



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**Caracterización de la zona costera del
Holi mediante análisis físicos y químicos
de los sedimentos**

TESINA

Que para obtener el título de

Ingeniera Geofísica

P R E S E N T A

Angélica Velázquez Romero

DIRECTORA DE TESINA

Dra. Iza Canales García



Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2024

Agradecimientos

Quiero expresar mi agradecimiento a la UNAM y a la Facultad de Ingeniería, instituciones que no sólo me han brindado mi formación académica, sino la posibilidad de conocer nuevas formas de ver el mundo y a personas maravillosas a lo largo de mi estadía en estas.

Al grupo 2 de Geofísica Integral semestre 2024-1 por el tiempo y esfuerzo dedicado al trabajo en campo necesario para el trabajo presente, y así mismo al Dr. Jaime Urrutia Fucugauchi, a la Dra. Ligia Pérez y al Ing. Rafael Venegas por el uso y asesoría del laboratorio de Paleomagnetismo y Paleoclimas del Instituto de Geofísica, UNAM., parte fundamental del desarrollo de esta Tesina. De igual manera, un agradecimiento por el tiempo dedicado por parte de mis sinodales a la Dra. Mayumy Cabrera, al Dr. Antonio Márquez, al Dr. Jaime Urrutia, al Ing. Alejandro García y a la Dra. Iza Canales.

La vida tiene más sentido cuando haces lo que amas y quizá todo es temporal, pero por ahora quiero plasmarlo por siempre, no quiero expresar mi agradecimiento sólo por este trabajo, sino por todo lo que conlleva estar aquí.

Agradezco a mis padres quienes a pesar de cualquier pronóstico o diferencia me han acompañado y apoyado, sin imponer cualquier idea antes que mis propias decisiones, dejándome crecer a mi manera y con la libertad de hacerlo a mi ritmo. A mi madre Carolina, por cuidar de mi, por demostrarme el verdadero significado de la resiliencia, y los actos de amor desinteresado, gracias por estar durante todo este proceso y por dejarme experimentar tantas cosas aun sintiendo temor. A mi padre Jose Luis, por el esfuerzo y forma de adaptarse a cualquier situación, por esas desmañadas para que llegara a mis clases y a mis prácticas.

A mi hermano, Josué, que siempre está presente, agradezco cada cosa que haces por mi, y aunque intentes parecer desinteresado, siempre has cuidado de mí, este trabajo no sería posible sin tus extrañas mezclas que me alimentaban mientras yo intentaba escribir.

Un infinito agradecimiento a mis abuelitos Laura, Sergio, Gris y Héctor quienes me han enseñado con tanto amor, gracias por ser una parte fundamental en mi vida, por su cariño desmesurado, por escucharme y acudir a mis necesidades aún sin yo saber pedirlo

A mis tíos Lucia, Alejandra, Araceli, Diego y mis padrinos gracias por estar en cada momento, alentarme y nunca desconfiar de mi y mis capacidades. A Iván, Fernando, Valeria, Isaac, Sebastián, Elias y Nubia, gracias por crecer a mi lado, acompañarme en todo momento de mi vida, por permitirme conocer tantas cosas nuevas al igual que seguir descubriendo cosas junto a ustedes.

A mi amiga más leal y peluda del mundo, las noches largas de desvelo y una pandemia se soportaron a tu lado, gracias por hacerme sentir el ser más amado, Luna.

Y qué sería de uno sin esas personas que encontramos en nuestro camino, aquellas que te brindan calidez y un lugar seguro fuera de tu familia, como aquel amigo que te ayudo a salir de la prepa con un especial o el que te ayudo a comprender cálculo en tu primer semestre, la historia sería completamente diferente, por eso y más quisiera agradecer:

A Diego Arévalo mi amigo y compañero de tantas aventuras, gracias por el apoyo que me has brindado aunque significara que un martes te avisara que me iba un jueves por la mañana al otro lado del país, gracias por tantas experiencias a tu lado, por ayudarme expresarme con más libertad, por todo el cariño que he recibido de ti.

A Aldo, Martín y Erick gracias por formar esta amistad tan especial, gracias por ser ese escape de la rutina y compañeros de muchos viajes.

A Natalia Ramírez y Daniela Rayo, mis primeras amistades en la fac, gracias por enseñarme el valor de una amistad en muchos aspectos de la vida, por permanecer ayudándome y alentándome hasta el último momento de este trabajo.

A Alfonso Villavicencio, nunca imaginé lo bonito de esta amistad y sin pedirlo llegaste a salvar mi carrera en aquella pandemia y un poco mi vida, gracias por tanto, por aquel mensaje o charla que me ha subido el ánimo en más de una ocasión, en verdad las palabras se hacen pequeñas.

A Fernanda, Oscar y Cristofer, que aunados al anterior han sido mis compañeros de desvelos, prácticas, viajes, frustraciones, risas y enojos, la vida universitaria no la elegiría sin cada uno de ustedes, gracias por acompañarme en mis buenas y malas decisiones. A Alam, Cesar y Leo, quizá el tiempo nos reunió más tarde, pero me acompañaron en cada duda escolar o inquietud de la vida, explicándome, enseñándome o escuchándome en cada momento.

A mis profesores de la facultad, a esos que quedan en mi mente y corazón, pues me enseñaron no sólo lo que implica una materia, sino sobre la vida, y el amor a lo que uno hace. A los ingenieros Mauricio Buendía y Julián Zapotitla, quienes fueron ese último “empujoncito” desde mi último semestre, y dejaron en mí lecciones que salen de las aulas.

Y sobre todo un agradecimiento a la Dra. Iza Canales, persona responsable de que hoy pueda presentar este trabajo, que con su paciencia, cariño y compromiso lo guió en todo momento, en verdad agradezco su amor por enseñar, gracias por creer en nosotros, la admiro desde aquella mañana que me recibió como primer ingreso a la carrera, y que felicidad terminar con su ayuda.

Quisiera agradecerles uno a uno por todo, la lista es larga pues he sido muy afortunada al tener a muchas personas que me han apoyado, que se han involucrado. Algunos han quedado en el camino, sin embargo atesoro cada momento que me ayudó a llegar aquí.

Índice

Resumen.....	8
I. Introducción:.....	9
Objetivo:.....	10
Objetivos específicos:.....	10
II. Área de estudio.....	11
III. Marco teórico.....	21
3.1 Playas como ambiente sedimentario.....	21
3.2. Perfiles de playa.....	23
3.3. Análisis granulométrico.....	24
3.4. Susceptibilidad magnética.....	27
3.5. Fluorescencia de rayos X.....	29
IV. Metodología.....	30
4.1. Perfiles de playa y colecta de muestras.....	30
4.2 Análisis de sedimentos.....	36
V. Resultados:.....	40
5.1 Perfiles de playa.....	40
5.2. Análisis granulométrico.....	49
5.3. Susceptibilidad.....	51
5.4. Fluorescencia de rayos X.....	68
VI. Discusión:.....	72
VII. Conclusiones:.....	76
Referencias bibliográficas:.....	78

Índice de Figuras

Figura 1. Mapa de la ubicación de la zona de estudio, modificado y tomado del Servicio Geológico Mexicano (1999).....	12
Figura 2. Zona de estudio.....	12
Figura 3. Columna estratigráfica tomada de la carta geológica-minera de los estados de Colima y Jalisco 2008, Servicio Geológico Mexicano.....	14
Figura 4. Columna estratigráfica tomada de la carta geológica-minera de estados de Colima y Jalisco 2008, Servicio Geológico Mexicano.....	15
Figura 5 Mapa geológico de Puerto Vallarta, Jalisco tomada del IIEG modificado. 16	
Figura 6. Mapa de las principales fallas de la zona de estudio, mapa tomado y modificado del artículo regional tectonic of western Mexico and its implications for the northern boundary of the Jalisco block (Ferrari et al 1994).....	17
Figura 7. Mapa magnetométrico del estado de Jalisco, tomado y modificado del Servicio Geológico Mexicano.....	18
Figura 8. Batimetría de Bahía de Banderas, imagen tomada del “Análisis estructural de la canción de la ballena jorobada (<i>Megaptera novaeangliae</i>). Variación individual, temporal y geográfica en la Bahía de Banderas y alrededores de la Isla Socorro, México” (2009).....	19
Figura 9. Geología de la zona de estudio, mapa tomado y modificado del Servicio Geológico Mexicano, carta Geológica-Minera Puerto Vallarta F13-11 Jalisco y Nayarit (1999).....	20
Figura 10. partes de una playa, imagen tomada de la Dirección general del Observatorio ambiental.....	23
Figura 11. Imagen recuperada La librería del ingeniero, (2017), Análisis granulométrico por Tamizado. URL: https://www.libreriaingeniero.com/	25
Figura 12. Imagen del primer perfil de playa al extremo sur.....	32
Figura 13. Imagen del primer perfil en el tramo sur, en el cambio de relieve.....	33
Figura 14. Imagen ilustrativa del terreno y como se mide la distancia entre el nivel topográfico y el estatal.....	33
Figura 15. Toma de medida de un escalón en la playa.....	34
Figura 16. Imagen ilustrativa de un escalón en la playa y la interrupción por parte del cauce del río Pitillal.....	34
Figura 17. Imagen de la toma de medida de relieve en la zona de rompientes, al mismo tiempo que la toma de muestras correspondiente a la infraplaya.....	35
Figura 18. Imagen de referencia en la toma de medida en la zona de rompientes....	35
Figura 20. Equipo empleado.....	37
Figura 22. Imagen de la preparación de las muestras antes de que entraran a la FRX.....	40
Figura 23. Mapa de ubicación de los perfiles de playa.....	41
Figura 24. Mapa de ubicación de las muestras.....	42
Figura 25. Perfil representativo del comportamiento de la playa cerca a la	

desembocadura del río.....	44
Figura 26. Perfil cercano al Río línea 8.....	44
Figura 27. Perfil cercano al Río correspondiente a línea 10.....	45
Figura 28. Perfil cercano al Río línea 12.....	45
Figura 29. Perfil cercano al Río línea 11.....	46
Figura 30. Perfil cercano al Río línea 9.....	46
Figura 31. Perfil representativo de zonas cercanas a la desembocadura del río correspondiente a la línea 7.....	47
Figura 32. Perfil representativo de zonas más alejadas a la desembocadura del río correspondiente a la línea 18.....	47
Figura 33. Perfil representativo de zonas más alejadas a la desembocadura del río correspondiente a la línea 22.....	48
Figura 34. Perfil representativo de zonas más alejadas a la desembocadura del río correspondiente a la línea 14.....	48
Figura 35. Perfil representativo de zonas más alejadas a la desembocadura del río correspondiente a la línea 21.....	49
Figura 36. Mapa de ubicación del tamiz dominante e interpolación de los mismos datos.....	50
Figura 37. Acercamiento de la interpolación de Tamiz dominante.....	51
Figura 38. Susceptibilidad línea 1.....	53
Figura 39. Susceptibilidad línea 2.....	53
Figura 40. Susceptibilidad línea 3.....	54
Figura 41. Susceptibilidad línea 4.....	54
Figura 42. Susceptibilidad línea 5.....	55
Figura 43. Susceptibilidad línea 6.....	55
Figura 44. Susceptibilidad línea 7.....	56
Figura 45. Susceptibilidad línea 9.....	56
Figura 46. Susceptibilidad línea 10.....	57
Figura 47. Susceptibilidad línea 11.....	57
Figura 48. Susceptibilidad línea 12.....	58
Figura 49. Susceptibilidad línea 13.....	58
Figura 50. Susceptibilidad línea 14.....	59
Figura 51. Susceptibilidad línea 15.....	59
Figura 52. Susceptibilidad línea 16.....	60
Figura 53. Susceptibilidad línea 17.....	60
Figura 54. Susceptibilidad línea 18.....	61
Figura 55. Susceptibilidad línea 19.....	61
Figura 56. Susceptibilidad línea 20.....	62
Figura 57. Susceptibilidad línea 21.....	62
Figura 58. Susceptibilidad línea 22.....	63
Figura 59. Interpolación en 3D y vista de plata de la rejilla N5.....	64
Figura 60. Vista de planta de la interpolación de la rejilla N10.....	65

Figura 61. Vista de planta de la interpolación de la rejilla N18.....	65
Figura 62. Vista de planta de la interpolación de la rejilla N35.....	66
Figura 64. Vista de planta de la interpolación de la rejilla N120.....	67
Figura 65. Vista de planta de la interpolación de la rejilla N230.....	67
Figura 66. Fluorescencia de rayos X, elementos dominantes.....	68
Figura 67. Fluorescencia de rayos X, elementos secundarios.....	69
Figura 68. distribución de las muestras usadas para FRX y concentraciones de los elementos principales por zonas.....	70
Figura 69. Diagrama del contenido de elementos dominantes en la zona 1.....	71
Figura 70. Diagrama del contenido de elementos dominantes en la zona 2.....	71
Figura 71. Diagrama del contenido de elementos dominantes en la zona 3.....	72
Figura 72. Imágenes recuperadas en octubre del 2024 desde Google Earth.....	74
Figura 73. Imágenes comparativas a través de los años de la playa de Holi, Imágenes recuperadas en octubre del 2024 desde Google Earth.....	75

Índice de tablas.

Tabla 1 Escala de Wentworth de 1992.....	27
Tabla 2. Detalle de las ubicaciones de cada perfil de playa.....	43

Resumen

Las playas de Puerto Vallarta son uno de los principales destinos turísticos de México, los estudios que se desarrollan en torno a éstas han permitido conocer la evolución de las playas, de manera natural y antropogénicamente, buscando un equilibrio en el ecosistema, disminuyendo los riesgos latentes. El estudio presente se encarga de la playa Del Holi, analizando de manera física y química sus características sedimentarias, obteniendo resultados topográficos, granulométricos y de concentración de elementos.

Se tomaron 22 perfiles de playa y muestras sedimentarias en la zona de infraplaya, mesoplaya y supraplaya a lo largo de 1km alrededor de la desembocadura del río Pitillal, mismas muestras de las que se obtuvieron parámetros granulométricos, de susceptibilidad magnética y composición elemental. Dentro de los resultados obtuvimos una playa con predominancia de arenas medias a gruesas, que tienen un contenido considerable de calcio, hierro y potasio, altamente influenciada por el aporte del río, que se incrementa notablemente en temporada de lluvias. Las zonas más cercanas al río presentan afectaciones en el nivel topográfico por efectos de su cauce, al igual que un gran aporte de sedimentos y agentes contaminantes para el suelo y agua del mar.

A través de la recolección de muestras en diferentes puntos de la playa, se busca identificar la concentración mineralógica, así como evaluar la textura y las propiedades físicas de los sedimentos. Los resultados de este estudio ofrecen una visión integral sobre el estado actual de la zona costera y sirven como base para la elaboración de estrategias de manejo y conservación que permitan preservar este lugar. Además, se espera que los hallazgos contribuyan al conocimiento científico sobre los efectos de la actividad humana en las áreas costeras de México, así como fomentar una mayor conciencia sobre la importancia de la conservación de estos entornos.

I. Introducción:

La playa Del Holi en Puerto Vallarta, Jalisco es una zona de amplia atracción turística. A medida que la presión y el desarrollo costero se intensifican, las preocupaciones sobre los ecosistemas marinos y costeros son crecientes. La caracterización de los sedimentos en la playa es esencial para comprender las dinámicas ambientales, la calidad del hábitat y los impactos antropogénicos en la región. Además de que el análisis del sedimento evalúa las características físicas y químicas del material presente, también realiza un análisis temporal de los cambios sufridos en el área a través de varios años.

Como aspectos esenciales, que a su vez son críticos para el entendimiento de la playa y su importancia ecológica, se encuentran el tamaño de grano, la distribución y la mineralogía; además de la presencia de contaminantes y nutrientes. De esta manera, el estudio de los sedimentos aporta valiosa información respecto a la salud de la playa, la seguridad de ésta y el estado del ecosistema que la rodea. El propósito de esta investigación es ofrecer descripciones detalladas respecto a la sedimentación de la playa de Holi, adquirida a través de la toma y análisis de muestras en distintos puntos a lo largo de la costa.

El análisis de las playas y los ambientes sedimentarios que se asocian a éstas ha tenido un amplio desarrollo, principalmente para la gestión de riesgos, los estudios físicos como la topografía y el análisis granulométrico de sedimentos en conjunto con los estudios físico-químicos como el caso de la susceptibilidad magnética y fluorescencia de rayos X nos permiten no sólo conocer más de lo que podemos observar, sino también comprender los procesos geológicos o ecológicos a los que los ambientes costeros se someten. La relación entre dos cuerpos de agua como la de un río y un mar representan una gran influencia entre sí, en temas como la sedimentación, biodiversidad y calidad o composición del agua. El trabajo presente se centra en el estudio de la playa Del Holi y la desembocadura del río Pitillal, en el cual se realizaron estudios de perfiles de playa y recolección de muestras para el análisis de sus características físicas y químicas.

Dentro del estudio de las características de muestras sedimentarias en playas, se parte desde lo más general, a lo más detallado. Por lo anterior, en este trabajo se presentan detalles geográficos y geológicos del área del estudio. Seguido de esto, en el capítulo tres, encontramos el marco teórico asociado a los estudios que se realizaron en el trabajo en campo. En el capítulo cuatro se

presentan los métodos de adquisición de los datos y el procesado que se llevó a cabo para obtener los resultados de la interpretación. En el capítulo cinco se presentan los resultados de todos los análisis realizados, para finalizar con la discusión de estos resultados y las conclusiones del trabajo

Objetivo:

Evaluar los procesos de erosión y crecimiento de la playa Del Holi, mediante la cuantificación de algunas propiedades físicas y químicas de las arenas de la zona costera y asociar el origen de sus componentes mineralógicos con la composición de la playa y la desembocadura del río Pitillal.

Objetivos específicos:

- Conocer la composición de los sedimentos de la costa, permitiendo caracterizar su posible origen y transporte.
- Realizar adquisición de perfiles de playa y muestras de arena sobre la playa.
- Medir parámetros químicos que nos permitan obtener un perfil del origen de los sedimentos presentes
- Hacer una comparación de la morfología de la playa a través de los años que permita la observación de los cambios a los que esta se somete a partir del cambio estacional.

II. Área de estudio

Este estudio se sitúa en la costa mexicana del Océano Pacífico, en la zona correspondiente a la Bahía de Banderas la cual comprende parte de los estados de Nayarit y Jalisco como se muestra en la Figura 1, específicamente en la playa Del Holi en Puerto Vallarta localizada en 20.64342° de latitud y -105.24078° longitud (Figura 2). El estado de Jalisco colinda con seis estados de la República Mexicana y la costa del Océano Pacífico, mientras que el municipio de Puerto Vallarta colinda con cuatro municipios de Jalisco, Cabo Corrientes y Tlalpa de Allende al sur, Mascota al este, San Sebastián del Oeste al noreste; y uno de Nayarit al norte que es Bahía de Banderas.

Jalisco cuenta con la laguna más grande del país como lo es Chapala, la bahía más grande y profunda, y 23 ríos principales, de los cuales, 5 tienen desembocadura en el Océano Pacífico, siendo el río Ameca el que lo hace en la Bahía de Banderas. Existen otros ríos de menor caudal que desembocan ahí como el Pitillal, los Camarones, el Cuale, Mismaloya, Nogalitos, Palo María, Tomatlán, Tuito y Tabo, que desembocan en la Bahía de Banderas (Moncayo–Estrada et al. 2006). Orográficamente Jalisco también forma parte de las provincias de Sierra Madre Occidental, Mesa del Centro y Eje Neovolcánico y en la parte nororiental predominan sierras, como la Sierra Alta, con una altitud de 2,850 metros sobre el nivel del mar (msnm).

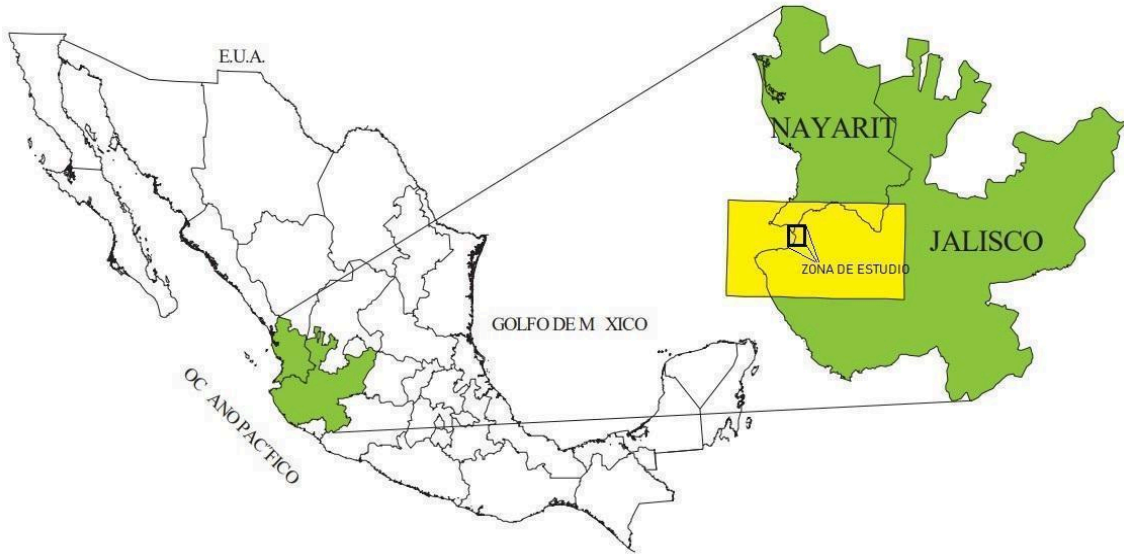


Figura 1. Mapa de la ubicación de la zona de estudio, modificado y tomado del Servicio Geológico Mexicano (1999).

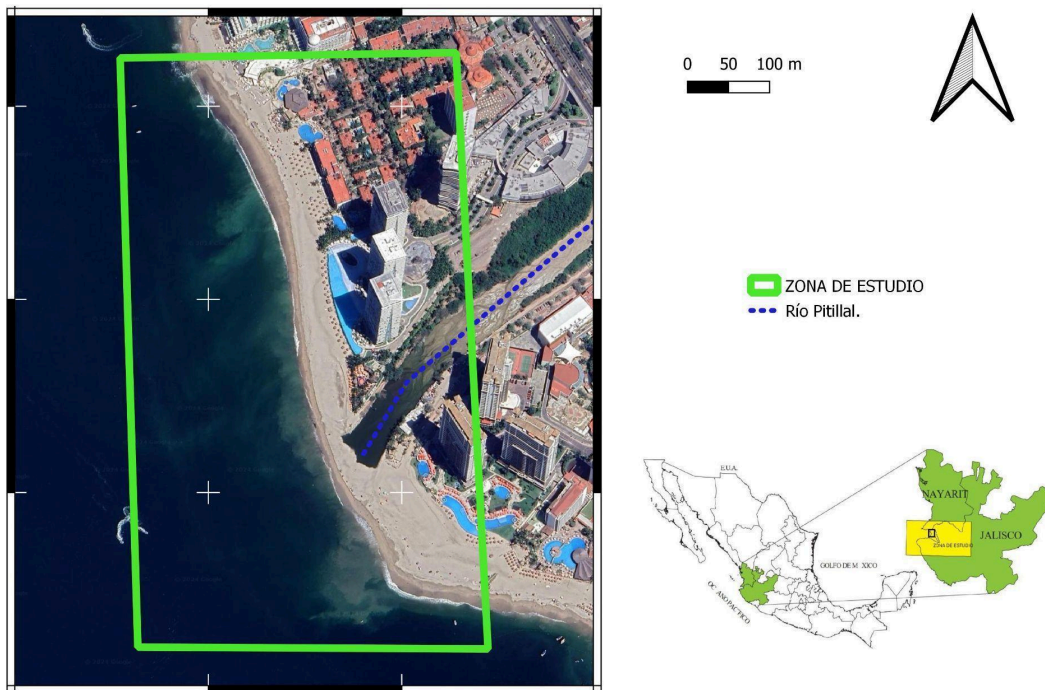


Figura 2. Zona de estudio

La Bahía de Banderas, de origen tectónico asociado a la apertura del Golfo de California, está ubicada sobre el bloque Jalisco de edad mesozoica y basamento de origen plutónico (De la Vega–Márquez et al. 2010) comprendiendo dos regiones fisiológicas importantes, la Sierra Madre del Sur y el Eje Neovolcánico en el norte y noreste (SGM 1999), gracias a la influencia de estas provincias Puerto Vallarta geológicamente contiene principalmente afloramientos de rocas cristalinas, sedimentarias y volcánicas de varias edades. Al norte se encuentran secuencias de conglomerados y arena, en las que se han logrado distinguir dos unidades, la primera con conglomerados angulosos y arenas de matrices en tonalidades rojas y verdes, así mismo, la segunda unidad contiene conglomerados redondeados y arenas de medias a gruesas, mientras que en el sur se encuentran afloramientos de rocas volcánicas extrusivas de edad más joven (Argón-Arreola & Núñez-Cornú 2001), las estructuras volcánicas presentes presentan edades de 11.2 y 8.7 Ma (De la Vega–Márquez et al. 2010). En las figuras 3 y 4 se presenta la columna estratigráfica del estado de Jalisco, podemos destacar cómo se manifiestan cuerpos intrusivos datados en el triásico (presente en la Figura 4) conocidos como el batolito de Puerto Vallarta el cual por sus características isotópicas y temporales es relacionado con el batolito de los cabos.

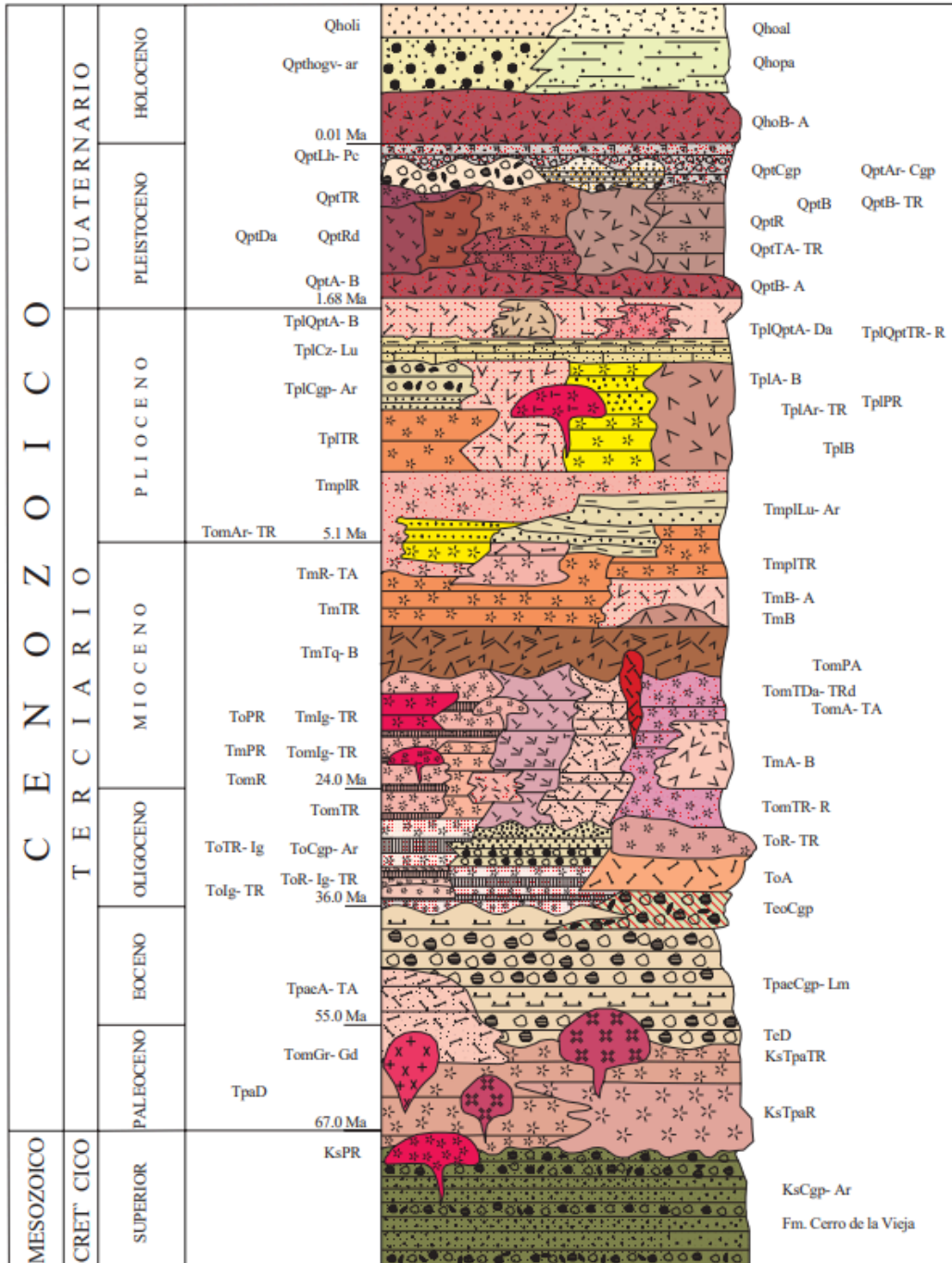


Figura 3. Columna estratigráfica tomada de la carta geológica-minera de los estados de Colima y Jalisco 2008, Servicio Geológico Mexicano.

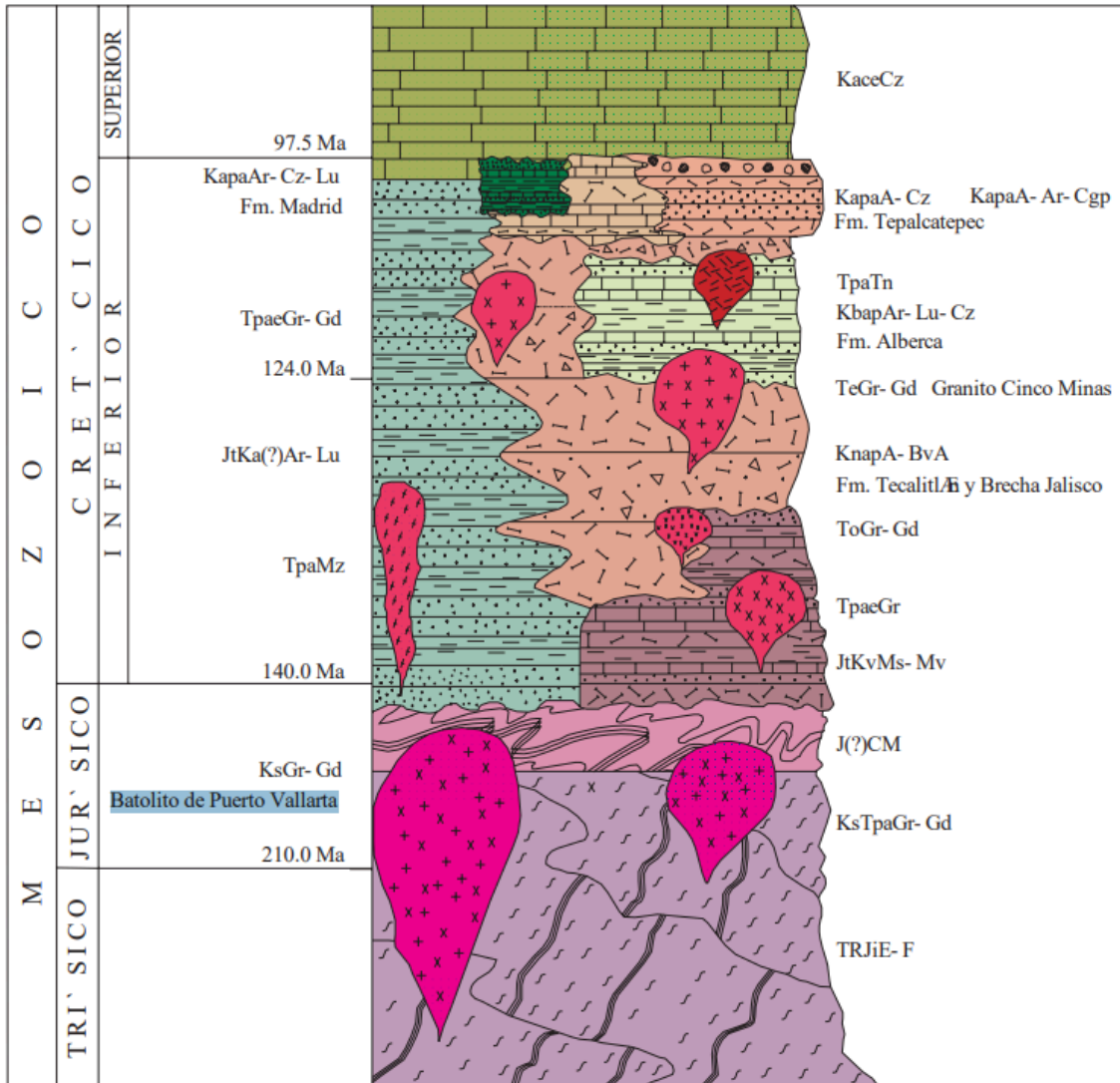


Figura 4. Columna estratigráfica tomada de la carta geológica-minera de estados de Colima y Jalisco 2008, Servicio Geológico Mexicano.

La zona, sísmicamente es muy activa, ya que se encuentra dentro del cinturón de fuego del Pacífico, específicamente en la interacción de la placa de Rivera y de Norteamérica, donde la primera se hunde ante la segunda por diferencias de densidad. Los eventos sísmicos que mayormente ocurren en la zona del estudio son superficiales, indicando estructuras continentales activas, produciendo enjambres sísmicos, los cuales se presentan frecuentemente en intensidades bajas (Tomo II Geológico 2017-2021). En la Figura 5 se representa el municipio de Puerto Vallarta destacando el fracturamiento que presenta debido a los movimientos estructurales en el terreno.

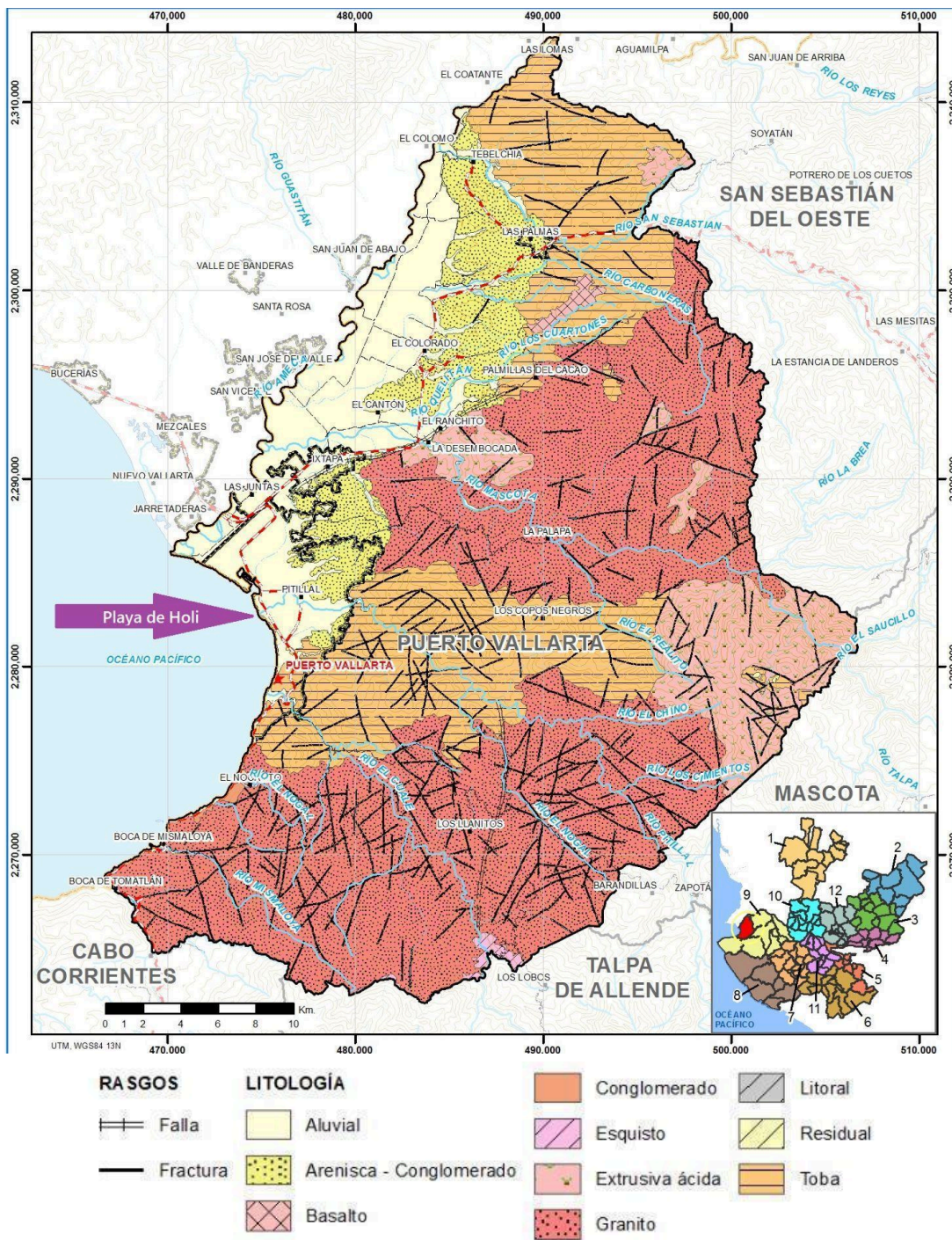


Figura 5 Mapa geológico de Puerto Vallarta, Jalisco tomada del IIEG modificado.

En la zona se tienen dos sistemas principales de fallas (de 35°–45°) que presentan un salto de aproximadamente 600 m (Ferrari et al, 1994), en Figura 6 podemos observar el fallamiento de la zona más a detalle, presentándose dos fallas normales principales que envuelven la zona de estudio.

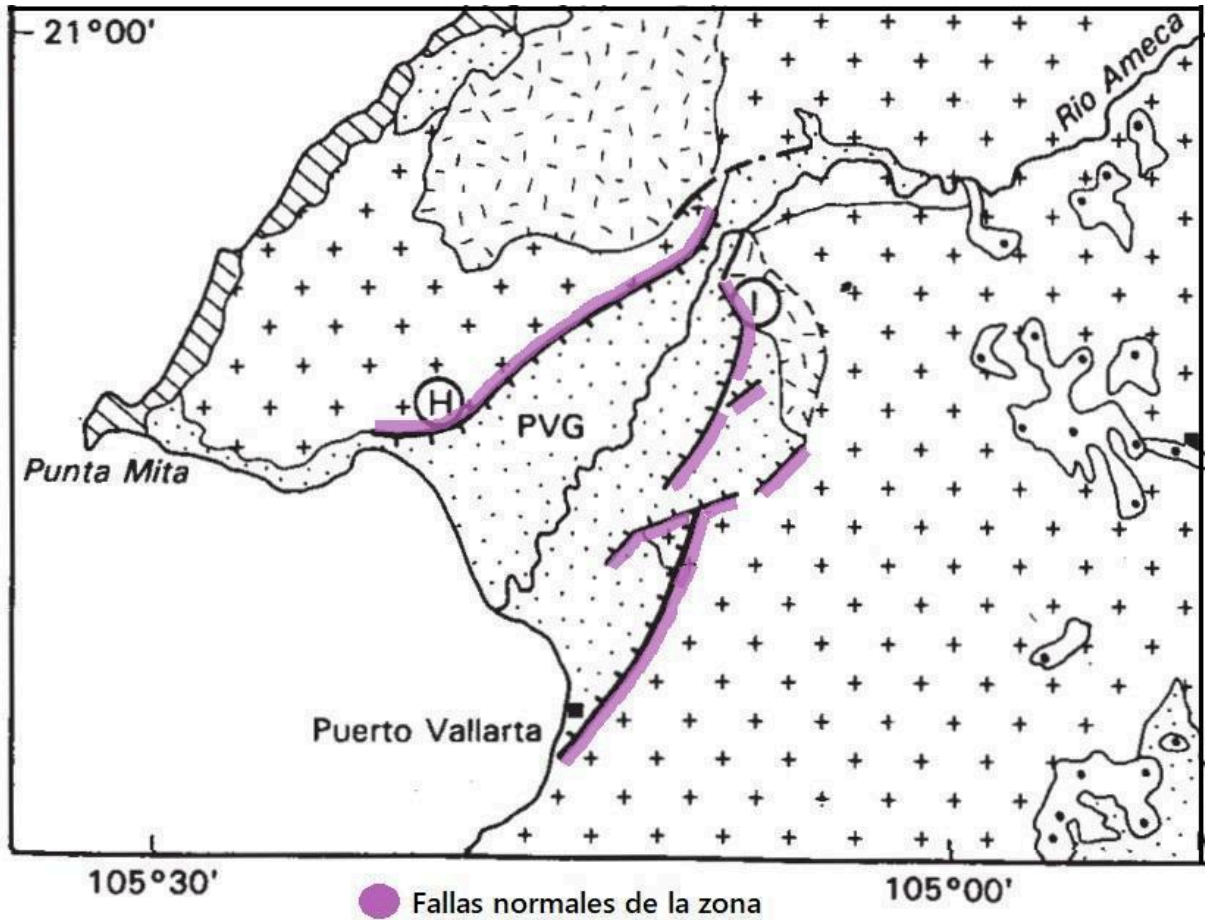


Figura 6. Mapa de las principales fallas de la zona de estudio, mapa tomado y modificado del artículo regional tectonic of western Mexico and its implications for the northern boundary of the Jalisco block (Ferrari et al 1994).

La magnetometría de la región es muy variada, como se puede observar en la Figura 7, tenemos dentro del terreno zonas muy contrastantes en pocos kilómetros, así mismo se puede destacar la zona central, la cual presenta altos niveles de nanoTeslas medidos, esa área corresponde al Eje Neovolcánico, siendo ésta la que presenta los niveles más altos que se pueden correlacionar con materiales con alto contenido de hierro, presentes en rocas y cuerpos ígneos.

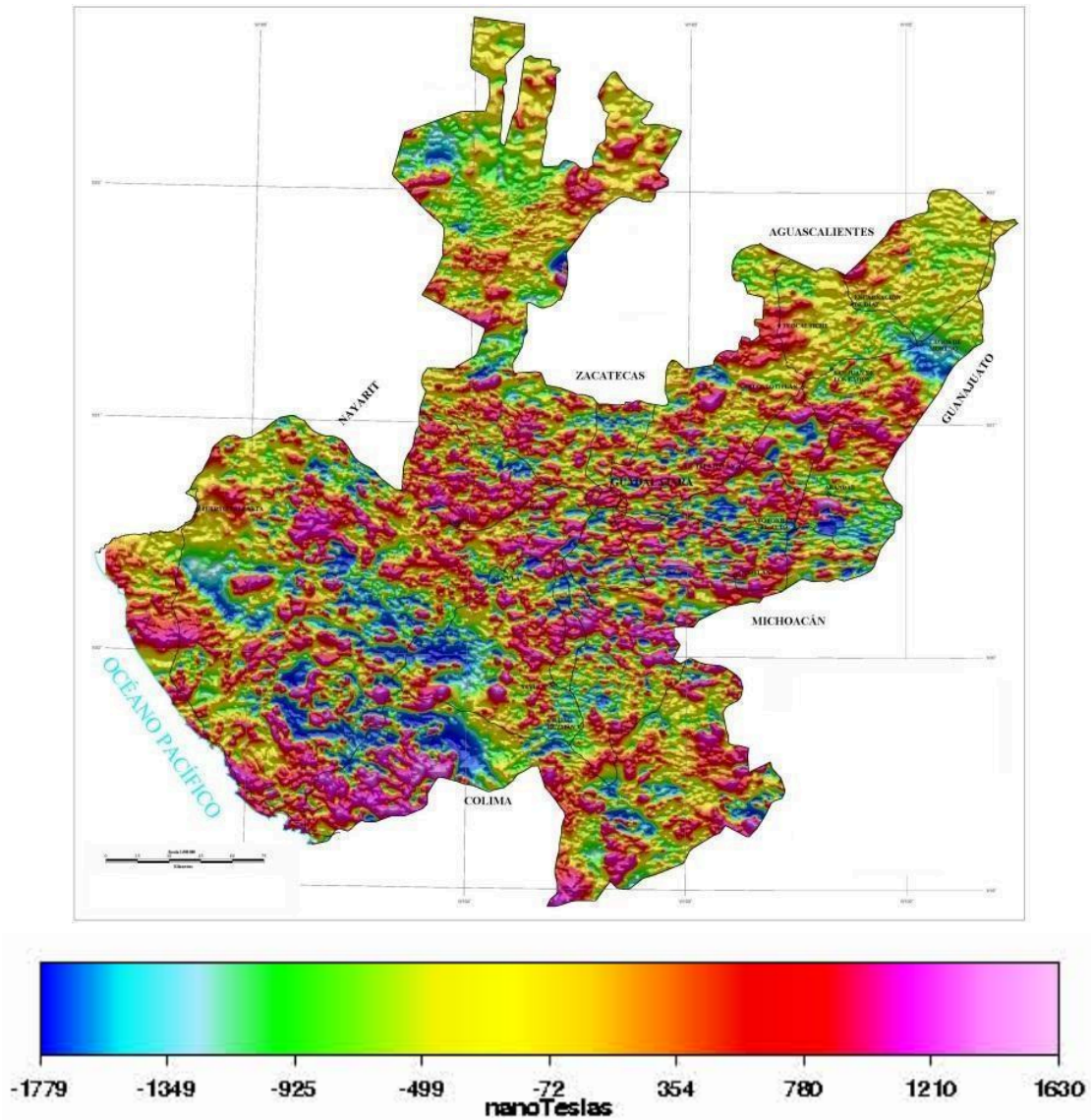


Figura 7. Mapa magnetométrico del estado de Jalisco, tomado y modificado del Servicio Geológico Mexicano.

La Bahía de Banderas morfológicamente tiene altas profundidades en su zona sur, muestra un nivel batimétrico estable en su región norte, mientras que, en la parte sur, presenta cambios casi abruptos en los niveles, como se puede observar en la Figura 8. Es importante destacar que el tamaño de sedimentos presentes en sus playas es inversamente proporcional a la profundidad, ya que las playas más rocosas de la zona se encuentran en la sección norte, mientras que se vuelven más arenosas a menor latitud.

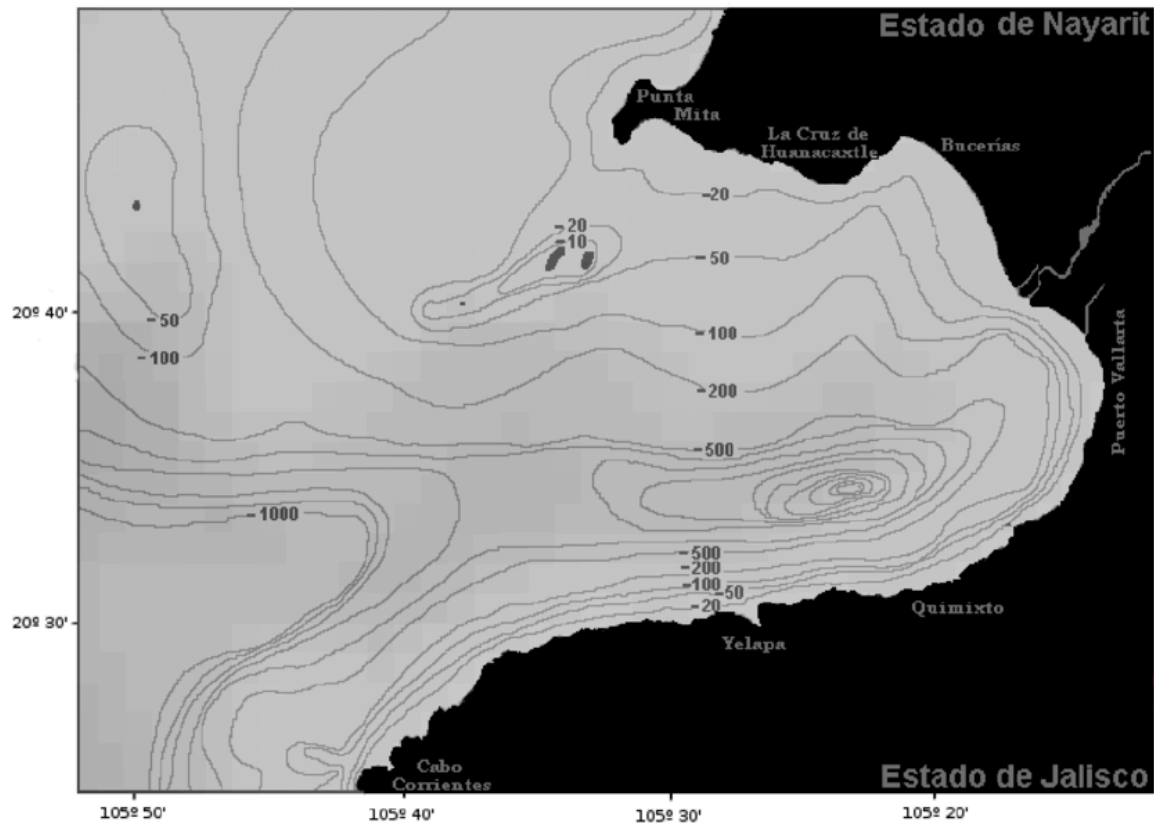


Figura 8. Batimetría de Bahía de Banderas, imagen tomada del “Análisis estructural de la canción de la ballena jorobada (*Megaptera novaeangliae*). Variación individual, temporal y geográfica en la Bahía de Banderas y alrededores de la Isla Socorro, México” (2009).

Según la CEA Jalisco, Puerto Vallarta se encuentra en promedio a 230 m sobre el nivel del mar, presenta precipitaciones promedio de 1063 mm anuales, con máximas de 1418 mm y una temperatura promedio de 26°.

Cuando las precipitaciones comienzan a ser dominantes, el caudal del río no sólo comienza a transportar sedimentos, sino también a partículas contaminantes. De acuerdo con el Monitoreo Prevacacional de las Playas en el estado de Jalisco para el verano 2024 realizado por la Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios (Cofepris), la playa de Holi, está 1000 por ciento por encima de lo máximo permitido de micropartículas de enterococos por cada 100 ML de agua, es decir, heces fecales. Este tipo de estudios efectuados en la zona, hacen notar que por lo menos cada año la playa tiene altos niveles de contaminación, lo cual representa un riesgo para la salud y el ecosistema desarrollado en la misma.

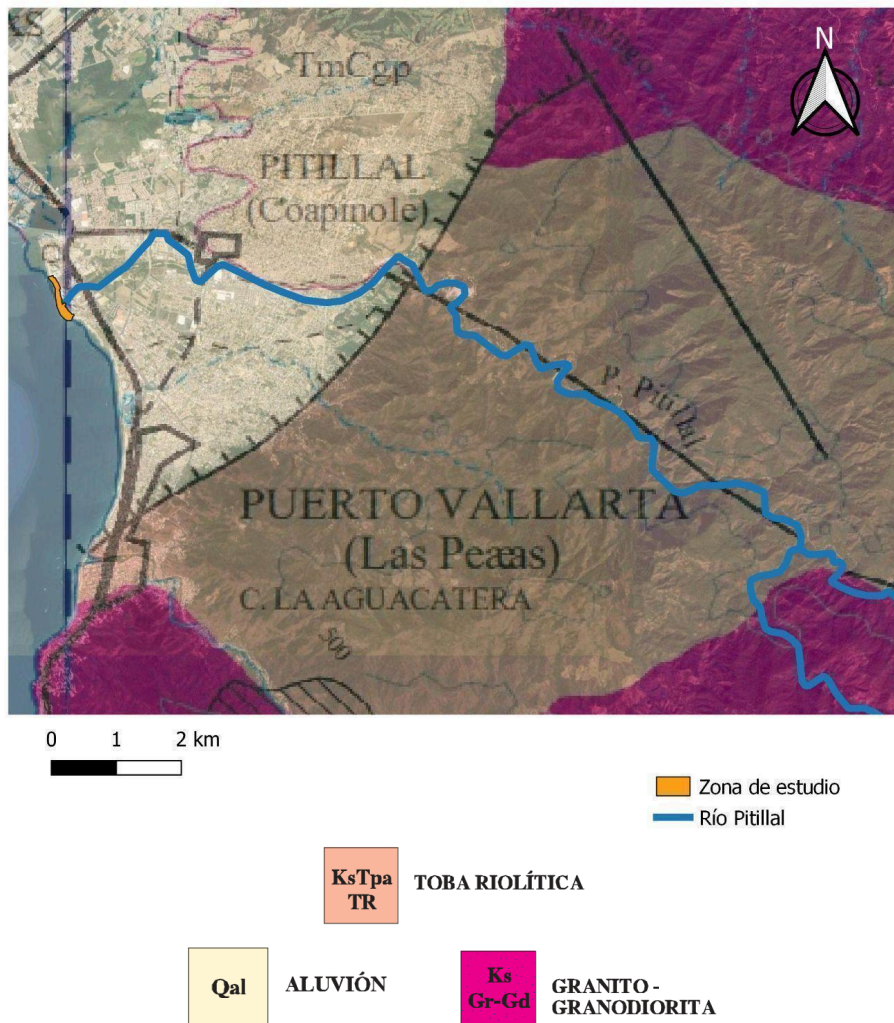


Figura 9. Geología de la zona de estudio, mapa tomado y modificado del Servicio Geológico Mexicano, carta Geológica-Minera Puerto Vallarta F13-11 Jalisco y Nayarit (1999).

La Bahía de Banderas cuenta con diversos cuerpos fluviales que tienen desembocadura en el Océano Pacífico, siendo estos, transportadores de material sedimentario de aporte significativo. En la Figura 9 podemos observar la zona de estudio y un tramo del río Pitillal junto a su geología, donde según el Servicio Geológico Mexicano la zona de estudio se encuentra sobre aluvi3n, el cual, es sedimento trasladado por corrientes, mientras que el río Pitillal recorre su cauce sobre diferentes tipos de materiales, como lo son aluvi3n, conglomerados polim3cticos, tobas riol3ticas, calizas y granito/granodiorita.

El Río Pitillal tiene una corriente perenne que va de este a oeste, con una profundidad de 0,5 a 2 m, el cual representa para las localidades que recorre,

zonas de inundación, donde el nivel de la corriente está determinado por el aporte de la precipitación, por ende, teniendo temporadas más altas que otras.

III. Marco teórico

3.1 Playas como ambiente sedimentario.

Las playas por definición son la acumulación de materiales no consolidados extendidos alrededor de un cuerpo de agua, esta acumulación proviene del volumen de sedimentos entrantes compuestos por arenas, grava o rocas y la capacidad máxima de transportarlos por parte de los agentes de depósito y transporte, estas son zonas dinámicas en la transición de ambientes marino y terrestre que están influenciadas por factores geológicos, hidráulicos y biológicos.

La formación de playas está relacionada a diversos procesos como lo son: la erosión costera, donde las corrientes y oleaje desgastan las rocas y sedimentos, transportando y aportando nuevos sedimentos para la formación de las playas; la sedimentación que es el proceso de depósito de partículas sólidas que han sido transportadas por agentes como el agua, el viento o el hielo, la cual permite el enriquecimiento de sedimentos en la costa, proporcionando capas de arena; la tectónica de placas o geología estructural de la zona que puede modificar o propiciar espacios a favor de la creación de playas; y por último los cambios del nivel del mar, estos influyen en la formación o extensión de las playas.

El proceso de sedimentación natural en las playas consiste en el transporte de sedimentos y depósito de materiales, donde el principal transporte es el oleaje y las corrientes marinas y el depósito dependerá de la intensidad del anterior, pues a mayor energía el material depositado serán partículas más grandes, mientras que los materiales finos requerirán menor energía. En este proceso influyen agentes externos, según la Dirección General del Observatorio Ambiental (DGOA) los sedimentos pueden provenir de la erosión de acantilados, aportes fluviales, biogénicos, de plataforma continental, eólicos y humanos, los cuales actúan de manera conjunta.

Estos aportes sedimentarios conforman la playa, misma que está sometida a diferentes cambios morfológicos causados por diversos factores ya sean naturales, propios del oleaje, clima, viento, etc., o externos como los producidos por los humanos como la extracción de sedimentos, construcciones, contaminación, etc. Según Sánchez-Arcilla & Jiménez (1994) establecen cuatro tipos de cambios que puede experimentar una playa, hablando temporalmente, y

estos son: los cambios a largo plazo que incluyen los aportes mencionados por la DGOA en la formación de éstas, los cambios a mediano plazo donde hablamos de escalas de años o kilómetros, los cambios a corto plazo que se efectúan por el nivel de energía presentándose en avances y retrocesos de la línea de costa, y por último los cambios episódicos, siendo estos los que generan una transformación de costa de mayor magnitud en un lapso muy corto de tiempo pero de mucha energía.

Las variaciones que se pueden presentar sobre la línea de costa se conocen como procesos de transgresión y regresión. Donde para la transgresión la línea de costa retrocede a tierra firme, provocando nuevas zonas de inundación, ocurriendo una retrogradación donde las partículas sedimentarias del terreno se colocan de las más finas a las más gruesas. Para la regresión ocurre lo contrario, pues la línea de costa se aleja más, y en este caso se produce una progradación donde los sedimentos se colocan de gruesos a finos. Este tipo de variaciones están sujetas a la morfología de la playa, pero también a factores como el nivel del mar, procesos climáticos, el desgaste de sedimentos (erosión) y transporte de los mismos.

La playa constituye uno de los activos ambientales más importantes de los recursos costeros (Yepes Piqueras 1999). Ecológicamente las playas son generadoras de recursos, y hábitat de diversas especies, ya sea la vida en las costas o la nidificación, funcionan como barrera natural ante las acciones de la marea y eventos relacionados que pudieran poner en riesgo la zona costera.

Todo esto engloba de manera muy superficial los aportes y cambios que sufre una playa, no dejando de lado que económicamente para la sociedad son muy importantes. Yepes Piqueras (1999) menciona que es de suma importancia la coordinación entre lo ecológico como la preservación y cuidado de las costas, y el turismo que se desarrolla entorno a ellas.

Según la CONCANACO SERVYTUR México en el primer trimestre del 2024 cerca de 10 millones de turistas extranjeros llegaron a los aeropuertos de las costas del país, siendo Cancún, Los Cabos y Puerto Vallarta los principales destinos, aunados a las visitas nacionales que en conjunto representan gran aporte a la economía del país mostrando su gran importancia.

Normalmente se encuentran distintos tipos de playas, tomando como referencia el tamaño de sus sedimentos, lo cual representa completamente la morfología de la playa, ya que puede estar formada por cuerpos rocosos y sedimentos de gran tamaño, o por arenas, ambas cualidades son un indicador de

la energía de la zona. Centraremos la atención en las playas arenosas pues facilitarán la comprensión del estudio realizado.

Dentro de las playas se pueden observar distintas formaciones propias del ambiente, las cuales serán parte fundamental al momento de obtener la topografía de la playa o el perfil, ya que éstas generan nuevas formas como las dunas, inclinaciones o hundimientos que caracterizan a la playa. Estos cambios en la morfología de las playas están directamente relacionados por las corrientes marinas, oleajes, vientos, aportes de cuerpos externos y episodios de alta energía como altas precipitaciones o tormentas, sin dejar de mencionar el cambio antropogénico, siendo estos los principales factores de modificación.

Para tener una mejor visualización la Figura 10 nos muestra las partes de una playa en un corte transversal, el estudio y caracterización de estas mismas, nos llevan a conocer sobre la dinámica que tiene la zona, al caracterizar la topografía tenemos la posibilidad de comprender los procesos a los cuales está sometida.

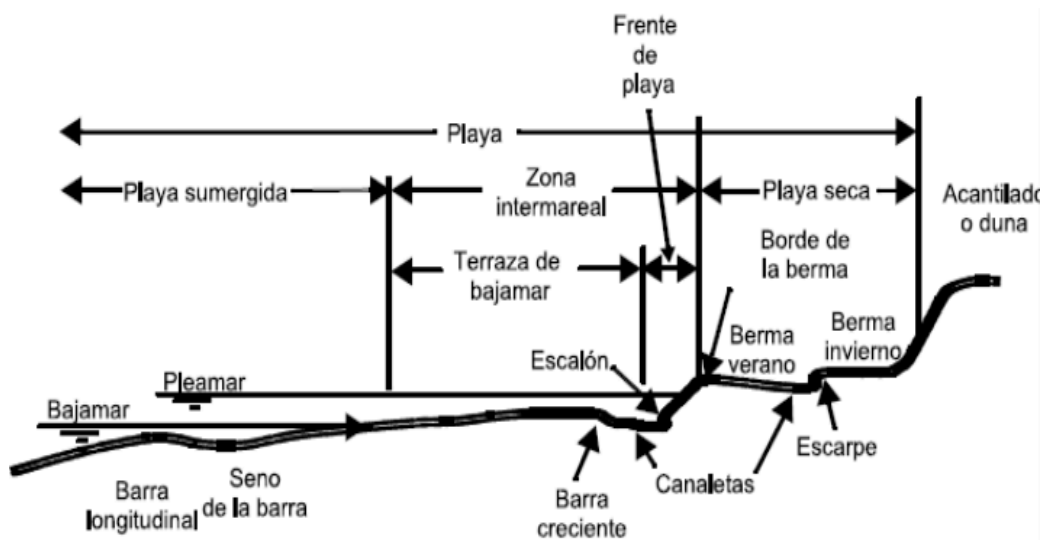


Figura 10. partes de una playa, imagen tomada de la Dirección general del Observatorio ambiental.

3.2. Perfiles de playa

Los Perfiles de playa se centran en conocer la morfología de la playa a partir de mediciones del terreno que constan de líneas perpendiculares a la costa. Una vez

que se establecen las líneas a realizar se toman medidas desde el punto más alejado de la playa respecto al nivel del mar.

El levantamiento consiste en tomar mediciones cada que se note un cambio en la topografía, precisamente en la pendiente, registrando la altura que marca el estadal a través del nivel topográfico y la distancia entre estos. Durante un perfil no se limita el número de mediciones, ya que estarán determinadas por los cambios de pendiente que presente. Mientras tanto, el número de muestras de suelo si se puede establecer inicialmente, ya que se pueden tomar cada que se mida el cambio de pendiente, o establecer el número de muestras que se tendrán por perfil, todo esto evaluando el ancho de la playa o la profundidad del estudio.

Las partes de una playa no están fijas durante todo el tiempo, ya que todas éstas son consecuencias de los factores antes mencionados, por ejemplo, la zona intermareal se puede extender hacia la playa seca en una temporada de lluvias o viceversa para la temporada de secas, el escalón y la barra creciente dependen del oleaje, el acantilado o duna puede presentar mayor erosión por vientos o actividades humanas. Todo esto muestra que el estudio de la topografía es muy cambiante a lo largo del tiempo, para lo cual es importante hacer énfasis en la temporalidad en la que se realizan este tipo de estudios.

3.3. Análisis granulométrico.

El análisis granulométrico de arenas de playa es un estudio que permite determinar la distribución de los tamaños de las partículas de arena en una muestra específica. Este análisis proporciona información sobre la procedencia, el transporte y el depósito de los sedimentos. El procedimiento más común para realizar un análisis granulométrico incluye los siguientes pasos:

1. *Recolección de muestras:* Se toman muestras representativas de arena en diferentes puntos de la playa, preferiblemente en diversas profundidades y estaciones (por ejemplo, en mareas alta y baja).
2. *Secado de muestras:* Las muestras de arena se secan en un horno a una temperatura controlada (generalmente entre 105-110°C) para eliminar la humedad.
3. *Tamizado:*
 - Se utilizan tamices con aberturas de malla de diferentes tamaños.

- La muestra seca se coloca en la parte superior de una serie de tamices y se hace vibrar o agitar para permitir que las partículas más pequeñas pasen a través de los tamices.
- Se recolectan las fracciones retenidas en cada tamiz.

Este proceso es parte de un análisis de partículas, que determina el tamaño y distribución de éstas, con el que se generan mapas de distribución en áreas específicas de acuerdo con su tamaño, este tipo de información nos permite conocer la dinámica que tiene la playa a partir de los tamaños dominantes de los sedimentos al igual que aproximar la energía de transporte con la cual estos fueron depositados en el lugar.

Lo que se busca es homogeneizar los sedimentos a partir de hacerlos pasar por mallas que están representadas por número mesh, los cuales entre más chico es el número mesh, más grande es el tamaño del grano, por ejemplo, el número mesh 10, es equivalente a 2000 micras o 2 milímetros. Consiste en meter a la parte superior de la serie de tamices la muestra sedimentaria, los tamices se encontrarán apilados uno a uno del número mesh más grande elegido al menor, en el sentido de la base hacia arriba cómo se muestra en la Figura 11, posteriormente ya cerrado se agita, logrando que los sedimentos más finos vayan a la base y quedando atrapados en las mallas los que tengan un tamaño similar entre sí y así cada una de las muestras en los tamices que se colocan individualmente.

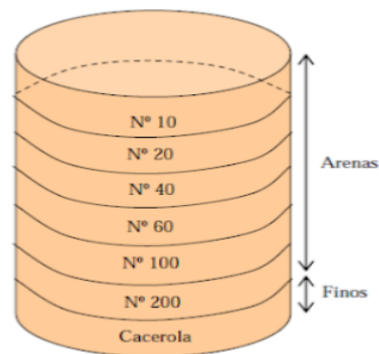


Figura 11. Imagen recuperada La librería del ingeniero, (2017), Análisis granulométrico por Tamizado. URL:<https://www.libreriaingeniero.com/>

4. *Pesado de fracciones:* Se pesa la cantidad de arena retenida en cada tamiz y se registra.

5. *Cálculos:*

- Se calculan porcentajes acumulativos de cada fracción de partículas.
- Con estos datos se puede elaborar una curva granulométrica, que muestra la distribución porcentual de los tamaños.

6. *Análisis de resultados:*

- Se determinan parámetros como:
 - D50 (mediana de tamaño de partículas).
 - Uniformidad (coeficiente de uniformidad).
 - Angularidad y forma de las partículas.

Los resultados del análisis granulométrico pueden ofrecer una gran cantidad de información. Por ejemplo:

- Distribuciones bien graduadas (con una amplia variedad de tamaños de partículas) pueden indicar procesos de transporte más complejos.
- Distribuciones mal graduadas (con poco rango en los tamaños) pueden implicar un ambiente de depósito más tranquilo, como zonas de calma en el mar.
- La forma de la curva granulométrica puede ser indicativa de la energía del ambiente en el que se depositó la arena, siendo más redondeadas en ambientes de alta energía y más angulosas en ambientes de baja energía.

Para trabajar con las muestras se parte, de que el sedimento recolectado en su mayoría son arenas, mismas que se pueden clasificar a partir de su origen o por su tamaño. Por parte del origen se tienen tres grupos de arenas, las cuales son silíceas, calizas y arcillosas, y por tamaños se clasificará el sedimento en partes establecidas por la escala de Wentworth (1992) como se muestra en la Tabla 1.

El tamaño de grano nos ofrece una mejor clasificación, con la cual se distinguen los procesos de transporte o erosión que los sedimentos han tenido, mientras que a partir de la otra clasificación como bien lo menciona su nombre es posible conocer o inferir su origen. Las arenas silíceas contienen cuarzo como principal mineral, de igual manera pueden contener feldespatos, olivinos, piroxenos, anfíboles, micas y otros minerales formadores de rocas ígneas (Priano C. et al 2008).

Tamaño del clasto o cristal en mm.	Clastos sedimentarios		Fragmentos volcanoclásticos	Rocas cristalinas, ígneas, metamórficas o sedimentarias.
256	Bloques	G R A V A	Bloques y bombas	Grano muy grueso
64	Grava			
16	Gujarro		Lapilli	Grano grueso
4	Granos			
2	Arena muy gruesa	A R E N A	Ceniza gruesa	Grano medio
1	Arena gruesa			
0.5	Arena media			
0.25	Arena fina			Grano fino
0.125	Arena muy fina			
0.032	Limo	L O D O	Ceniza fina	Grano muy fino
0.004	Arcilla			Criptocristalino

Tabla 1 Escala de Wentworth de 1992

3.4. Susceptibilidad magnética

El comportamiento magnético de un sedimento o roca es definido por su configuración y la interacción de los electrones de todos sus átomos. La susceptibilidad magnética se puede definir como la razón de la magnetización inducida en el material, o polarización magnética, y la intensidad del campo magnético H al cual está sujeto el material (Escobar-Marco & Alatorre-Mario 2005).

Medir la susceptibilidad magnética de los materiales es determinar el grado de interacción de las partículas magnéticas contenidas en la estructura de la muestra con el elemento de medida (Sławomir Janas 2022). Estos estudios sobre el terreno son relevantes para evaluar el impacto de fuentes de contaminación ya que la capacidad para magnetizarse de un material revela cierta composición de los minerales que se encuentran en el suelo, siendo los que contienen Fe las mejor identificadas por su alta susceptibilidad magnética (Dearing, J. 1999), con esto refiriéndonos a sedimentos que se encuentran en el sitio, pero no corresponden con su origen, convirtiéndose en agentes externos y depositado en el área.

La susceptibilidad que se logre medir se tomará como un parámetro cuantitativo en el cual se pueden identificar grupos de materiales, dependiendo los niveles de ésta. Tenemos tres principales grupos: Los materiales paramagnéticos en los cuales sus electrones desapareados se encuentran aleatorios y sin un campo magnético, el momento se alinea de forma aleatoria; Los materiales ferromagnéticos donde sus electrones están desapareados y aun sin campo magnético se encuentran alineados, y por último los materiales diamagnéticos, en los cuales la posición de sus electrones anula el efecto magnético.

A partir de las medidas de susceptibilidad magnética, se puede correlacionar las arenas muestreadas en la playa con su origen, dado que estas mediciones proporcionan información valiosa sobre las propiedades magnéticas de los granos de arena. La susceptibilidad magnética es una característica que puede variar significativamente dependiendo de la composición mineralógica y del proceso geológico que ha formado estos sedimentos. En este contexto, el uso de mapas magnetométricos locales y regionales, como se ilustra en la Figura 7, se vuelve fundamental. Estos mapas permiten visualizar la distribución y la intensidad de los campos magnéticos en diferentes áreas, facilitando así la identificación de patrones que pueden indicar de dónde provienen los materiales sedimentarios.

Se buscan respuestas coherentes que ayuden a inferir el origen geográfico y geológico de las arenas analizadas. Por ejemplo, ciertas firmas magnéticas pueden estar asociadas a formaciones rocosas específicas en la región, o a eventos de erosión y transporte que afectan a las playas. Adicionalmente, los resultados experimentales se pueden utilizar como indicadores clave de la proveniencia de los materiales, ya que diferentes fuentes pueden tener características magnéticas distintivas. Este enfoque multidimensional, que combina técnicas de análisis físico con la interpretación

geoquímica, fomenta una comprensión más profunda de las dinámicas sedimentarias en las áreas costeras, y permite el desarrollo de modelos que expliquen no solo la formación de las playas, sino también su evolución a lo largo del tiempo.

En última instancia, esta investigación no solo enriquece el conocimiento científico sobre las características de las arenas, sino que también puede contribuir a la gestión sostenible de los recursos costeros y a la conservación de estos ecosistemas frágiles.

3.5. Fluorescencia de rayos X

El registro de las amplitudes generadas crea el espectro de energía de los rayos X, un proceso clave en la identificación de la composición de las muestras (Pérez-Díaz 2024). Este principio se basa en el hecho de que cada elemento de la tabla periódica tiene un espectro de fluorescencia de rayos X (FRX) único y característico. Al emplear este método analítico, podemos determinar las concentraciones elementales de diversos materiales gracias a la manera en que interactúan con los rayos X. Los elementos presentes en la muestra son detectados a través de las longitudes de onda o energías de emisión específicas que cada uno de ellos libera. Durante el análisis por FRX, es común que se presenten radiaciones dispersivas de Compton y Rayleigh; estas radiaciones son relevantes ya que dependen del número atómico de los elementos que se están detectando, lo que a su vez influye en la interpretación de los resultados obtenidos.

Profundizando en la composición química, la fluorescencia de rayos X (FRX) se establece como un método analítico sofisticado y preciso, en el que la muestra se somete a una exposición controlada a radiación ionizante generada por la incidencia de rayos X emitidos desde una fuente artificial sobre su superficie. Este procedimiento permite no solo identificar la naturaleza elemental de los materiales analizados, sino también cuantificar sus concentraciones, aunque presenta limitaciones para elementos que tengan un número atómico menor al magnesio. Las ventajas de la FRX son numerosas, y su capacidad para revelar la composición química elemental de las muestras la convierte en una herramienta indispensable en diversas áreas de investigación científica.

En el contexto de geología y ciencias ambientales, por ejemplo, estos análisis son fundamentales para entender los procesos de formación y evolución

de los ecosistemas costeros, como las playas. A partir del conocimiento detallado de su composición química, se pueden realizar inferencias sobre la dinámica sedimentaria, la mineralogía y la influencia de factores ambientales, lo que contribuye al desarrollo de estrategias de conservación y gestión del entorno.

IV. Metodología

Este proyecto se desarrolló en el marco de la Práctica Profesional de la asignatura de Geofísica Integral, realizada del 21 al 24 de noviembre del 2023, constó de tres etapas de recolección y estudio de datos.

1. Medición de perfiles de playa, este estudio se realiza in situ tomando medidas topográficas, para llevarlo a cabo, participaron cuatro brigadas con 4-5 integrantes cada una. El muestreo de sedimentos, una vez seleccionados los puntos en los que se recogerá material, se depuran y preparan para que sea óptima la caracterización. Las siguientes pruebas que realizan a los sedimentos, son en el Laboratorio de Sedimentología de la Facultad de Ingeniería, UNAM., en el cual se aplicaron los procesos de secado y pesado;
2. Análisis del sedimento, se realizó el tamizado de las muestras en el Laboratorio de Sedimentología de la Facultad de Ingeniería, UNAM., y la medición de susceptibilidad y concentraciones totales por FRX en el Laboratorio de Paleoceanografía y Paleoclimas, Instituto de geofísica, UNAM;
3. Finalmente, el procesado de los datos recolectados y su interpretación.

A continuación, se detallan las etapas 1 y 2:

4.1. Perfiles de playa y colecta de muestras

Se llevó a cabo un estudio los días 22 y 23 de noviembre de 2023, donde se realizaron 22 perfiles lo más perpendiculares posible a la costa. Las distancias

entre los perfiles no estaban predefinidas y se distribuyeron a lo largo de la costa. Por cada perfil, se recolectaron tres muestras de arena. Se decidió tomar una muestra de cada zona de la playa, de acuerdo con la clasificación establecida por Carranza–Edwards y Caso–Chávez (1994), que divide la playa en Supraplaya, Mesoplaya e Infraplaya, siendo la Supraplaya la más alejada del nivel del mar.

Materiales y equipo: GPS, cinta métrica, estadal y nivel topográfico de mano.

Procedimiento para la colocación del estadal:

- i. *Ubicación del estadal:* Se coloca el estadal en un punto inicial previamente establecido, que debe ser el más alejado posible de la línea de costa permitido, dentro de la supraplaya.
- ii. *Registro de coordenadas:* Se toman las coordenadas del punto elegido utilizando un GPS.
- iii. *Orientación del estadal:* El estadal se coloca orientado hacia el mar.
- iv. *Colocación del siguiente punto:* Se establece una línea imaginaria lo más perpendicular posible a la costa. En esta línea, se busca colocar a la siguiente persona utilizando un nivel topográfico, en el siguiente cambio de relieve del terreno.
- v. *Medición de distancia:* Una vez que ambos puntos (el del estadal y el de la siguiente persona) están definidos, se mide la distancia entre ellos con una cinta métrica. Esta cinta debe mantenerse lo más tensa posible y a la misma altura.
- vi. *Referencia visual:* La Figura 12 ilustra el estadal en su ubicación más alejada de la playa y muestra cómo se debe realizar la medición de la distancia.



Figura 12. Imagen del primer perfil de playa al extremo sur.

Una vez registrada la primera medida leída desde el nivel, se procederá a rotar las posiciones para avanzar hacia la línea de costa. En este proceso, la persona que tiene el nivel topográfico girará sobre su propio eje sin moverse de su lugar, orientándose ahora hacia el mar.

Simultáneamente, la persona que porta el estadal deberá buscar el siguiente cambio de relieve en el terreno. Esta persona mantendrá la vista hacia la supraplaya y tomará la nueva medida correspondiente. En la Figura 13 se ilustra el cambio de posiciones necesario para avanzar en este procedimiento.

Nuevamente se realiza una rotación de la persona con el nivel topográfico, siguiendo las mismas condiciones del paso anterior, y la persona del estadal lo gira con respecto a su propio eje para quedar de nuevo con vista al mar. Los primeros dos pasos mencionados se repiten hasta que se complete el perfil de la playa, tomando las distancias y medidas de cada cambio hasta que se llega a la zona de infraplaya o la zona de rompientes.

Es importante considerar que la playa presenta cambios abruptos como el mostrados en la Figura 15 y terreno muy estable en cuanto a su relieve como la Figura 14, para el caso de la figura 15 cuando se presentan escalones de cambio

más abrupto se hace una medición de cuánto mide al instante de que este termine.



Figura 13. Imagen del primer perfil en el tramo sur, en el cambio de relieve.



Figura 14. Imagen ilustrativa del terreno y como se mide la distancia entre el nivel topográfico y el estatal.



Figura 15. Toma de medida de un escalón en la playa.

Caso similar a la Figura 16 donde el perfil presenta cambios muy abruptos formando barras, cada una de estas elevaciones se registra dentro de las mediciones tomadas del perfil.



Figura 16. Imagen ilustrativa de un escalón en la playa y la interrupción por parte del cauce del río Pitillal

Se marca el último punto cuando se llega a la zona de rompientes en la infraplaya, las figuras 17 y 18 muestran como el estadal está colocado donde se

genera el rompimiento de las olas, y se presenta el escalón. Durante el levantamiento del perfil se toman muestras de arena en la zona de supraplaya, mesoplaya e infraplaya al igual que sus coordenadas.



Figura 17. Imagen de la toma de medida de relieve en la zona de rompientes, al mismo tiempo que la toma de muestras correspondiente a la infraplaya.



Figura 18. Imagen de referencia en la toma de medida en la zona de rompientes.

4.2 Análisis de sedimentos

i. Muestreo y Preparación de Sedimentos

El proceso de muestreo de sedimentos comienza con la filtración de las muestras, seleccionando aquellas que disponen de todos los datos necesarios, como coordenadas, claves de identificación y el perfil correspondiente. Una vez realizada esta selección, las muestras se trasladan al Laboratorio de Sedimentología de la Facultad de Ingeniería de la UNAM. Allí, se colocan una por una en una estufa para su secado.

Una vez que las muestras están completamente secas, se procede a pesarlas, con el objetivo de garantizar que cada muestra contenga la misma cantidad de sedimento. Se lograron obtener 52 muestras de 50 g cada una, con un rango de diferencia de 1 g para aquellas que no alcanzaron esta medida. Este procedimiento asegura que la información obtenida se base en volúmenes homogéneos de sedimento, evitando variaciones debidas a factores externos en las mediciones posteriores.

ii. Proceso de tamizado

Con las muestras pesadas, se inicia el proceso de tamizado mediante separación de mallas. Para ello, se utilizó un agitador de tamices y una serie de siete tamices con mallas de 5, 10, 18, 35, 60, 120 y 230 en medidas Mesh. Cada muestra se colocó en el conjunto de tamices y se sometió al agitador. Al finalizar el proceso de tamizado de cada muestra, los contenidos de cada malla se recolectaron en sobres diferenciados, identificando el nombre de la muestra, el perfil correspondiente y el número de malla. Por cada muestra principal se obtuvieron de 4 a 7 submuestras, dependiendo de la calidad del sedimento en el punto de recogida.

iii. Medición de susceptibilidad

En esta etapa del estudio, las muestras previamente tamizadas fueron trasladadas al Laboratorio de Paleooceanografía y Paleoclimas del Instituto de Geofísica de la UNAM. Se utilizó un equipo Bartington MS2 para medir la susceptibilidad magnética de estas muestras, lo que permitió clasificar los tipos de materiales y detectar ciertos procesos de formación o transporte.

La Figura 19 ilustra las partes del sensor, que actúa como transmisor. En esta sección se colocará la muestra, que debe estar preparada en un cubo de acrílico, asegurando que haya el menor espacio vacío posible para evitar datos erróneos. En la figura, el número 1 indica un elevador que impulsa una base (número 2), donde se coloca la muestra y se introduce en el aparato. El número 3

representa el módulo de frecuencia, que ajusta la alta y baja frecuencia, y el número 4 conecta al receptor, donde se obtiene la lectura de la respuesta.

La Figura 20 presenta el equipo completo utilizado, donde a la derecha se encuentra el transmisor que midió las muestras, y a la izquierda el receptor, que permite la lectura de las mediciones obtenidas.

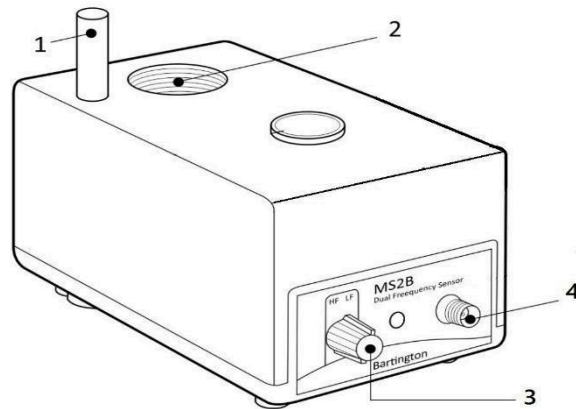


Figura 19. Partes del equipo, imagen tomada de Sławomir Janas 2022.



Figura 20. Equipo empleado.

El funcionamiento interno es alimentado por corriente de frecuencia variable medida en Hz, compuesto por un sistema de bobinas de inducción con la que se miden las partículas magnéticas contenidas en la muestra. (Sławomir Janas 2022)

Para el procedimiento se prepararon las muestras en cubos de acrílico, y como en algunas no tenía la cantidad suficiente para llenarlos, se utilizaron

bolsas con sello que pudieran rellenar el espacio vacío y no interfiriera en la medición, como podemos observar en la Figura 21. Cada una de estas muestras fue previamente pesada.



Figura 21. Imagen representativa de cómo se ingresaron las muestras a los cubos de acrílico.

Se tomaron seis mediciones por muestra, tres en baja frecuencia y tres en alta, en cada medición se rotaba el cubo en sus tres ejes centrales, para finalmente tener un promedio de tres mediciones en cada frecuencia, buscando disminuir el posible error.

Se obtuvieron un total de 245 muestras, donde el método fue permisivo para la cantidad de muestras, ya que los cubos se rehusaron después de retirar correctamente todos los residuos, y el equipo puede seguir midiendo sin afectar la calidad de los datos después de cierto número de mediciones.

iv. Concentraciones totales por FRX

Para avanzar en el estudio, se llevó a cabo una cuidadosa selección de 25 muestras, las cuales fueron analizadas utilizando el analizador Thermo Scientific Niton XL3t. Para esta tarea, se emplearon 25 portamuestras cilíndricos, una báscula de precisión, y 25 láminas de Film Polypropylene TF-240-255 de 4 μm , material que fueron proporcionados por el Laboratorio de Paleoceanografía y Paleoclimas del Instituto de Geofísica de la UNAM.

La selección de las muestras se fundamentó en la necesidad de que todas o la mayoría provinieron de la mesoplaya y de la zona del río, asegurando así que fueran representativas del entorno estudiado. Posteriormente, se optó por

seleccionar un total de 17 muestras de 250 micras y 8 muestras de 500 micras, con el objetivo de que cada una alcanzara un peso de 8 g, asegurando una uniformidad en las condiciones de análisis.

La preparación de los portamuestras se realiza con sumo cuidado. Primero, se coloca la lámina de film dentro del cilindro de forma que quede lo más lisa posible, evitando que alguna parte del film que queda dentro del cilindro entre en contacto con otros materiales o superficies que puedan provocar contaminación. A continuación, se vierte la muestra previamente pesada en el cilindro, procurando que esta se esparza uniformemente sobre toda la superficie disponible. Este paso es crucial, ya que garantiza que los rayos X del analizador tengan un área adecuada para interactuar y colisionar con la muestra, lo que previene la obtención de mediciones imprecisas o erróneas.

En la Figura 22, se puede observar claramente cómo las muestras están preparadas y listas para ser introducidas de una en una en el equipo de análisis, destacando la meticulosidad del proceso que se sigue para asegurar la validez de los resultados obtenidos. Este enfoque no solo garantiza la calidad de los datos, sino que también subraya la importancia de realizar una preparación minuciosa en estudios de tal relevancia científica. El equipo se configura en modo Soils que medirá las partes por millón y cada muestra entrará una vez, siendo analizada 120 segundos.



Figura 22. Imagen de la preparación de las muestras antes de que entren a la FRX

V. Resultados:

5.1 Perfiles de playa

Los primeros datos observables con el estudio realizado son las ubicaciones de los perfiles de playa medidos, como se muestran en la Figura 23, al igual que la localización de las muestras tomadas en la Figura 24.



Figura 23. Mapa de ubicación de los perfiles de playa.



Figura 24. Mapa de ubicación de las muestras

En la Tabla 2, se marcan los puntos iniciales y finales de los perfiles de playa que se utilizaron para la creación del modelo de elevación.

Los perfiles de playa que se obtuvieron y se graficaron para conocer la topografía del lugar, se muestran 11 perfiles los cuales se pueden observar de la figura 25-35, siendo los perfiles más próximos a la desembocadura los mostrados en las figuras 25-30, mientras que de la figura 26-35 representan el comportamiento “normal” de la playa ya que se encuentran más alejados del cauce del río.

Perfiles de playa en Latitud °N y longitud °W								
Perfil 1	Latitud	Longitud	Perfil 9	Latitud	Longitud	Perfil 16	Latitud	Longitud
PUNTO INICIAL	20.6421048	-105.2401392	PUNTO INICIAL	20.6431900	-105.2414169	PUNTO INICIAL	20.6451987	-105.2417327
PUNTO FINAL	20.6414836	-105.2401009	PUNTO FINAL	20.6429891	-105.2419884	PUNTO FINAL	20.6451717	-105.2424430
Perfil 2	Latitud	Longitud	Perfil 10	Latitud	Longitud	Perfil 17	Latitud	Longitud
PUNTO INICIAL	20.6421607	-105.2402821	PUNTO INICIAL	20.6432500	-105.2414676	PUNTO INICIAL	20.6459048	-105.2419667
PUNTO FINAL	20.6414981	-105.2407014	PUNTO FINAL	20.6431485	-105.2418083	PUNTO FINAL	20.6458758	-105.2423001
Perfil 3	Latitud	Longitud	Perfil 11	Latitud	Longitud	Perfil 18	Latitud	Longitud
PUNTO INICIAL	20.6424444	-105.2405544	PUNTO INICIAL	20.6435296	-105.2414604	PUNTO INICIAL	20.6462134	-105.2419719,
PUNTO FINAL	20.6420158	-105.2415856	PUNTO FINAL	20.6431879	-105.2421065	PUNTO FINAL	20.6461098	-105.2423674
Perfil 4	Latitud	Longitud	perfil 12	Latitud	Longitud	Perfil 19	Latitud	Longitud
PUNTO INICIAL	20.6423637	-105.2407366	PUNTO INICIAL	20.6439541	-105.2414749	PUNTO INICIAL	20.6464204	-105.2419781
PUNTO FINAL	20.6420096	-105.2415867	PUNTO FINAL	20.6438319	-105.2419719	PUNTO FINAL	20.6462672	-105.2423591
Perfil 5	Latitud	Longitud	Perfil 13	Latitud	Longitud	Perfil 20	Latitud	Longitud
PUNTO INICIAL	20.6427799	-105.2406828	PUNTO INICIAL	20.6440949	-105.2414945	PUNTO INICIAL	20.6468160	-105.2422493,
PUNTO FINAL	20.6422746	-105.2415794	PUNTO FINAL	20.6440845	-105.2414997	PUNTO FINAL	20.6466275	-105.2425786
Perfil 6	Latitud	Longitud	Perfil 14	Latitud	Longitud	Perfil 21	Latitud	Longitud
PUNTO INICIAL	20.6427944	-105.2407552	PUNTO INICIAL	20.6443579	-105.2416250	PUNTO INICIAL	20.6468450	-105.2422711
PUNTO FINAL	20.6422746	-105.2417782	PUNTO FINAL	20.6443807	-105.2422587	PUNTO FINAL	20.6468450	-105.2422711
Perfil 7	Latitud	Longitud	Perfil 15	Latitud	Longitud	Perfil 22	Latitud	Longitud
PUNTO INICIAL	20.6428628	-105.2408288	PUNTO INICIAL	20.6445898	-105.2417492	PUNTO INICIAL	20.6475594	-105.2428737
PUNTO FINAL	20.6426412	-105.2413485	PUNTO FINAL	20.6445194	-105.2421800	PUNTO FINAL	20.6474372	-105.2433169
Perfil 8	Latitud	Longitud						
PUNTO INICIAL	20.6426412	-105.2413485						
PUNTO FINAL	20.6426764	-105.2417855						

Tabla 2. Detalle de las ubicaciones de cada perfil de playa.

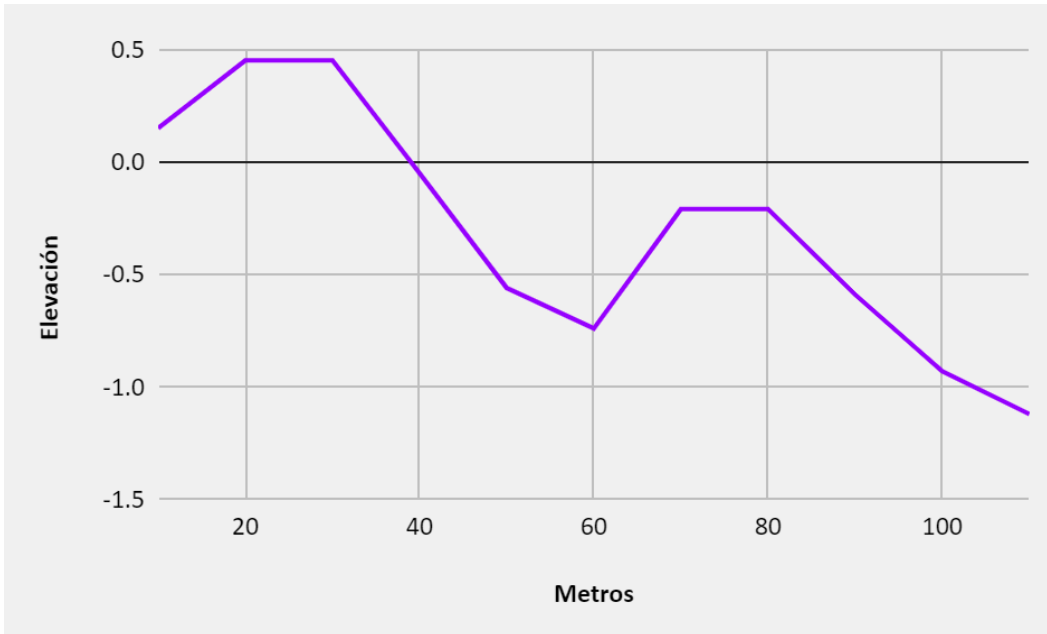


Figura 25. Perfil representativo del comportamiento de la playa cerca a la desembocadura del río..

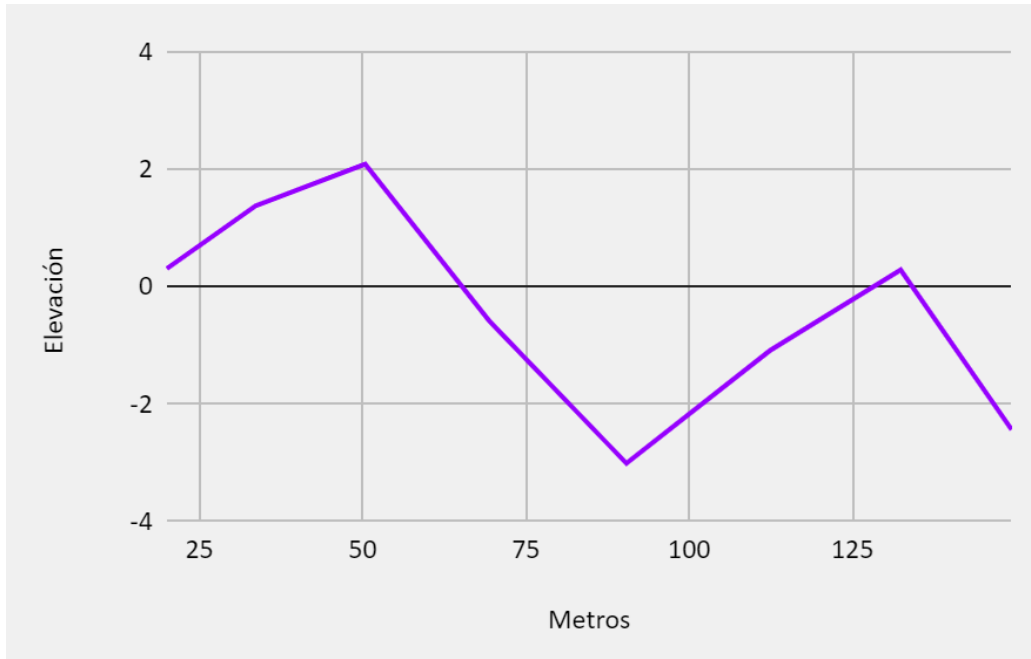


Figura 26. Perfil cercano al Río línea 8.

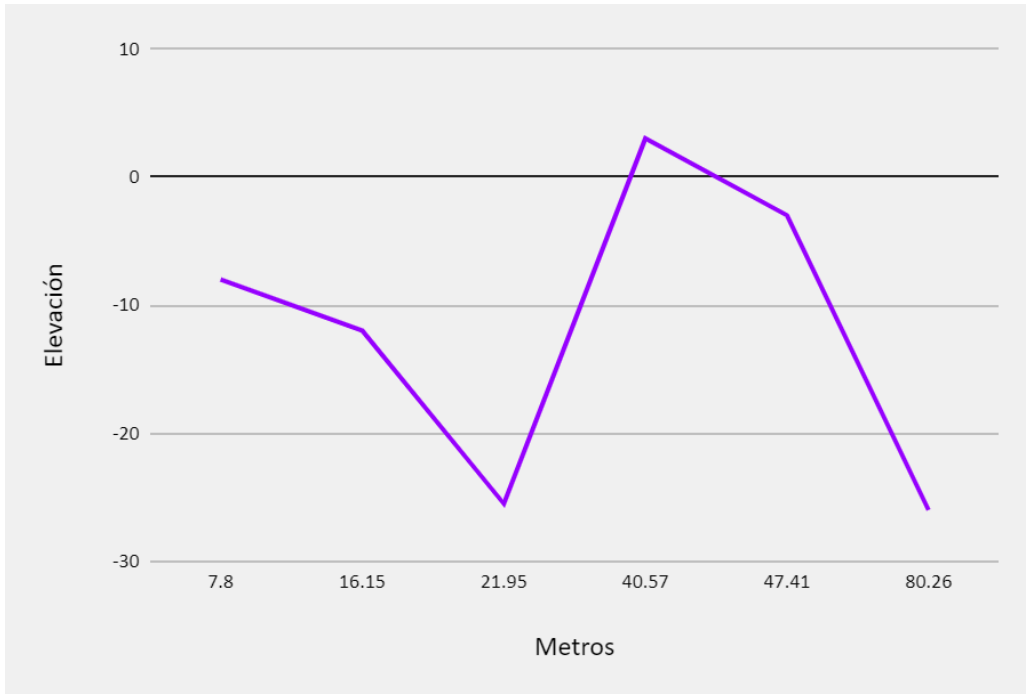


Figura 27. Perfil cercano al Río correspondiente a línea 10.

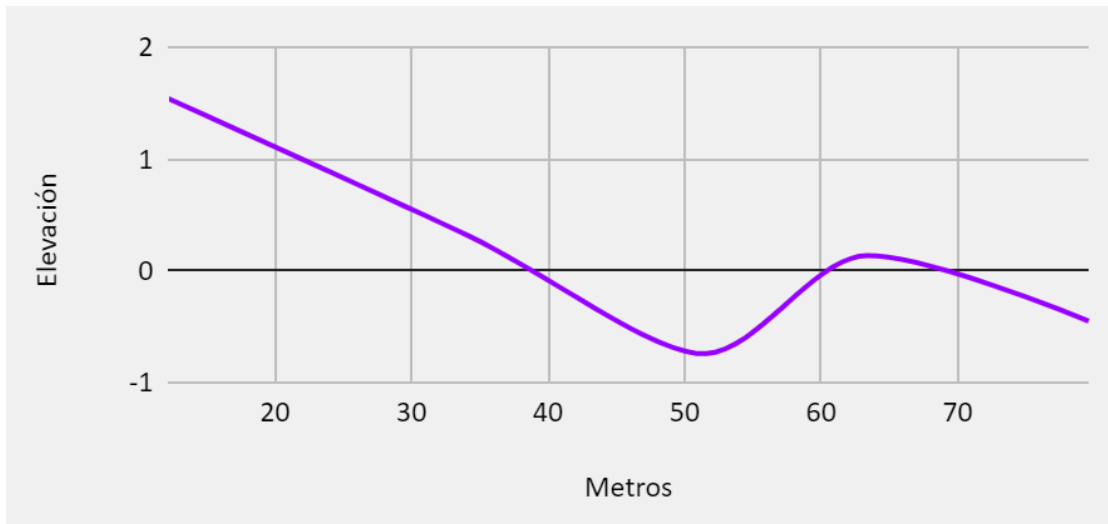


Figura 28. Perfil cercano al Río línea 12.

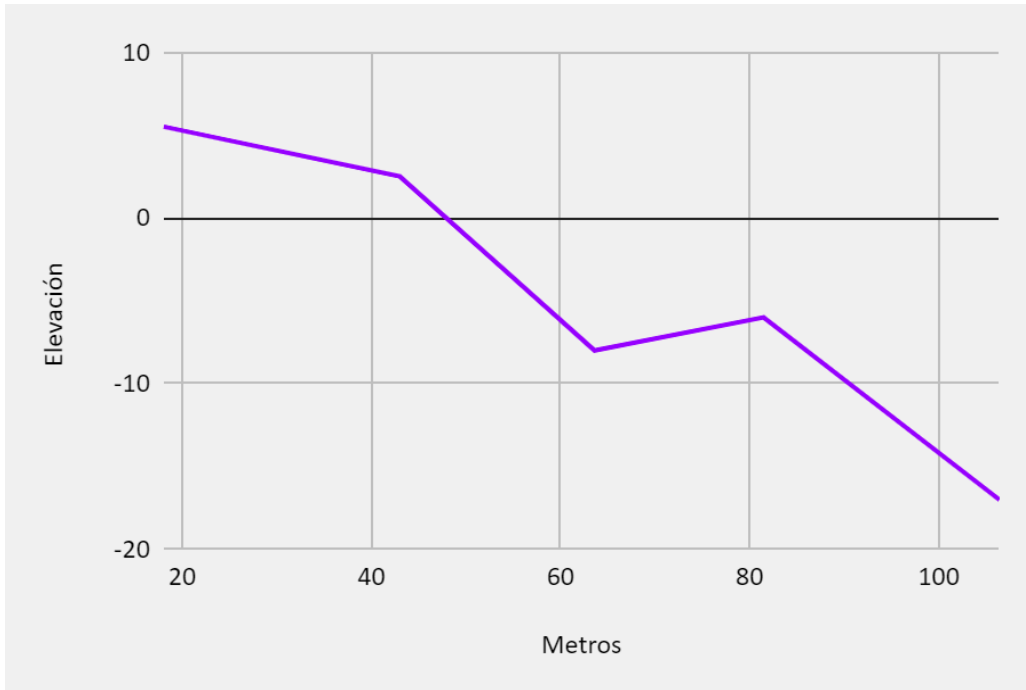


Figura 29. Perfil cercano al Río línea 11.

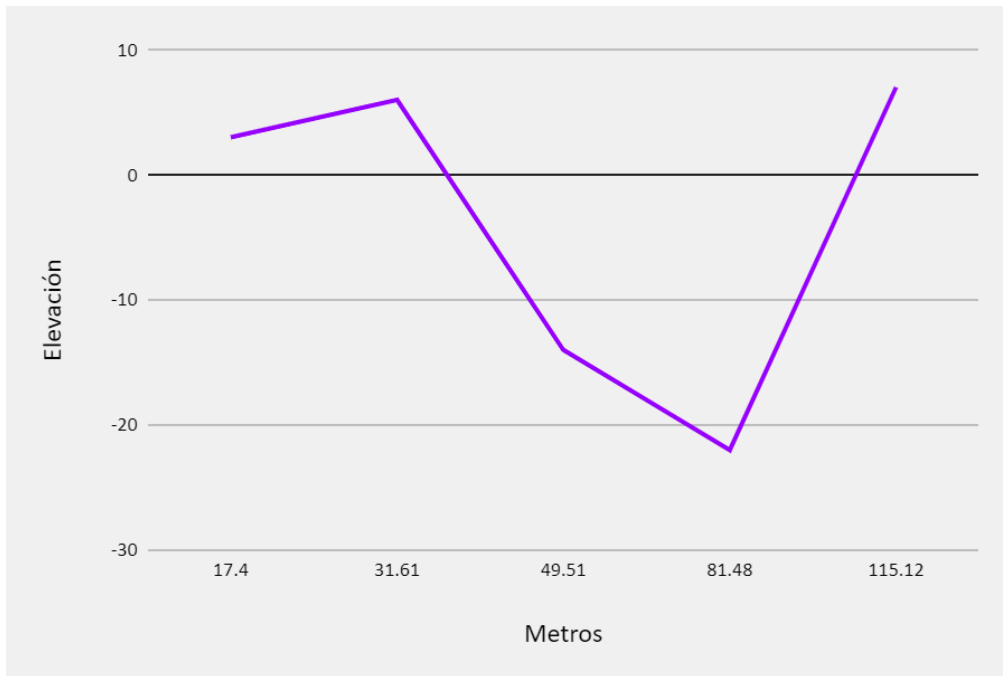


Figura 30. Perfil cercano al Río línea 9.

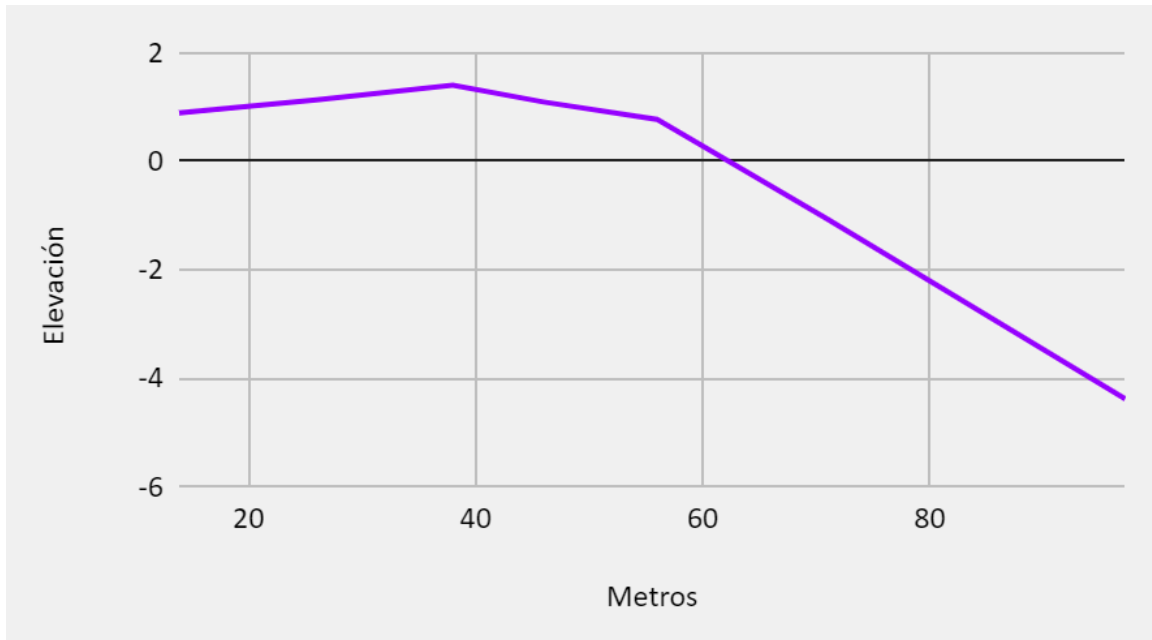


Figura 31. Perfil representativo de zonas cercanas a la desembocadura del río correspondiente a la línea 7.

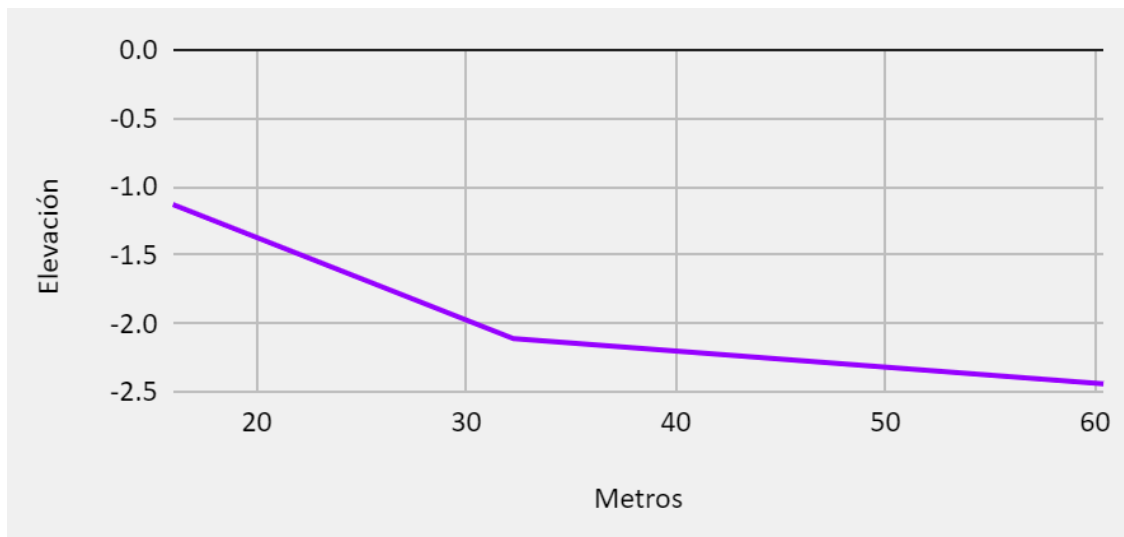


Figura 32. Perfil representativo de zonas más alejadas a la desembocadura del río correspondiente a la línea 18.

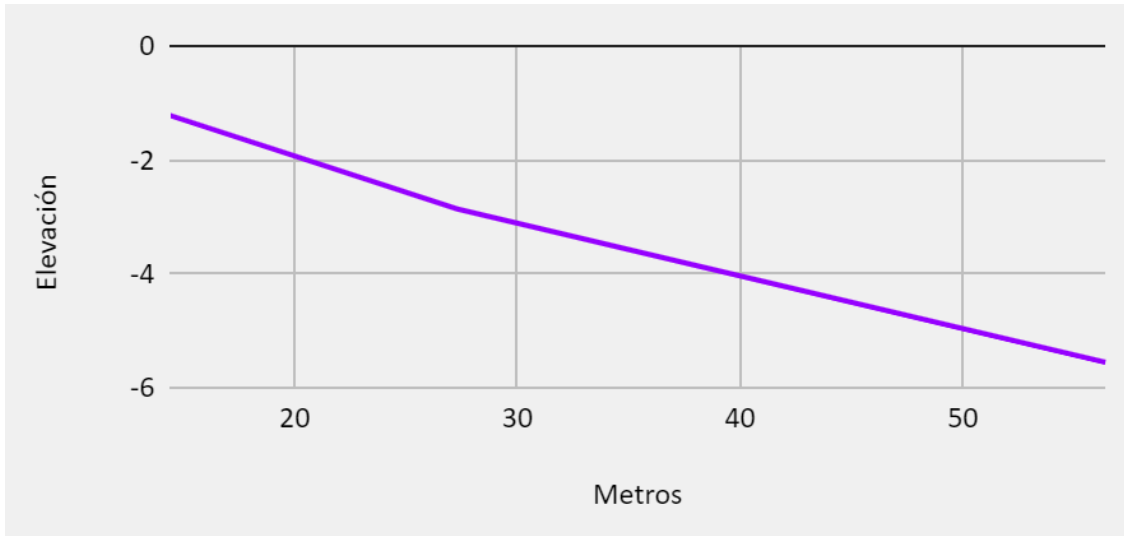


Figura 33. Perfil representativo de zonas más alejadas a la desembocadura del río correspondiente a la línea 22.

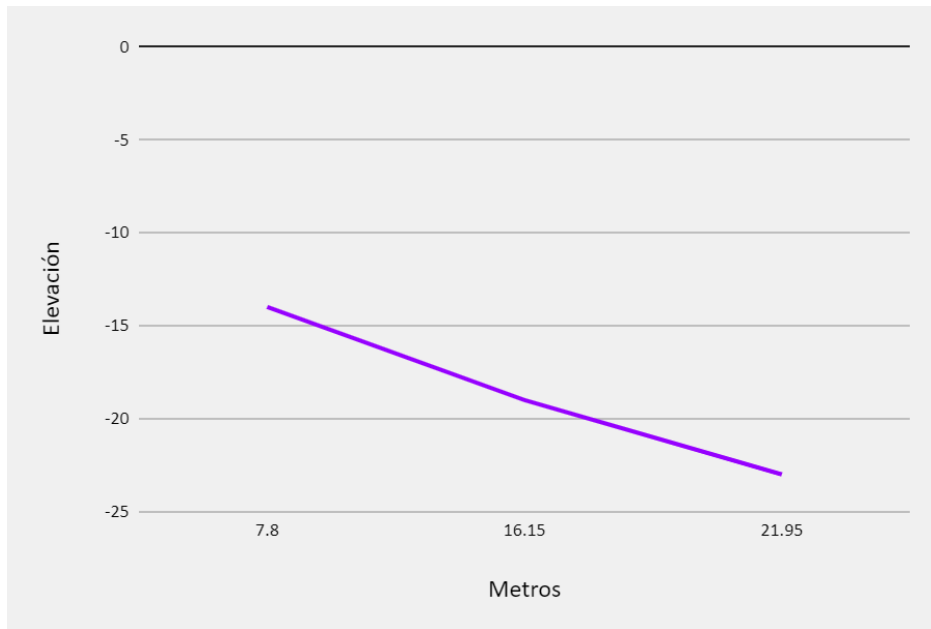


Figura 34. Perfil representativo de zonas más alejadas a la desembocadura del río correspondiente a la línea 14.

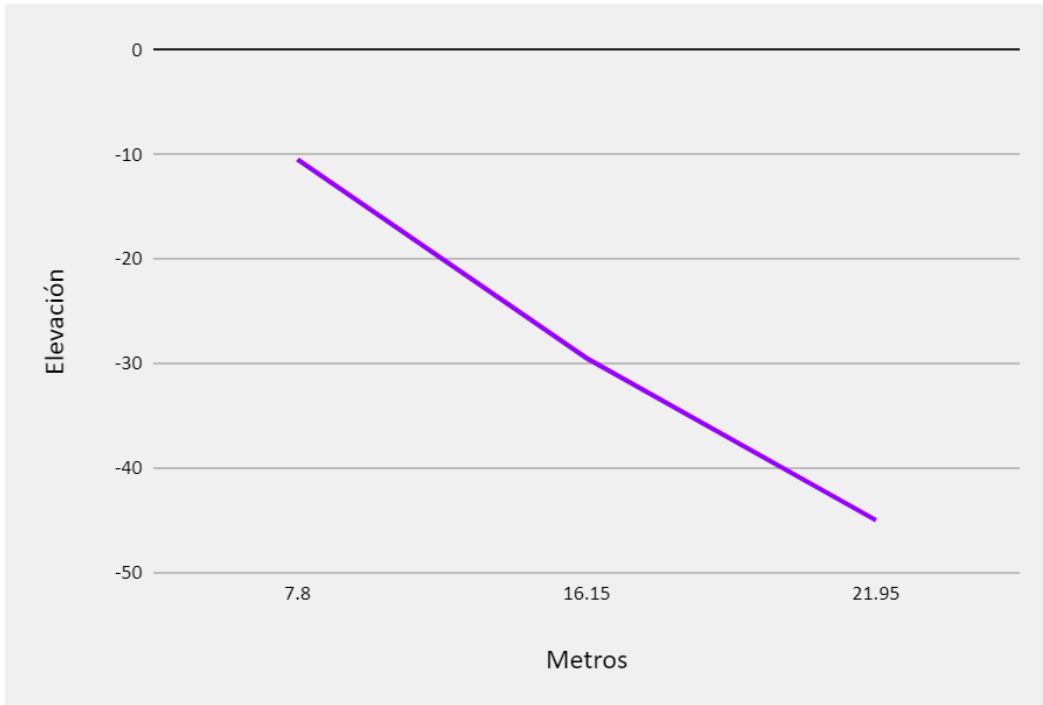


Figura 35. Perfil representativo de zonas más alejadas a la desembocadura del río correspondiente a la línea 21.

5.2. Análisis granulométrico

El análisis de tamizado revela una predominancia notable de arena gruesa, conforme a la clasificación de la Escala de Wentworth de 1992. Sin embargo, es importante señalar que existe una selección moderada de los sedimentos, ya que observamos una variedad que abarca desde arena fina hasta grava fina en las muestras que fueron recolectadas. Específicamente, la zona de la infraplaya presenta un mayor contenido de material sedimentario de grandes dimensiones, mientras que la supraplaya se caracteriza por la presencia de sedimentos más finos.

En la Figura 36 se ilustran claramente los puntos de recolección de las muestras, cada uno acompañado del número de malla que predominó. Al lado del mapa, se incluye una interpolación que representa los resultados obtenidos en el análisis previo, dando lugar a un modelo de distribución de sedimentos según su tamaño. Esta visualización no solo permite comprender la variabilidad de los sedimentos a lo largo del área estudiada, sino que también facilita la identificación

de tendencias en la distribución del material, lo cual es crucial para futuros estudios sobre la dinámica sedimentaria y la morfología de la costa.

Es importante resaltar que el conocimiento de la distribución de sedimentos es esencial para comprender los procesos geomorfológicos en la zona costera. Este tipo de información puede ser invaluable para la gestión del litoral, ya que ayuda a predecir cómo los cambios en las condiciones ambientales, como el aumento del nivel del mar o la erosión costera, podrían afectar la dinámica sedimentaria y, en consecuencia, los ecosistemas asociados o las zonas de recreación.

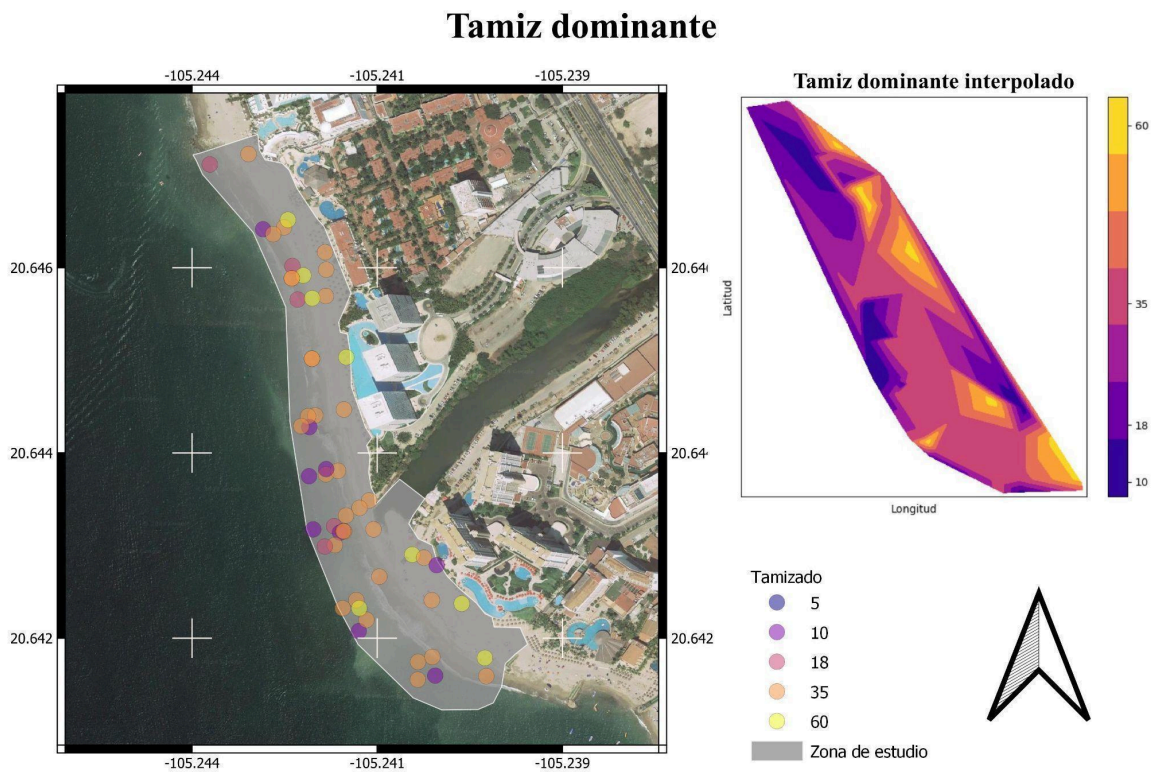


Figura 36. Mapa de ubicación del tamiz dominante e interpolación de los mismos datos.

En la figura 36 se puede observar la localización de las muestras y su interpolación a partir de los resultados del Tamizado, en la figura 37 se tiene un acercamiento de la misma interpolación la cual es una representación de donde se ubican los tamaños de arena más dominantes del área, esta es una interpolación lineal busca expresar de manera gráfica la distribución de tamaños en la playa de Holi.

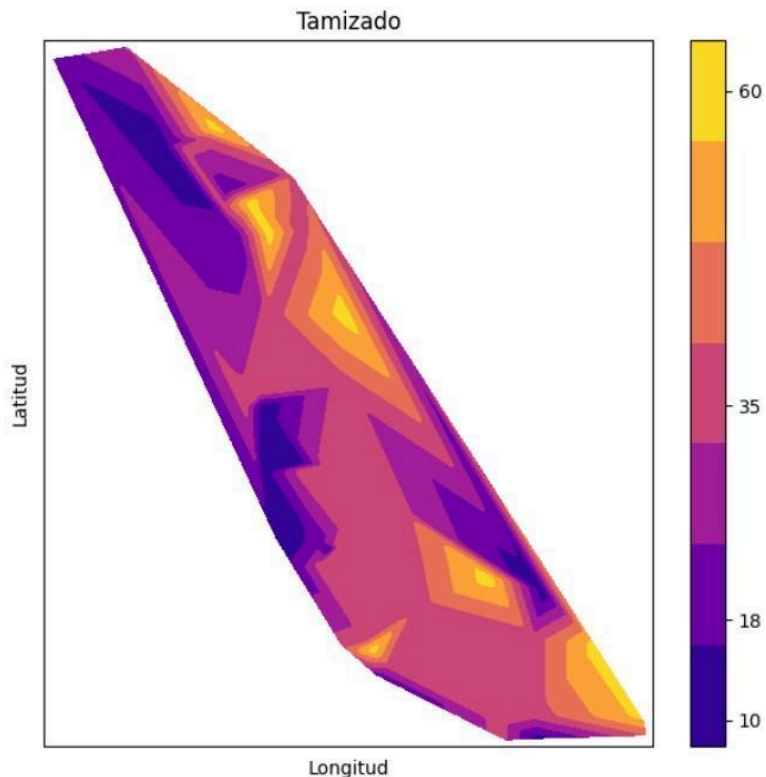


Figura 37. Acercamiento de la interpolación de Tamiz dominante.

5.3. Susceptibilidad

Las mediciones de susceptibilidad realizadas en alta y baja frecuencia para cada línea de estudio presentaron comportamientos que, en términos generales, fueron iguales o, en algunos casos, similares. Esta consistencia en los resultados sugiere que la susceptibilidad magnética de los sedimentos responde de manera coherente, independientemente de la frecuencia utilizada durante las mediciones. Las gráficas obtenidas revelan una tendencia creciente en los niveles de susceptibilidad a medida que los sedimentos se vuelven más finos. Esta relación se observa principalmente en la supraplaya, donde las partículas más finas tienden a acumular una mayor susceptibilidad, posiblemente debido a su mayor superficie específica y su capacidad de intercambio químico. En contraste, las mediciones de susceptibilidad en las zonas de mesoplaya e infraplaya muestran un comportamiento más variado, lo que podría estar relacionado con la diversidad de procesos sedimentarios y del ambiente físico en estas áreas. Este hallazgo indica que los factores ambientales, tales como la dinámica de las olas, las

corrientes y la presencia de materia orgánica, juegan un papel importante en la variabilidad de la susceptibilidad magnética.

En relación con el tamaño de las muestras analizadas, los resultados muestran que las arenas finas presentaron el valor más alto de susceptibilidad, alcanzando una medida de 384 en alta frecuencia. Este resultado resalta la capacidad de las partículas más pequeñas para acumular minerales ferromagnéticos, lo cual es indicativo de procesos de alteración química o depósito que favorecen la magnetización en estos sedimentos. Por otro lado, la grava fina obtuvo la menor medida de susceptibilidad, con un valor de 1 en alta frecuencia. Este hallazgo es coherente con la teoría de que las partículas más grandes tienden a contener menos minerales magnéticos o pueden estar menos afectadas por procesos de magnetización, lo que limita su potencial para mostrar altos niveles de susceptibilidad.

Es importante recalcar que, la relación entre la granulometría de los sedimentos y su susceptibilidad magnética es clara y sugiere que, en ambientes específicos como la supraplaya, se pueden observar tendencias pronunciadas que contrastan con la variabilidad observada en otras zonas. Este comportamiento puede tener implicaciones importantes en la comprensión de los procesos geológicos y ambientales que influyen en la formación y distribución de los sedimentos en áreas costeras.

Gráficas de medición de susceptibilidad por línea:

Las figuras 38-58 representan la susceptibilidad medida respecto a la zonificación de Supraplaya, Mesoplaya e Infraplaya de cada línea como se muestra en la figura 23 dando resultados individuales tanto de cada zona, como de cada línea adquirida. De igual manera se muestran los resultados tomados en alta y baja frecuencia, donde se puede observar una diferencia muy baja o casi nula.

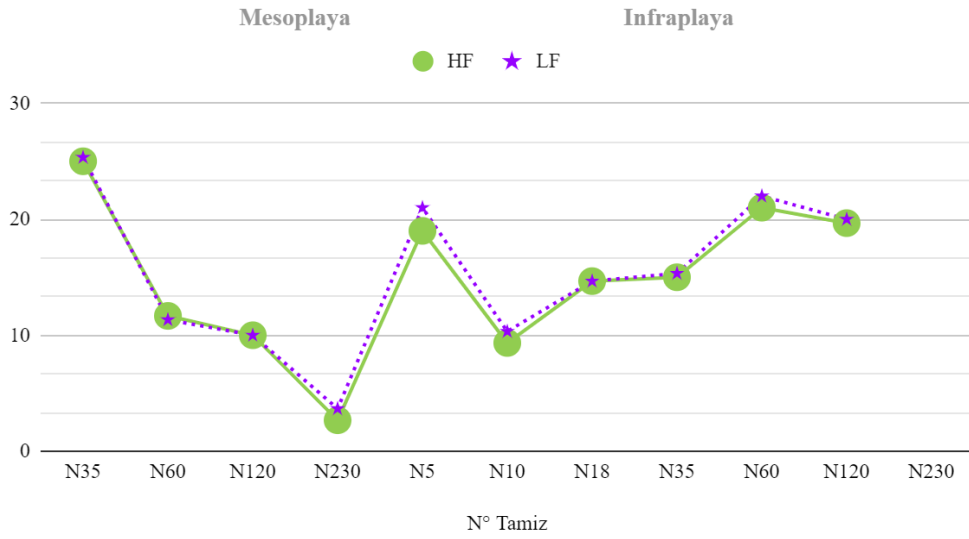


Figura 38. Susceptibilidad línea 1.

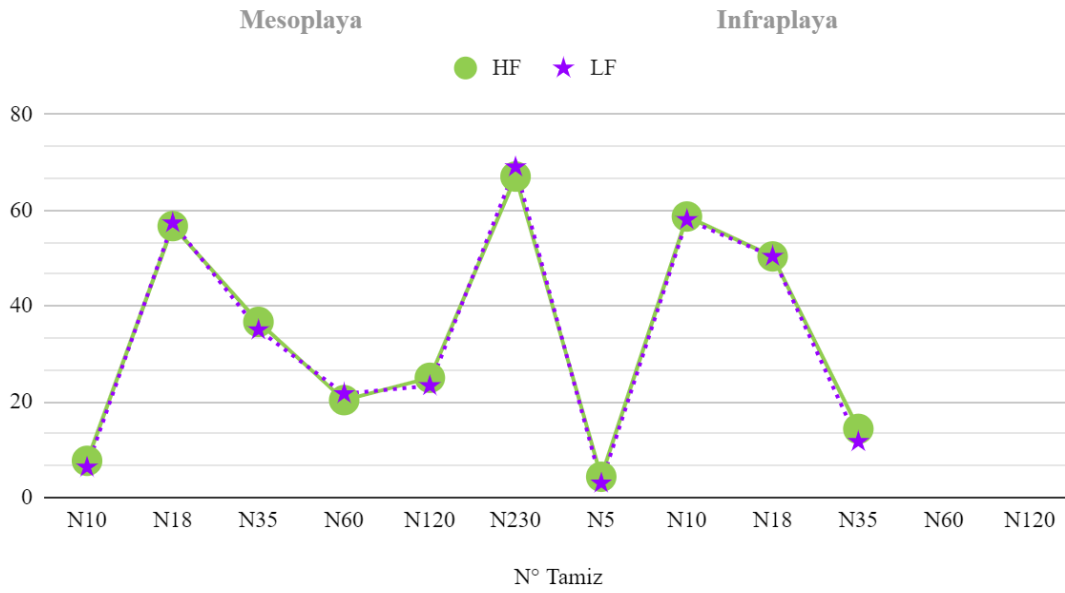


Figura 39. Susceptibilidad línea 2.

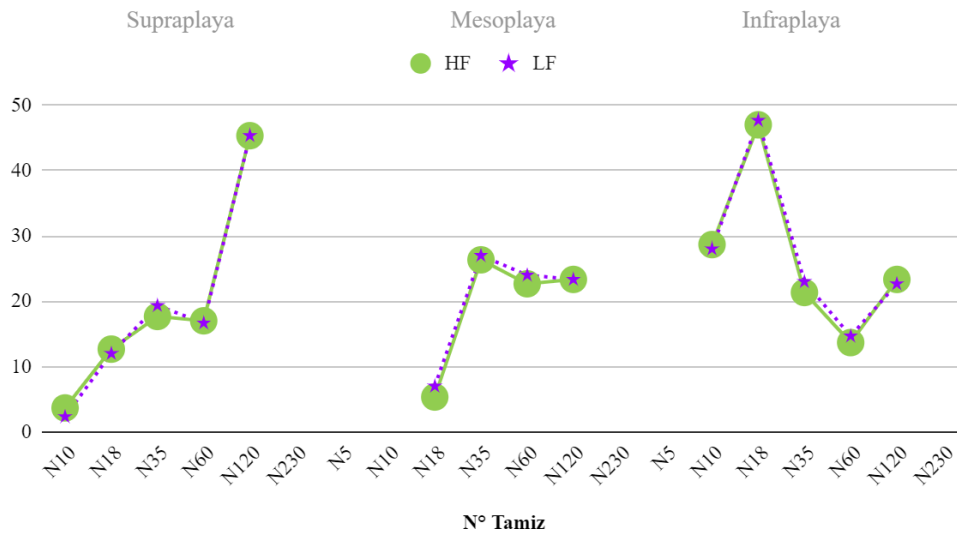


Figura 40. Susceptibilidad línea 3.

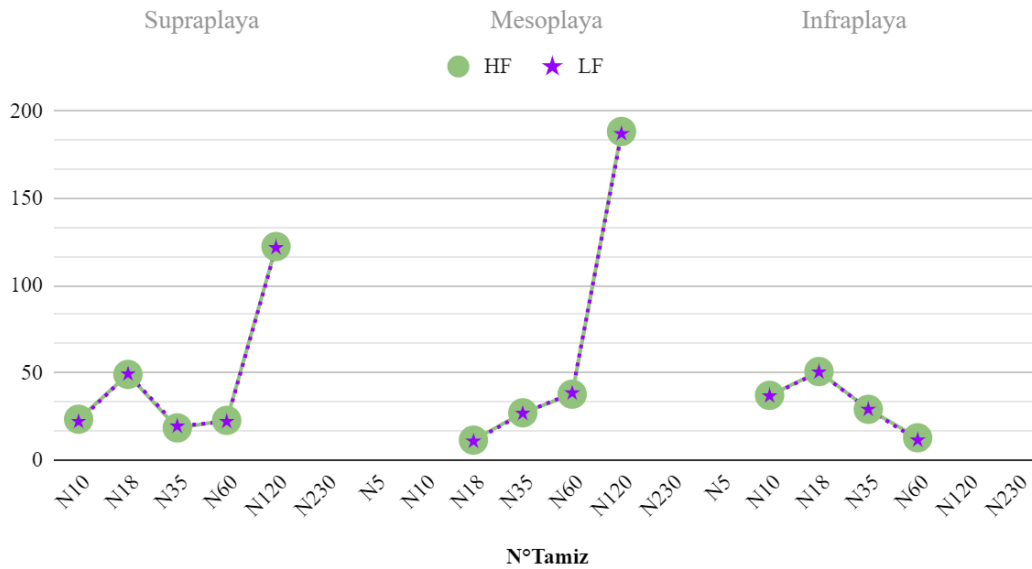


Figura 41. Susceptibilidad línea 4.

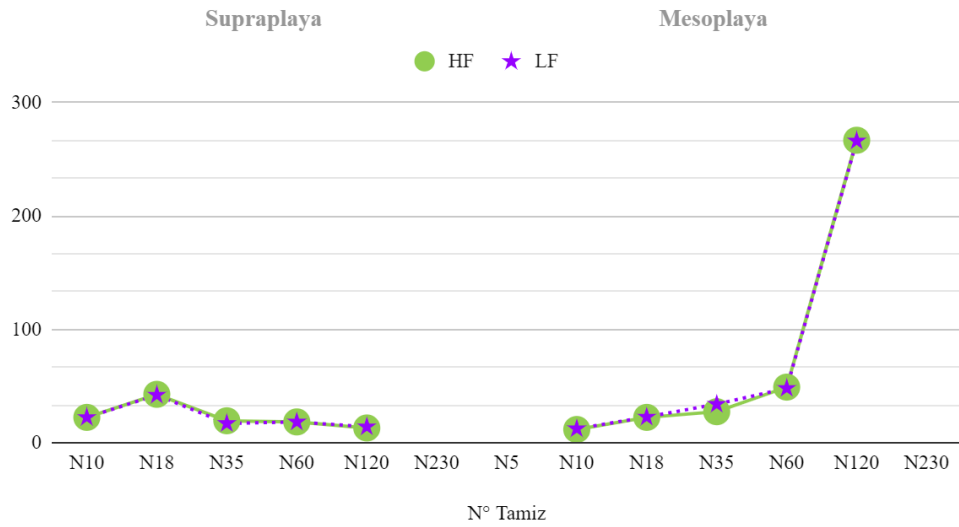


Figura 42. Susceptibilidad línea 5.

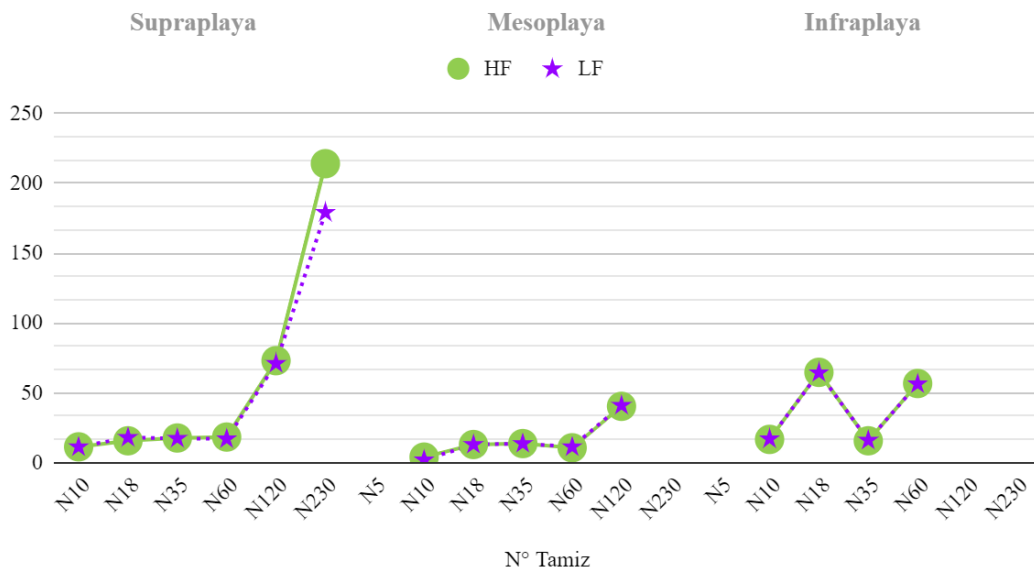


Figura 43. Susceptibilidad línea 6.

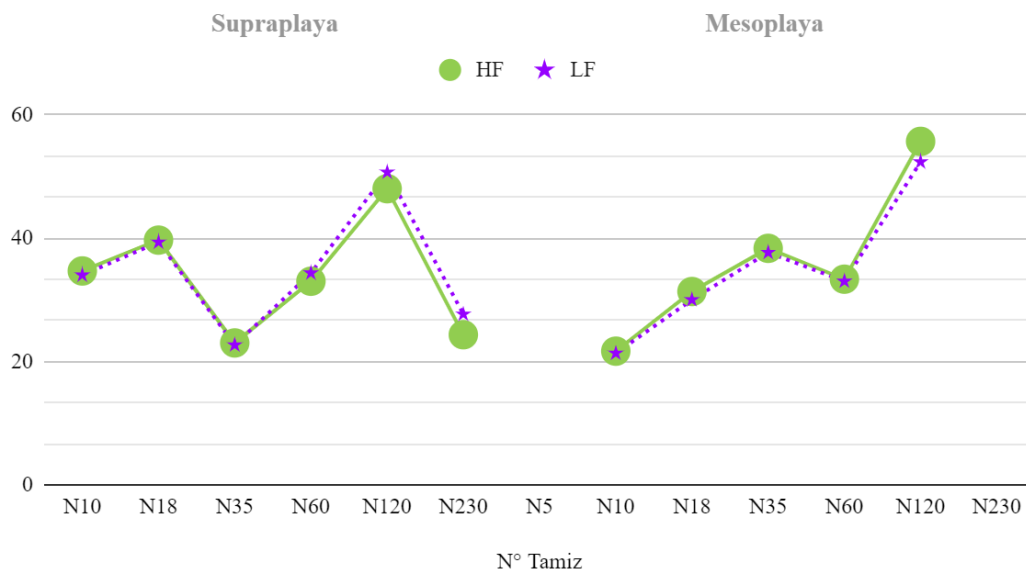


Figura 44. Susceptibilidad línea 7.

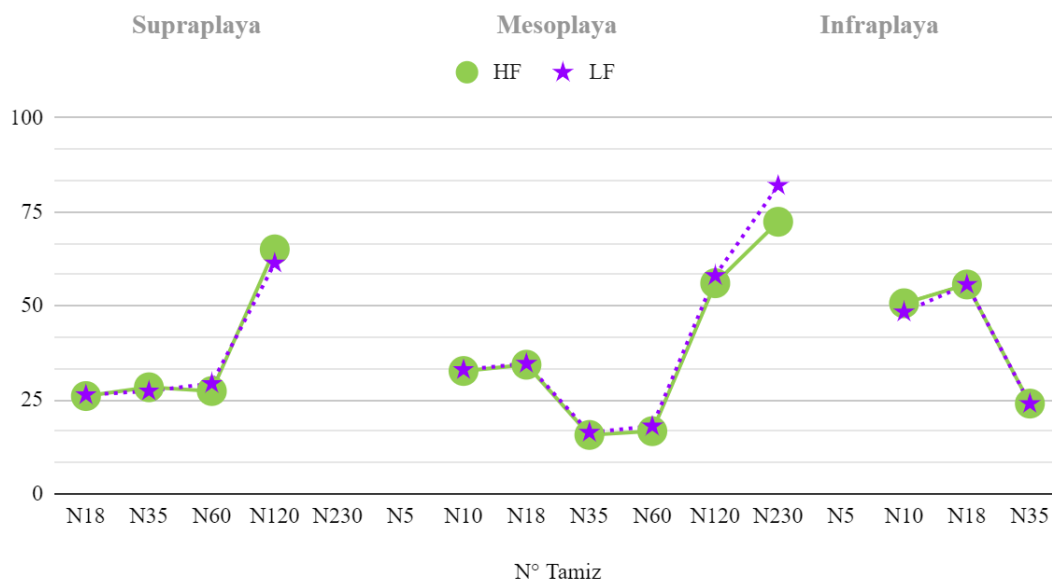


Figura 45. Susceptibilidad línea 9.

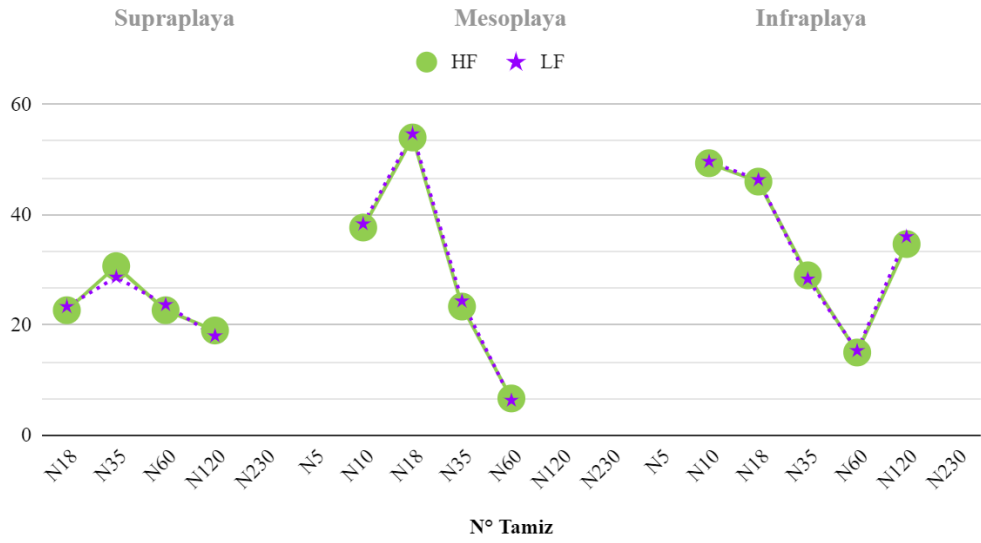


Figura 46. Susceptibilidad línea 10.

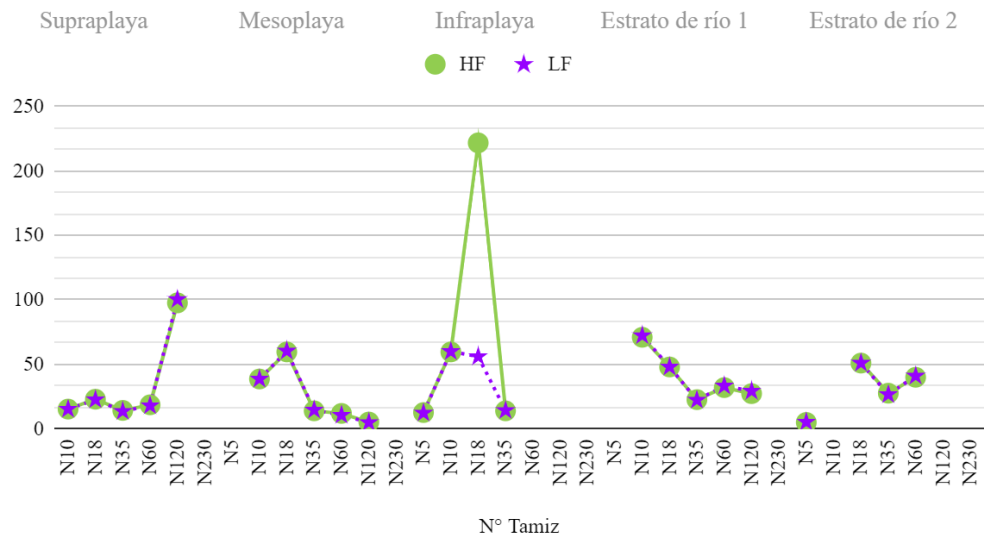


Figura 47. Susceptibilidad línea 11.

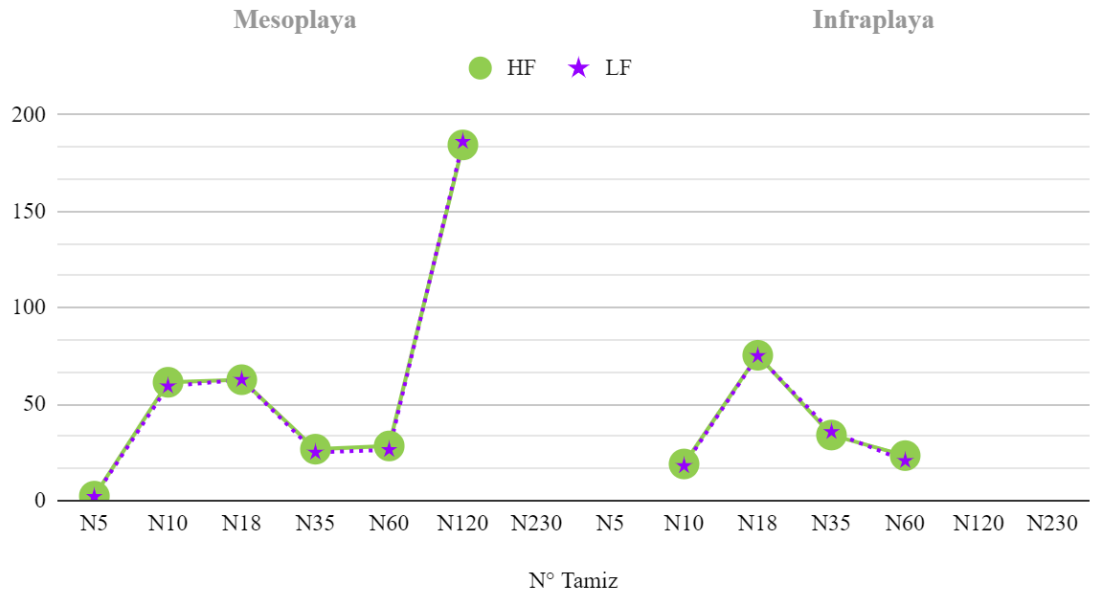


Figura 48. Susceptibilidad línea 12.

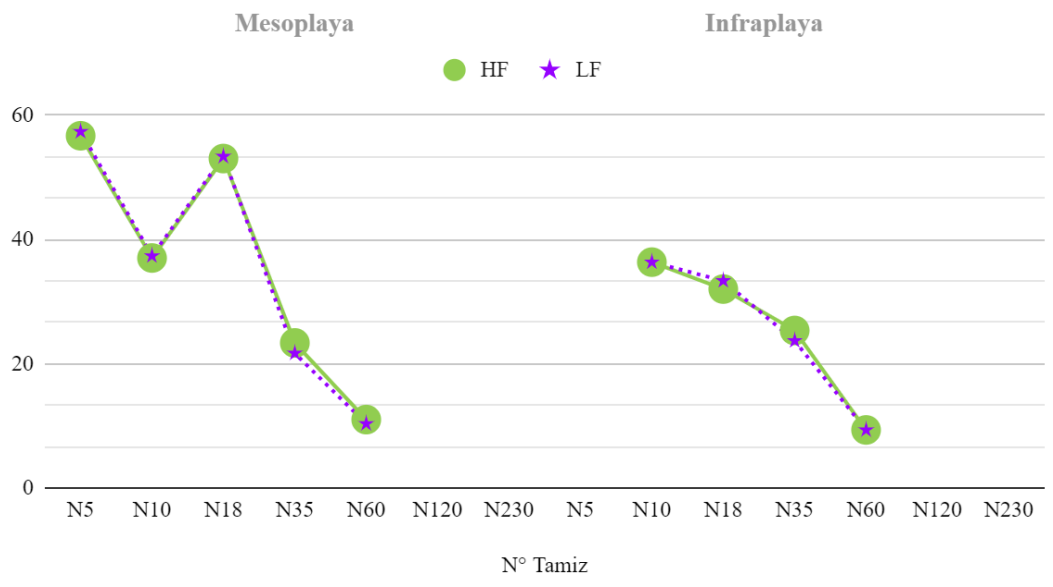


Figura 49. Susceptibilidad línea 13.

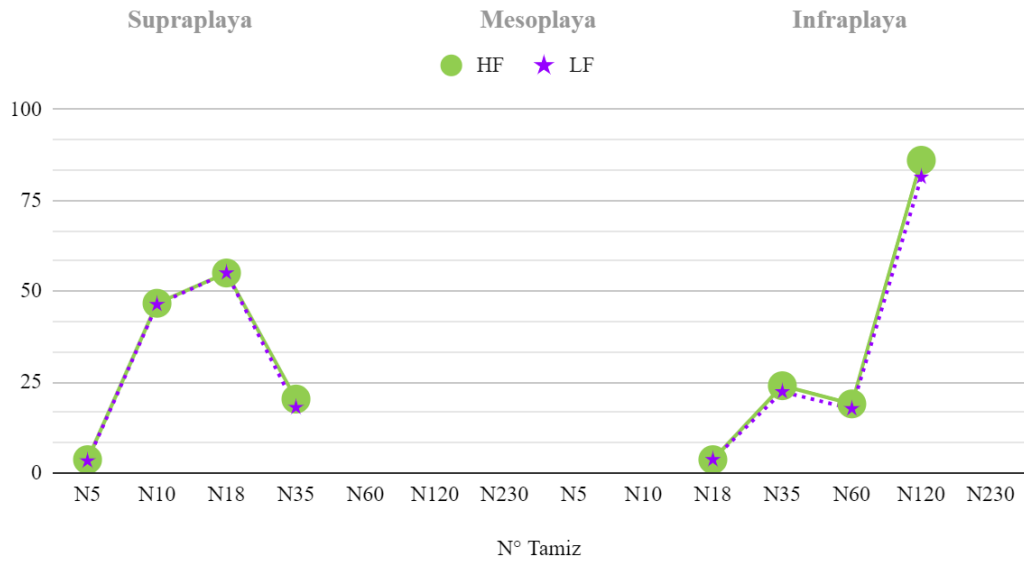


Figura 50. Susceptibilidad línea 14.

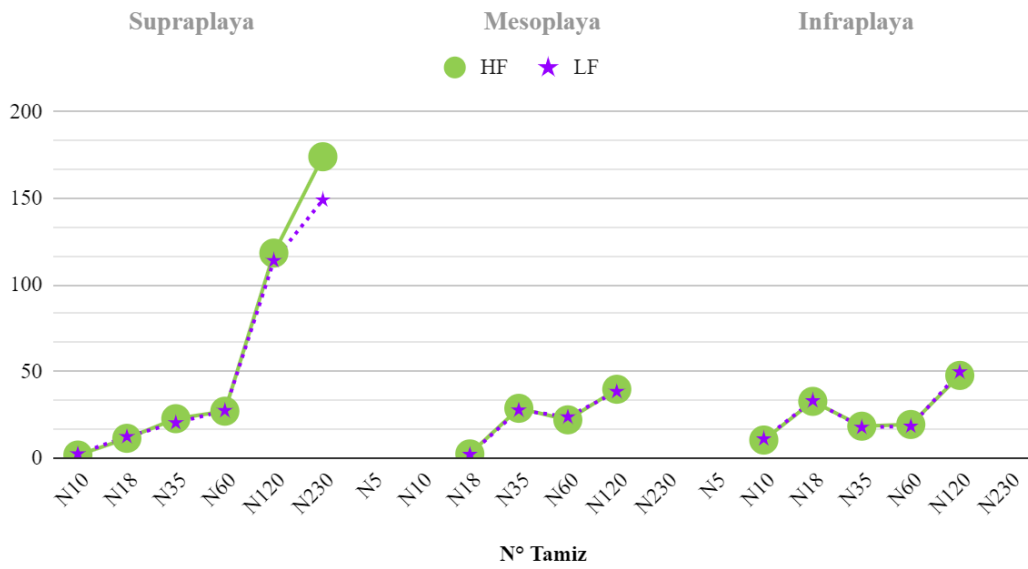


Figura 51. Susceptibilidad línea 15.

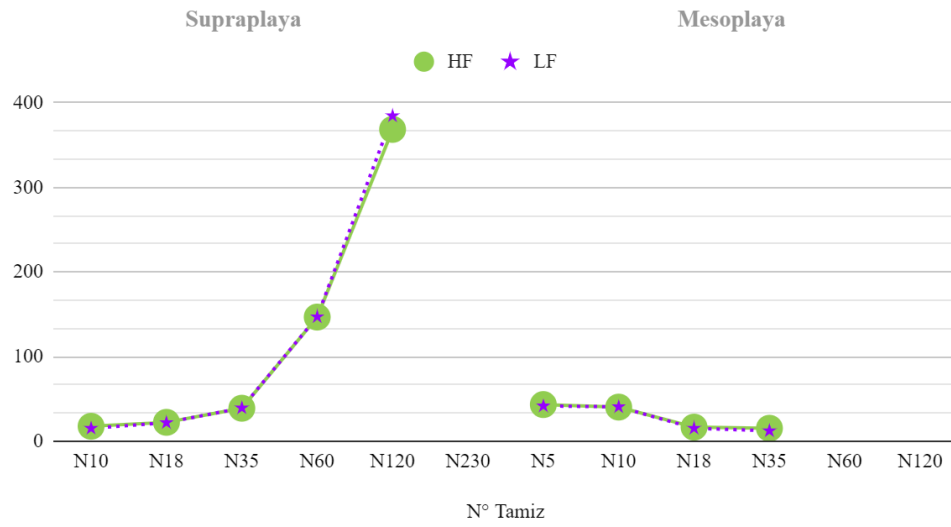


Figura 52. Susceptibilidad línea 16.

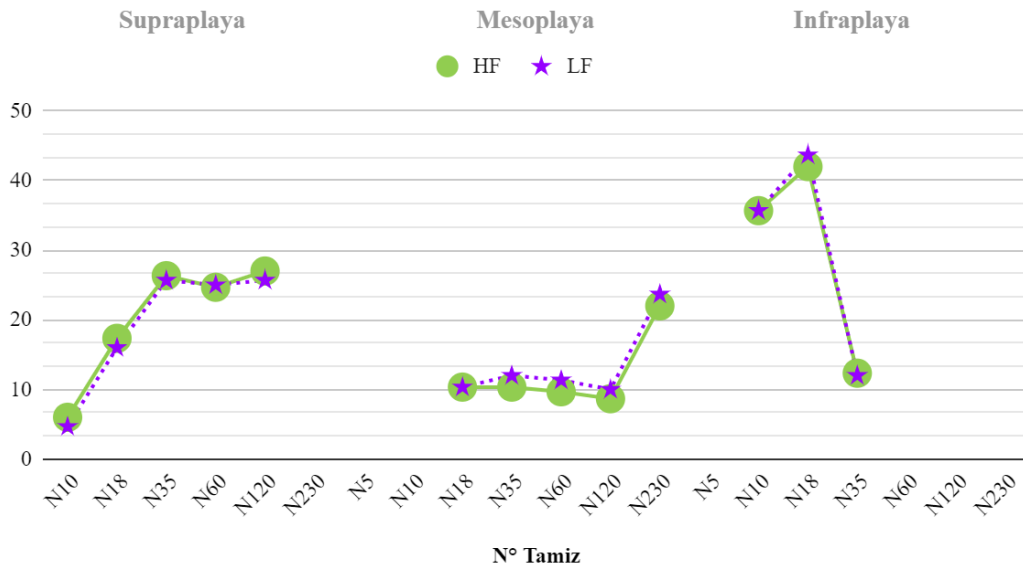


Figura 53. Susceptibilidad línea 17.

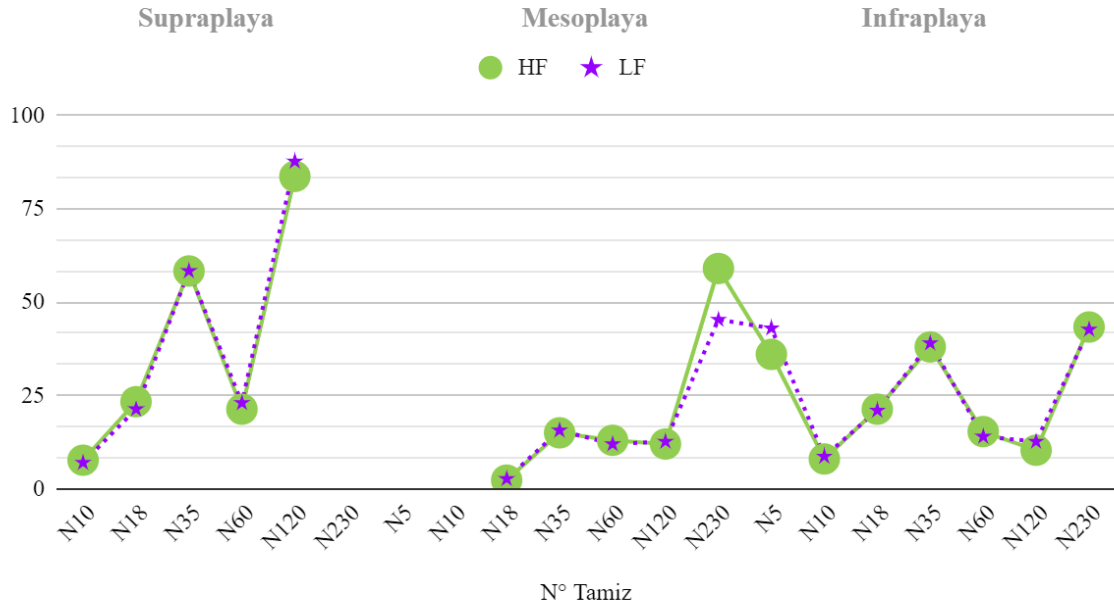


Figura 54. Susceptibilidad línea 18.

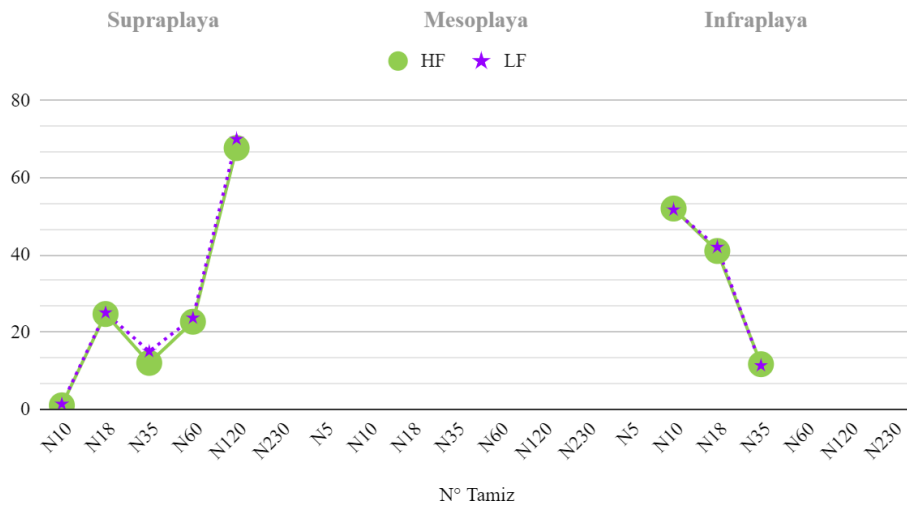


Figura 55. Susceptibilidad línea 19.

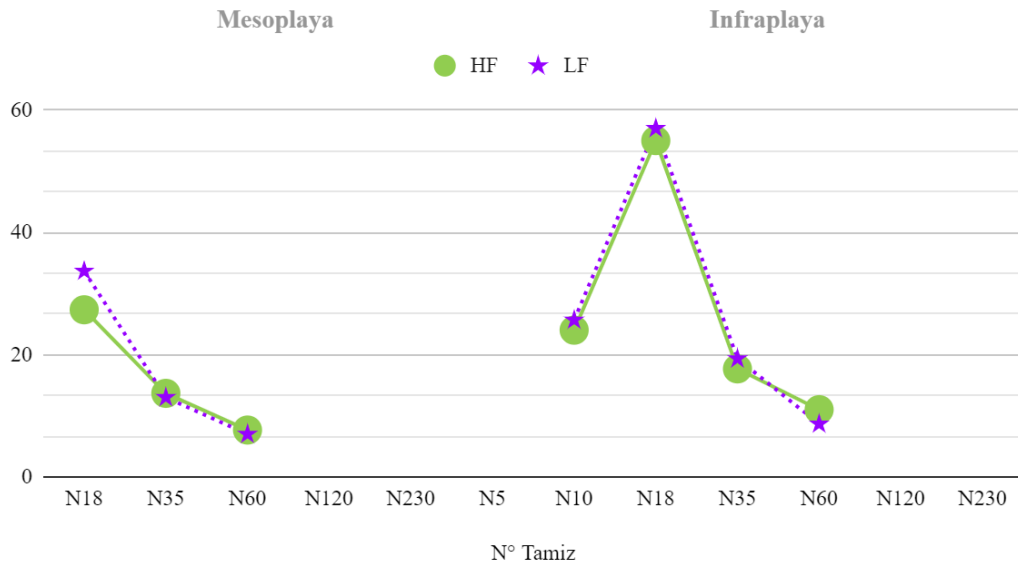


Figura 56. Susceptibilidad línea 20.

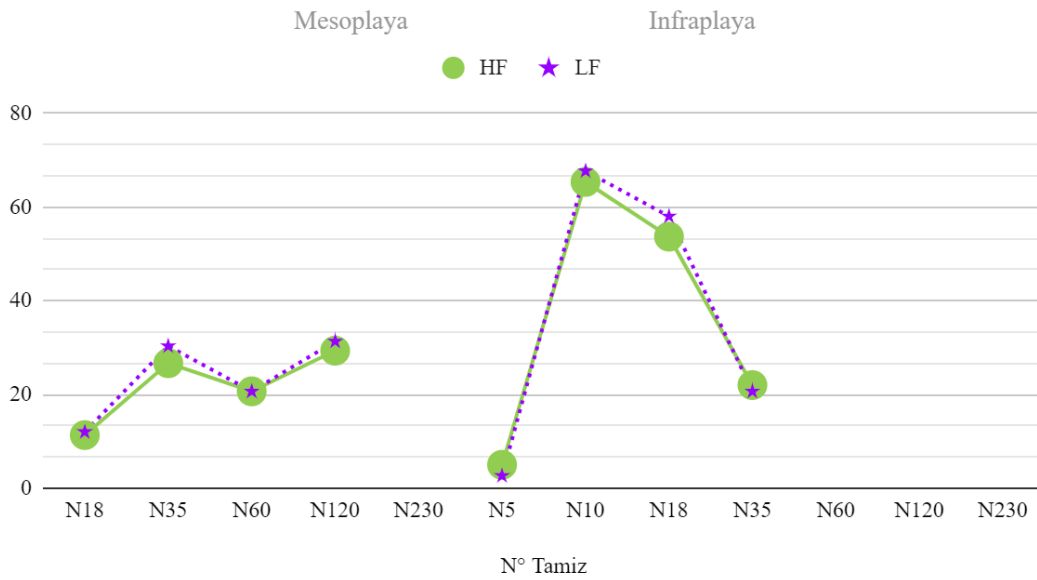


Figura 57. Susceptibilidad línea 21.

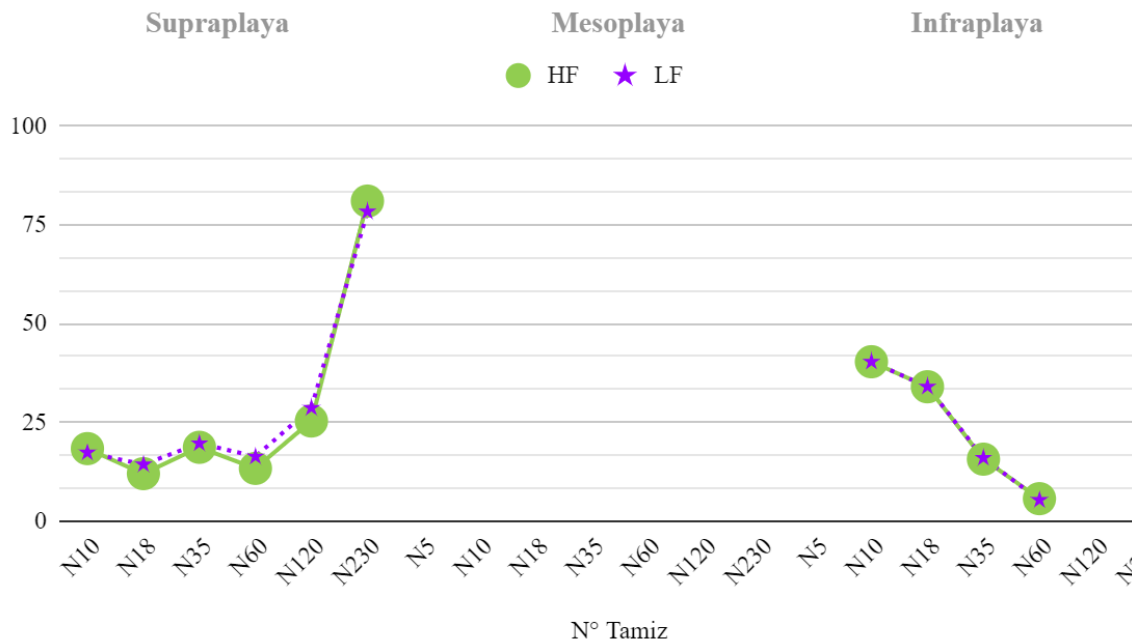


Figura 58. Susceptibilidad línea 22.

A continuación, se presentan diversas figuras que ilustran la distribución de los niveles de susceptibilidad en el terreno, diferenciando cada una según el tamaño del sedimento. Los tamaños varían desde grava fina, que corresponde al nivel N5, hasta arena fina, asociado al nivel N230. Para representar esta información, se utilizó una paleta de colores que va desde un degradado de azules hasta amarillos; los tonos azules indican los valores más bajos de susceptibilidad, mientras que los amarillos reflejan los niveles más altos.

Es importante señalar que cada interpolación cuenta con su propia escala de valores, dado que en cada categoría de sedimento se observaron rangos diferentes de susceptibilidad. Además, en el centro de cada interpolación se puede identificar la desembocadura del Río Pitillal, lo que añade un contexto geográfico a los datos presentados. La variabilidad en la susceptibilidad del terreno según el tipo de sedimento puede tener importantes implicaciones para la gestión de recursos y el desarrollo sostenible en la región.

Gráficas de medición de susceptibilidad interpoladas por tamaño de sedimento.

Dentro de los resultados de la susceptibilidad, se muestra una forma diferente de observarlos, ahora no como línea individual sino como conjunto de medidas respecto a un mismo tamaño de sedimento, es decir un mapa de distribución de susceptibilidad por cada clasificación del sedimento derivado del tamaño de grano. Estos mapas de distribución se realizaron en jupyter notebooks, implementando una interpolación cúbica, con el fin de suavizar los bordes ya que para este caso, no todas las muestras contaban con todos los tamaños de sedimento, por lo mismo en ciertos mapas se tenían menos muestras y realizar algún otro método de interpolación resultaba en bordes muy pronunciados. La figura 59 muestra como se observan estas interpolaciones en una vista 3D, mientras que las figuras 60-65 son vistas de planta.

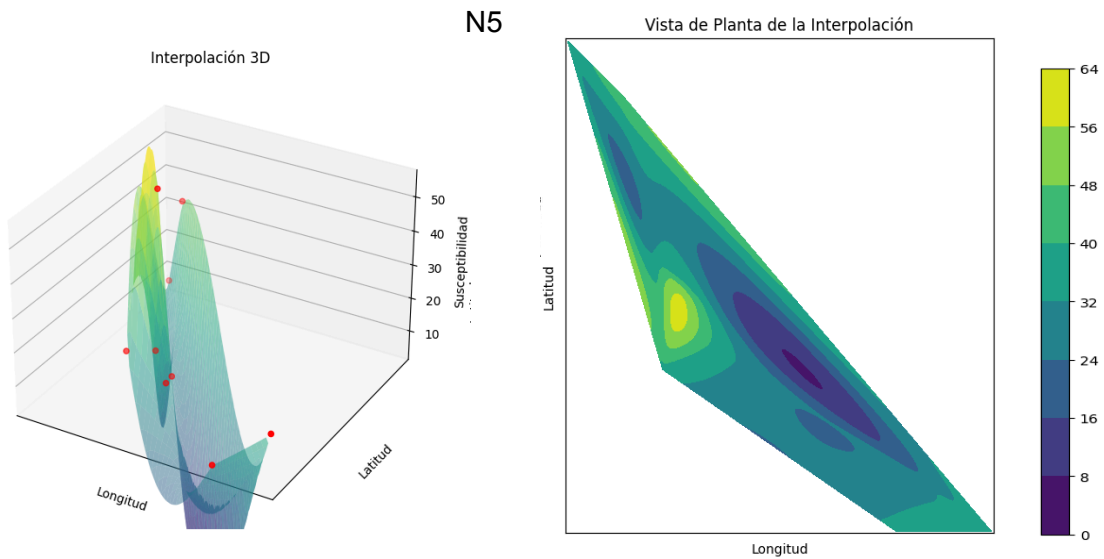


Figura 59. Interpolación en 3D y vista de planta de la rejilla N5.

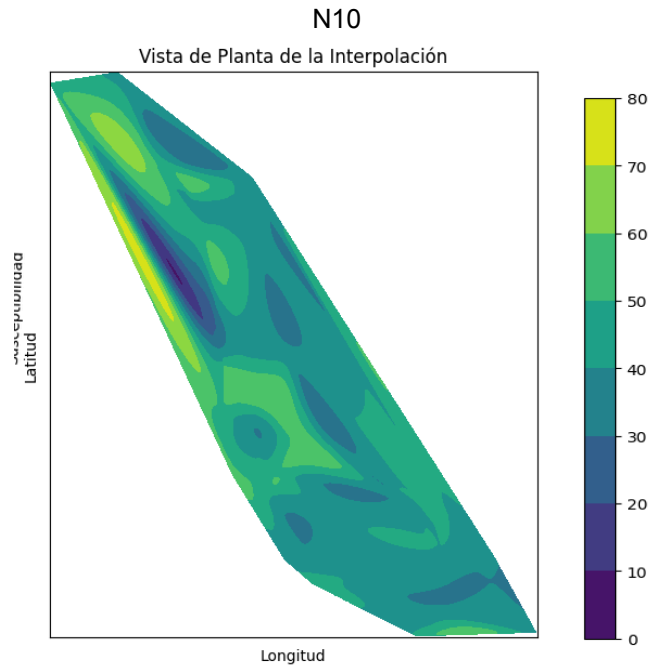


Figura 60. Vista de planta de la interpolación de la rejilla N10.

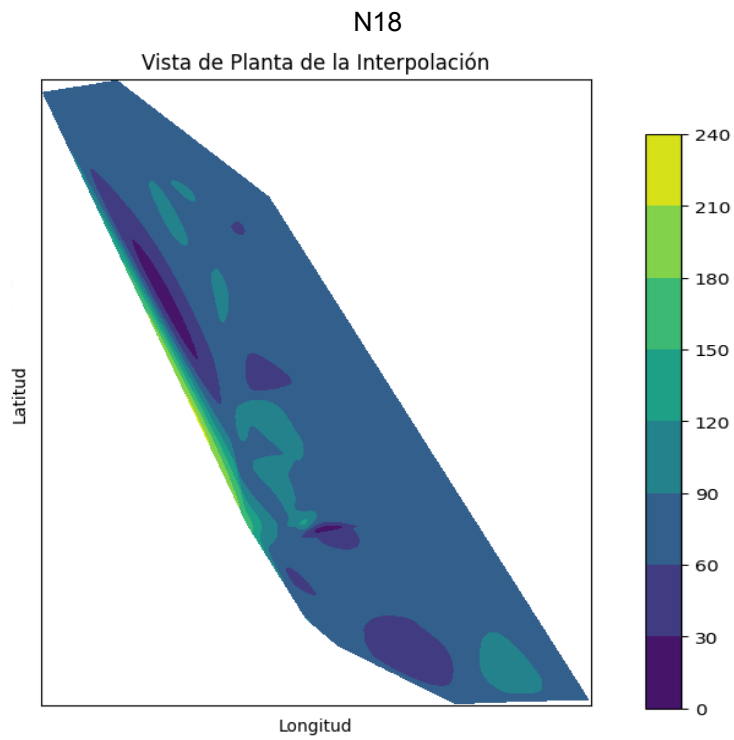


Figura 61. Vista de planta de la interpolación de la rejilla N18.

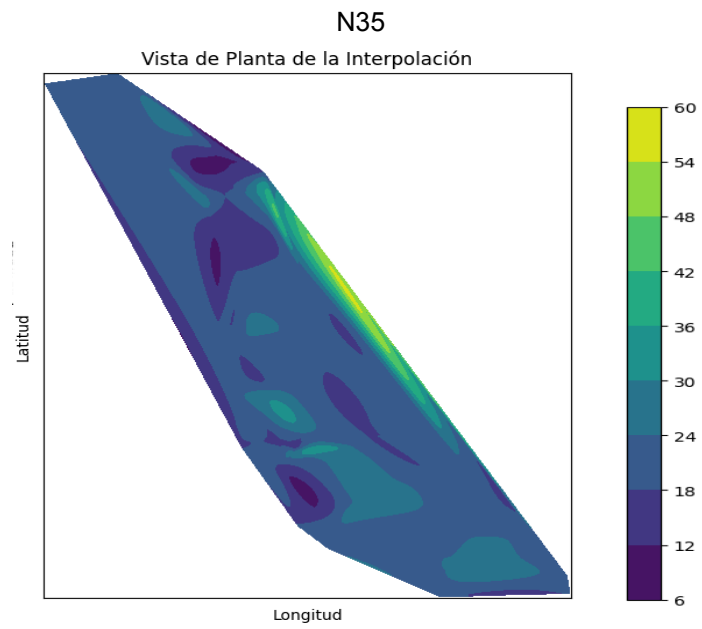


Figura 62. Vista de planta de la interpolación de la rejilla N35.

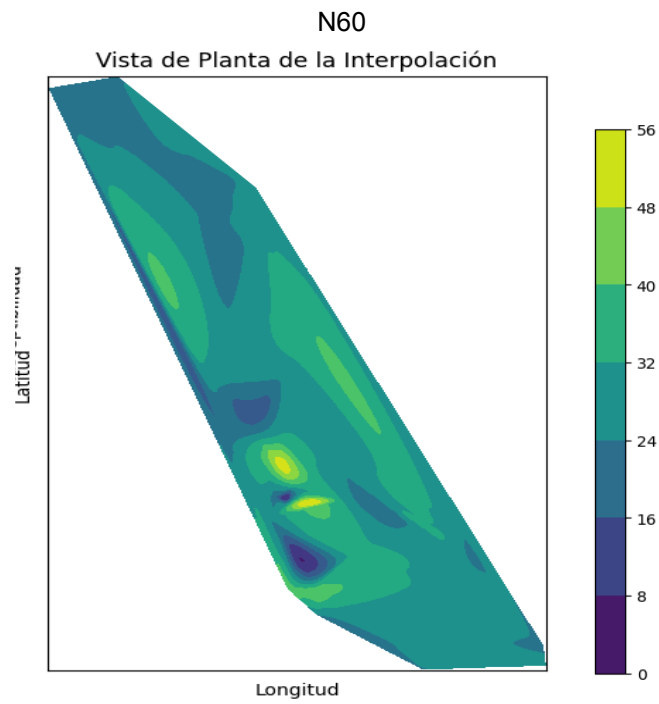


Figura 63. Vista de planta de la interpolación de la rejilla N60.

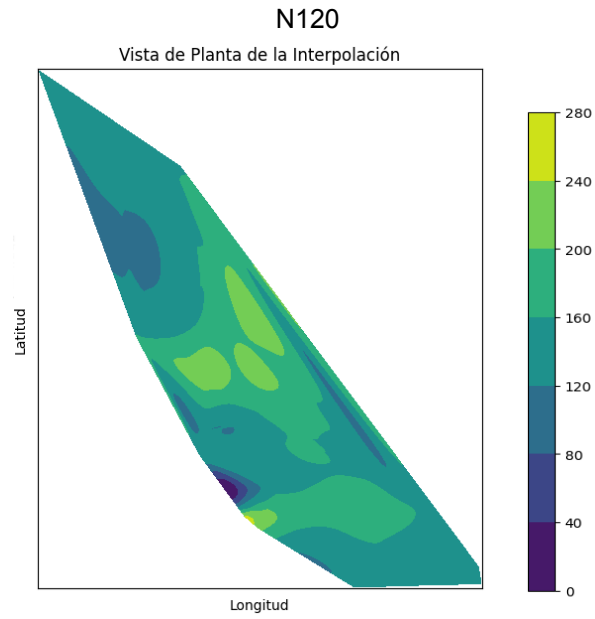


Figura 64. Vista de planta de la interpolación de la rejilla N120.

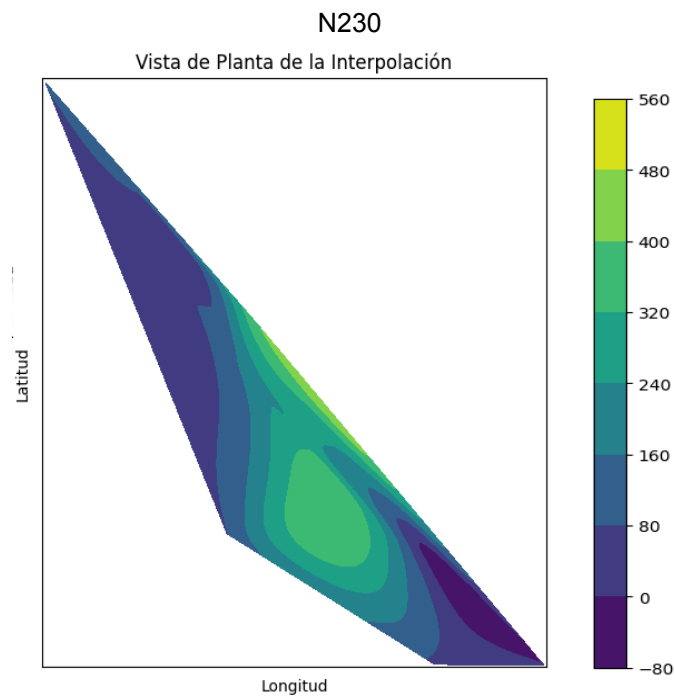


Figura 65. Vista de planta de la interpolación de la rejilla N230.

5.4. Fluorescencia de rayos X

Con los resultados obtenidos en nuestro análisis, generamos dos gráficas que ilustran de manera clara el contenido de elementos destacados en los sedimentos, expresado en partes por millón (ppm).

Para facilitar una mejor visualización e interpretación de los datos, decidimos separar la información en diferentes gráficos. En la figura 64, se presentan los elementos dominantes hallados en las muestras analizadas. Estos incluyen al Hierro, el Calcio y el Potasio, que destacan notablemente por su concentración. Estos elementos juegan un papel crucial en el contexto geológico y ambiental de los sedimentos, ya que su presencia puede influir en la composición química del suelo.

Por otro lado, la figura 65 muestra los elementos secundarios que también fueron detectados durante el análisis. En esta sección, identificamos la presencia de Titanio, Azufre, Bario, Cesio, Manganeseo, Rubidio, Estroncio, Uranio, Níquel y Vanadio. Aunque estos elementos no alcanzan la misma concentración que los dominantes, su estudio es de igual importancia, ya que pueden tener implicaciones significativas en la salud ambiental y en procesos geológicos específicos. La comprensión de la distribución de estos elementos en los sedimentos es fundamental para evaluar la calidad del suelo.

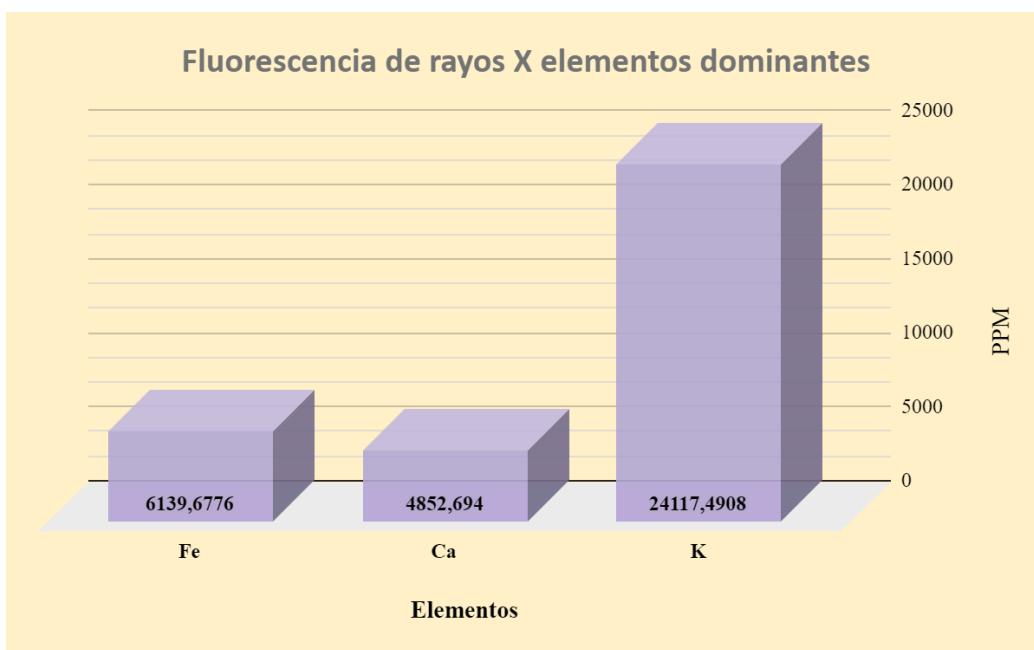


Figura 66. Fluorescencia de rayos X, elementos dominantes.

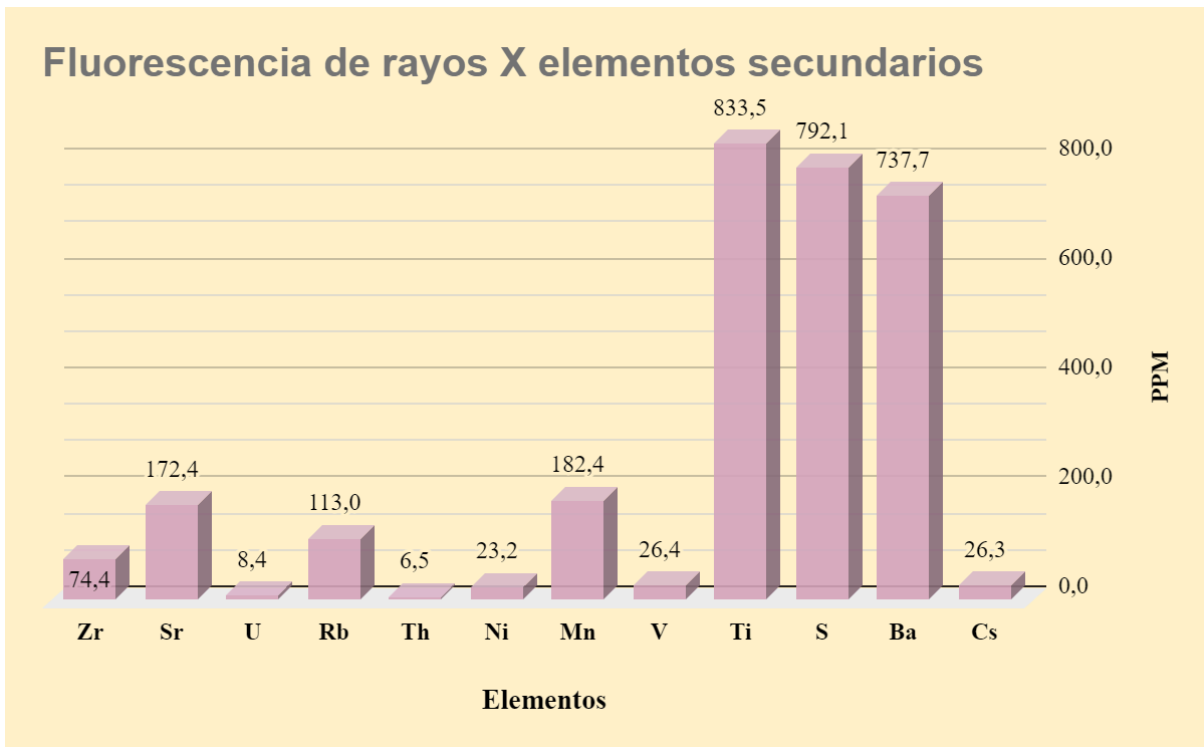


Figura 67. Fluorescencia de rayos X, elementos secundarios.

En la figura 68 se presenta la distribución de las muestras que se utilizaron para la medición de FRX, de igual manera se realiza una zonificación basada en las muestras más cercanas a la desembocadura del río Pitillal, obteniendo 3 zonas de interés, la zona 1 que consiste en la parte del muestreo más alejada hacia el norte, la zona 2 que representa las muestras que están expuestas directamente a la desembocadura del río, mientras que la zona 3 consta de las muestras más alejadas hacia el sur. Una vez que se clasificaron así las zonas se realizó un diagrama por cada una de estas, tomando el promedio de los elementos representativos de cada una de las muestras, estos diagramas se observan en las figuras 69-71 donde podemos ver a detalle que en el terreno en general, el Potasio es el elemento dominante, por lo tanto geológicamente se puede asociar a un origen magmático o metamórfico de las rocas que formaron las arenas, conteniendo minerales como feldespatos mismos que pueden ser fuente del elemento, en cuanto al suelo también puede reflejar condiciones climáticas o de formación que favorezcan la conservación de este elemento, como lo son los suelos ricos en materia orgánica.

Respecto a los elementos secundarios mostrados en la figura 66 se destacan el Titano, Azufre y Bario, elementos que nos pueden indicar algunas condiciones presentes en las arenas.

Titanio (Ti): Sugiere la posible presencia de minerales como el rutilo o la ilmenita, que son fuentes de titanio y se encuentran comúnmente en arenas, su origen puede provenir de material ígneo o metamórfico.

Azufre (S): Suele asociarse con procesos biogeoquímicos o sedimentarios, siendo un indicador de un ambiente donde los compuestos de azufre se han acumulado. De igual manera puede sugerir la presencia de minerales sulfurados o la influencia de actividad biológica, como la descomposición de materia orgánica.

Bario (Ba): Puede indicar la influencia de sedimentos marinos o la actividad de organismos que incorporan bario en sus estructuras, como foraminíferos. También puede estar asociado con la presencia de rocas sedimentarias que contienen minerales de bario, como la baritina.

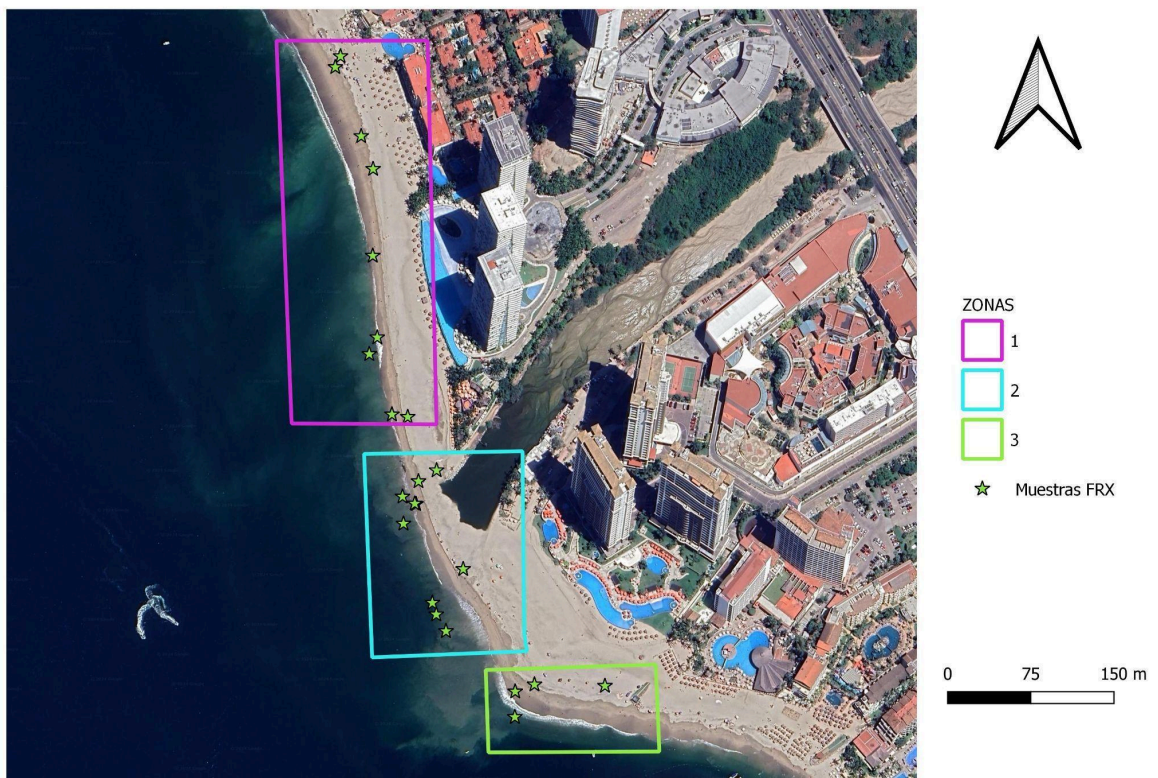


Figura 68. distribución de las muestras usadas para FRX y concentraciones de los elementos principales por zonas

Zona 1

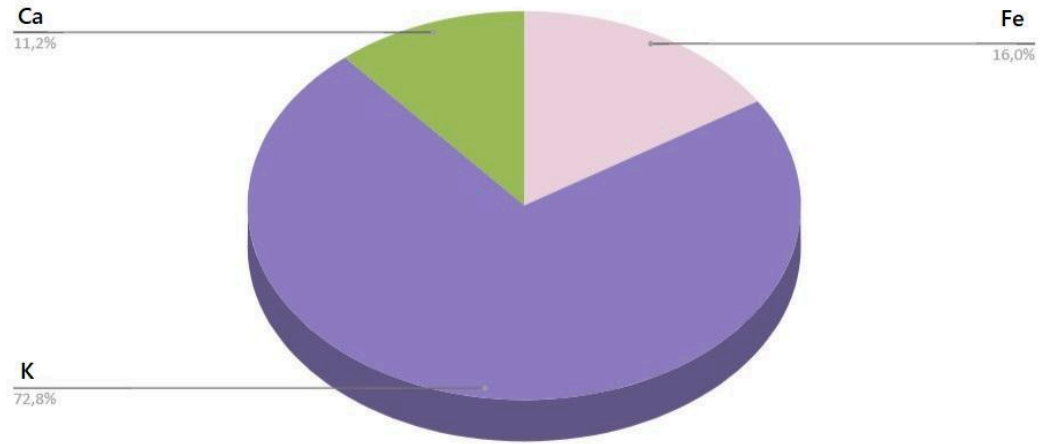


Figura 69. Diagrama del contenido de elementos dominantes en la zona 1.

Zona 2

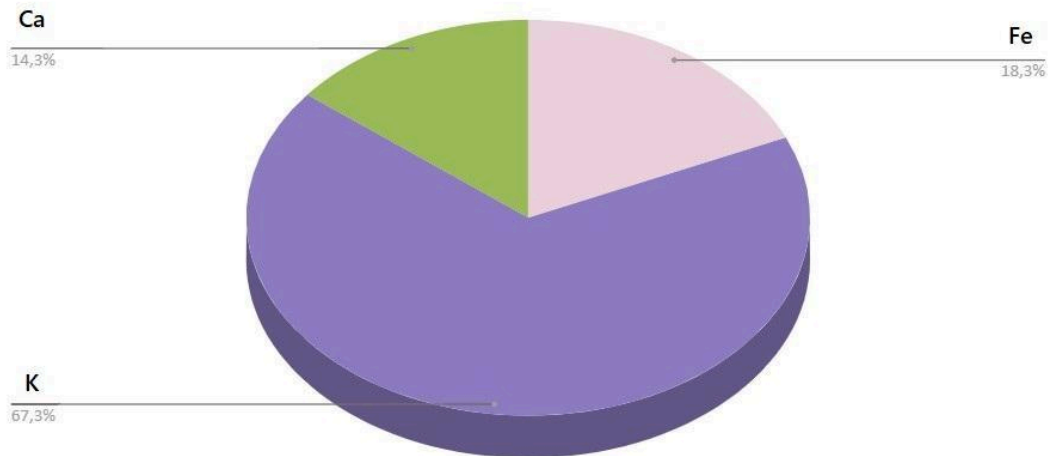


Figura 70. Diagrama del contenido de elementos dominantes en la zona 2.

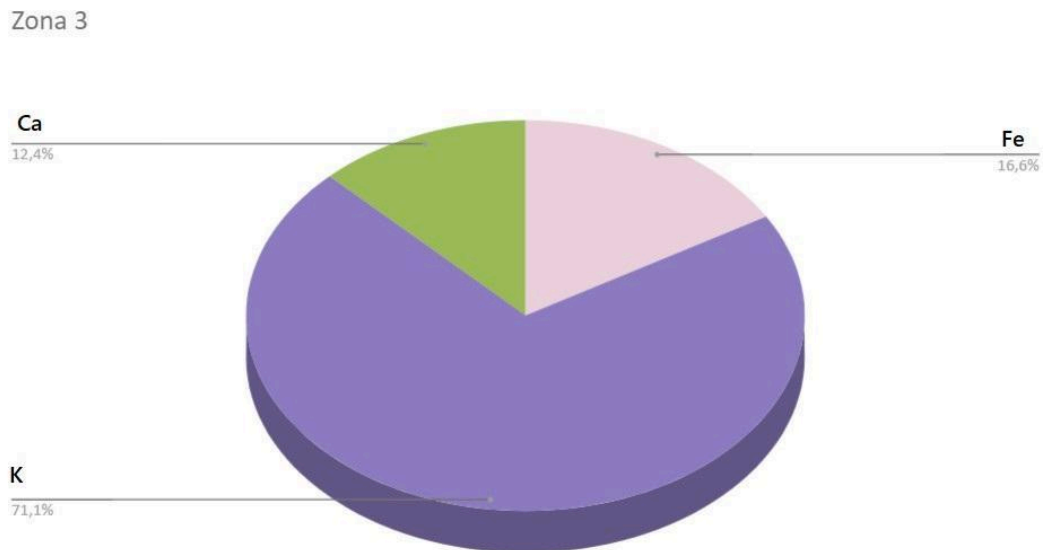


Figura 71. Diagrama del contenido de elementos dominantes en la zona 3.

VI. Discusión:

En relación con la morfología del área analizada, a partir de los perfiles de playa, se identifican notablemente los desniveles existentes en las proximidades del río, en particular en la franja denominada "intermedia o intermareal". Esta zona intermareal se configura como un canal que conecta el río con el mar, permitiendo el tránsito de agua en períodos de bajo caudal, lo que a su vez contribuye a la dinámica sedimentaria de la playa. Adicionalmente, es importante destacar que la playa presenta pendientes que oscilan en torno a los 30° en las áreas más distantes de la desembocadura del río Pitillal, lo que indica una inclinación pronunciada que puede influir en la erosión y acumulación de materiales en este sistema litoral.

Un aspecto crucial que considerar respecto a los resultados obtenidos es la temporalidad de la recolección de datos. La playa es un entorno altamente dinámico, sujeto a variaciones continuas tanto en la acción del oleaje como en el aporte sedimentario proveniente del río Pitillal. La Figura 72 revela los cambios

significativos que ocurrieron en la morfología de la playa en un intervalo de un mes, evidenciando cómo las condiciones estacionales influyen en su configuración. Es relevante señalar que el estudio se realizó durante una temporada de lluvias, precedida por tormentas tropicales, lo que representó una anomalía climática que alteró temporalmente las condiciones del entorno. Históricamente, se ha documentado que el caudal del río tiene un impacto directo en la dinámica costera, especialmente en cuanto al transporte de sedimentos y su depósito a lo largo de la playa. La Figura 73 proporciona una comparación entre la desembocadura del río en meses de sequía y en períodos de lluvias, mostrando cómo las precipitaciones intensificadas pueden interrumpir drásticamente la línea de costa.

A partir de este análisis, se puede inferir que la playa carece de estabilidad a largo plazo. Exhibe un patrón de acreción durante la estación seca, contrastando con una disminución evidente en la temporada de lluvias. Sin embargo, su morfología tiende a ser consistente a lo largo de las distintas temporadas, lo que permite establecer un cierto equilibrio en su configuración.

El estudio de campo fue fundamental, ya que permitió la observación directa de las características sedimentarias de la playa. Combinando estas observaciones con estudios físicos, se logra desarrollar una comprensión más completa de la dinámica del oleaje en esta zona costera. Se ha determinado que el oleaje presenta una energía considerable, evidenciando la presencia de sedimentos de mayor tamaño en la zona de rompientes. Esto implica un nivel de energía superior requerido para el transporte de estos materiales, mientras que en las áreas más alejadas de la costa se pueden encontrar sedimentos de menor tamaño y más finos.

En cuanto a los resultados del análisis químico de las muestras recolectadas, podemos deducir que la presencia de rocas ígneas, como los granitos, puede dar lugar a la formación de sedimentos ricos en potasio (feldespatos) y hierro. Además, los sedimentos lacustres tienden a acumular calcio y otros materiales que enriquecen la composición química del ambiente costero. La detección de elementos en menor proporción, como metales pesados, sugiere que podrían tener un origen relacionado con sedimentos volcánicos, especialmente considerando la proximidad del área de estudio a la provincia fisiográfica del eje Neovolcánico. Por otro lado, el uranio y el estroncio podrían derivar de sedimentos marinos, aportando información valiosa sobre la diversidad de fuentes que contribuyen a la composición sedimentaria de la playa.

El Río Pitillal, tiene su origen en Talpa de Allende, presenta un caudal significativo que le permite recorrer diversas litologías, como se indica en la Figura 9, antes de desembocar en la playa Del Holi. Este extenso río actúa como un transportador de sedimentos, lo que implica que los materiales que arrastra pueden tener un origen variado. A partir del análisis químico de las arenas, se puede asociar la composición de estos sedimentos al eje Neovolcánico, sugiriendo que partículas o sedimentos generados en ambientes volcánicos pueden ser transportados, junto con otros materiales, hasta la zona costera de Puerto Vallarta. Este proceso de transporte y depósito es fundamental para comprender la dinámica sedimentaria en esta región y su impacto en la morfología de la playa.

Respecto a los resultados obtenidos en FRX es importante mencionar que quizá extender el área de estudio permita un mejor entendimiento de que tanto abarca la influencia de los sedimentos provenientes del río, y poder observar zonas más alejadas a dicha desembocadura y consigo la composición de los elementos presentes.

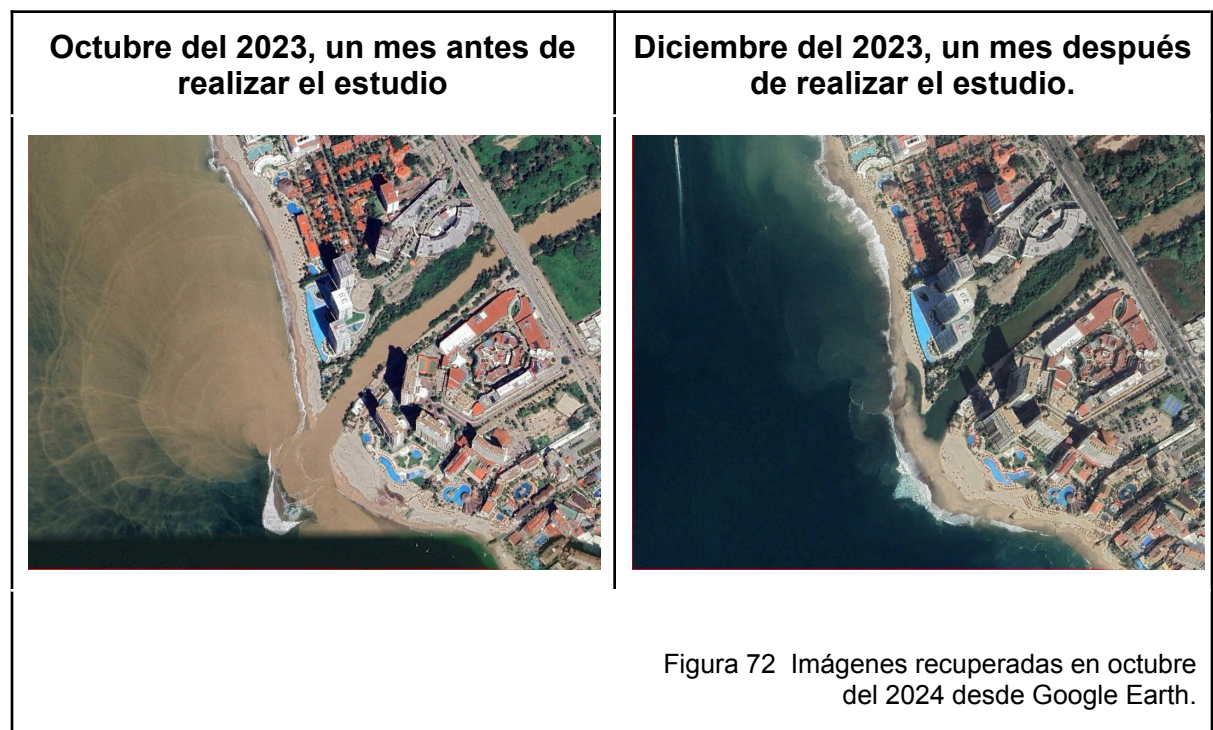




Figura 73. Imágenes comparativas a través de los años de la playa de Holi, Imágenes recuperadas en octubre del 2024 desde Google Earth.

VII. Conclusiones:

La evaluación de los procesos de erosión y crecimiento de la playa Del Holi, a través de la cuantificación de sus propiedades físicas y químicas, es fundamental para entender la dinámica costera de esta zona y su relación con factores ambientales y antrópicos. Este estudio no solo profundiza en el conocimiento del comportamiento de la playa a lo largo del tiempo, sino que también establece vínculos significativos entre la composición mineralógica de las arenas y su origen, especialmente en relación con la desembocadura del río Pitillal.

En primer lugar, la comprensión de las propiedades físicas de las arenas, como la granulometría, es esencial para evaluar cómo estos factores influyen en la erosión y el crecimiento de la playa. Por ejemplo, arenas más gruesas suelen tener una mayor capacidad de retención y estabilidad, lo que podría contribuir a la resistencia ante la erosión. Por otro lado, la determinación de propiedades químicas, como la composición mineral, permite identificar las fuentes de sedimentos y cómo estas influyen en la composición general de la playa.

La asociación del origen de los componentes mineralógicos con la composición de la playa y su relación con el río Pitillal es de particular interés. Este río, como fuente de sedimentos, puede aportar materiales que modifican la estructura y el comportamiento de la playa. Al estudiar la composición de las arenas, se puede establecer un perfil de cómo la actividad fluvial afecta la dinámica costera. Además, es posible identificar patrones estacionales en la sedimentación que pueden ser cruciales para predecir cambios en la morfología de la playa a lo largo del año.

Por último, el análisis de los procesos de erosión y crecimiento de la playa Del Holi tiene implicaciones importantes para la gestión ambiental y la planificación costera. Comprender la dinámica de esta playa permite desarrollar estrategias adecuadas de conservación y rehabilitación, así como la implementación de políticas que mitiguen el impacto del cambio climático y de actividades humanas. En este sentido, los resultados de este estudio pueden servir como base para futuras investigaciones y como herramienta para la toma de decisiones en la gestión de áreas costeras.

En este estudio se han analizado 52 de muestras sedimentarias, las cuales a su vez se dividieron en 245 submuestras para poder entender algunos procesos que se desarrollan alrededor de una costa, estos análisis tienen importancia para el desarrollo amigable con el ambiente y su entorno, principalmente se pudo conocer la influencia que tiene el río con respecto a la playa y como esta misma está

sometida a diversos aportes y cambios morfológicos a lo largo de un año. De igual manera el conocimiento sobre el origen de los sedimentos presentes amplió la perspectiva de los mecanismos de erosión y transporte.

Al realizar un levantamiento topográfico en la zona como los perfiles de playa, se pudo notar de manera gráfica que tan abruptos pueden ser los cambios a lo largo de una zona no tan amplia en cuestión longitud de la costa, la zona de estudio tiene una playa bastante extensa logrando de los 112 m a 49m aproximadamente, mientras que en algunas zonas de la playa la pendiente era de 30° sin interrupciones, en otras se formaban escalones al nivel de la mesoplaya por causa de la desembocadura de río Pitillal.

Se puede observar la transformación morfológica que tiene la playa a través del tiempo, el cambio estacional es notable de manera marcada y al mismo tiempo se observa está sometido a los eventos que se desarrollen durante éstas, pues el comportamiento es similar en diferentes años, pero la intensidad en la que se presentan los cambios no. La zona de la desembocadura del río Pitillal es la que más cambios presenta, la temporada de secas marca erosión sinuosa en la playa, misma que sigue el cauce del río hacia el mar, mientras que, en las temporadas de lluvias más intensas, el abanico aluvial crece de manera que la playa queda interrumpida, modificando completamente la morfología de la zona. Al igual, en las comparaciones de años atrás podemos observar una regresión de la playa paulatinamente.

A partir de las características químicas de los sedimentos se infiere un gran aporte sedimentario del río, mismo que transporta sedimentos de alto contenido en hierro, elemento asociado a materiales ígneos, los cuales pueden provenir desde el extremo oriental del eje Neovolcánico, de igual manera se obtuvieron altos contenidos en potasio y calcio característicos de materiales silíceos. En menor medida destacan algunos minerales pesados cuyo origen también está asociado a materiales volcánicos.

Con los resultados obtenidos se puede seguir una línea de estudio, permitiendo entender cómo se comporta la playa en diferentes etapas del año, ya que como se observó estas son cambiantes, sin dejar a un lado el tema ambiental, pues como se pudo observar, uno de los principales transportes de sedimentos es el río Pitillal que, al tener su cauce en diferentes zonas, incluyendo la zona urbana puede ser factor de contaminación en aguas que se encuentran en el área de la desembocadura.

Referencias bibliográficas:

- Aragón, M., & Núñez, F. (2001). Geología de los alrededores de Puerto Vallarta, Jalisco, aplicada a evaluación de riesgo geológico. DCT del CICESE *Geos*, 21(3), 218.
- Universidad, Católica De Chile, Geomorfología Litoral, Instituto de Geografía, URL:https://www7.uc.cl/sw_educ/geografia/geomorfologia/html/4_3_1.html
- Ferrari, L., Pasquare, G., Venegas, S., Castillo, D., Romero, F., 1993, Regional tectonic of western Mexico and its implications for the northern boundary of the Jalisco block, *Geofísica Internacional* Vol.33
- Fernández de la Vega-Márquez, T., Prol-Ledesma, R., 2011 Imágenes Landsat™ y modelo digital de elevación para la identificación de lineamientos y mapeo litológico en Punta Mita (México). *Boletín de la sociedad geológica mexicana*, vol. 63
- Smith Aguilar, S., 2009, Tesis:Análisis estructural de la canción de la ballena jorobada (*Megaptera novaeangliae*). Variación individual, temporal y geográfica en la Bahía de Banderas y alrededores de la Isla Socorro, México. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Comisión Estatal del Agua Jalisco URL:<https://www.ceajalisco.gob.mx/contenido/rios/>
- Barrera, O., 2002, Consideraciones geomorfológicas sobre la sierra Madre Occidental en el norte de Jalisco, México, Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingeniería, UDG., *Investigaciones Geográficas* no.48
- Moncayo-Estrada, R., Castro-Aguirre, J., De la Cruz Agüero, J., 2006 Lista sistemática de la ictiofauna de Bahía de Banderas, México, CICIMAR-CIIDIR-IPN, *Revista mexicana de biodiversidad* vol.77
- Instituto de Información Estadística y Geográfica del Estado de Jalisco.
- Ecologistas en acción(2023) Decálogo para una gestión de playas URL:<https://www.ecologistasenaccion.org/>
- Yepes Piqueras, V.,(1999) Las playas en la gestión sostenible del litoral, Agencia Valenciana del turismo, cuadernos de turismo N°4.
- Sánchez-Arcilla, A., Jiménez, J.A.,(1994) Ingeniería de playas (I): Conceptos de Morfología Costera, Universidad Politécnica de Catalunya, Vol 1.
- Dirección General del Observatorio Ambiental, Morfología de playas, Ministerio del Medio Ambiente y Recursos Naturales, URL:<http://rcc.marn.gob.sv> tomado y adaptado del manual de dunas costeras del ministerio de medio ambiente de españa.
- Academia nacional de investigación y desarrollo,“Estudio de la vulnerabilidad y programa de adaptación ante la variabilidad climática y el cambio climático en diez destinos turísticos estratégicos, así como propuesta de un sistema de alerta

temprana a eventos hidrometeorológicos extremos”, fondo sectorial conacyt-sectur, proyecto 165452.

-Ramos, J.L.,(2024) Turismo extranjero en playas supera los niveles prepandemia, El Sol de México/CONCANACO SERVYTUR MÉXICO. URL:<https://www.concanaco.com.mx/turismo/notasdeinteres/turismo-extranjero-en-playas-supera-los-niveles-prepandemia>

-Priano, C., Señas, L., Maiza, P., Marfil, S. A., & Valea, J. (2008). Influencia de la composición y morfología del agregado fino en el comportamiento mecánico de morteros cementicios. In *Congreso Argentino de Áridos* (Vol. 1).

-M. Herranz, J.P. Bolívar Raya, E.Liger Pérez, J.Payeras Socias, J. L. Pinilla Matos (2007), Procedimiento de toma de muestras de sedimentos para la radiactividad ambiental, Consejo de Seguridad Nuclear. URL: [https://www.csn.es/ Procedimiento 1.1](https://www.csn.es/Procedimiento1.1)

- López Aguiar, L.K., Olivares Amador, J. L., Aguilera Rivera, D., Pacheco Góngora, E. Manual de Práctica Para colecta de muestras de sedimento, UNAM,/ Proyecto PAPIME PE203921

-Sławomir Janas,Tadeusz Magiera, Tadeusz Szumiata,(2022)SUSCEPTOMETER IN SOIL MAGNETIC SUSCEPTIBILITY STUDIES, Polska Akademia Nauk, PAN., vol 29.

-Escobar, M.A., Alatorre, M., (2005) Medición de Susceptibilidad Magnética \mathcal{D} de Materiales., Laboratorio de propiedades magnéticas, CENAM., URL: <https://www.cenam.mx/>

-Dearing, J. (1999), Environmental Magnetic Susceptibility Using the Bartington MS2 System, Bartington Instruments, URL:<https://www.bartingtondownloads.com/>

-Pérez Díaz, L.A., Serna Saiz, J., Torres Quezada, H. (2024), Preparación de muestras sólidas para el análisis por fluorescencia de rayos X: una revisión., Instituto Nacional de Metrología Colombia., pg.22-23

-SciAps, Tecnología XRF,<https://es.sciaps.com/products/xrf/what-is-xrf>

-La librería del ingeniero,(2017), Análisis granulométrico por Tamizado. URL:<https://www.libreriaingeniero.com/>

-CEA Jalisco (17/10/2024) Cuencas hidrológicas <https://www.ceajalisco.gob.mx/contenido/rios/>

-SLB (18/10/2024) Energy Glossary <https://glossary.slb.com/>

-SGM., 2008, Carta geológica-minera de los estados de Colima y Jalisco.

-Paizanni H., F., Romo Ramírez, J., Gamez Ordaz, V., Ávila Lugo, F., 1999, Carta geológica-minera Puerto Vallarta F13-11 Jalisco y Nayarit. SGM, CONACYT 1-30017T)

-SGM, 2008, Carta magnética Jalisco.