales pesados en la laguna de Pastoría 63
8.10 Flujos de carbono orgánico en la laguna de Pastoría 65
8.11 Análisis estadístico – prueba de normalidad Shapiro-Wilk 67
9 Discusiones 67
9.1 Evaluación y estado de eutrofización en la laguna de Pastoría 67
9.2 Evaluación de las concentraciones de metales pesados en la laguna de Pastoría 70
9.3 Cronología de sedimentos en el Pacífico y Golfo Mexicano: Actividad del ^{210}Pb, Tasas r y s 78
10 Conclusión 80
11 Referencias 82
12 Apéndices I 93

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Área de estudio; localización del sistema lagunar de Pastoría. 14
Figura 2. Canal El corral, conexión entre la laguna de Pastoría y Chacahua, tomada de Google earth. 15
Figura 3. Boca cerrada de Cerro Hermoso, en la laguna de Pastoría, tomada de Google earth. 15
Figura 4. Sitio de selección del núcleo sedimentario 2PASTO22 en la laguna de Pastoría. 19
Figura 5. Nucleador Wildco® Hand Core Sediment Sampler. 20
Figura 6. Seccionamiento del núcleo sedimentario 2PASTO22, de la laguna la Pastoría. 21
Figura 7. Liofilizadora labconco FreeZone 2.5 Plus Benchtop Freeze Dry System. 21
Figura 8. a) Cámara seca; b) Sistema de vacío. 22
Figura 9. Condensador de circuito. 23
Figura 10. Trituración de las muestras sedimentarias en mortero de ágata. 23
Figura 11. Crisoles de cerámica. 24
Figura 12. Crisoles después de estar en la mufla a 550°C para la medición del peso. 25
Figura 13. Granulometría por tamizado húmedo. 27
Figura 14. Granulometría por método de pipeteo. 28
Figura 15. Muestras de sedimento molido para digestión ácida. 29
Figura 16. Bombas de PFA y reactivos para la digestión de muestras de sedimento..... 29
Figura 17. Carrusel de bombas PFA, este carrusel se utiliza para mezclar los reactivos con las muestras sedimentarias. 29
Figura 18. a) 1 g de H3BO4; b) Tubos falcón con 1g de H3BO4 + muestra. 30
Figura 19. Muestras de sedimentos, digeridas para análisis de espectroscopía de absorción atómica. 30
Figura 20. Módulo de flama para analizar Al con espectrofotómetro de absorción atómica marca Thermo Scientific modelo Serie S 712254 v1.27. 32
Figura 21. Automuestreador del horno de grafito para analizar Cd, Cu, Cr, y Pb. 32
Figura 22. Muestras de sedimentos para la determinación de radionúclidos para análisis gamma. 35

Figura 23. Muestras de sedimento en tubos sellados para análisis gamma. 35
Figura 24. Perfiles de profundidad (cm) de: a) materia orgánica (MO) y b) carbono orgánico (CO), en el núcleo de sedimento 2PASTO22 de la laguna de Pastoría. 41
Figura 25. Perfiles de profundidad (cm) de: a) carbonatos; b) carbono inorgánico (IC) en el núcleo de sedimento 2PASTO22 de la laguna de Pastoría. 42
Figura 26. Porcentajes de arenas, limos y arcillas en el núcleo sedimentario 2PASTO22 de la laguna de Pastoría, con respecto a la profundidad. 44
Figura 27. Caracterización de los sedimentos de acuerdo con Gradistat, el recuadro rojo marca donde se encuentran los datos del análisis de tamaño de grano. 44
Figura 28. Perfiles de profundidad (cm) con respecto a: a) concentraciones del metal mayoritario (Al) en %; b) concentraciones de Cd; c) concentraciones de Cu. 49
Figura 29. Perfiles de profundidad (cm) con respecto a: a) concentraciones de Cr; b) concentraciones de Pb. 50
Figura 30. Comportamiento de los factores de enriquecimiento de Cd. La línea punteada significa el límite de cada clase, donde A es <1 EF, B es [1-3] EF, C es [3-5] EF y D es [5-10] EF. 52
Figura 31. Comportamiento de los factores de enriquecimiento de Cu. La línea punteada significa el límite de cada clase, donde A es <1 EF, B es [1-3] EF, C es [3-5] EF y D es [5-10] EF. 53
Figura 32. Comportamiento de los factores de enriquecimiento de Cr. La línea punteada significa el límite de cada clase, donde A es <1 EF, B es [1-3] EF, C es [3-5] EF y D es [5-10] EF. 54
Figura 33. Comportamiento de los factores de enriquecimiento de Pb. La línea punteada significa el límite de cada clase, donde A es <1 EF, B es [1-3] EF, C es [3-5] EF y D es [5-10] EF. 55
Figura 34. (izquierda) Actividad de $^{210}Pb_{total}$ y (derecha) Actividad de ^{226}Ra en las secciones del núcleo sedimentario 2PASTO22 de la laguna de Pastoría. 58
Figura 35. Perfil de profundidad (cm) del comportamiento del $^{210}Pb_{ex}$ en el núcleo sedimentario 2PASTO22 de la laguna de Pastoría 59
Figura 36. Logaritmo natural de la concentración de $^{210}Pb_{ex}$ (C_i) en relación con la masa acumulada (m_i). 60

Figura 37. Logaritmo natural de la concentración de $^{210}Pb_{ex}$ (C_i) en relación con la profundidad (z_i). 61
Figura 38. Flujos históricos de Cd en el núcleo de sedimento 2PASTO22 de la laguna de Pastoría. La línea punteada naranja señala el valor promedio. 64
Figura 39. Flujos históricos de Cu en el núcleo de sedimento 2PASTO22 de la laguna de Pastoría; la línea punteada naranja señala el valor promedio. 64
Figura 40. Flujos históricos de Cr en el núcleo de sedimento 2PASTO22 de la laguna de Pastoría; la línea punteada naranja señala el valor promedio. 65
Figura 41. Flujos históricos de Pb en el núcleo de sedimento 2PASTO22 de la laguna de Pastoría; la línea punteada naranja señala el valor promedio. 65
Figura 42. Flujos históricos de carbono orgánico (CO) en el núcleo de sedimento 2PASTO22 de la laguna de Pastoría. 66
Figura 43. Comportamiento en las concentraciones de metales analizados, con relación a los años obtenidos del núcleo de sedimento 2PASTO22 en la laguna de Pastoría..... 71
Figura 44. Histogramas obtenidos de la prueba *Shapiro-Wilk* para las variables: a) Al; b) Cd; c) Cu; d) Cr..... 96
Figura 45. Histogramas obtenidos de la prueba *Shapiro-Wilk* para las variables: a) Pb; b) CO_3^{-2}; c) CO; d) CO_{flujo}..... 97

INDICIE DE TABLAS

Tabla I. Parámetros de campo en el muestreo para la toma del núcleo sedimentario 2PASTO22 en la laguna de Pastoría 19

Tabla II. Condiciones para la toma de alícuotas durante la granulometría por pipeteo .. 28

Tabla III. Condiciones del Programa del Horno de Microondas 30

Tabla IV. Estándares de los elementos Al, Cd, Cu, Cr y Pb 31

Tabla V. Condiciones del instrumento de medición para leer los elementos de Al, Cd, Cu, Cr y Pb 33

Tabla VI. Condiciones de los programas del Horno de Grafito para Cd, Cu, Cr y Pb 34

Tabla VII Contenido de materia orgánica (MO) en el núcleo sedimentario 2PASTO22 de la laguna de Pastoría. 38

Tabla VIII. Contenido de carbono orgánico (CO) en el núcleo sedimentario 2PASTO22 de la laguna de Pastoría..... 39

Tabla IX. Contenido de ion carbonato (CO_3^{-2}) en el núcleo sedimentario 2PASTO22 de la laguna de Pastoría 40

Tabla X. Contenido de carbono inorgánico (IC) en el núcleo sedimentario 2PASTO22 de la laguna de Pastoría 40

Tabla XI. Caracterización de tamaño de grano, en los sedimentos del núcleo sedimentario 2PASTO22 en la laguna de Pastoría 43

Tabla XII. Concentraciones de Aluminio (Al) en el núcleo sedimentario 2PASTO22 de la laguna de Pastoría 45

Tabla XIII. Concentraciones y normalización de Cadmio (Cd) en el núcleo sedimentario 2PASTO22 de la laguna de Pastoría 46

Tabla XIV. Concentraciones y normalización de Cobre (Cu) en el núcleo sedimentario 2PASTO22 de la laguna de Pastoría 47

Tabla XV. Concentraciones y normalización de Cromo (Cr) en el núcleo sedimentario 2PASTO22 de la laguna de Pastoría 47

Tabla XVI. Concentraciones y normalización de Plomo (Pb) en el núcleo sedimentario 2PASTO22 de la laguna de Pastoría 48

Tabla XVII. Concentraciones correspondientes al fondo y la sección 23-24 del núcleo 2PASTO22 de la laguna de Pastoría utilizados en el cálculo de los EF 51

Tabla XVIII. Clasificación del grado de enriquecimiento en sedimentos de acuerdo con los cálculos de EF tomado de Celis Hernández *et al.* (2022) 51
Tabla XIX. Clasificación del grado de contaminación en sedimentos de acuerdo con los cálculos de Igeo tomado de Loska *et al.* (1997) 56
Tabla XX. Concentraciones de elementos en la corteza terrestre mg kg-1 obtenidos por Taylor (1964), Wedepohl (1995) y Li y Schoonmaker (2003)..... 56
Tabla XXI. Edades obtenidas con el modelo CF:CS usando la tasa de acumulación másica (*r*) y la tasa de acreción sedimentaria (*s*) en las secciones del núcleo sedimentario 2PASTO22 en la laguna de Pastoría..... 61
Tabla XXII. Fechas de calendario de acuerdo con la edad calculada con *r* y *s* (modelo *CF:CS*) en las secciones del núcleo sedimentario 2PASTO22 de la laguna de Pastoría.. 62
Tabla XXIII. Flujos de metales en los años establecidos con r para las secciones del núcleo sedimentario 2PASTO22 de la laguna de Pastoría 63
Tabla XXIV. Flujos de carbono en los años determinados en el núcleo sedimentario 2PASTO22 de la laguna de Pastoría..... 66
Tabla XXV. Estado trófico de acuerdo con el flujo de CO en un cuerpo de agua de acuerdo con Saraswati y Srinivasan (2015)..... 69
Tabla XXVI. Concentraciones de metales pesados con relación al año estimado con r, en el núcleo sedimentario 2PASTO22 de la laguna de Pastoría..... 70
Tabla XXVII. Promedios obtenidos de las concentraciones de Cd, Cu, Cr y Pb en el núcleo sedimentario de la laguna de Pastoría y Niveles umbrales de efecto TEL y PEL en sedimentos de agua dulce y marinos para cada metal..... 76
Tabla XXVIII. Clases de EF para un metal pesado, tomado de Lawson *et al.* (1979) ... 77
Tabla XXIX. Factores de enriquecimiento, comparación entre fondo y sección 23-24 del núcleo sedimentario de 2PASTO22 de la laguna de Pastoría..... 93
Tabla XXX. Factores de enriquecimiento con respecto a los niveles naturales de acuerdo con Li y Schoonmaker (2003) en núcleo sedimentario de 2PASTO22 de la laguna de Pastoría..... 93
Tabla XXXI. Índice de geoacumulación de acuerdo con los valores de referencia del autor Taylor (1964) en el núcleo sedimentario 2PASTO22 en la laguna de Pastoría..... 94

Tabla XXXII. Índice de geoacumulación de acuerdo con los valores de referencia del autor Wedepohl (1995) en el núcleo sedimentario 2PASTO22 en la laguna de Pastoría..... 94
Tabla XXXIII. Índice de geoacumulación de acuerdo con los valores de referencia del autor Li y Schoonmaker (2003) en el núcleo sedimentario 2PASTO22 en la laguna de Pastoría..... 95
Tabla XXXIV. Comportamiento del $^{210}Pb_{total}$, ^{226}Ra y $^{210}Pb_{ex}$ en el núcleo sedimentario 2PASTO22 de la laguna de Pastoría..... 95
Tabla XXXV. Prueba *Shapiro-Wilk* para observar la normalidad de cada parámetro analizado en el núcleo sedimentario 2PASTO22 de la laguna de Pastoría (p= <0.05 se rechaza H_o, p= >0.05 se acepta H_o) 96
Tabla XXXVI. Prueba de *Mann-Whitney* para analizar valores NO paramétricos en el núcleo sedimentario 2PASTO22 de la laguna de Pastoría (p= <0.05 se rechaza H_o, p= >0.05 se acepta H_o) 97