

**MODELO FACIAL A PARTIR DEL ANALISIS DE LOS SEDIMENTOS
DE ZONA COSTERA EN EL FONDO DE LA BAHÍA DE
CARTAGENA, DEPARTAMENTO DE BOLÍVAR.**

DIANA ALLEN FRANCO ARIAS



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICOQUIMICAS
ESCUELA DE GEOLOGÍA
BUCARAMANGA**

2009

**MODELO FACIAL A PARTIR DEL ANALISIS DE LOS SEDIMENTOS DE ZONA
COSTERA EN EL FONDO DE LA BAHÍA DE CARTAGENA, DEPARTAMENTO
DE BOLÍVAR.**

DIANA AILLEN FRANCO ARIAS

Proyecto de grado para optar el titulo de: geóloga.

Director:

Msc Alberto Ortiz Fernández

Co-Director:

Msc Juan Camilo Restrepo López.

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICOQUIMICAS
ESCUELA DE GEOLOGÍA
BUCARAMANGA**

2009

DEDICATORIA

A Dios fiel amigo y fortaleza diaria en mi camino por alcanzar una de las metas más importantes trazadas en mi familia.

A mis padres Nory Stella y Reinaldo quienes han dedicado una parte de su vida a guiar y apoyar el sueño de su hija: "ser una profesional integra".

A mis hermanos Ronald y Hernán quienes con su cariño, alegría y palabras animan mi vida a diario.

AGRADECIMIENTOS

A toda mi familia por apoyar y bendecir mis labores.

Al geólogo Alberto Ortiz, quien depósito confianza en nosotras para realizar un trabajo con su apoyo profesional, psicológico y social.

Al Ing. Juan Camilo Restrepo quien con su paciencia, amistad y conocimientos nos guio en cada paso del trabajo para realizar un trabajo ordenado e interesante.

Al Profesor Juan Diego Colegial, quien ha sido una guía incondicional en toda mi carrera brindándome consejos para mejorar día a día.

A los profesionales del Instituto Colombiano del Petróleo vinculados al Grupo de Investigación en Estratigrafía en especial a Nelson Sánchez, Freddy Niño, Nestor Gamba y Carlos Ruiz por permitir crear espacios que nos ayuden a fortalecer nuestros conocimientos y crecer como profesionales.

Al cuerpo docente de la Escuela de Geología y de la Universidad Industrial de Santander, especialmente a los Geólogos Víctor Caballero y Jorge Rubiano por compartir con nosotros sus conocimientos para formar los profesionales del mañana.

A mi compañera y amiga Yamile por acompañarme y ayudarme en toda la elaboración del proyecto.

A mis compañeros de aventuras en la Universidad Jael Andrea, Clarita, Wendy, Reynaldo, Jose David, Cristian, Ruben, Erika, Lizeth, Andrea, Aldemar, Vanesa y Alexa por compartir conmigo.

A mis amigos Fernando, Juan Carlos, Alex, Andrea Nataly, Paolita, Jenifer, Yeimy, Adriana, Marlon, Carolina y Edilson por escuchar mis preocupaciones, alegrías y tristezas durante toda mi carrera.

A los profesionales vinculados al Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas en Cartagena: CF Luis Otero, S1 Nixon Torres, S3 Juan Ortiz, Julio Gutiérrez, Fernando, Paola y Juan Carlos por brindarnos apoyo durante nuestra estadía en el CIOH para cumplir con nuestros objetivos.

A Andrés, Eder, Sandra y Claudia por compartir con nosotras durante los días de trabajo en el CIOH.

A Nelsón Rangel Geólogo del Invemar por su tiempo para revisar mi trabajo.

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	1
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	2
1.1 Planteamiento del problema	2
1.2 Hipótesis	3
1.3 Justificación.....	4
OBJETIVOS	5
2.1 OBJETIVO GENERAL.....	5
2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS	5
3 LOCALIZACIÓN DEL AREA DE ESTUDIO	6
4 METODOLOGÍA.....	9
4.1 RECOPIACIÓN BIBLIOGRAFICA	9
4.1.1 Análisis de Información	10
4.2 FASE DE CAMPO.....	10
4.3 FASE DE LABORATORIO	11
4.4 FASE DE OFICINA	13
4.5 FASE DE INTERPRETACION DE RESULTADOS.....	14
5 GENERALIDADES.....	15
5.1 CLIMA Y VEGETACIÓN.....	15
5.2 VIENTOS Y MAREAS	19
5.3 SALINIDAD	20
5.4 TURBIDEZ	21
5.5 HIDROGRAFÍA	21
5.6 CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DE LA COMPOSICIÓN DE LA BAHÍA	22
5.6.1 Oxígeno:	22
6. MARCO GEOLÓGICO REGIONAL	23
6.1 TECTONISMO	23
6.2 ESTRATIGRAFÍA.....	24

6.2.1 Formación Arjona.....	24
6.2.2 Formación Bayunca:.....	24
6.2.3 Gravas de Rotinet:.....	24
6.2.4 Formación Arroyo Grande.....	25
6.2.5 Formación La Popa.....	25
6.2.6 Depósitos Recientes.....	27
6.3 GEOMORFOLOGÍA.....	28
6.4 ESTUDIOS REALIZADOS.....	30
6.5 PALEONTOLOGÍA.....	32
7 AMBIENTES SEDIMENTARIOS.....	33
7.1 Modelo Facial.....	33
7.2 Clasificación de los ambientes sedimentarios.....	34
7.2.1 Marinos.....	35
7.2.2 Continentales.....	35
7.2.3 Transicionales.....	36
8 ANALISIS SEDIMENTOLÓGICOS.....	41
8.1 Descripción de muestras de campo.....	41
8.1.1 Clasificación Textural de los sedimentos.....	44
8.2 Análisis Granulométricos.....	46
8.2.1 Difracción láser.....	46
8.2.2 Sistema Lumosed.....	49
8.2.3 Tamizaje.....	52
8.3 Procesamiento de Datos.....	52
8.3.1 Gráfico.....	52
8.3.2 Estadísticos.....	55
8.3.3 Parámetros aplicados.....	60
8.3.4 Aplicación de Funciones Discriminantes.....	68
8.3.5 Estadística Espacial.....	73
8.4 Análisis Composicional.....	81
8.4.1 Mineralógicos.....	84

9. Facies sedimentarias.....	93
9.1 Arcillas litoclásticas:	93
9.2 Lodos litoclásticos:	95
9.3 Lodos litobioclásticos:.....	95
9.4 Lodo arenoso ligeramente gravoso litoclástico:	96
9.5 Lodo arenoso ligeramente gravoso lito-bioclástico:	96
9.6 Lodo arenosos ligeramente gravoso bio-litoclástico:	97
9.7 Lodo ligeramente gravoso litoclástico:.....	97
9.8 Lodo ligeramente gravoso lito-bioclástico:.....	97
9.9 Lodo ligeramente gravoso biolitoclástico:	98
9.10 Lodo gravoso litoclástico:	98
9.11 Lodo gravoso litobioclástico:.....	99
9.12 Lodo gravoso biolitoclástico:.....	99
9.13 Lodo gravoso bioclástico:	100
9.14 Arenas litoclásticas:.....	100
9.15 Arenas ligeramente gravosa litoclásticas:.....	101
9.16 Arena ligeramente gravosa litobioclástica:.....	102
9.17 Arena lodosa ligeramente gravosa litoclástica:	102
9.18 Arena lodosa ligeramente gravosa bio-litoclástica:	102
9.19 Arena lodosa ligeramente gravosa bioclástica:.....	103
9.20 Arena gravosa litoclástica:.....	103
9.21 Arena gravosa bioclástica:.....	103
9.22 Grava lodosa litoclástica:.....	104
9.23 Grava lodosa litobioclástica:	104
9.24 Grava lodosa bio-litoclástica:.....	105
9.25 Grava lodosa bioclástica:	105
10. Estratigrafía de secuencias	107
11 Integración de resultados.	108
12 Conclusiones.....	111
13 Bibliografía	113

ANEXOS	118
--------------	-----

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Ubicación del área de estudio.....	6
Figura 2: División de la Bahía: Interna y Principal.....	8
Figura 3: Metodología aplicada en el proyecto.	9
Figura 4: Mapa de ubicación de las estaciones para las muestras de fondo tomadas con la draga Van Veen (circulo verde) y las muestras tomadas con el multimuestreador y con apiques sobre la playa (Amarillo).....	12
Figura 5: Variación mensual de la temperatura del aire en Cartagena - Junio de 2009.....	16
Figura 6: Precipitación de Cartagena – Junio de 2009.	17
Figura 7: Mangles Tierra Bomba.....	18
Figura 8: Borde playa Tierra Bomba.	18
Figura 9: Pronostico de marea para Cartagena durante el mes de Junio de 2009. (LATANDRET et al., 2009).....	19
Figura 10: Columna generalizada de la estratigrafía sector norte Cinturón del Sinú Plancha 23 de Cartagena..	26
Figura 11: Ubicación de los diferentes afloramientos que hacen parte de la geomorfología de la Bahía de Cartagena, en los que se han tomado muestras de la sección para ser analizadas en diferentes estudios.....	28
Figura 12: Resumen de los principales ambientes sedimentario.	33
Figura 13: Partes del delta.....	36
Figura 14: Tres tipos básicos de deltas basados en la intensidad relativa de los procesos fluviales o marinos.....	38

Figura 15: Formas de Deltas Modernos. Derecha: (a) Delta del Mississipi con dominio fluvial, Izquierda: (b) Delta de Rhone con dominio de Oleaje.	39
Figura 16: Formas de Deltas Modernos. (c) Delta Ganges con dominio de mareas.	40
Figura 17: Términos de grado de redondeamiento y esfericidad de las partículas según Powers,	43
Figura 18: ilustración gráfica de la selección o calibrado de las partículas. (NICHOLS, 2009).	43
Figura 19: Diagrama triangular para la clasificación textural según tamaño de grano, utilizada para sedimentos no consolidados.	45
Figura 20: Ubicación muestras # 23 y # 27.	47
Figura 21: Diagrama de columna con la distribución del tamaño de grano de las muestras 23 y 27, obtenidos por difracción láser.	48
Figura 22: Comparación del coeficiente de uniformidad muestras 23 y 27.	49
Figura 23: Ubicación geográfica de las estaciones analizadas granulométricamente por sistema Lumosed.	50
Figura 24: Distribución de tamaño de grano por porcentaje para las muestras 68, 101, 148 y 155.	51
Figura 25: Comparación de los coeficientes de uniformidad.	52
Figura 26: Histograma y distribución de frecuencia de los tamaños de grano.	53
Figura 27: Curva acumulativa con una escala aritmética ordinaria.	54
Figura 28: Diagramas de barras para las estaciones 67, 14 y 40, ubicadas en el norte de la Bahía.	54
Figura 29: Diagramas de barras para las estaciones 224,191, 216 y 119 ubicadas en la parte Sur de la Bahía.	55

Figura 30: Diferentes comportamientos de una curva de asimetría, de acuerdo a la media, mediana y moda.....	59
Figura 31: Tipo de curtosis.....	59
Figura 32: Clasificación del tamaño de grano a partir de la grafica Estaciones Vs Tamaño de Grano.....	62
Figura 33: Grado de Selección o clasificación de todas las muestras.	62
Figura 34: Grado de asimetría de las muestras tomadas para toda la Bahía.	63
Figura 35: índice de Curtosis de las muestras.	64
Figura 36: Gráfica bivariante entre Tamaño de grano Vs Clasificación.	64
Figura 37: Gráfica bivariante entre clasificación y asimetría.....	65
Figura 38: Gráfica bivariante entre asimetría y Curtosis.	65
Figura 39: Ubicación geográfica de las muestras analizadas por tamizaje con equipo multiziser.....	67
Figura 40: Diagrama de barras a partir del análisis granulométrico para las muestras de núcleo N20, N16B, N16M, N16T, N18B y N18T.....	68
Figura 41: Relación entre las funciones discriminantes Y_2 y Y_3 mostrando los posibles ambientes encontrados en la Bahía.....	71
Figura 42: relación entre las funciones discriminantes Y_4 y Y_3 mostrando los posibles ambientes encontrados en la Bahía.....	72
Figura 43: Comportamiento típico de un semivariograma acotado con una representación de los parámetros básicos.....	76
Figura 44: Comparación de los modelos exponencial, esféricos y Gaussiano.	77
Figura 45: Distribución espacial del tamaño de grano arena en la Bahía.	80
Figura 46: Pasos para determinar el porcentaje de Carbonato de Calcio.....	81

Figura 47: Distribución espacial de los contenidos de CaCO ₃ para la bahía.....	83
Figura 48: Ubicación geográfica de las muestras a las cuales se les elaboro el análisis mineralógico por DRX.	86
Figura 49: Diagrama circular representativo de la composición mineralógica en Roca Total por Difracción de Rayos X; muestra de la Estación # 10.....	88
Figura 50: Diagrama circular que representa la composición mineralógica de la fracción menor de 2 micras por Difracción de Rayos X de la muestra estación # 10.	90
Figura 51: Difractograma obtenido para la muestra 10.....	90
Figura 52: (Izq.): Muestra 123, representación de la facies arcillas litoclástica.....	93
Figura 53: (Der.): Muestra 82, facies arcillas litoclásticas	93
Figura 54 (Izq.): Coral vivo en donde se desarrolla el habitat del poliqueto.....	94
Figura 55 (Der.): Poliqueto Sedentario Errante.....	94
Figura 56 (Izq.): Cangrejo aun vivo encontrado en la estación 139.	94
Figura 57 (Der.): Langostino vivo encontrado en la estación 139.....	94
Figura 58: estación 232, facie lodo litoclástico.....	95
Figura 59: muestra representativa estación 42, facie lodos litobioclásticos.	95
Figura 60: muestra estación 218, facie lodo arenoso ligeramente gravoso litoclástico, ubicada en la salida de Bocachica.	96
Figura 61: Muestra 119, ubicada en la parte oeste de la desembocadura del Canal del Dique.....	96
Figura 62: Muestra estación 216, facies lodo arenoso ligeramente gravoso lito- bioclástico	96
Figura 63: Muestra estación 96.....	97

Figura 64: muestra estación 150, facie lodo ligeramente gravoso lito-bioclástico..	97
Figura 65: muestras estación 76.....	97
Figura 66: muestra representativa estación 112.....	98
Figura 67: muestra estación 85.....	98
Figura 68: estación 73, facie lodo gravoso litobioclástico	99
Figura 69 (Izq.): Estación 75, facie lodo gravoso biolitoclástico.....	99
Figura 70 (Der.): muestra estación 191, facie lodo gravoso bioclástico.....	100
Figura 71 (Izq.): muestra estación 14, facie lodo gravoso bioclástico.....	100
Figura 72 (Der.): muestra estación 40, facie lodo gravoso bioclástico.....	100
Figura 73: Muestra de núcleo N37B, facie arenas litoclásticas.....	101
Figura 74 (Izq.): Muestra de núcleo N45T, facie arenas ligeramente gravosa litoclástica	101
Figura 75 (Der.): Muestra de núcleo N41T, facies arenas ligeramente gravosa litoclástica	101
Figura 76: muestras 215, facie arena lodosa ligeramente gravosa litoclástica	102
Figura 77: estación 203, facie arena lodosa ligeramente gravosa bio-litoclástica.....	103
Figura 78: muestra representativa núcleo 86.....	104
Figura 79: Muestra estación 98. Facie grava lodosa litoclástica.....	104
Figura 80: Muestra estación 234, representación facie grava lodosa litobioclástica	105
Figura 81: muestra estación 80, facie grava lodosa biolitoclastica	105
Figura 82: Muestra estación 197, facie grava lodosa biolitoclástica	106

LISTA DE TABLAS

Tabla 1: Clasificación de los ambientes sedimentarios.....	34
Tabla 2: Tamaño de grano (textura) según Wentworth.....	42
Tabla 3: Clasificación de los sedimentos según el grado de selección basado en la desviación estándar.	44
Tabla 4: Nomenclatura para describir sedimentos.....	45
Tabla 5: Parámetros estadísticos para las muestras N° 23 y N° 27, analizadas por difracción láser.....	48
Tabla 6: parámetros estadísticos calculados para las muestras analizadas por el sistema Lumosed.	51
Tabla 7: Tabla de datos de tamaños de grano.....	53
Tabla 8: Asimetría de las curvas para cada muestra de sedimento basado en la desviación estándar.	60
Tabla 9: Índice de curtosis para cada muestra de sedimentos basado en la desviación estándar.	61
Tabla 10: Clasificación de los modelos teóricos de semivarianza.	75
Tabla 11: Clasificación de los modelos teóricos acotados.....	77
Tabla 12: Clasificación de los tipos de Kriging.....	78
Tabla 13: Clasificación según el contenido del porcentaje de contenido de CaCO ₃ establecido por Vernet.	82

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1: RESUMEN DATOS PARÁMETROS ESTADISTICOS	118
Anexo 2: Contenido de Carbonato de Calcio de las estaciones elaboradas para la bahía de Cartagena.	125
Anexo 3: Difractograma muestra BC 112.....	124
Anexo 4: Difractograma muestraBC44T	125
Anexo 5: Difractograma muestra BC N42B.....	126
Anexo 6: Difractograma muestra BCN50T.....	127
Anexo 7: Parámetros estadísticos.	128
Anexo 8: Mapa de distribución de las facies sedimentarias para la Bahía de Cartagena.	128

RESUMEN

TITULO: MODELO FACIAL A PARTIR DEL ANÁLISIS DE LOS SEDIMENTOS DE LA ZONA COSTERA EN EL FONDO DE LA BAHÍA DE CARTAGENA DEPARTAMENTO DE BOLÍVAR.¹

AUTOR: DIANA AILLEN FRANCO ARIAS**

Palabras Claves: Caribe Colombiano, Departamento de Bolívar, Bahía de Cartagena, facies, sedimentos, granulometría.

El fondo de la Bahía de Cartagena está formado principalmente por sedimentos lodosos. Lo anterior se concluye a partir de 234 muestras de sedimento obtenidas del fondo con una draga tipo Van Veen y 27 muestras de borde de playa tomadas con un multimuestreador de sedimento tipo Beeker y apiques.

Las muestras se procesaron en el laboratorio del CIOH, se elaboró análisis de contenido de Carbonato de Calcio (CaCO_3) mediante el Calcímetro de Bernard y granulometría por tamizaje. Se realizó análisis mineralógicos (DRX) y granulométricos por Difracción láser, Sistema Lumosed y Sieve para algunas muestras representativas en el ICP Ecopetrol y en la UIS. Los análisis granulométricos permiten calcular los porcentajes de las fracciones arena, lodo y grava que se ingresan en el programa Gradistat para el análisis estadístico, generando parámetros para caracterizar los sedimentos, indicando que la sedimentación de la Bahía está afectada por condiciones de energía con amplias fluctuaciones. Mediante la aplicación de funciones discriminantes en el análisis espacial se define que la sedimentación de la Bahía está controlada por procesos fluviales de ambiente deltaico.

Los mapas de distribución espacial de porcentajes de arena y contenido de CaCO_3 obtenidos mediante el método de interpolación de Kriging; muestran que la gran mayoría de las arenas ubicadas en los bordes, Bocagrande y Punta Arenas presentan altos porcentajes de CaCO_3 mientras las arcilla ubicadas en la Bahía Interna, Mamonal y el noreste de Tierra Bomba presentan bajos porcentajes. Adicionalmente el mapa de distribución de contenido de CaCO_3 muestra los mayores valores están en Bocachica, parte sur de la Bahía Interna y Manzanillo formando una barra en dirección NW. El sector de mayor circulación de aguas influenciada por el delta del Canal del Dique y la corriente Oceánica del Caribe presenta mayor contenido de lodos y menor contenido de Carbonato de Calcio.

¹Trabajos de Grado Modalidad Investigación: Convenio de Cooperación Tecnológica UIS-ICO 005 de 2007.

** Facultad de Ingenierías Físico-Químicas, Escuela de Geología. Director Geólogo Msc. Alberto Ortiz Fernández (ECOPETROL-ICP). Codirector: Msc. Juan Camilo Restrepo López. (CIOH)

ABSTRACT

TITLE: FACIAL MODEL FROM ANALYSIS OF SEDIMENTS IN THE COASTAL AREA AT THE BOTTOM OF THE BAY OF CARTAGENA BOLIVAR DEPARTMENT.*

AUTHOR: DIANA AILLEN FRANCO ARIAS **

Keywords: Colombian Caribbean, Department of Bolivar, Cartagena Bay, facies, sediment grain size.

The bottom of the Cartagena Bay consists mainly of muddy sediments. It is confirmed from 234 sediment samples collected from the bottom with a Van Veen type dredge and 27 samples taken from the edge of beach with a multisample beach sediment type Beeker and apiques.

The samples were processed in the laboratory of CIOH was developed content analysis of Calcium Carbonate (CaCO_3) by Bernard Calcímetro and particle size by screening. Mineralogical analysis was performed (XRD) and grain-size by laser diffraction, and Sieve, Lumosed system for some representative samples in the ICP Ecopetrol and the UIS. The granulometric analysis to calculate the percentages of the fractions sand, mud and gravel. These are entered into the program Gradistat for the statistical analysis and generate parameters for characterize the sediments, indicating that the sedimentation of the bay is affected by conditions of energy with wide fluctuations. By applying discriminant functions in the spatial analysis is defined that the sedimentation of the bay is controlled by fluvial processes of deltaic environment.

The maps of spatial distribution of percentages of sand and CaCO_3 content obtained by Kriging interpolation method, show that the vast majority of sand located at the edge, Bocagrande and Punta Arenas have high percentages of CaCO_3 as the clay located in the Internal Bay, Mamonal and northeastern Tierra Bomba present low percentages. In addition, the map of CaCO_3 content distribution shows the highest values are in Bocachica, south of Manzanillo Bay Internal and forming a bar in NW direction. The fastest movement of water influenced by the delta of the Canal del Dique and Caribbean Ocean current has a higher content of sludge and lower content of calcium carbonate.

* Undergraduate thesis: Research Work: Agreement of Technology Cooperation UIS-ICP 005 of 2007.

** Facultad de Ingenierías Físico-Químicas, Departamento de Geología. Thesis Director Msc. Ortiz Alberto Fernández (ECOPETROL-ICP). Thesis Co-Director: Msc. Juan Camilo Restrepo López. (CIOH)

INTRODUCCIÓN

La Bahía de Cartagena ubicada en la zona Costera Colombiana, parte sur del mar Caribe, considerada un depósito de ambiente moderno y puerto de comunicación Colombiano, es el área de interés de este estudio sedimentológico, cuyo objetivo es generar un modelo facial a partir del análisis de los sedimentos de la zona costera en el fondo de la Bahía, utilizando metodologías elaboradas para otros análogos en el mundo tales como: la Bahía Cullera en España (CUPUL et al., 2009); la metodología consiste en elaborar muestreo en el fondo de la Bahía utilizando una draga de tipo Van Veen y en los bordes de playa manipulando diferentes herramientas de acuerdo al tamaño de grano encontrado como el multimuestreador para sedimento tipo Beeker y apiques. Las muestras se llevaron al laboratorio para secarlas y medir el contenido de CaCO_3 utilizando el calcímetro de Bernard y posteriormente hacer el análisis granulométrico mediante el tamizaje; el cual genera una serie de datos que se tratan estadísticamente para obtener parámetros estadísticos como media, selección, asimetría y curtosis; los cuales se utilizan en el cálculo de las funciones discriminante propuestas por Sahu, que permiten diferenciar tipos de ambientes y procesos dinámicos que generan la sedimentación (SAHU, 1964). Con el cálculo del porcentaje de CaCO_3 y el porcentaje de la fracción de tamaño arena se realizó un análisis espacial mediante el método de Interpolación de Kriging; que permitió visualizar la variación de estos dos parámetros en la Bahía y la relación presente debido a que los mayores contenidos de CaCO_3 se presentan en los restos de corales, arrecifes y conchas de bivalvos, gasterópodos y cnidarios, los que presentan mayores tamaños dentro de las muestras y son el resultado de la erosión de la formaciones arrecifales y coralinas presentes en el Caribe, están ubicadas en zonas que corresponden a los bordes de la Bahía en donde existe menor influencia del canal de Dique cuyos procesos dominantes son de tipo fluvial de origen continental. Adicionalmente se utilizan técnicas como Difracción de Rayos X que permiten caracterizar mineralógicamente los sedimentos y conocer la composición en algunas áreas con el propósito de debatir los posibles orígenes de estos sedimentos, identificando la presencia de

minerales indicadores de ambientes cercanos a la línea de costa como evaporitas y minerales de ambientes más lejanos con composición silíceas; resultado de la erosión de formaciones de tipo continental y la presencia del volcanismo de lodo de tipo sedimentario presente en la zona.

Estos análisis sedimentológicos permiten complementar la información de este tipo de ambientes modernos como parte de los proyectos de evolución de la zona costera colombiana guiados por Grupo de Investigación en Estratigrafía (GIE); mediante el convenio 005 de 2007 entre el Instituto Colombiano del Petróleo ICP Ecopetrol con la Universidad Industrial de Santander y el apoyo del Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas CIOH de la Dirección General Marítima; que generan pautas para que en trabajos posteriores se correlacionen las facies depositacionales actuales con las dadas para algunas formaciones existentes en Colombia con iguales condiciones que actualmente son componentes importantes de sistemas petrolíferos existentes y de gran importancia económica en Colombia.

De igual forma en la Dirección General Marítima se actualiza la información correspondiente a la sedimentología presente en las zonas costeras del país, para ser utilizada en posteriores trabajos de importancia ambiental, territorial y social elaborados por el Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas como parte de los programas de desarrollo.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Planteamiento del problema

La bahía de Cartagena, presenta un ambiente de depósito moderno ubicado en la parte central del Caribe y parte norte del territorio Colombiano, departamento de Bolívar, en donde el Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas de la Dirección General Marítima en unión con el Centro Nacional de Investigaciones Científicas

de la Universidad de Paris, desarrollaron estudios en los cuales se realiza la comparación de los mapas batimétricos para diferentes años en la Bahía de Cartagena (1935, 1987 y 2004), y se analiza la distribución de los sedimentos, utilizando propiedades como la susceptibilidad magnética, espectroscopia infrarroja y la granulometría.

Debido a que la bahía está expuesta a cambios por las condiciones oceanográficas existentes en el presente y conociendo la importancia de dichos estudios nace la motivación para realizar un estudio sedimentológico detallado con diferentes herramientas como el análisis composicional mineralógico y granulométrico que permitan reevaluar el origen de los sedimentos, la dinámica que afecta la depositación y las posibles causas del deterioro de la zona arrecifal que suministra aporte de sedimentos de origen marino con propiedades diferentes a los sedimentos generados por los sedimentos de origen continental.

1.2 Hipótesis

La sedimentación de la bahía de Cartagena está afectada por dos fuentes importantes:

1. La deriva litoral de Bocagrande, procedente del Caribe, con aporte de sedimentos de mayor concentración de calcio, como el resultado de la presencia de importantes corales en la Costa Caribeña y del Canal del Dique.
2. El segundo aporte de sedimentos es proveniente de material, de tipo continental procedente del río Magdalena y afluentes secundarios, con un mayor aporte en época de invierno.

De acuerdo a lo anterior, deben existir variaciones tanto composicionales y mineralógicas a lo largo y ancho de la Bahía, identificadas por el tipo de arcilla existente mediante Difracción de Rayos X y las variaciones en el tamaño de grano en las diferentes muestras tomadas en cada estación. Adicionalmente estos importantes aportes pueden conllevar a que las profundidades dentro de la Bahía

disminuyan generando cambios morfológicos en sectores como Bocagrande, El Laguito entre otros.

1.3 Justificación

Elaborando el estudio detallado de los sedimentos de la zona costera colombiana, en el fondo de la bahía de Cartagena implementando técnicas modernas, genera a la Dirección General Marítima y al Instituto Colombiano del Petróleo observar la evolución de la zona costera Colombiana haciendo un control actualizado del estado de sedimentación de la bahía a través de estudios de análogos modernos con el propósito de adoptar parámetros comparativos para las cuencas onshore colombianas utilizando varias técnicas de mayor detalle y optimización de resultados, que proporcionen conocimiento de la dinámica de los procesos que generan la depositación de los sedimentos en estos ambientes que permitirán en trabajos posteriores hacer correlaciones con las Formaciones que se han depositado en el área Colombiana, en este tipo de ambiente creando un posible sistema petrolífero adecuado para la generación de Hidrocarburos.

OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

- ✓ Determinar el modelo facial a partir del análisis de los sedimentos En el fondo de la Bahía de Cartagena, Departamento de Bolívar detallando la génesis de los sedimentos depositados en dicha zona.

2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- ✓ Completar la malla de muestreo de los sedimentos de la bahía de Cartagena (aproximadamente 80 muestras).
- ✓ Realizar un tamizaje para detallar la distribución del tamaño de grano de las diferentes fracciones existentes en las muestras tomadas según la malla de muestreo para este tipo de ambientes modernos.
- ✓ Determinar la procedencia de los sedimentos del fondo de la bahía de Cartagena mediante análisis de DRX elaborados en la fracción fina determinando el tipo de arcilla presente.
- ✓ Integrar los análisis sedimentológicos a la batimetría y circulación de corrientes en la Bahía para entender mecanismos actuales de sedimentación.

3 LOCALIZACIÓN DEL AREA DE ESTUDIO

La bahía de Cartagena localizada en la parte central del Caribe colombiano, al Noreste de Colombia entre la latitud 10°26´-10°16´ N y longitud 75°30´ -75°36´, 1°29´01´´ del meridiano de Bogotá (Urueta y Piñeres, 1912; Munera A., 1947), separada del mar por la Isla de Tierra Bomba (Figura 1). Es una cuenca somera, con una profundidad promedio de 16 metros y máxima de 26 metros y una extensión aproximada de 85 Km².



Figura 1: Ubicación del área de estudio delimitada por el ovalo color rojo. Tomado de www.google.com.

La bahía de Cartagena está compuesto de dos partes (Figura 2): La bahía interna que se considera la parte norte; los sectores de la Bahía de las Animas, Isla Diablo, Isla Chivos y la Bahía principal que considera los sectores desde el canal del Dique hasta Bocagrande; limitada por el oeste con la isla de Tierra Bomba que delimita las dos bocas de intercambio oceánico; Bocachica al costado occidental de las Islas Tierrabomba e Isla Draga y Bocagrande en el extremo noroccidental y obstruida por una muralla, submarina construida por los españoles. (ARIAS, 1989).

Las bocas de intercambio oceánico como Bocagrande; entrada norte es una pared angosta conocida como La Escollera, presenta profundidades que van desde 0.6 m hasta 2.1 metros. Y la entrada sur, tiene tres estrechos dentro de los cuales el canal de navegación Bocachica es el más importante. (MENDOZA et al., 1997).

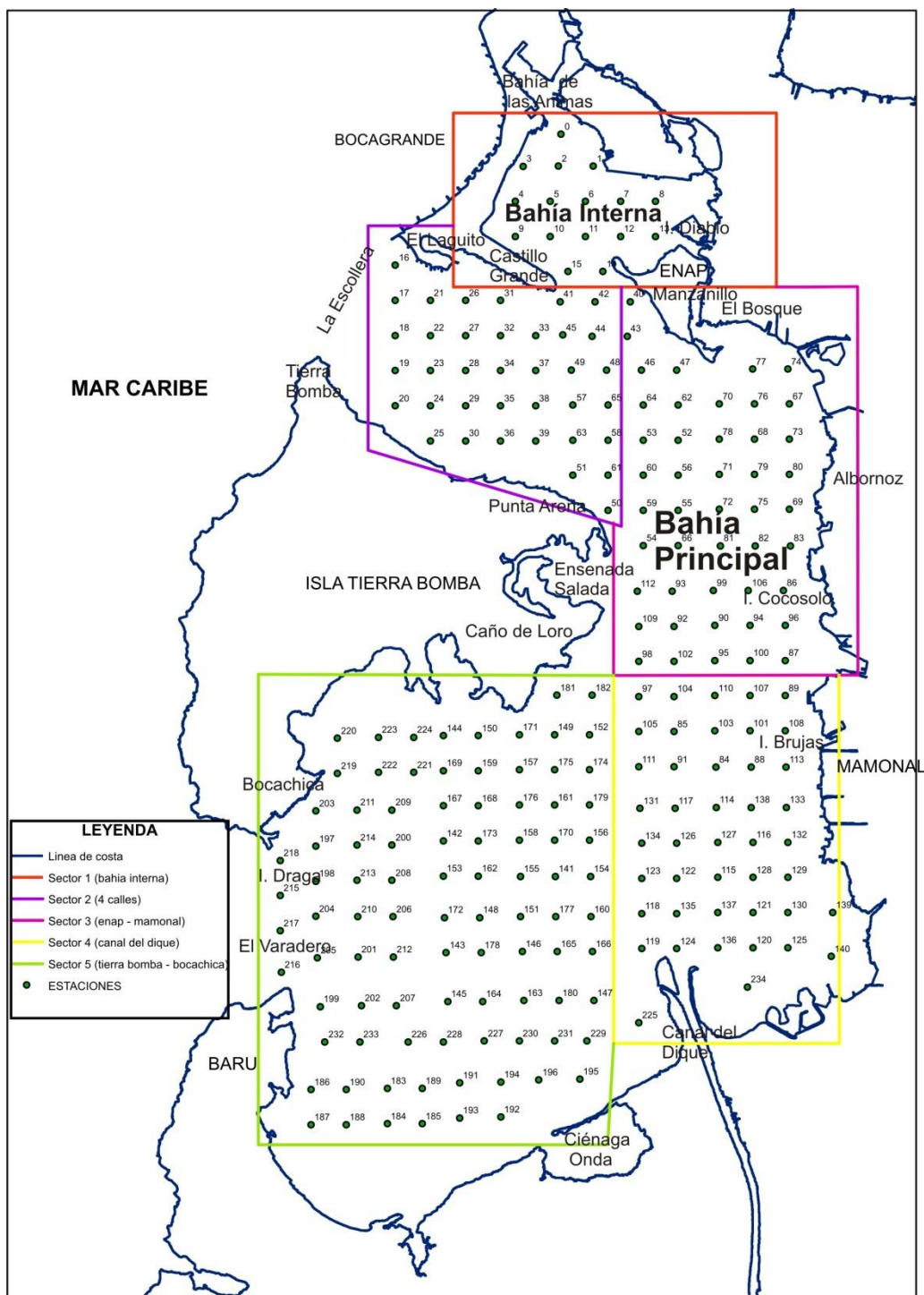


Figura 2: División de la Bahía: Interna y Principal.

4 METODOLOGÍA.

Para realizar el proyecto, se cumplió con una serie de pasos fundamentales que dieron el óptimo desarrollo de las actividades tanto de campo como de oficina, como se muestra en la figura N° 2.

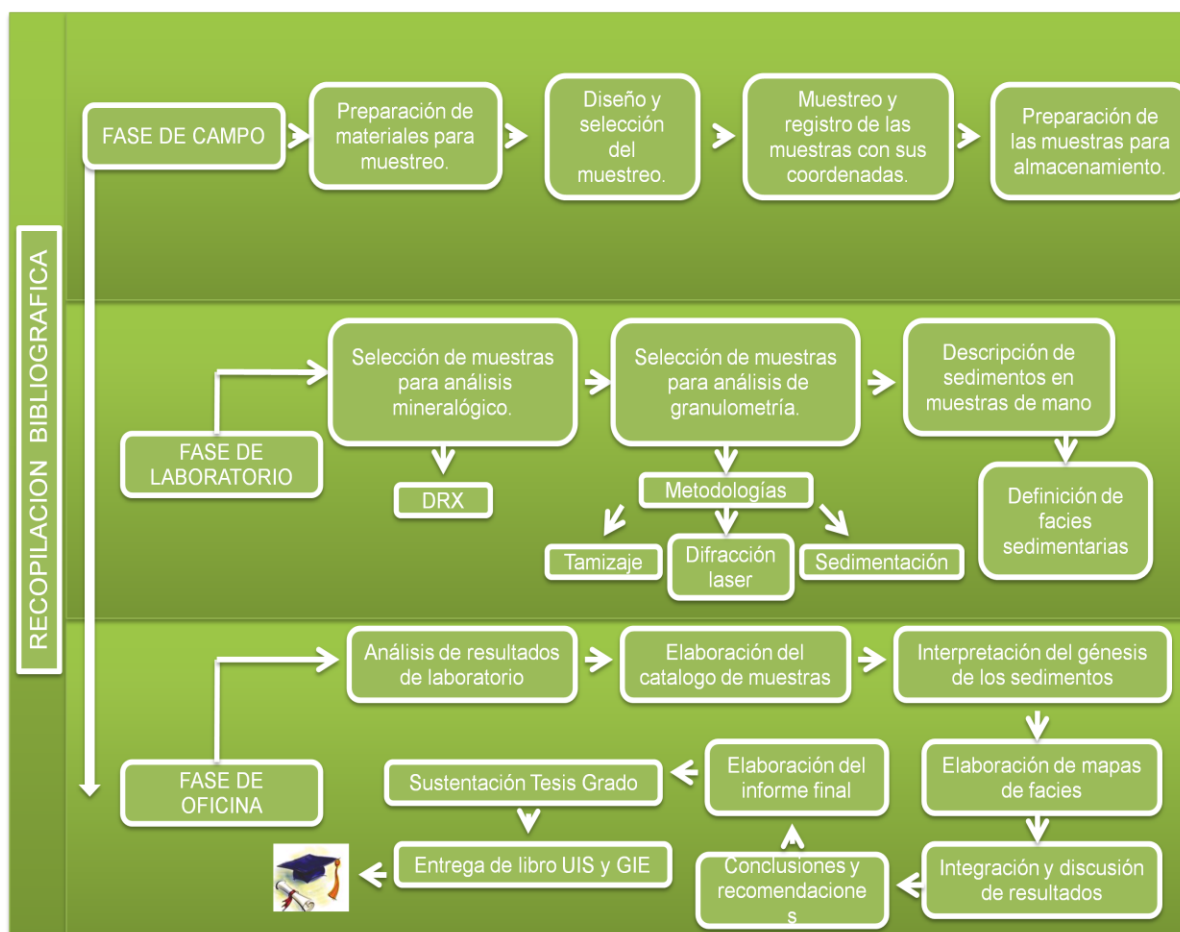


Figura 3: Metodología aplicada en el proyecto.

4.1 RECOPIILACIÓN BIBLIOGRAFICA

Se Realizó una recopilación bibliográfica en el Centro de documentación Técnica del Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas (CIOH) de la Dirección General Marítima– Cartagena, el Centro de Información Técnica (CIT) del Instituto Colombiano del

Petróleo (ICP) y en la Biblioteca de la UIS para conocer las características sedimentológicas de la Bahía de Cartagena, las metodologías utilizadas en la elaboración del muestreo y en los análisis composicionales mineralógicos mediante DRX y granulométricos por las metodologías de difracción Láser, tamizaje y sedimentación.

4.1.1 Análisis de Información

Se hizo un sondeo de estudios elaborados en la Bahía de Cartagena, conociendo la fecha de elaboración y la metodología utilizada. Se busco estudios con disponibilidad para ser consultados en las diferentes centros de información.

En los estudios se revisó el objetivo y el grado de detalle que presenta cada uno, además se precisó el tipo de información y se estableció zonas y temas de interés.

4.2 FASE DE CAMPO

Se complementó el muestreo planteado en el proyecto elaborado anteriormente titulado **Análisis Sedimentológico de la Bahía de Cartagena**, se recolectaron 80 muestras en áreas que no fue posible hacer el muestreo especialmente a los sectores 3 y 4 ilustrados en la figura N° 4. Se destinaron 10 días para tomar las muestras debido a la dificultad del área, utilizando herramientas como el equipo multimuestreador de sedimentos tipo Beeker, un bote y la draga tipo Van Veen lanzadas manualmente desde el bote que permitió tomar del fondo una muestra de sedimento representativa, aproximadamente de 300 gr para cada estación. De acuerdo a la malla de muestreo con una separación entre cada estación de aproximadamente 500 m., se realizo el muestreo del 1 de Junio al 13 del presente año, cada muestra se empacó en bolsas plásticas sellables marcadas con el número de la estación, número de muestra y las coordenadas para llevar un registro de las muestras tomadas y su ubicación geográfica. Se empacaron en una cava y se analizaron en los diferentes laboratorios. Para la conocer el tamaño de sedimento se usó la escala granulométrica de Wentworth; dada en milímetros o en unidades Phi.

4.3 FASE DE LABORATORIO

La fase de laboratorio se realizó en varias sesiones, debido a que inicialmente se analizaron las muestras tomadas en la primera parte del Proyecto y posteriormente se trabajaron las muestras tomadas en esta parte. Se realizó una recopilación de toda la información recolectada en campo, se enviaron las muestras representativas a los laboratorios de DRX del ICP para hacer el análisis composicional mineralógico por Difracción de Rayos X y granulométricos por las metodologías de Difracción láser, sedimentación y tamizaje. En el Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas (CIOH) se llevó a cabo el análisis granulométrico y de contenido de Carbonato de Calcio de las muestras, a las cuales se les realizó el proceso de selección, secado y tamizaje.

Fase de Secado: elaborado en el laboratorio del CIOH ubicado en las instalaciones de la Escuela Naval Admirante Padilla en la ciudad de Cartagena, utilizando dos hornos Kottermann 2712 que almacenan 72 muestras en tazas de porcelana. Se deposita aproximadamente 200 gr de la muestra en una taza de porcelana; en la taza se indicó con marcador de tinta permanente el número de la muestra. El horno se calibró a una temperatura de 70°C y las muestras se colocaron aproximadamente de 24 a 48 horas para extraer la humedad totalmente.

Después del secado se procedió a elaborar los análisis de Contenido de Carbonato de Calcio utilizando el Calcímetro de Bernard y posteriormente la granulometría que permitió determinar la distribución por tamaño de las partículas entre finas y gruesas mediante el método del tamizaje. Este análisis es importante debido a que "el tamaño de grano es un atributo fundamental de las rocas sedimentarias siliciclásticas y por tanto, uno de las propiedades descriptivas de las rocas sedimentarias". (BOGGS, 1987)

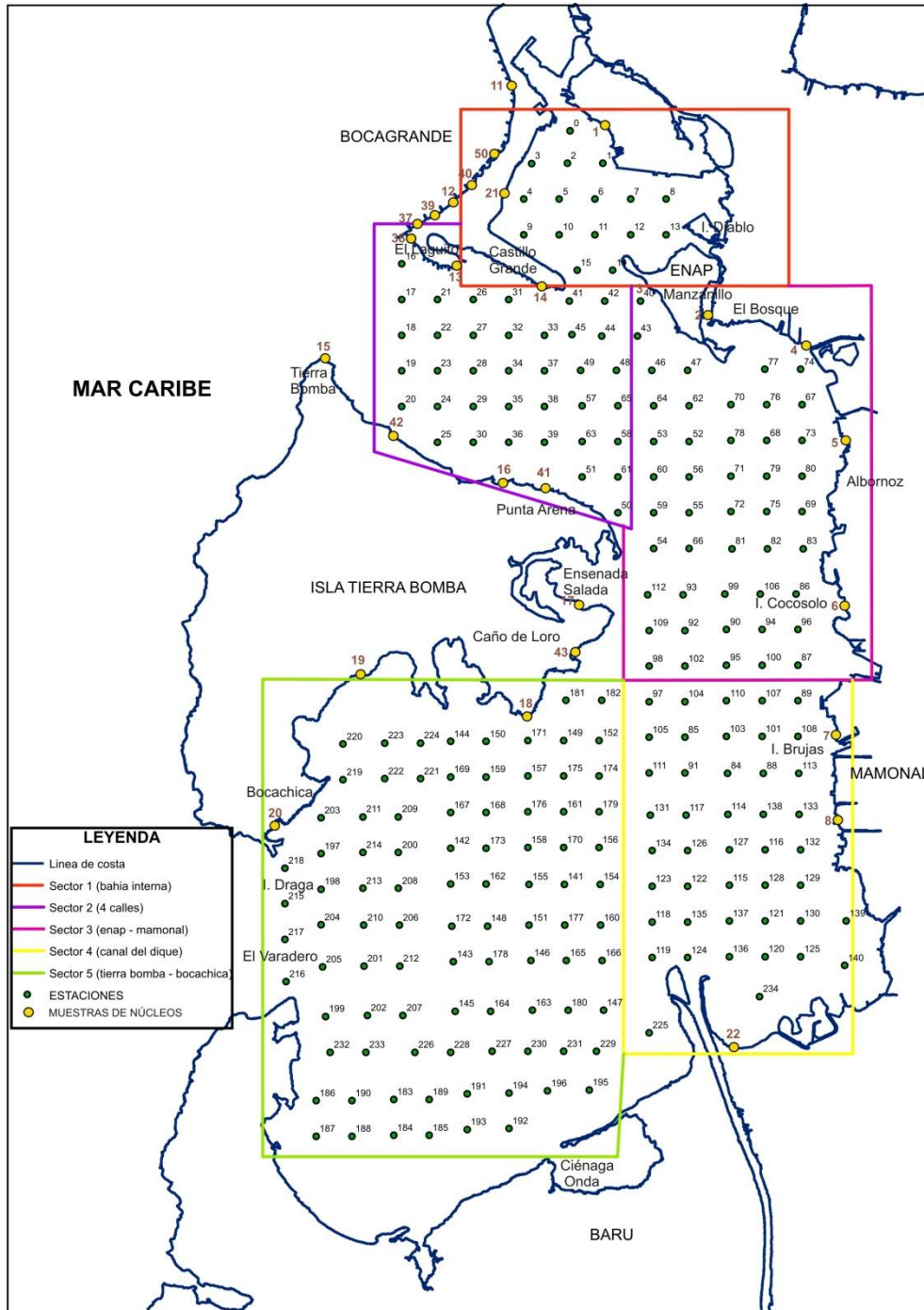


Figura 4: Mapa de ubicación de las estaciones para las muestras de fondo tomadas con la draga Van Veen (circulo verde) y las muestras tomadas con el multimuestreador y con apiques sobre la playa (Amarillo).

La muestra seca inicial se pesó en la balanza y se colocó en el tamiz más grueso de una serie de tamices colocados progresivamente desde el más pequeño al más grande el cual determinó la distribución por tamaños en la muestra inicial, se agitó por medio magnéticos que generaron el paso de las partículas por el tamiz a uno de menor tamaño si se requiere, finalmente después de agitar se determinó la masa del material retenido en cada tamiz al 0.1% evitando que quedara muestra en el tamiz, se sumó la masa de todos los incrementos individuales de tamaño verificando que este resultado no variara más del 0.3% de la masa de la muestra original.

Finalmente los pesos obtenidos de cada fracción se ingresaron en el programa GRADISTAT que permite hacer cálculos de los parámetros estadísticos del análisis granulométrico y definir el porcentaje de tamaño de grano y su respectiva clasificación según Folk y Walk. Con los análisis DRX se obtuvo la composición mineralógica para cada muestra.

4.4 FASE DE OFICINA

Dentro de esta fase, se empleo el programa Gradistat; el cual fue creado en el Instituto de Investigación de postgrado de Sedimentología de la Universidad de Reading y el Departamento de Geología de la Universidad Royal de Londres en Reino Unido. Funciona mediante herramientas de Microsoft Excel y permite obtener los parámetros estadísticos como la media, la clasificación, la asimetría, la Curtosis, el D10, D50, D90 entre otros, calculados aritmética y geoméricamente (micras) y logarítmicamente (escala de phi). Los datos obtenidos para las muestras tamizadas fueron ordenados espacialmente para elaborar graficas como:

1. Gráfico Tamaño de Grano.
2. Gráfico Clasificación.
3. Gráfico de Asimetría.
4. Gráfico Curtosis.
5. Gráfico Bivariante: Tamaño de Grano Vs Clasificación.
6. Gráfico Bivariante: Clasificación Vs Asimetría.

7. Gráfico Bivariante: Asimetría Vs Custosis.

Para el cálculo de las funciones discriminantes que permitieron identificar cuatro ambientes de sedimentación: Fluvial, playa, Fluvial Agitado y marino somero playa utilizando los datos estadísticos obtenidos y analizados por medio de un gráfico Bivariante elaborado en el software Matlab.

Para la elaboración de los mapas de distribución de contenido de arenas y de carbonatos en el software Surfer, se aplicaron los estadísticos espaciales: covarianza, semivariograma y variograma y se determinó el método de interpolación a utilizar.

Después de definir las facies presentes en cada uno de los puntos se construyó el mapa de facies, teniendo presente el mayor número de características sedimentológicas obtenidas para el área de estudio.

4.5 FASE DE INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Después de la elaboración de los análisis, de los mapas de distribución y la determinación de procedencia para los sedimentos obtenidos en la bahía, se procedió a integrar dichos análisis a la batimetría y a la circulación de corrientes en la Bahía para entender los mecanismos actuales de sedimentación, que generan las conclusiones al trabajo.

5 GENERALIDADES

5.1 CLIMA Y VEGETACIÓN

El régimen climático del Caribe Colombiano está influenciado por los desplazamientos Norte-Sur de la Zona de Convergencia Intertropical Z.C.I., este es un cinturón semicontinuo de bajas presiones, localizado entre las regiones subtropicales de los hemisferios Norte y Sur, este es conocido como Cresta Ecuatorial, Frente Intertropical y Frente Ecuatorial. (ACOSTA, 1982).

El movimiento de la ZCI, está influenciado por la circulación atmosférica de los vientos alisios procedentes de los centros de alta presión del Atlántico Nororiental. El clima es regulado por elementos como los frentes fríos tributarios del Hemisferio Norte, los ciclones tropicales y las ondas tropicales del Este, estos fenómenos suelen generar lluvias moderadas, vientos fuertes y mares de Leva que deterioran algunos sectores de las playas produciendo inundaciones y desbordamientos de caños entre otros.(ACOSTA, 1982).

La temperatura promedio multianual en la Bahía de Cartagena es de 31.5 °C según observaciones tomadas durante 27 años, presenta variaciones a lo largo del año inferiores a 2 °C. La máxima media de los niveles de temperatura se presenta en Agosto y corresponde a 31.9 °C, la mínima media se presenta en enero y corresponde a 22.5 °C. (PAGLIARDINI et al., 1982). La figura 5 indica que para el mes de Junio fechas en las cuales se llevó a cabo el muestreo la temperatura promedio mensual fue de 28.9 C°.

De acuerdo con las relaciones lluvia –temperatura, se puede precisar una sequía importante en los meses de febrero y Marzo, mientras en los meses de Agosto, Septiembre, Octubre y Noviembre se presenta una pluviosidad mayor, registrando en octubre el máximo, identificando dos periodos o estaciones climáticas: seca y húmeda. (PAGLIARDINI et al., 1982)

- ✓ Época de seca: Se atribuye a los meses entre Diciembre-abril, presenta vientos fuertes y lluvias débiles, se pueden presentar los mares de leva; ocasionados por la incursión en aguas del Mar Caribe de frentes polares provenientes del hemisferio Norte cuando alcanzan a llegar a los 15 grados de latitud Norte. Se observa una nubosidad de 1-3/8 de nubes estratos/estratocúmulos cuyas bases están a 120 -215 m de altura con topos que llegan a los 455 a 610 m. (ACOSTA, 1982).
- ✓ Época Húmeda: Se atribuye a los meses entre Agosto-Noviembre, se caracteriza por presenta vientos débiles de orientación variable y lluvias abundantes. Suelen presentarse los ciclones tropicales (Huracanes) que pueden aumentar el régimen de lluvias. (ACOSTA, 1982). Se observa una nubosidad 1-2/8 de nubes estratos/estratocúmulos cuyas bases están a 120 -215 m de altura con topos que llegan a los 455 a 610 m.
- ✓ Época de transición: Mayo-Julio. Denominado Veranillo de San Juan. Con vientos uniformes y fuertes de N, NE. (ACOSTA, 1982).

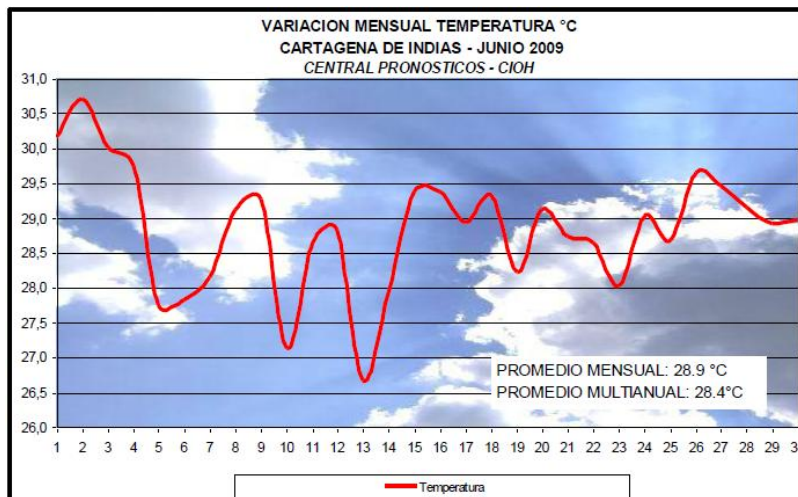


Figura 5: Variación mensual de la temperatura del aire en Cartagena - Junio de 2009. (LATANDRET et al., 2009).

En cuanto a la precipitación en la Bahía de Cartagena; el promedio multianual de precipitación es de 751.2 mm al año. En septiembre y octubre los meses más lluviosos el promedio es entre 111mm y 128

mm, y en época seca el promedio está entre 10 y 37 mm. Para el mes de Junio la precipitación máxima fue 37 mm y se registró en los primeros días del mes como se observa en la figura 6.

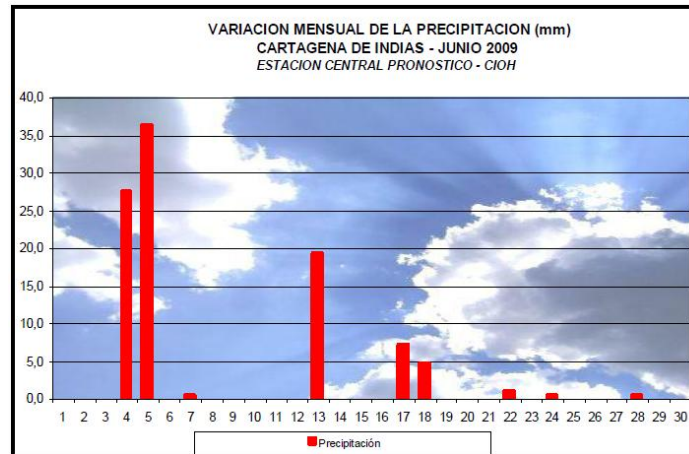


Figura 6: Precipitación de Cartagena – Junio de 2009. (LATANDRET et al., 2009).

En época seca los vientos del este tienen una gran incidencia sobre el brillo solar, al soplar despejan los cielos permitiendo mayor penetración de los rayos solares durante un promedio de 10 horas sobre el área, mientras en la época húmeda, esta situación se presenta entre el paso o transición de una onda tropical de este.

Las tormentas eléctricas son comunes en época húmeda, se forman sobre terrenos altos, zona del canal del dique y Tierra Bomba y se mueven hacia la planicie costera en la tarde o se forman por calentamiento hacia el atardecer.

Se ha catalogado que el clima es semiárido, pero las mediciones de humedad relativa en la estación meteorológica del CIOH presentan un aumento de la Humedad relativa, el promedio multianual es de 83 %.

En la bahía de Cartagena se observa la presencia de mangles típicos de los climas tropicales y subtropicales; e indicadores de ambiente de estuario y de zona costera, está representado por las especies propias del Caribe: mangle rojo, mangle salado y mangle negro. (Figura 7). Poseen una enorme diversidad biológica dando hábitat a variedades de especies de aves, de peces, crustáceos y moluscos, entre otros. Las

franjas de manglar de la línea costera se extienden por Punta Arena, Bocachica, Isla Draga, Isla Abanico, zona de Barú y el Canal del Dique. En la zona de Mamonal se encuentran algunas áreas de manglar en Isla Bruja, Isla Maparapa, Isla Glorita, Isla Cocosolo, Ensenada de Albornoz y Manzanillo, Ciénaga de las Quintas y Caños de Bazurto. (POLANIA & BORDA, 1991). El mangle presenta una altura de 4 a 6 metros, parcialmente en buen estado pero afectado por la tala, la alteración de la hidrodinámica y la calidad del agua. (POT CARTAGENA, 2009).



Figura 7: Mangles Tierra Bomba.

El IGAC ha definido la región costera como tierras sin bosques dedicadas a la agricultura y la ganadería. En la zona norte la vegetación se encuentra en alto grado de deterioro, está formada por pastos y maleza con árboles aislados el bosque tropical (Figuras 8). (POT CARTAGENA, 2009).



Figura 8: Borde playa Tierra Bomba. OROZCO, (2009).

5.2 VIENTOS Y MAREAS

El viento es un fenómeno que afecta la cuenca, formando las corrientes de deriva y los gradientes. En época seca tiene mayor importancia este efecto con la condición reinante de los vientos alisios que soplan de manera constante; estos provienen del Norte y del Noreste con una velocidad y dirección constante durante los meses de Diciembre hasta Abril, mientras que en la época de Mayo a Noviembre los vientos son muy variables tanto en dirección como en fuerza. (MENDOZA, 1997). En el periodo de transición (Mayo, Junio, Julio) los vientos son más suaves excepto en Julio lo que se conoce como el Veranillo de San Juan, alcanzando velocidades de 19,2 m/s. Para la estación húmeda comprendida entre Agosto y Noviembre, se presenta un porcentaje de mayor calma, en el cual la velocidad del viento es mínima, siendo octubre el mes más lluviosa del año. Según el pronóstico de la marea para el mes de Junio en Cartagena se espera que se comporte de acuerdo a la figura 9 mostrando las mareas más elevadas entre 21 y 23 Junio, y menores variaciones de marea entre el 7 y el 13 de Junio.

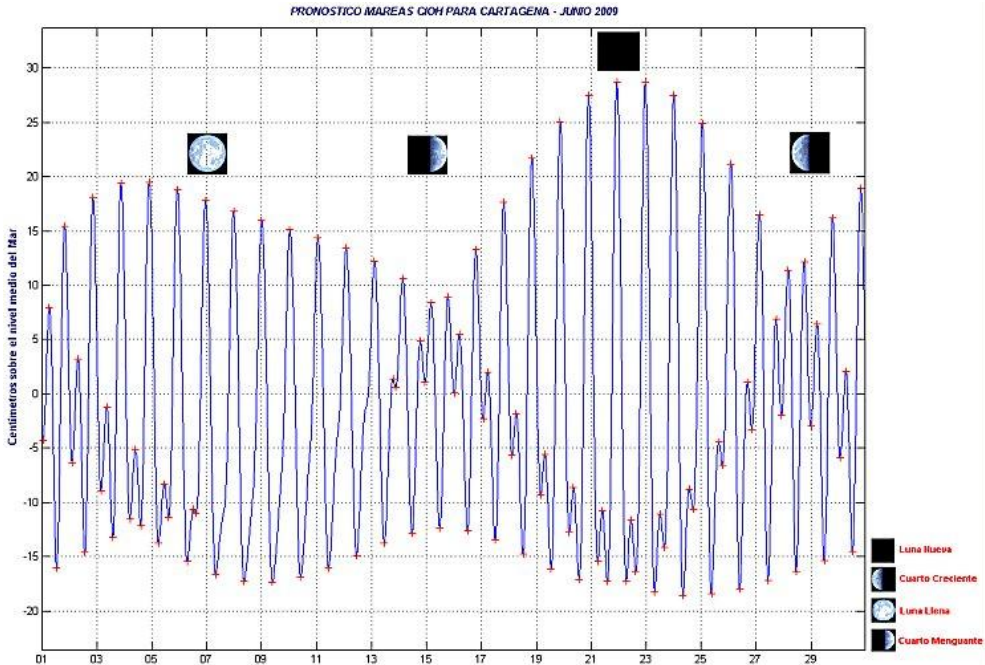


Figura 9: Pronostico de marea para Cartagena durante el mes de Junio de 2009. (LATANDRET et al., 2009). Disponible en www.cioh.org.co.

La marea debido a la densimetría logra extraer aguas profundas dentro de la bahía, por Bocachica hacia Bocagrande, estas se caracterizan por presentar mayor densidad.

El sistema de mareas tiene un carácter mezclado: mareas semidiurnas y diurnas, presentando características regulares durante la mayor parte del año, las mareas son semidiurnas, lo que significa que el ciclo de ascenso y descenso de la aguas del mar se repite en periodos de 12 horas, con fluctuación normalmente no mayor de 0.3 m excepto en Sicigia. La amplitud de las mareas en Bocachica es un poco mayor que la de Bocagrande, esta diferencia se debe a la topografía del fondo marino en cercanías a la bahía, debido a que las profundidades del mar en la zona de Bocachica es mayor en comparación con Bocagrande. (MENDOZA et al., 1997).

La corriente del Caribe y la contra-corriente de Panamá están presentes a lo largo de las costas de Colombia, dichas corrientes son resultado de la circulación atmosférica producida por la acción de los vientos.

Durante la época seca, los vientos soplan del Noreste produciendo un desplazamiento general de las masas de agua hacia el Suroeste y en periodos de lluvia los alisios son muy débiles y los vientos soplan en varias direcciones. Estas corrientes afectan la repartición de los sedimentos provenientes del delta del dique. (CIOH, 1984)

5.3 SALINIDAD

La variación promedio sobre la columna de agua en la Bahía de Cartagena, permiten deducir las siguientes observaciones:

En periodos de lluvia aparece la haloclina muy pronunciada, que corresponde a una mayor circulación de agua dulce sobre las corrientes marinas, mientras en Julio se presenta un leve retroceso, época que se conoce como el Veranillo de San Juan. En Octubre aparecen las variaciones más importantes debido a la máxima actividad de lluvias.

5.4 TURBIDEZ

Debido a los cambio en las condiciones oceanográficas costeras, se indica que para la época del mes de agosto se observan valores altos de turbidez en comparación con los obtenidos durante las época seca. En la época de agosto se da la formación bien definida de una pluma turbia en la zona sur de la Bahía que está constituida por la suspensión de los sedimentos que aportan el canal del dique.

Sin embargo la bahía presenta una turbidez baja, que permite el depósito de las partículas finas, formadas por arcillas de tipo esmectita, montmorillonita con elementos coralinos resultado de la destrucción de los arrecifes. (BAVARIA, 1983).

La transparencia, es uno de los factores que depende de la influencia de los sedimentos provenientes del canal del dique. En la época seca es de 1.5 m y en la época húmeda disminuye. (MENDOZA et al., 1997).

5.5 HIDROGRAFÍA

El régimen dinámico de la Bahía se ve influenciado por la desembocadura del Canal del Dique; durante el periodo de máximas descargas el canal de Dique da un aporte importante de aguas continentales, las cuales se caracterizan por ser menos densas (calientes y salobres), este aporte flota sobre las aguas más densas de la bahía, generando una mezcla progresiva y lenta entre ellas, que permiten observar la existencia de amplias variaciones entre el periodo de vientos y lluvias.

El sistema hídrico de la Bahía, está dividida en la Bahía interna y la Bahía externa. La Bahía interna localizada al norte y occidental de la bahía tiene una extensión de 4,5 Km². La bahía Externa localizada al sur y al occidente de la misma área con 81 Km². Cuenta con dos bocas que la comunican con el Mar Caribe; Bocagrande al norte y Bocachica al sur.

5.6 CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DE LA COMPOSICIÓN DE LA BAHÍA

Información histórica y de muestreos indican que las aguas de la bahía se encuentran en un estado máximo de deterioro debido a las presencia de tóxicos y a la anoxia predominante; causada por el consumo del oxígeno disponible por parte de los sedimentos del fondo ricos en materia orgánica. (MENDOZA et al., 1997).

5.6.1 Oxígeno:

El contenido en la superficie del mar está influenciado por la interacción con la atmósfera, los procesos de fotosíntesis, renovación y mezcla. La saturación está relacionada con la temperatura, la salinidad del agua y la dinámica de la misma.

La distribución vertical de oxígeno para la época húmeda desciende con la profundidad, desde 5,0 a 1,0 ml/L, mientras que para la época seca desciende desde un valor de 5,0 a 2,5 ml/L.

6. MARCO GEOLÓGICO REGIONAL

6.1 TECTONISMO

El margen continental colombiano comprendido entre el Golfo del Darien hasta la Guajira, constituye la frontera natural entre el dominio marino del Caribe y el continente suramericano, la cual está influenciada por el movimiento de las tres placas tectónicas: el Caribe, el Pacífico o Nazca y la Suramericana, las cuales se mueven en direcciones y velocidades diferentes.

La placa Suramericana se desplaza en dirección Este – Oeste, la Del Caribe Este - Sureste y la placa Nazca Este - Noreste con respecto a la Placa Suramericana, generando una serie de fenómenos de compresión y cizallamiento que generan la subducción de las placas Nazca y Del Caribe bajo la placa Suramericana, el levantamiento de las cordilleras y la formación de la cadena del Caribe. (POT Cartagena, 2009).

Estos desplazamientos inducen a la creación de una serie de cinturones plegados como el del Sinú y San Jacinto, los que se encuentran separando sistema de fallas; principalmente las del Sinú y Romeral, fallas locales ubicadas una a la altura de Punta Canoas, otra que atraviesa el archipiélago de Rosario hacia Punta Barú, las dos en sentido Este-Oeste. (POT Cartagena, 2009)

El diapirismo arcilloso, corresponde a un tectonismo sedimentario que se da por los movimientos de arcillas de tipo lodo provenientes de formaciones cubiertas como el Complejo tectónico Sinú – San Jacinto, este diapirismo se presenta de dos formas; en chimeneas y domos. Las chimeneas se sitúan dentro de los sectores donde hay abundancia de acumulación sedimentaria, es el caso del abanico de Galerazamba, y los domos caracterizan sectores donde hay tectónica activa. (POT Cartagena, 2009).

6.2 ESTRATIGRAFÍA

En el costado oriental de la Ciudad de Cartagena afloran las Formaciones Arjona, Bayunca, Arroyo Grande y La Popa que pertenecen al Bloque Tectónico de Turbaco, sector norte del Cinturón del Sinú. (REYES et al, 2001).

6.2.1 Formación Arjona

Definida por Anderson en 1926 (DE PORTA et al, 1974), se refiere a una secuencia de sedimentos marinos del Eoceno. No se ha establecido los contactos, ni su posición estratigráfica. El ambiente de depósito de acuerdo a observaciones importantes como relleno de los canales con material clástico, alta bioturbación, la ausencia parcial de las estructuras sedimentarias primarias, presencia de sedimentos pelágicos con abundancia de material orgánico, restos de plantas y estructuras de derrumbe permiten deducir que el ambiente es una plataforma continental afectada por movimientos tectónicos. Anderson en 1926 (DE PORTA et al, 1974) designó la edad de esta Formación al Mioceno y Bürgl en 1961 de edad Oligoceno Superior.

6.2.2 Formación Bayunca:

Definida por Germeraad, Hopping & Moller (DE PORTA et al, 1974), aflora en secciones aisladas ubicadas entre la localidad de Pasacaballos y el caserío de Albornoz formando una topografía de Ondulosa a plana y suave. Regionalmente para la Formación Bayunca no se conoce el espesor de la unidad ni el límite inferior, y el límite superior es discordante con la Formación La Popa y con la Formación Arroyo Grande. Las características de los sedimentos relleno canales con concentración abundante de conchas, estratificación ondulosa paralela permiten considerar que el ambiente de depósito de la unidad es una zona intermedia de mareas. (REYES et al., 2001).

6.2.3 Gravas de Rotinet:

Link en 1951, DE PORTA et al, 1974 el nombre Rotinet Gravels para referirse a un abanico formado por bloques de rocas ígneas, calizas y chert negro ubicados en los alrededores de la Ciénaga del Guájaro, presentando una morfología de mesetas disecadas. El contacto inferior

es discordante con la Formación San Cayetano. (REYES et al, 2001). Debido a dataciones en hallazgos de vertebrados fósiles se plantea que esta unidad es de Edad Pleistoceno Medio. (CARO et al., 1985)

6.2.4 Formación Arroyo Grande

Se considera a los depósitos de gravas y arenas aflorantes en la localidad de Arroyo Grande, litológicamente es similar a la unidad Gravas de Rotinet pero debido a la influencia marina que se asume para la Formación Arroyo y la separación de las dos unidades se deben considerar unidades diferentes. Su límite inferior es la Formación Bayunca y en su contacto superior están los depósitos cuaternarios. Por su posición estratigráfica se considera una unidad joven de edad Pleistoceno, sin mayor precisión. (REYES et al., 2001).

6.2.5 Formación La Popa

Representada por el conjunto de shales arenosos, areniscas con corales y arrecifes coralinos expuestos en los alrededores de Cartagena, en las islas de Barú y Tierra Bomba, denominados por Anderson en 1926, (DE PORTA et al, 1974) como La Popa Grupo. Redefinida por Bürgl en 1957 a la unidad encontrada en el Cerro de La Popa formada por arcillas micáceas, arenosas, areniscas y calizas coralinas de un espesor de 150 m. La unidad se subdivide en dos miembros; un inferior compuesto por arcillas, margosas y areniscas de cuarzo (CAMACHO et al. 1968) la cual en 1985 se ha denominado como Unidad Detrítica de La Popa. El miembro superior está compuesto por calizas margosas coralinas con algas y moluscos denominada por Angel et al, 1985 como Calizas Arrecifales de La Popa. (ANGEL et al, 1985).

La Formación infrayace discordantemente sobre la Formación Arjona, en el área de Arjona, y en el área de Coloncitos al norte de Turbaco infrayace la Formación Bayunca en el área costera entre Pasacaballos y Albornoz. Depósitos aluviales y marinos están suprayaciendo el techo de esta Formación. (REYES et al., 2001).

Los cuerpos calcáreos permiten pensar que los arrecifes se formaron en una plataforma submarina con una pendiente suave y por debajo del

nivel base del oleaje, con temperaturas entre 20 °C y 25 °C. Denominada de edad Plioceno- Pleistoceno. (REYES et al., 2001).

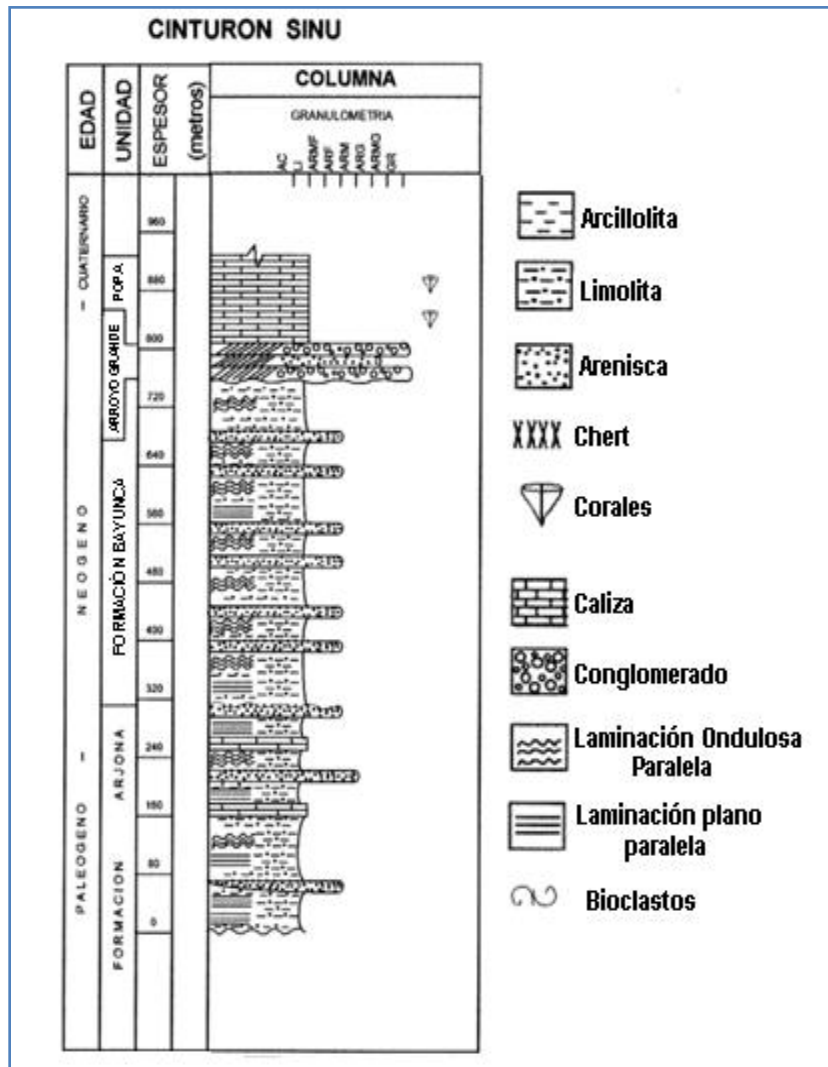


Figura 10: Columna generalizada de la estratigrafía sector norte Cinturón del Sinú Plancha 23 de Cartagena. (REYES et al., 2001) modificado por FRANCO 2009.

6.2.6 Depósitos Recientes

6.2.6.1 Depósitos de llanura aluvial.

Son los depósitos de llanura aluvial localizados en el área de influencia del Canal del Dique, son depósitos de poco espesor formados por el fenómeno de arroyadas y compuestos por material fino de arcillas y arenas finas. La morfología de planicies ligeramente inclinadas, que sigue la dirección de escorrentía, compuestas por gravas y esporádicamente bloques. (REYES et al., 2001).

6.2.6.2 Depósitos Fluvio-lacustres

Son los depósitos de llanura de inundación del Canal del Dique, compuestas por materiales finos tipo arcilla o limo, producto de las fluctuaciones invierno –verano que aportan material a dicha zona de inundación. (REYES et al, 2001).

6.2.6.3 Depósito de Llanura Costera

Presentan un régimen de depósito progradante y origina la formación de depósitos orgánicos y clásticos en la llanura costera. Los depósitos orgánicos son de dos tipos, manglares y los depósitos asociados con el crecimiento de corales. Se consideran depósitos clásticos a las arenas depositadas y retrabajadas en la zona intermareal. (REYES et al 2001).

6.2.6.4 Depósitos Coluvio-Aluviales

Agrupan los depósitos que agrupan sedimentación fluvial reciente y actual, y la generada por coluviones recientes que se relacionan con arroyos y los piedemontes. Constituido por cantos, bloques, arenas y arcillas, mezclados a gradados, cubriendo las unidades rocosas y a los depósitos cuaternarios más antiguos. (REYES et al., 2001).

6.2.6.5 Depósitos de playa

Localizados a lo largo de la línea de costa y constan de arenas grano fino a grueso, ocasionalmente con gravas; la mayoría de color amarillo ocre a grises; y en las playas de Barú son blancas. (REYES et al., 2001).

6.2.6.6. Depósitos de Manglar

Relacionados con zonas de manglar, y constituidos por arenas finas, limos y lodos. (REYES et al., 2001).

6.3 GEOMORFOLOGÍA

La morfología de la bahía se caracteriza por presentar dos tipos de sedimentos influenciados por su composición, los cuales muestran evidencias en la costa norte y en la costa sur. La morfología de los alrededores es resultado de movimientos tectónicos, está constituida por acumulaciones arcillo-arenosas que suprayacen construcciones calcáreas formando el tope de la mayoría del relieve (Los Morros, La Popa, El Bosque, Albornoz, Abocol así como en Tierra Bomba y Barú). Figura 11. (PAGLIARDINI et al., 1982).



Figura 11: Ubicación de los diferentes afloramientos que hacen parte de la geomorfología de la Bahía de Cartagena, en los que se han tomado muestras de la sección para ser analizadas en diferentes estudios. (CORREA, et al.1990)

La morfología del sector de la costa norte está caracterizada por la presencia de formaciones salientes de composición arenosa como Punta Piedra, Punta Canoas y los Morros. Estas se han formado por la deriva litoral que han generado los vientos alisios dando una orientación hacia el sur, estas unidades se encuentran unidas por un sistema de

playas, barras y cordones litorales, son acumulaciones arenosas no consolidadas y estabilizadas poco a poco por el manglar, y que han facilitado la formación de lagunas y ciénagas internas como la de Tesca. (CORREA et al., 1990)

La morfología del sector sur, está caracterizada por la presencia de formaciones calcáreas y arrecifales que bordean el mar, son constituidas por arenas calcáreas de menor extensión en comparación del sector norte. Al suroeste de Barú, la morfología de la plataforma es más compleja por la presencia del archipiélago del Rosario. La estratigrafía de la Popa y el sector de Turbaco indican un carácter discordante del plioceno sobre el mioceno (DUQUE, 1968). Los análisis Palinológicos proponen edad pliocenica para las arcillas del Cerro de la Popa. (SOLÉ de PORTA, 1960).

En la zona litoral norte denominada por el Dr. Vernet como provincia de sedimentación detrítica se encuentran sedimentos de facies arenosas, limo-arcillosas no consolidada, que están subyaciendo las facies arrecifales fosilíferas, indicando que estas formaciones se depositaron en ambientes fluvio-lacustres durante el plioceno, las cuales posteriormente por un fenómeno de subsidencia de la plataforma por inflexión del peso de los sedimentos acumulados, permitieron las formaciones arrecifales que están en contacto con la sedimentación detrítica. (DUQUE-CARO, 1980). Estas posiciones estratigráficas sugieren un carácter transgresivo de las secuencias. (CORREA et al., 1990)

Las formaciones Litorales cuaternarias situadas por encima del nivel del marino están representadas por las terrazas arrecifales y reflejadas por la presencia de acumulaciones de conchas, edificios marinos.

Debido a la morfología arrecifal compleja se identifican diferentes facies, así:

- ✓ Calizas arrecifales consolidadas; que están generalmente en la base de la formación y muestra alteración biológica.
- ✓ Arenas no consolidadas, que sirven de matriz para los organismos fósiles.

- ✓ Acumulación de detritos coralinos indicando por su extensión gran desarrollo de las formaciones arrecifales cuaternarias en la región.
- ✓ Corales en posición de vida, las especies encontradas con mayor frecuencia son porites porites, acropora palmata y cervicornis y agaricia.

Mediante dataciones de carbono 14, se obtuvieron edades de 2.850 ± 150 años B.P. para una concha de la terraza de +3 en la punta norte de Tierra Bomba y mediante el mismo método se analizó una muestra de Porite porites de la terraza de + 3m dio como resultado 2700 ± 90 años B.P. lo que permite deducir que las conchas de Tierra Bomba y las facies de Porite porites de Ciénaga Honda se desarrollaron durante el mismo periodo. (BUREL & VERNETTE., 1985)

6.4 ESTUDIOS REALIZADOS

Los estudios realizados inician en 1977 por Vernette quien analiza las variaciones morfológicas y resalta que los cambios en el litoral aunque no eran grandes mostraban un crecimiento progresivo de la flecha litoral en la parte extrema de Bocagrande que poco a poco formó la ensenada del Laguito, en 1979 la Misión Técnica Francesa desarrollo investigaciones que estudio la sedimentación aportada por el Canal del Dique a sus Deltas, define las relaciones entre los procesos dinámicos, la naturaleza y extensión de los ambientes sedimentarios, observando que el canal del dique es ejemplo de la combinación de dos influencias marinas y de ríos.

Vernette, 1982 estandarizó criterios sedimentológicos basados en parámetros como la granulometría y el porcentaje de Calcio, de acuerdo a esto se evidenció la existencia de dos tipos de sedimentación para la Plataforma Continental de Colombia, entre Bocas de Ceniza y el conjunto arrecifal de Islas de Rosario; una sedimentación detrítica de fuente continental influenciada por la deriva litoral y una sedimentación Biogénica relacionada con las formaciones arrecifales del sur.

En 1978 Klingebiel & Vernette realizó, el estudio batimétrico y sedimentológico en la plataforma Continental entre Cartagena y la desembocadura del río Magdalena. La batimetría indica una plataforma continental relativamente estrecha y muy poco profunda, con una disminución del tamaño de grano de base a tope indicando una secuencia granodecreciente traducida en una disminución progresiva de aportes de material detrítico.

En 1984 Vernette, Lesueur & Klingebiel, como parte de la misión francesa evaluaron las causas de la formación y la evolución de la Flecha Litoral arenosa del Laguito, observando que el hombre ha sido participe de la evolución con la construcción de espolones que evitan la erosión y el bloqueo del tránsito litoral de la zona. Reconocen que la evolución morfológica de la flecha del Laguito ha sufrido tres importantes etapas: una de crecimiento, una de erosión y posteriormente una de estabilización.

En 1992 Urbano J. et al, en el trabajo elaborado para CIOH titulado Dinámica de la Pluma de Turbidez del Canal del Dique, en el cual se extrae el límite continente-océano y se evalúa el comportamiento de los sólidos en suspensión en función en la reflectancia, mediante el tratamiento de imágenes satelitales tipo SPOT.

En 1998 Andrade Carlos et al., establecen características de Turbidez, Circulación y Erosión para la Bahía a partir del análisis de fotografías aéreas tomadas en época seca, donde el principal fenómeno meteorológico que afecta son los vientos alisios, establecen que la turbidez y la circulación superficial de las aguas es afectada por la deriva litoral, las aguas oceánicas y las aguas del Canal de Dique y las zonas de menor turbidez están ubicadas en la costa sur-oeste de Tierra Bomba y la Ensenada de Codego. De igual forma se determinan zonas de erosión como Bocagrande, la Costa Norte de la Isla de Tierra Bomba, las playas occidentales de la Isla de Manzanillo y la Punta Norte de la Isla de Barú.

En el 2004 Carlos Andrade analiza las variaciones de la profundidad del fondo de la Bahía y hace una comparación de la batimetría entre los años 1935, 1987 y 2004 para indagar los cambios geomorfológicos relacionados con la influencia del Canal, utilizando propiedades como la

susceptibilidad magnética, el contenido de Carbonatos, entre otros en análisis como la espectroscopia infrarroja, índice de carbono total, nitrógeno, carbono orgánico e inorgánico. En cuanto a los cambios en la batimetría entre 1935 y 1987 se observó el incremento de las zonas someras, la aparición del delta del Canal y la variación en la línea de costa, los sedimentos del delta contribuyen a la fosilización de los arrecifes coralinos.

6.5 PALEONTOLOGÍA

Estudios paleontológicos en los que se analizan los micromoluscos recientes de la plataforma Caribe colombiano, elaborado en 1982 permitieron reconocer 146 especies diferentes, la mayor abundancia y diversidad de especies se presenta en la zona al sur de la bahía, denominada por el Dr. Vernet, 1982 como provincia de sedimentación biogénica calcárea. En la zona norte denominada por el Dr. Vernet, 1982 como provincia de sedimentación detrítica de fuente continental e influenciada por la deriva litoral es la que presenta menor abundancia y diversidad de moluscos. Las zonas de mayor densidad de especies acompañada por un porcentaje mineral dominante se encuentra en profundidades menores a 45.7 m. Las mayores cantidades de micromoluscos están en sedimentos con altos contenidos de carbonato de calcio. (RODRIGUEZ, 1982).

7 AMBIENTES SEDIMENTARIOS

Los ambientes sedimentarios definen el lugar de la superficie terrestre en donde se realizan procesos geológicos degradacionales y agradacionales; que pueden ser divididos de acuerdo a las características físicas, químicas y biológicas del medio; que permiten determinar propiedades de los sedimentos caracterizando los diferentes ambientes sedimentarios. (Figura 12)

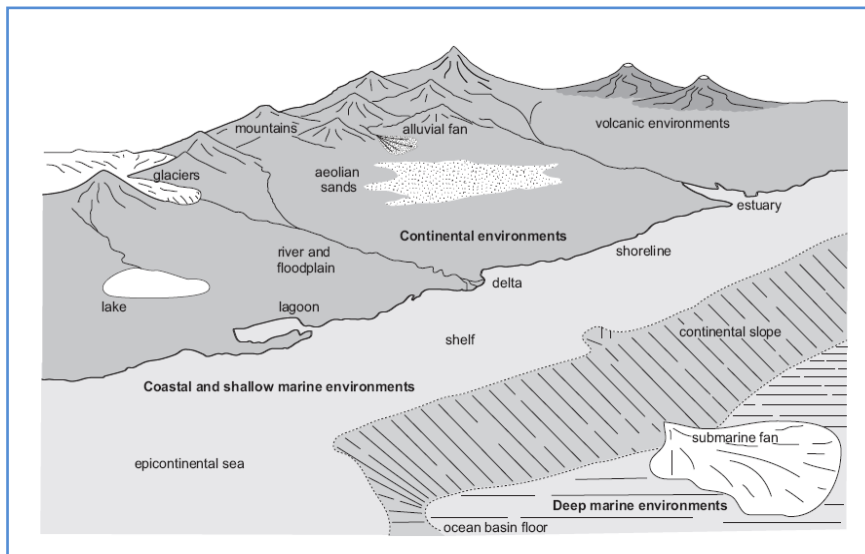


Figura 12: Resumen de los principales ambientes sedimentario. (NICHOLS, 2009)

7.1 Modelo Facial

El modelo facial involucra el resumen general de un ambiente sedimentario específico, permite plasmar de forma gráfica la secuencia idealizada de las facies presentes. De acuerdo a las características sedimentológicas presentes en cada ambiente, para cada sistema depositacional se desarrolla un modelo de facies.

Se pueden considerar las rocas sedimentarias antiguas para comparar las propiedades que permiten caracterizar las facies; algunas son la geometría, las estructuras y texturas sedimentarias, la composición química, el contenido fósil, la variación de tamaño vertical y las asociaciones litológicas.

7.2 Clasificación de los ambientes sedimentarios

Los ambientes sedimentarios de acuerdo a la ubicación geográfica, las características climáticas y a los procesos generadores se pueden clasificar en continentales, marino marginal o transicional y marinos, los cuales presentan con diferentes características que permiten identificar los subambientes como lo muestra la tabla 1.

Marco Depositacional	Ambiente	Subambiente
Continental	-Fluvial	- Abanico Aluvial. - Ríos Trenzado. - Ríos Meandricos.
	-Desierto -Lacustre -Glacial	
Marino Marginal	- Deltaico	- Llanura Deltaica. - Frente de Delta. - Prodelta.
	- Playa/ Barras de Barrera. - Estuario/Lagunal. - Plano intermareal.	
Marino	- Nerítico.	- Plataforma. - Arrecife Orgánico.
	- Oceánico	- Ladera. - Fondo Oceánico Profundo.

Tabla 1: Clasificación de los ambientes sedimentarios.

7.2.1 Marinos

Los ambiente marinos se caracterizan por procesos físicos dinámicos resultantes de las propiedades químicas del agua, las altas profundidades, variación en la temperatura y los organismos presentes que se adaptan a estas condiciones de vida, que se dan en los océanos modernos. FRIEDMAN &

SANDEY (1978). Este tipo de ambientes puede dividirse en dos grupos: Nerítico y Oceánico.

En el ambiente nerítico se identifican subambientes como: Plataforma y arrecife orgánico. Y en el ambiente oceánico se identifican subambientes como: Fondo oceánico profundo y pendiente.

7.2.2 Continentales

Los ambientes continentales se diferencian porque el transporte y la depositación son dominados por flujos de fluidos inmiscibles más densos (masas, flujos, agua e hielo) bajo un fluido suprayacente (aire), son generados por procesos de meteorización y erosión en rocas expuestas que están fuertemente controladas por el clima y la topografía, que causa la existencia de fuertes contactos entre las capas y variación de las propiedades. Los procesos térmicos y tectónicos de la Tierra, el manto y la corteza generan regiones de elevación y subsidencia, que actúan respectivamente como fuentes o sumideros de los sedimentos. Los ambientes depositacionales continentales son dominados por sedimentos bioclásticos; biológica y químicamente encontrados en zonas húmedas, pantanos de turba; temporal o permanentemente.

Los ambientes continentales se dividen en fluviales, desérticos, glaciales y lacustres. En los ambientes fluviales se pueden identificar subambientes de ríos trenzados, meandriformes y de abanico aluvial.

7.2.3 Transicionales

Los ambientes transicionales o marinos marginales son aquellos que se generan por la acumulación de detritos arrastrados por corrientes, formando cuerpos de sedimentos acumulados como en el mar o lagos.

Estos se clasifican en deltaicos, estuario o lagunar, barras de barrera y tidal flat. La bahía de Cartagena presenta condiciones de depositación deltaica, por lo cual se analizará este tipo de subambiente.

7.2.3.1 Deltas

Es un depósito construido en la desembocadura de un río por delante de la línea de costa, el depósito está modelado por la acción del mar, pero los aportes fluviales superan los aportes del mar.

La sedimentación en los deltas es de varios metros, presentando los fragmentos gruesos cerca de la desembocadura mientras que los finos están en la parte más lejana. Las capas de gruesos se depositan en el fondo con una pendiente en dirección al mar, en la cual se depositan posteriormente capas superiores que se depositan en las crecidas.

Los componentes del delta son: (Figura 13)

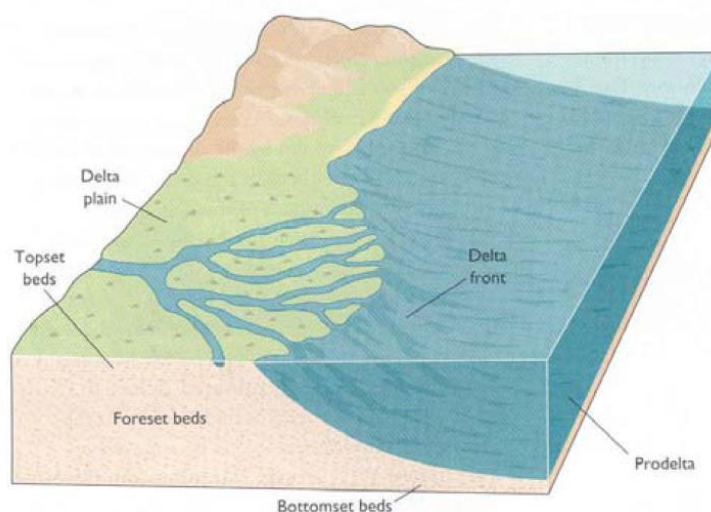


Figura 13: Partes del delta. (BOOKFIELD, 2004).

La llanura deltaica es una llanura aluvial baja, constituye el tope emergido del edificio deltaico, cortada por una red de brazos llamados canales distribuitarios que nacen desde el cauce principal, se caracteriza por ser depósitos arenosos con espesores de 5 a 20 m.

El frente deltaico es una plataforma marina somera que bordea la llanura deltaica, en donde se acumula gran parte de los sedimentos llevados por los ríos distribuitarios. En las zonas de desembocadura los sedimentos son generalmente arenosos y forman barras que progradan sobre las arcillas externas del prodelta, en las cuales las facies y la geometría de estas barras varía con el tipo y la intensidad de los procesos sedimentológicos costeros dominantes.

El prodelta constituye la parte más externa y profunda del delta, la sedimentación está caracterizada por la presencia de depósitos finos con carácter marino. El prodelta forma la base del edificio deltaico y descansa sobre la plataforma continental.

Las principales características de las facies deltaicas

Llanura deltaica o llanura superior:

- ✓ Depósitos de canales migratorios; canales trenzados y meandriformes.
- ✓ Relleno de deltas lacustres y depósitos de planicie de inundación.

Frente deltaico:

- ✓ Depósitos de playa (bahía interdistributaria, crevasse splay, natural dique, pantano).
- ✓ Depósitos distribuitarios abandonados.

Prodelta:

- ✓ Depósitos de barras de desembocaduras distribuitarias (barras de prodelta distal).
- ✓ Depósitos de ríos de desembocaduras amplios.
- ✓ Depósitos de depresión bajo el agua.

Tipos de deltas:

Estudios revelan las relaciones que existen entre los mecanismos de transporte, las facies y la geometría de los depósitos, los cuales permiten determinar que los tipos de deltas dependen de tres factores importantes: los aportes y los procesos fluviales, la energía del Oleaje y las mareas (Figura 14).

Cada delta presenta una morfología diferente y de igual forma la geometría interna, la distribución, la orientación y las propiedades de los cuerpos arenosos varían.

Otros factores que intervienen en los deltas son el clima, la carga de sedimentos, los vientos, los procesos en la desembocadura de los ríos, la morfología y configuración de la cuenca entre otras.

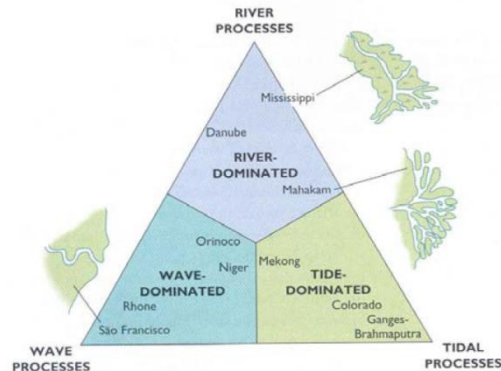


Figura 14: Tres tipos básicos de deltas basados en la intensidad relativa de los procesos fluviales o marinos. (GALLOWAY & HOBDDAY, 1983).

En la realidad las facies de los deltas muestran la combinación de los tres factores, que se muestran a continuación:

- ✓ Deltas con predominancia fluvial: representado por el Delta del Mississippi (Figura 15a). La geomorfología es generalmente lobulada, cuando se acumulan en zonas costeras someras o alargados cuando se da en zonas más profundas. Los canales distributarios forman una red ramificada a partir de canal principal, los cuales son

estrechos y con sinuosidad débil. La secuencia se caracteriza por presentar en la base arenas limpias con estratificación y termina con depósitos de arcillas o arenas finas.

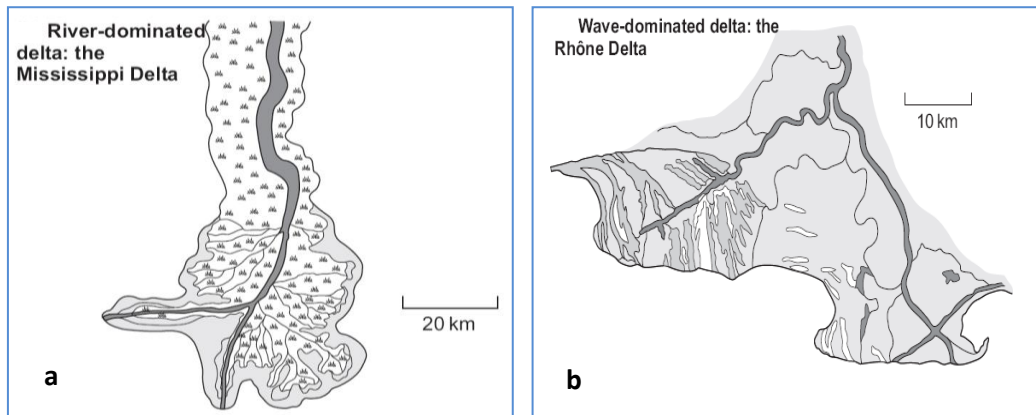


Figura 15: Formas de Deltas Modernos. Derecha: (a) Delta del Mississippi con dominio fluvial, Izquierda: (b) Delta de Rhone con dominio de Oleaje. (NICHOLS, 2009)

La identificación de este tipo de deltas se da por la abundancia de facies características de los ríos; como depósitos de desborde y crecida, asociados a buena energía y decantación rápida presentando estructuras como ondulitas, laminación paralela, marcas de escape de agua.

- ✓ Delta dominado por oleaje; está representado por el de Senegal (Africa, Coleman) (Figura 15b). Dicho oleaje es notable en la parte externa de la llanura deltaica y en el frente deltaico, estas zonas están afectadas por la rompiente de las olas que no permiten la depositación de los sedimentos finos, los cuales se dispersan hacia el mar provocando el retrabajamiento continuo de las arenas fluviales, si hay presencia de deriva litoral un transporte lateral. La morfología es arquada, debido a que la deriva litoral transporta la mayor parte de las arenas fuera de las desembocaduras, formando cordones litorales de playa. Si la acción de las olas es fuerte el delta tendrá pocos canales distributarios. Las zonas intercanales y la llanura deltaica están constituidas por arenas de playa, si la acción de las olas es menor, la llanura está constituida por lutitas. Este tipo

de deltas se caracteriza por presentar arenas de playa y de anteplaya, que forman cordones progradantes, los cuales pueden ser muy extensos y paralelos a la costa

- ✓ Deltas con predominancia de las mareas: representado por los Deltas de Colorado (México), el Ord (Australia), entre otros (Figura 16).

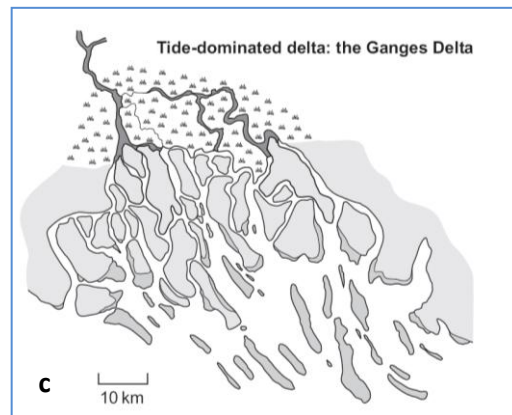


Figura 16: Formas de Deltas Modernos. (c) Delta Ganges con dominio de mareas. (NICHOLS, 2009).

Se caracterizan por estar controlados por las mareas que generan retrabajamiento de los sedimentos, que se ve reflejado por la presencia de ciclos de marea, con laminaciones arcillosas con arenas. La morfología se caracteriza por presentar canales distributarios de tipo estuario (desembocadura ancha), bordeado de llanuras arcillosas y canales meandriformes. Los canales distributarios son más extensos que los de deltas fluviales. En las desembocaduras las arenas son depositadas formando barras tidales, que reflejan la dirección de las corrientes de flujo y contraflujo.

8 ANALISIS SEDIMENTOLÓGICOS

8.1 Descripción de muestras de campo

Las partículas sedimentarias son constituyentes de las rocas sedimentarias y son transportadas físicamente en estado sólido antes de iniciar su depositación.

La composición de los sedimentos se basa en los constituyentes físicos, químicos y mineralógicos. Los constituyentes físicos describen el tipo de partículas, los constituyentes químicos pueden ser silicatos, carbonatos y los mineralógicos describen la presencia de cuarzo, dolomita, hematita entre otros.

Las texturas sedimentarias comprenden características de pequeña escala que permiten diferenciar cada una de las partículas, se considera texturas sedimentarias el tamaño y la forma de los granos, entre otras.

El **tamaño de grano** es un atributo fundamental de las partículas sedimentarias y por tanto uno de las propiedades descriptivas de las rocas sedimentarias. (BOGGS, 1978). Provee información del tipo de roca parental, la variabilidad de las condiciones ambientales y los procesos de transporte costeros en los cuales se deposita, que dependen de factores como la deriva litoral, los vientos, el régimen de mareas y las descargas fluviales cerca a la playa.

Existen varias escalas de tamaño de grano pero la utilizada universalmente para la descripción los sedimentos es la escala de Udden Wentworth la cual consiste de tres tipos principales: gravas, arenas y lodos (tabla 2).

De acuerdo a Sahu (1964) cada ambiente de depósito tiene un rango de condiciones de energía en función de la localidad y el tiempo.

No de malla para tamiz U.S. estandar	Milímetros (mm)	Micrones (μ)	Phi (Φ)	Clase de tamaño Wentworth	Clase Mayor	Una vez Litificado el sedimento	
			-20				
	4096		-12	Cantos	GRAVA	CONGLOMERADO	
	1024		-10				
	256		-8	Gujarros			
	64		-6	Gujas			
	16		-4				
5	4		-2	Gránulos			
6	3.36		-1.75				
7	2.83		-1.5				
8	2.38		-1.25				
10	2.0		-1	Upper Arena muy gruesa Lower	ARENA	ARENISCA	
12	1.68		-0.75				
14	1.41		-0.5				
16	1.19		-0.25	Upper Arena gruesa Lower			
18	1	1.0	0.0				
20	0.84		0.25	Upper Arena media Lower			
25	0.71		0.5				
30	0.59		0.75				
35	1/2	0.5	1	Upper Arena fina Lower			
40		0.42	1.25				
45		0.35	1.5	Upper Arena muy fina Lower			
50		0.3	1.75				
60	1/4	0.25	2.0				
70		0.21	2.25	Grueso (4 a 5 Φ)	Limos Limo lila	LODO	LODOLITA
80		0.177	2.5				
100		0.149	2.75	medio fino muy fino			
120	1/8	0.125	3.0				
140		0.105	3.25	Algunos usan 9Φ como límite de la arcilla	Arcillas Arcillo lila		
170		0.088	3.5				
200		0.074	3.75				
230	1/16	0.0625	4.0				
270		0.053	4.25				
325		0.044	4.5				
		0.037	4.75				
	1/32	0.031	5.0				
	1/34	0.0156	15.6				
	1/128	0.0078	7.8				
	1/256	0.0039	3.9				
		0.002	2				
		0.00098	0.98				
		0.00049	0.49				
		0.00012	0.12				
		0.00006	0.06				

Tabla 2: Tamaño de grano (textura) según Wentworth. (FOLK, 1974) traducido por CRUZ & CABALLERO, 2007.

La **forma de las partículas** reflejan el origen de las partículas, los procesos de erosión, transporte, depositación y retrabajamiento ocurridos antes y después de la depositación, es necesario utilizar términos como esfericidad y redondez de las partículas. La esfericidad es la tendencia a presentar una forma de esfera y la redondez se refiere a la presencia de bordes o aristas (Figura 17).

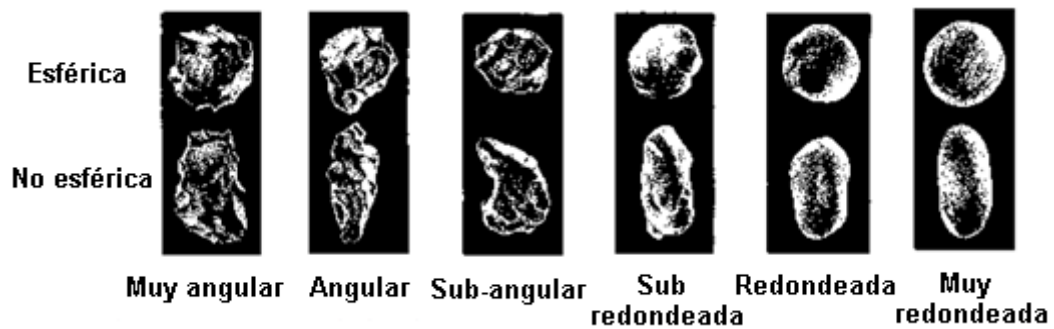


Figura 17: Términos de grado de redondeamiento y esfericidad de las partículas según Powers, COMPTÓN, 1962 en CRUZ & CABALLERO, 2007

El **grado de selección o calibrado** es la distribución de los tamaños de grano en la muestra de sedimento, indica el grado de uniformidad o de variación de los tamaños, el calibrado refleja la energía del medio que permite seleccionar las partículas. La manera de determinarla es de forma visual utilizando gráficas comparativas (Figura 18) o por datos calculados desde las distribuciones de tamaño de grano (Tabla 3).

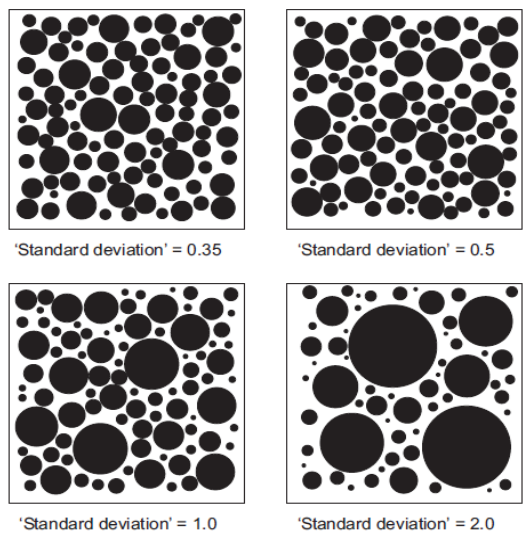


Figura 18: ilustración gráfica de la selección o calibrado de las partículas. (NICHOLS, 2009).

VALORES DE DESVIACIÓN ESTANDAR	VALORES DE SELECCIÓN
< 0,35	Muy bien seleccionado
0,35 – 0,50	Bien seleccionado
0,50 - 0,70	Moderadamente bien seleccionado
0,70 – 1,00	Moderadamente seleccionado
1,00 – 2,00	Pobrementemente seleccionado
2,00 – 4,00	Muy Pobrementemente seleccionado
> 4,00	Extremadamente pobre seleccionado

Tabla 3: Clasificación de los sedimentos según el grado de selección basado en la desviación estándar. (BOGGS, 1987)

8.1.1 Clasificación Textural de los sedimentos

La clasificación se basa en el tamaño de grano y el porcentaje de los tres componentes lodo, arena y grava, debido a esto se definen los tres grupos principales y 15 grupos particulares, como se muestra en el diagrama triangular de la grafica. Los grupos particulares se definen integrando los tres grupos principales, dependiendo de la proporción arena y lodo en los límites 9:1, 1:1; 1:9 como se muestra en la figura 19.

La tabla 4 indica la nomenclatura utilizada para describir los sedimentos no consolidados basada en el diagrama triangular propuesto por Folk, 1974.

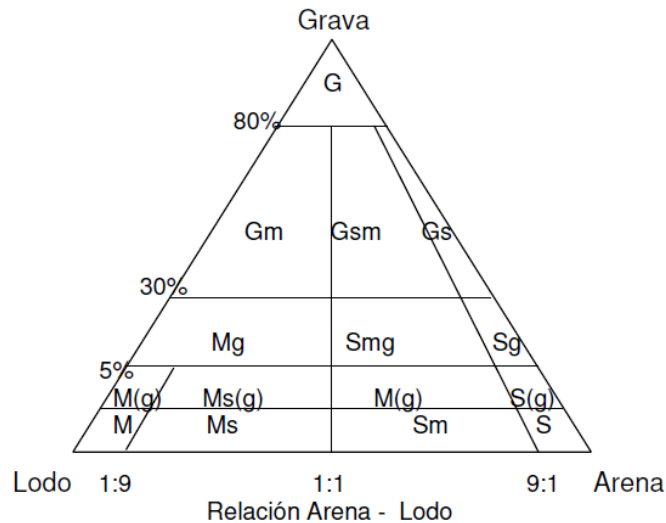


Figura 19: Diagrama triangular para la clasificación textural según tamaño de grano, utilizada para sedimentos no consolidados. FOLK, 1974 en CRUZ & CABALLERO, 2007)

Clase textural	Clase textural mayor	Clase textural específica
G	Grava	Grava de Guijarros.
Gs	Grava arenosa	Grava de Guijarros arenoso.
Gsm	Grava Arenosa lodosa	Grava de gránulos areno lodosa.
Gm	Grava lodosa	Grava de cantos limosa.
Sg	Arena Gravosa	Arena Guesa Guijosa.
Smg	Arena lodo gravosa	Arena Fina limo Guijosa.
Mg	Lodo gravoso	Lodo Guijarroso.
S(g)	Arena Ligeramente gravosa	Arena media ligeramente granular.
Sm(g)	Arena Lodosa Ligeramente gravosa.	Arena Media Lodosa ligeramente guijosa.
Ms(g)	Lodo arenoso ligeramente gravoso.	Lodo arenoso fino ligeramente granular.
M(g)	Lodo ligeramente gravoso	Arcilla ligeramente guijosa.
S	Arena (especificar calibrado)	Arena fina bien calibrada.
Sm	Arena lodosa	Arena muy fina limosa bien calibrada.
Ms	Lodo arenoso	Arcilla arenosa fina.
M	Lodo	Limo

Tabla 4: Nomenclatura para describir sedimentos. (FOLK, 1974)

8.2 Análisis Granulométricos

El análisis granulométrico, permite determinar la distribución por tamaño de las partículas entre finas y gruesas, se lleva a cabo mediante diferentes técnicas y métodos dependiendo del propósito del estudio, deben considerar las propiedades específicas: físicas, químicas, etc. de los materiales y el rango de la aplicación. Las metodologías a utilizar en el caso de estudio son tamizaje, difracción laser y sedimentación.

8.2.1 Difracción láser

Esta técnica, permite el análisis de la distribución del tamaño de las partículas de 2 a 2000 μm , se llevo a cabo en algunas muestras, se disgregó la muestra previamente posteriormente se analiza mediante un Analizador de partículas con tecnología de Difracción Tri-láser en vía húmeda, para identificar partículas tanto esféricas como de formas irregulares en una sola corrida.

La difracción láser se realiza con base en el fenómeno de dispersión de la luz causado por las partículas en todas las direcciones, con un patrón que depende del tamaño de la partícula.

La distribución que se obtiene, corresponde al conteo realizado al volumen de partículas en las diferentes clases de tamaños. En cada distribución se calcularon parámetros tales como:

- ✓ El tamaño de partícula promedio \bar{x}_m : el cual representa el tamaño que posee la mayor concentración de la distribución de densidad.
- ✓ La Desviación estándar σ : que representa el ancho de la distribución.
- ✓ Los Percentil X10, X50, X60 y X90; que representan el tamaño máximo al cual se encuentran el 10%, 50%, 60% y 90% de las partículas respectivamente.
- ✓ Coeficiente de uniformidad, U es una medida de la distribución de las partículas en la muestras. Se basa en la relación X60/X10 de la distribución acumulada. Se considera que la muestra es bien

seleccionada si el coeficiente de uniformidad es menor a 3, si el coeficiente de uniformidad está entre 3 y 5 se considera que la muestra está moderadamente seleccionada y si es mayor a 5 se considera que la muestra está mal seleccionada, mostrando una gran dispersión de tamaños de los granos.

En la figura 20 se ilustra la ubicación geográfica de las muestras 23 y 27 a las cuales se les realizó análisis granulométrico por las metodologías de Difracción Laser.

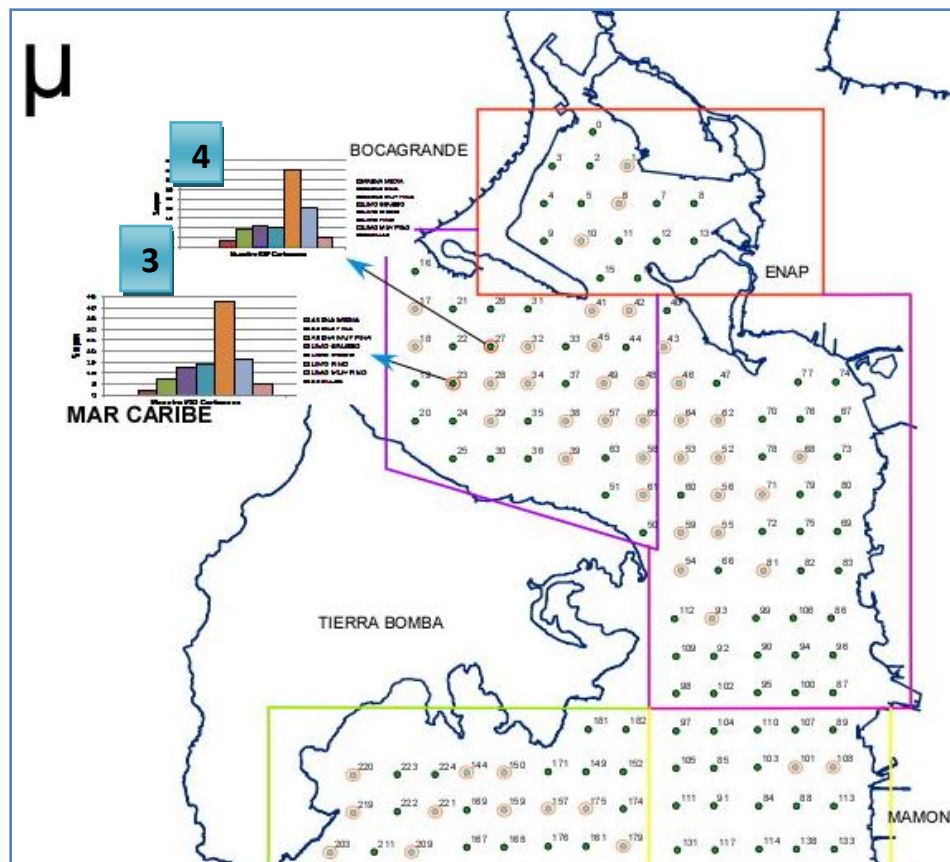


Figura 20: Ubicación muestras # 23 y # 27. La flecha que indica la ubicación y el diagrama de barras para cada una de ellas. La muestra 23 corresponde al diagrama de columna número 3 y la estación 27 corresponde al diagrama de columna número 4.

La Figura 21 ilustra el diagrama de columna que representa la distribución de acuerdo al tamaño de grano de las muestras de las estaciones #23 y #27, ubicadas en la parte norte de la Bahía de Cartagena. De acuerdo a esto, se dice que las muestras corresponden a sedimentos con predominancia en los tamaños limos finos, con un porcentaje en peso de 40% aproximadamente.

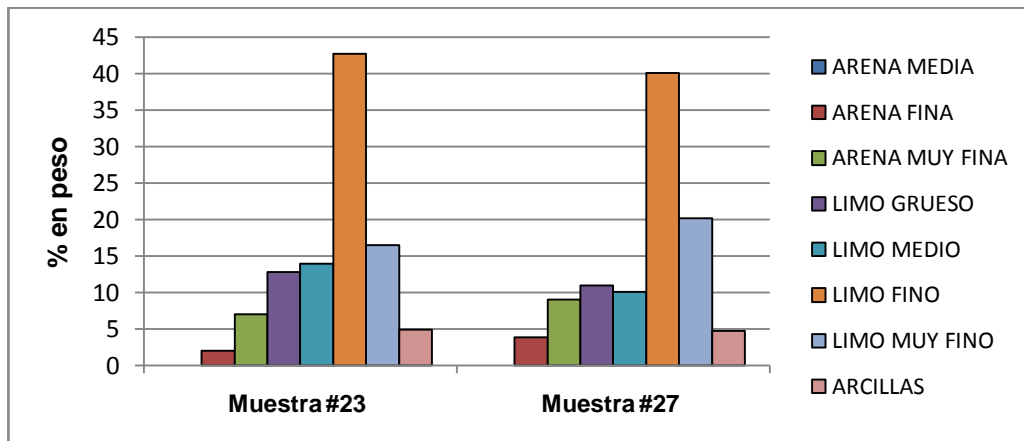


Figura 21: Diagrama de columna con la distribución del tamaño de grano de las muestras 23 y 27, obtenidos por difracción láser, muestra # 23 parte derecha y muestra # 27 parte izquierda del grafico.

El coeficiente de uniformidad es 6.139 para la muestra 23 y 5.91 para la muestra 27, como se ve en la tabla 5 y la figura 20. Esto indica que las muestras tienen una distribución heterogénea o de pobre selección.

Descripción		Muestra #23	Muestra #27
Variable			
Promedio	\bar{x}_m (μm):	21,28	25,88
Desviación estándar	σ	16,33	20,65
Coeficiente de Uniformidad	U	6,139	5,91
Percentil 10	X10 [μm]	2,898	2,806
Percentil 50	X50 [μm]	13,41	11,60
Percentil 60	X60 [μm]	17,79	16,59
Percentil 90	X90 [μm]	47,55	63,61

Tabla 5: Parámetros estadísticos para las muestras N° 23 y N° 27, analizadas por difracción láser.

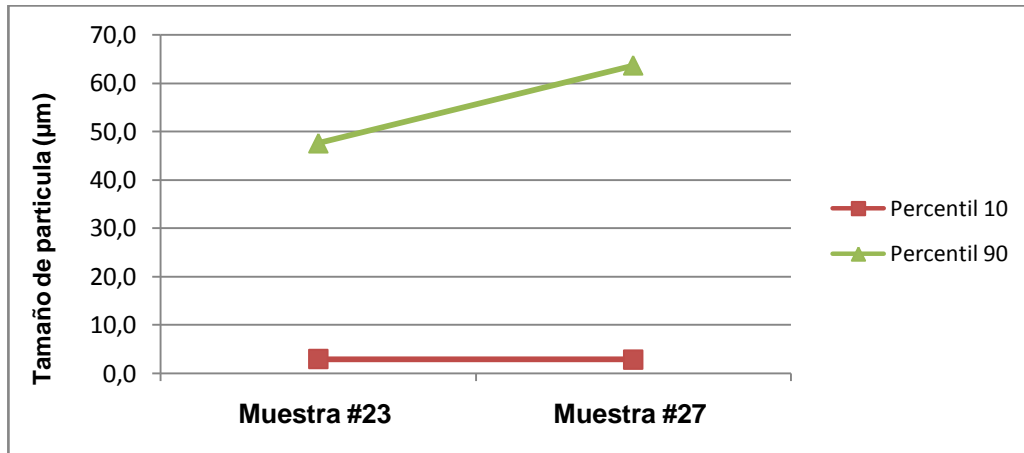


Figura 22: Comparación del coeficiente de uniformidad muestras 23 y 27.

8.2.2 Sistema Lumosed

Este sistema se utilizó, para analizar algunas muestras de tamaño menor de 53μ , la fracción fina se analiza mediante este sistema que permite calcular las curvas de distribución de tamaño de grano por sedimentación en un medio acuoso aplicando la ecuación de Stokes². El medio acuoso empleado es agua desmineralizada, asumiendo que la densidad promedio de las muestras es 2600 Kg/m^3 .

Se llevo a cabo en un sedimentador Marca Restch diseñado para utilizar la extinción de la luz y la velocidad de sedimentación para medir la concentración de la materia sólida. A cada curva de distribución se le calculan parámetros como:

- ✓ El tamaño de partícula promedio \bar{x}_m
- ✓ Coeficiente de uniformidad U.

La figura 23 ilustra la ubicación geográfica de las muestras # 68, #101, #148 y #155 analizada por el sistema Lumosed, indicadas en el cuadrado azul con el número 6, 8, 7, 5 correspondientemente junto al diagrama de barras que corresponde cada una.

² Fuerza de fricción experimentada por objetos esféricos moviéndose en el seno de un fluido viscoso en un régimen laminar de bajos número de Reynolds; que implican una velocidad relativa entre la esfera y el medio inferior a un valor crítico.

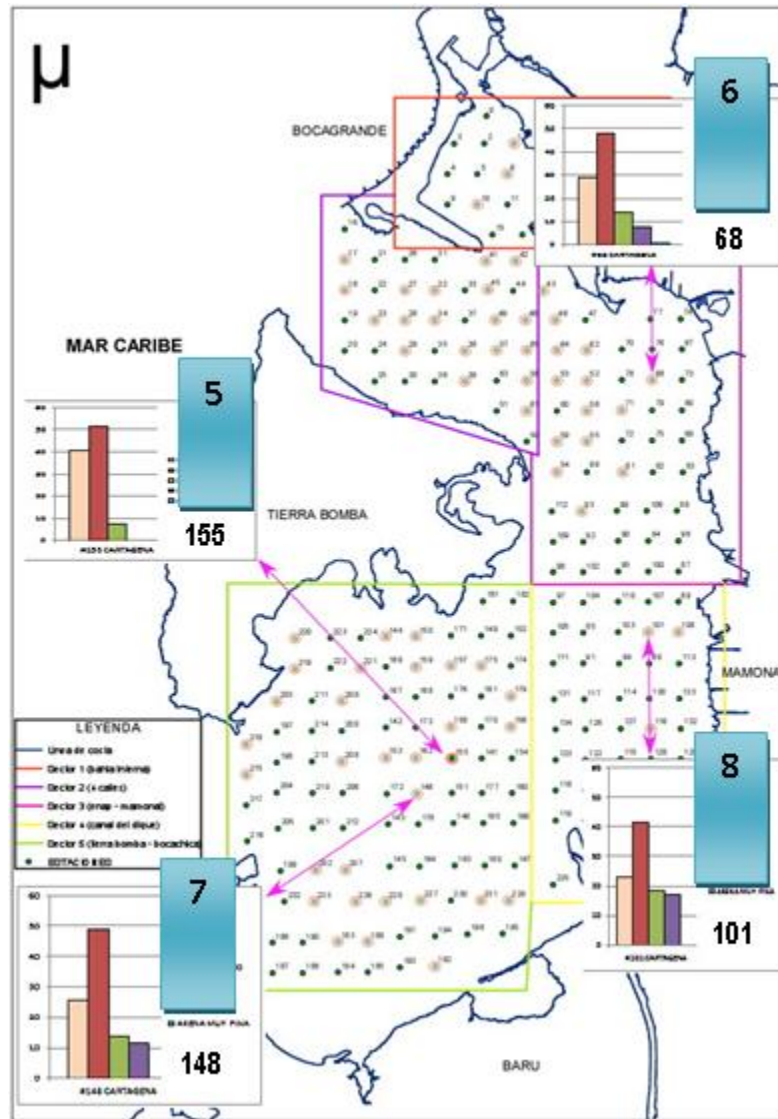


Figura 23: Ubicación geográfica de las estaciones analizadas granulométricamente por sistema Lumosed.

Esta técnica aplicada a las muestras número 68, 101, 148 y 155 permitió definir que las muestras corresponden a sedimentos con predominio de tamaños en los limos finos (10 -20 μm), Ver figura 24, particularmente se observa que la muestra 68 que está ubicada geográficamente más al norte, presenta sedimentos de tamaño arena muy fina ausentes en las otras muestras, adicionalmente entre las

muestras 155 y 148 hay variación notoria en la composición, la muestra 155 tiene ausencia total de limos gruesos y arenas muy finas.

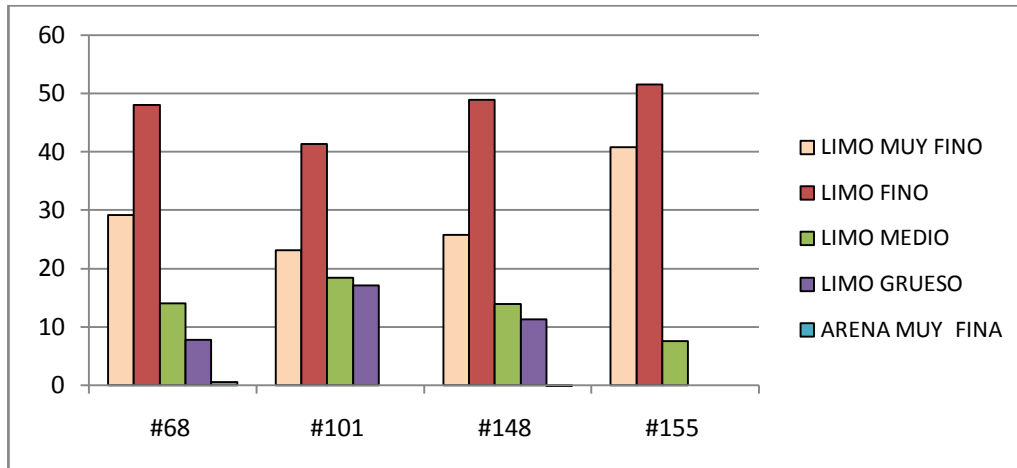


Figura 24: Distribución de tamaño de grano por porcentaje para las muestras 68, 101, 148 y 155.

De acuerdo a que los coeficientes de uniformidad que se obtuvieron para estas muestras son superiores a tres, se define que las muestras son pobremente seleccionadas. Ver tabla 6 y figura 25.

Variable	Descripción	#68	#101	#148	#155
Diámetro promedio	\bar{x}_m [μm]	13,0	7,6	13,8	8,3
Coeficiente de uniformidad	U	7,7	4,0	7,3	6,9
Percentil 10	X10 [μm]	1,7	2,1	1,9	1,2
Percentil 40	X40 [μm]	7,4	5,3	8,1	4,9
Percentil 50	X50 [μm]	9,5	6,7	10,5	6,6
Percentil 60	X60 [μm]	13,0	8,4	13,9	8,3
Percentil 90	X90 [μm]	28,9	14,6	31,3	18,4

Tabla 6: parámetros estadísticos calculados para las muestras analizadas por el sistema Lumosed.

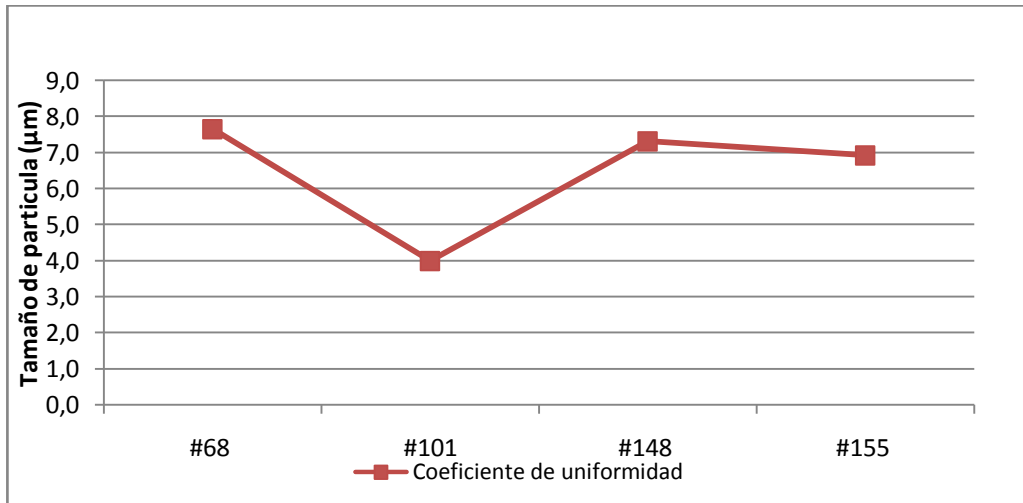


Figura 25: Comparación de los coeficientes de uniformidad.

8.2.3 Tamizaje

Permitió establecer la distribución del tamaño de partícula para la fracción mayor a 53 micras. Esta fracción se pasa por un set de tamices que van desde 3350 µm hasta 53 µm para calcular las curvas de distribución del tamaño de las partículas. Los tamices estandarizados que se usan son los denominados por la serie de Tyler.

8.3 Procesamiento de Datos

8.3.1 Gráfico

Las técnicas que se describen anteriormente generan gran cantidad de datos, los cuales para mayor comodidad y aplicación se deben reducir utilizando graficas que indiquen los tamaños de granos y el peso de cada fracción encontrada, con el fin de obtener parámetros estadísticos como tamaños promedios y clasificación aplicables a estudios ambientales.

Los métodos de representación que más se utilizan son las tablas que relacionan los tamaños de granos, el peso en bruto y el porcentaje de peso individual acumulado, datos que son obtenidos a partir del tamizaje (Tabla 7).

Tamaño ϕ	Peso Bruto (gm)	% de peso individual	% de peso acumulado
-1.0	0.43	0.5	0.5
-0.5	2.13	2.5	3.0
0.0	4.25	5.0	8.0
0.5	6.80	8.0	16.0
1.0	9.35	11.0	27.0
1.5	12.75	15.0	42.0
2.0	13.58	16.0	58.0
2.5	12.75	15.00	73.0
3.0	9.35	11.0	84.0
3.5	6.80	8.0	92.0
4.0	4.25	5.0	97.0
4.5	2.13	2.5	99.5
5.0	0.43	0.5	100

Tabla 7: Tabla de datos de tamaños de grano.

El histograma, muestra el porcentaje de peso individual que puede ser graficado es una función de tamaño de grano (Figura 26). Otro tipo de representación es la curva de tamaño acumulada que es el resultado de graficar el tamaño de grano contra la frecuencia acumulada por porcentaje de pesos (Figura 27).

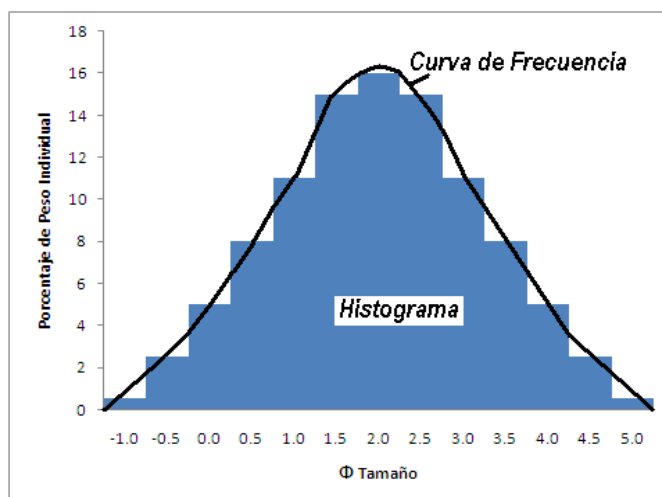


Figura 26: Histograma y distribución de frecuencia de los tamaños de grano.

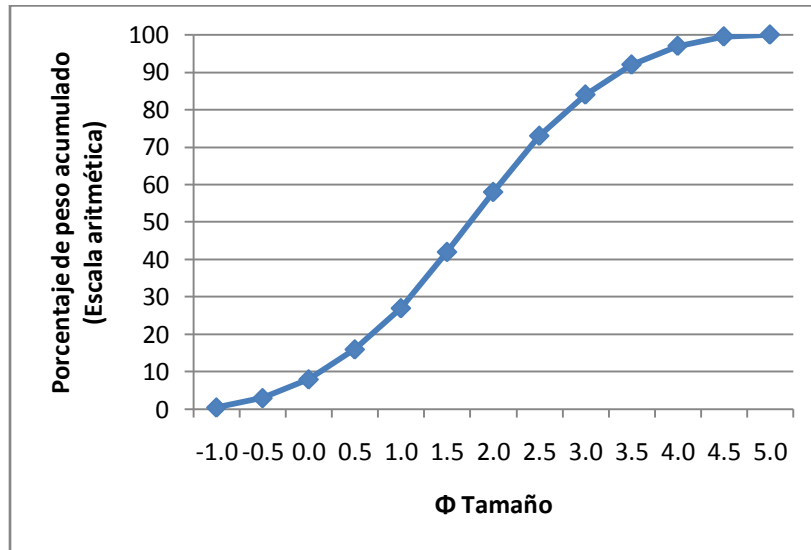


Figura 27: Curva acumulativa con una escala aritmética ordinaria.

A partir de los datos obtenidos de los pesos de las fracciones que quedan retenidas en cada tamiz, se construyen los diagramas de barras para cada muestra, para comparar varias muestras ubicadas en diferentes partes dentro del área de estudio.

La figura 28 ilustra las variaciones existentes en el sector de Manzanillo.

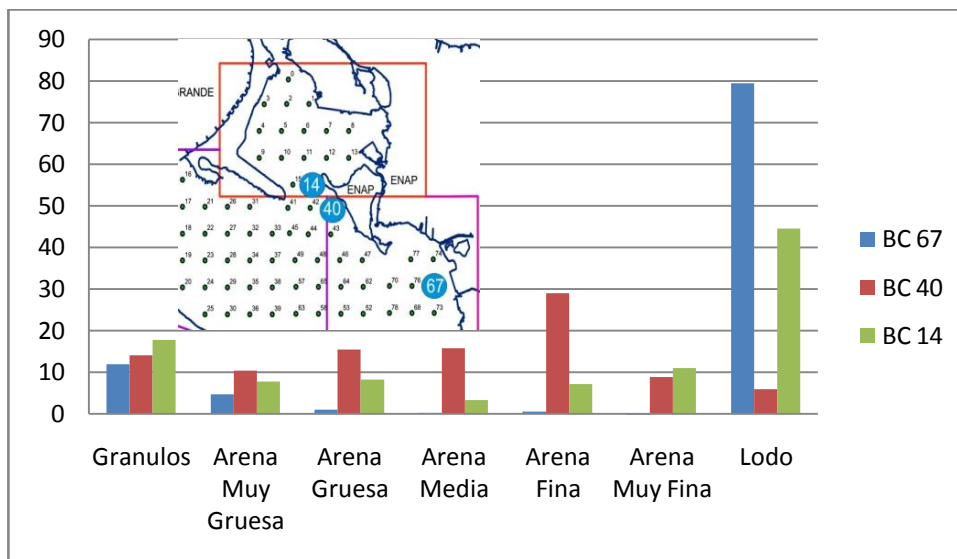


Figura 28: Diagramas de barras para las estaciones 67, 14 y 40, ubicadas en el norte de la Bahía.

Estas muestras ubicadas en la parte norte del área de estudio presentan variaciones en los contenidos de las fracciones de arena, indicando los mayores valores para la estación 40, y los pocos valores para las estaciones 67 y 14, que se resume en un aumento de la fracción lodo en sentido sureste.

La figura 29 permite observar las variaciones existentes en las muestras tomadas para la parte sur de la Bahía; todas presentan contenidos altos en la fracción lodosas, la estación 119 ubicada en la desembocadura del Canal del dique presenta ausencia de tamaños mayores a arena media, la estación 224 presenta bajos contenidos en gránulos, la 191 presenta todas las fracciones

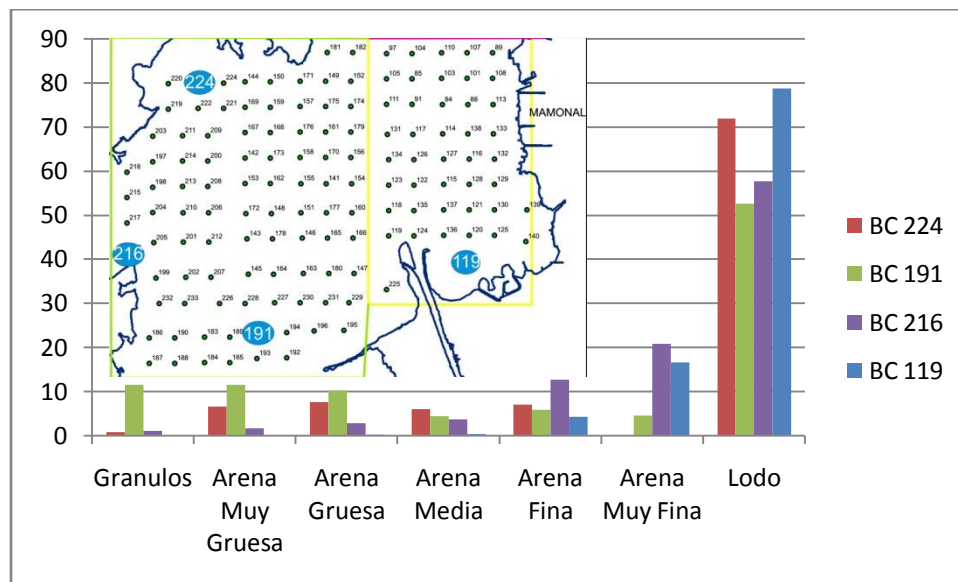


Figura 29: Diagramas de barras para las estaciones 224,191, 216 y 119 ubicadas en la parte Sur de la Bahía.

8.3.2 Estadísticos

La estadística es la ciencia que trata los problemas que involucran variaciones casuales, que resultan de un sin número de influencias pequeñas e independientes que operan en cada resultado medido, permite la toma de decisiones a partir de datos. (KENNEDY & NEVILLE, 1998)

El análisis estadístico se basa de una serie de parámetros que permiten comparar diversos análisis entre sí. Estas medidas pueden ser gráficas o analíticas y se pueden agrupar de la siguiente manera.

8.3.2.1 Medidas de tendencia Central

Estas medidas reflejan la energía cinética media del agente transportador, caracterizan los tipos de tamaño de grano presentes en la muestras; ubicando el valor alrededor del cual se tienden a reunir los datos, este punto se denomina "Punto Central", las principales son la moda, la mediana y la media.

- ✓ **Moda:** Es el tamaño de partículas más frecuente que se produce dentro de una población de sedimentos, indicando el componente máximo. Se denomina bimodal cuando se presentan dos valores con mayor frecuencia, y polimodal cuando se presentan varios valores de mayor frecuencia. Los sedimentos siliciclásticos tienden a tener un tamaño único modal.
- ✓ **Mediana:** Es el punto medio de la distribución permite ver el valor que se encuentra exactamente en la mitad del conjunto de los datos. Corresponde al percentil 50 de diámetro en una curva acumulada.
- ✓ **Media:** Es la medida de posición central más utilizada, la más conocida y sencilla de calcular, debido a que las ecuaciones permiten el manejo matemático como se puede apreciar en las ecuaciones que se muestran posteriormente. Es la media aritmética de todos los tamaños de grano de las partículas en la muestra.

$$\text{Media aritmética} = \frac{\text{Suma de todos los valores observados}}{\text{Número total de observaciones}}$$

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_n}{n}$$

8.3.2.2 Medidas de dispersión

Las medidas de dispersión reflejan el agente de transporte, se comportan como medidas del grado de fluidez y viscosidad, estadísticamente permiten reconocer que tanto se dispersan los datos alrededor del punto central. Las principales medidas de dispersión son la varianza y la desviación estándar.

- ✓ Varianza: Permite identificar la diferencia promedio existente entre cada uno de los valores respecto a su punto central (media). Es calculada sumando los cuadrados de las diferencias de cada valor respecto a la media y dividiendo el resultado en el número de observaciones.

$$\sigma^2 = \frac{(x_1 - \bar{x})^2 + (x_2 - \bar{x})^2 + (x_3 - \bar{x})^2 + \dots + (x_n - \bar{x})^2}{(n - 1)}$$

$$\sigma^2 = \frac{\sum(x_i - \bar{x})^2}{(n - 1)}$$

Donde:

σ^2 representa la varianza

x_i representa cada uno de los valores.

\bar{x} representa la media poblacional.

N representa el número de observaciones.

- ✓ Desviación estándar: es la más utilizada, permite determinar el promedio aritmético de fluctuación de los datos respecto a su punto central de los datos respecto a su media, representa el promedio de diferencia que hay entre los datos y la media. Su cálculo se hace hallando la raíz cuadrada de la varianza.

$$\sigma = \sqrt{\sigma^2}$$

8.3.2.3 Medidas de distribución

Las medidas de distribución permiten identificar la forma en que se separan o agrupan los valores de acuerdo a una representación gráfica, describen la forma como los datos tienden a reunirse de acuerdo con la frecuencia con que se encuentren dentro de la información. Las principales medidas de distribución son la Asimetría y la Curtosis.

- ✓ Asimetría o Sesgo: Es necesario considerar las tres medidas de tendencia central; media, mediana y moda en la curva de distribución de frecuencias, que se muestra en la Figura 30. La moda es el valor correspondiente al punto más alto de la curva, la mediana divide al área bajo curva en dos mitades y la media pasa por el centro del área. La mediana se encuentra entre la media y la moda o bien coincide con ellas.

Cuando los tres promedios no coinciden se dice que la curva de distribución es sesgada o asimétrica (POLANIA & BORDA, 1991). La asimetría permite identificar si los datos se distribuyen de forma uniforme alrededor del punto central (Media). La asimetría presenta tres estados diferentes como lo indica la figura 30, cada uno de los cuales define de forma concisa como están distribuidos los datos respecto al eje de simetría.

- Curva de asimetría positiva o sesgada positivamente: la mayoría de los datos se encuentran por encima del valor de la media, de igual forma la mediana se encuentra a la derecha de la moda.
- Simétrica: la distribución de los datos es aproximadamente de igual cantidad en ambos lados de la media.
- Curva de asimetría negativa o sesgada negativamente: la mayoría de los datos se encuentran en los valores menores a la media.

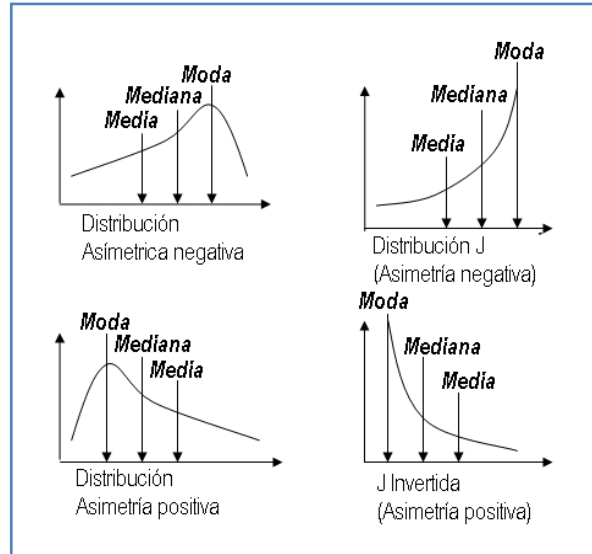


Figura 30: Diferentes comportamientos de una curva de asimetría, de acuerdo a la media, mediana y moda.

- ✓ Curtosis: Determina el grado de concentración que presenta los valores en la región central de la distribución. Se indica mediante el Coeficiente de Curtosis y se puede presentar tres tipos (Figura 31):
 - Leptocúrtica: Gran concentración.
 - Mesocúrtica: concentración normal.
 - Platicúrtica: baja concentración.

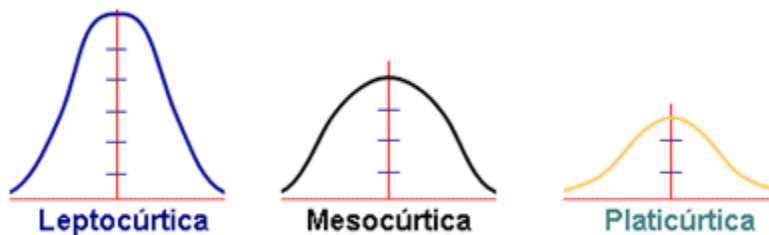


Figura 31: Tipo de curtosis.
Tomado de <http://www.spssfree.com/spss/analisis3.html>.

8.3.3 Parámetros aplicados

Para determinar los parámetros de tamaño de grano se utilizan formulas estadísticas, que involucran: la frecuencia en porcentaje (f), el punto medio de cada intervalo de clase (m) en unidades métricas (m_m) o en unidades phi (m_ϕ), los diámetros de las partículas P_x y Φ_x en sus respectivas unidades métricas y phi respectivamente y el valor del porcentaje acumulativo de x .

8.3.3.1 Calculos gráficos Logaritmico Folk and Ward (1957).

$$\text{Media} \quad \bar{x} = \frac{\varphi_{16} + \varphi_{50} + \varphi_{84}}{3}$$

$$\text{Desviación estándar} \quad \sigma_I = \frac{\varphi_{84} - \varphi_{16}}{4} + \frac{\varphi_{95} - \varphi_5}{6.6}$$

$$\text{Asimetría} \quad Sk_I = \frac{\varphi_{16} + \varphi_{84} - 2\varphi_{50}}{2(\varphi_{84} - \varphi_{16})} + \frac{\varphi_5 + \varphi_{95} - 2\varphi_{50}}{2(\varphi_{95} - \varphi_5)}$$

$$\text{Curtosis} \quad K_g = \frac{\varphi_{95} - \varphi_5}{2.44(\varphi_{95} - \varphi_5)}$$

Tabla 8: Asimetría de las curvas para cada muestra de sedimento basado en la desviación estándar. (GRADISTAT, 2008)

VALORES DE DESVIACIÓN ESTANDAR	VALORES DE ASIMETRÍA
0,3 a 1,0	Sesgo muy hacia los granos finos
0,1 a 0,3	Sesgo hacia los finos
0,1 a -0,1	Simétrico
-0,1 a -0,3	Sesgo hacia los gruesos
-0,3 a -1,0	Sesgo muy hacia los granos gruesos

Tabla 9: Índice de curtosis para cada muestra de sedimentos basado en la desviación estándar. (GRADISTAT, 2008)

VALORES DE DESVIACIÓN ESTANDAR	VALORES DE CURTOSIS
< 0,67	Muy platicúrtica
0,67 – 0,90	Platicúrtica
0,90 – 1,11	Mesocúrtica
1,11 – 1,50	leptocúrtica
1,50 – 3,00	Muy Leptocúrtica
> 3,00	Extremadamente Leptocúrtica

A partir de los datos obtenidos en la granulometría se elaboran tablas; resumen que contiene información del grupo textural y los porcentajes de grava, arena y lodo de cada muestra que se indican en el anexo 1 y se construyen los gráficos que relacionan los parámetros que se muestra a continuación, las muestras y estaciones se encuentran ordenadas de norte de a sur, en donde la muestra ubicada en el extremo norte se indica con el número 1 y la muestra ubicada en el extremo sur corresponde al número 234:

La Figura 32: grafica las estaciones Vs Tamaño medio de grano, la cual muestra que valores altos de tamaño de grano en unidades ϕ indican tamaños menores o lodos y los valores más bajos indican tamaños gruesos o presencia de fragmentos de restos fósiles. Para el caso de estudio la mayor concentración de los datos se encuentra en el valor $\phi=6$ indicando predominancia de sedimentos en tamaño lodo, definidos entre lodo medio y lodo fino.

Es importante observar que la muestra correspondiente a la estación 68 localizada en el gráfico de estaciones Vs tamaño medio de grano de la figura 32 en la parte superior de la línea que indica el valor 6, fue analizada mediante Difracción Láser generando detalle de los porcentajes presentes en cada muestra y de igual forma para la clasificación. Mientras la muestra correspondiente a la estación 234,

que corresponde al sector sur en Pasacaballos, presenta valores negativos de tamaño de grano y corresponde a una grava lodosa.

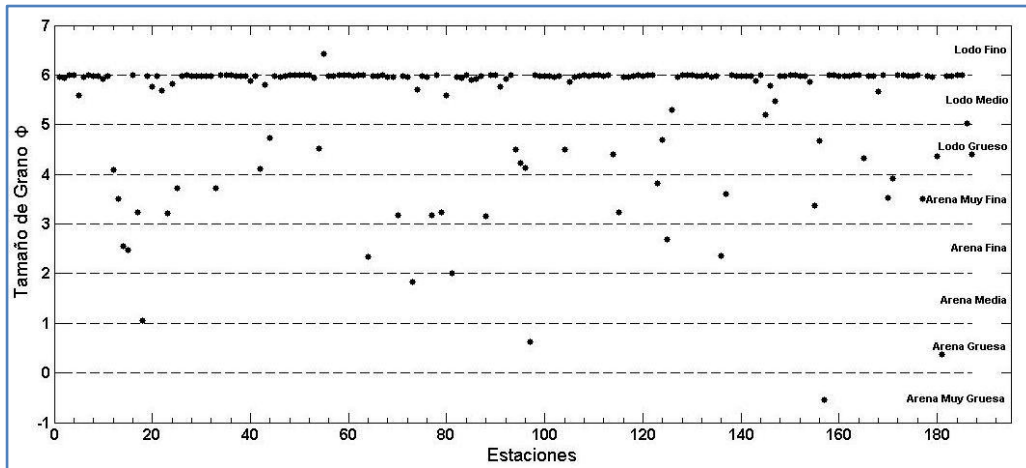


Figura 32: Clasificación del tamaño de grano a partir de la grafica Estaciones Vs Tamaño de Grano.

El figura 33 gráfica las estaciones Vs Clasificación de las muestra analizadas mediante el tamizaje permite identificar que los valores menores indican mejor selección y los valores mayores indican muy pobre selección, para el caso de estudio el mayor numero de muestras está en el rango de pobre selección o clasificación σ .

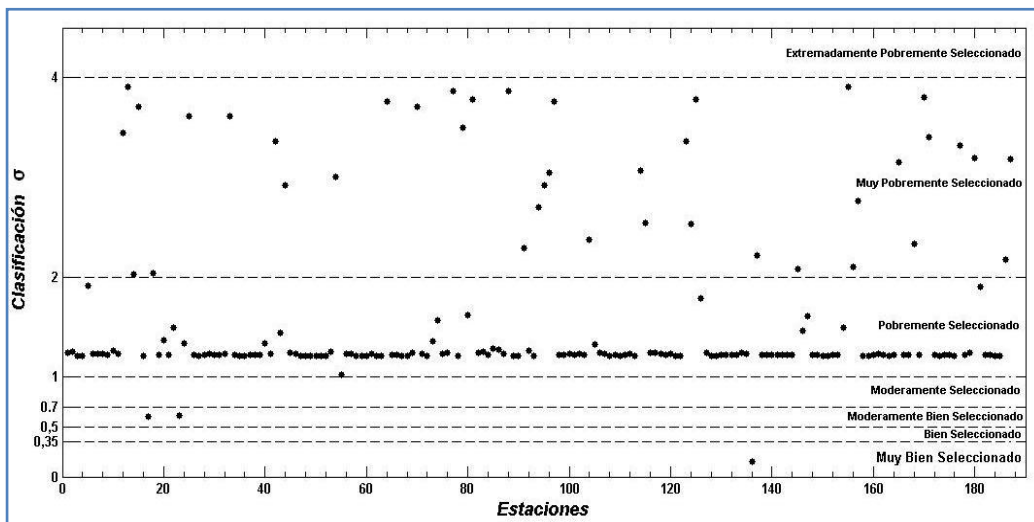


Figura 33: Grado de Selección o clasificación de todas las muestras.

La figura 34 gráfico estaciones Vs simetría permite observar que los valores positivos de asimetría indican asimetría hacia los finos y los valores negativos de asimetría indican asimetría hacia los gruesos, para el caso de estudio la mayor parte de las muestras presentan curvas son simétricas en la distribución de los sedimentos dentro de la muestra.

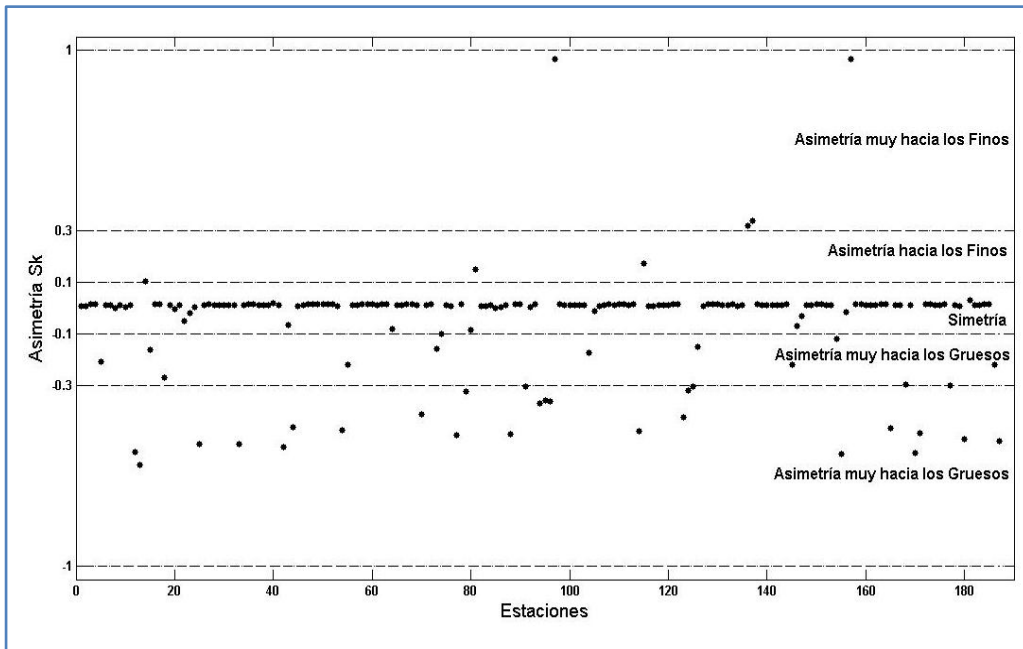


Figura 34: Grado de asimetría de las muestras tomadas para toda la Bahía.

La figura 35, gráfica Estaciones Vs Curtosis permite identificar que los valores menores indican un coeficiente de curtosis de tipo platicúrtico y los valores mayores indican un coeficiente de curtosis de tipo leptocúrtica, y el rango entre 0,5 y 1 el coeficiente de curtosis es de tipo mesocúrtico. Para el caso de estudio la mayoría de las muestras presentan un coeficiente de tipo platicúrtico, indicando amplio rango en los tamaños de partícula en las muestras.

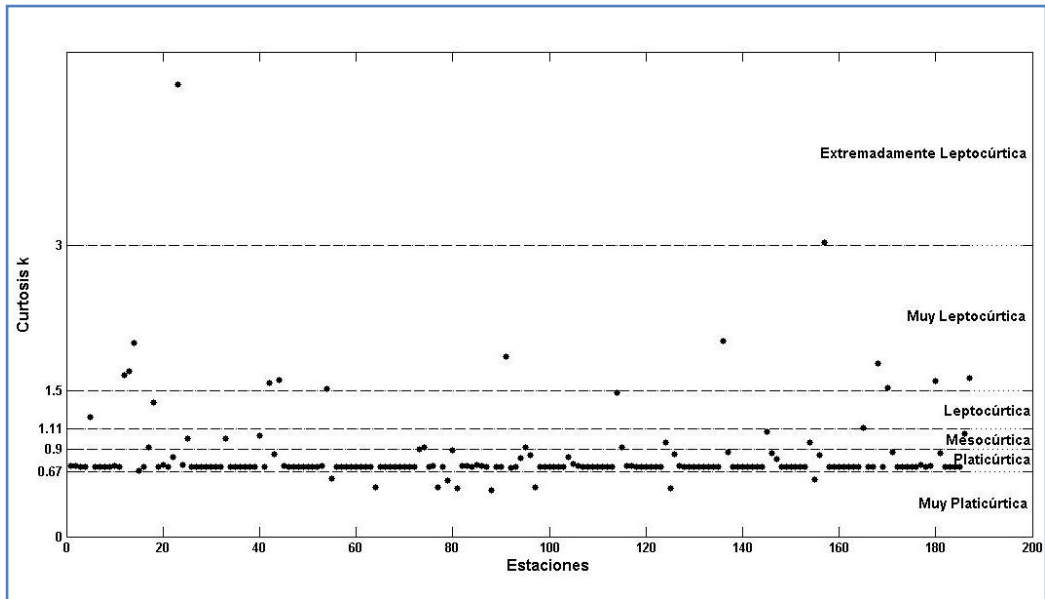


Figura 35: índice de Curtosis de las muestras.

Las gráficas de bivariantes de dispersión de los parámetros de tamaño de grano permiten observar:

La distribución de los datos obtenidos en la grafica de Tamaño de Grano Vs Clasificación; figura 36, se observó un comportamiento inversamente proporcional, a medida que aumenta el tamaño de grano las muestras presentan pobre clasificación.

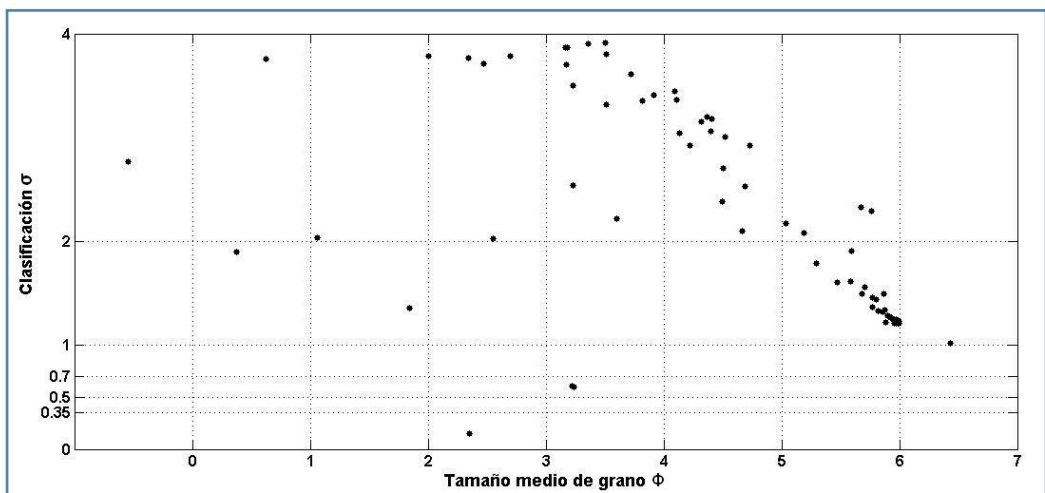


Figura 36: Gráfica bivalente entre Tamaño de grano Vs Clasificación.

La distribución de los datos obtenidos en la grafica bivalente entre clasificación y asimetría; figura 37 permite observar un comportamiento inversamente proporcional, a medida que el grado de selección de la muestra es mejor seleccionada; la asimetría o el sesgo se presenta hacia los granos gruesos

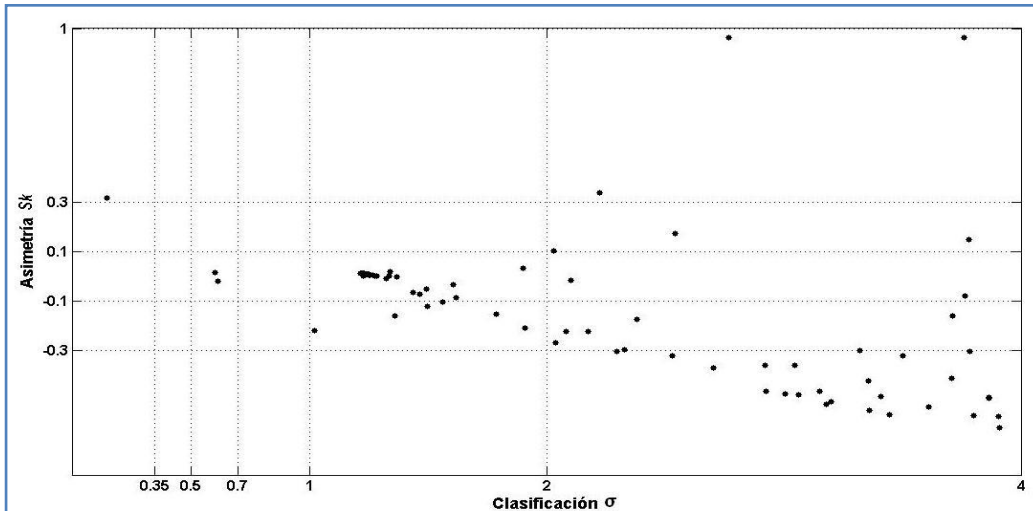


Figura 37: Gráfica bivalente entre clasificación y asimetría.

La distribución de los datos obtenidos en la grafica bivalente entre asimetría y curtosis, figura 38, permite observar que la mayoría de las muestras que presentan asimetría presentan un coeficiente de curtosis platicurtico, para las muestras con asimetria o sesgo muy amplio.

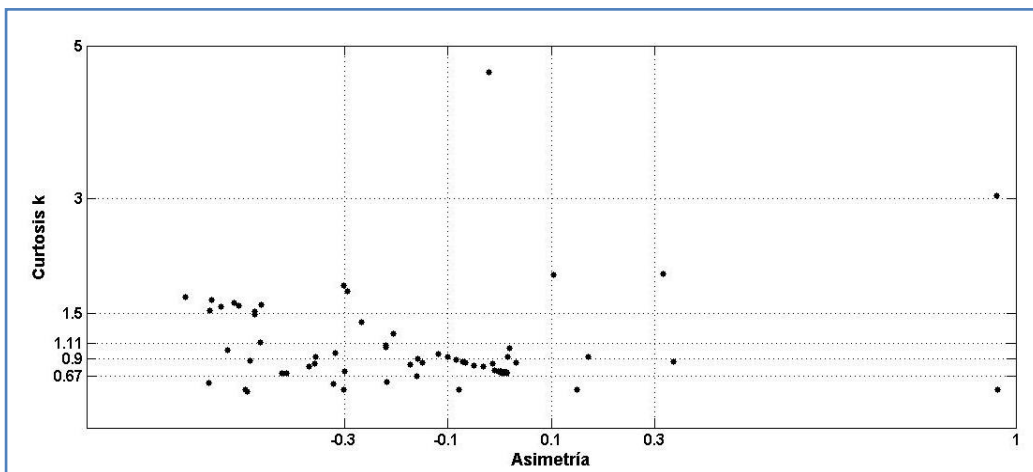


Figura 38: Gráfica bivalente entre asimetría y Curtosis.

Para obtener detalle de los bordes de costa, se realizó un tamizaje de alta resolución a unas muestras, como se observa en la figura 39.

Esta se analizó en la base, el tope y la parte media del corazón que se recolectó, observando variación granodecreciente en la granulometría a profundidad en la zona.

La figura 39 muestra la ubicación geográfica de las muestras de núcleo analizadas por tamizaje en el laboratorio DRX del ICP Ecopetrol.

El núcleo 16 analizado en la base (B), tope (T) y medio (M); cuyos diagramas de barras están indicados con el número 15, 16 y 17 respectivamente en la figura 39.

El diagrama de barras que representa las fracciones presentes en el núcleo 20 se indica con el número 18 y los correspondientes al núcleo 18 se indican con el número 19. Estos diagramas permiten comparar estas estaciones y observar que las muestras de los núcleos 20 y 18T ubicadas geográficamente en la parte sur de la Isla de Tierra Bomba presentan mayor porcentaje en la fracción arena fina, mientras que las muestras del núcleo 16 ubicadas en la parte norte presentan bajos porcentajes de contenido en las fracciones finas. (Figura 40)

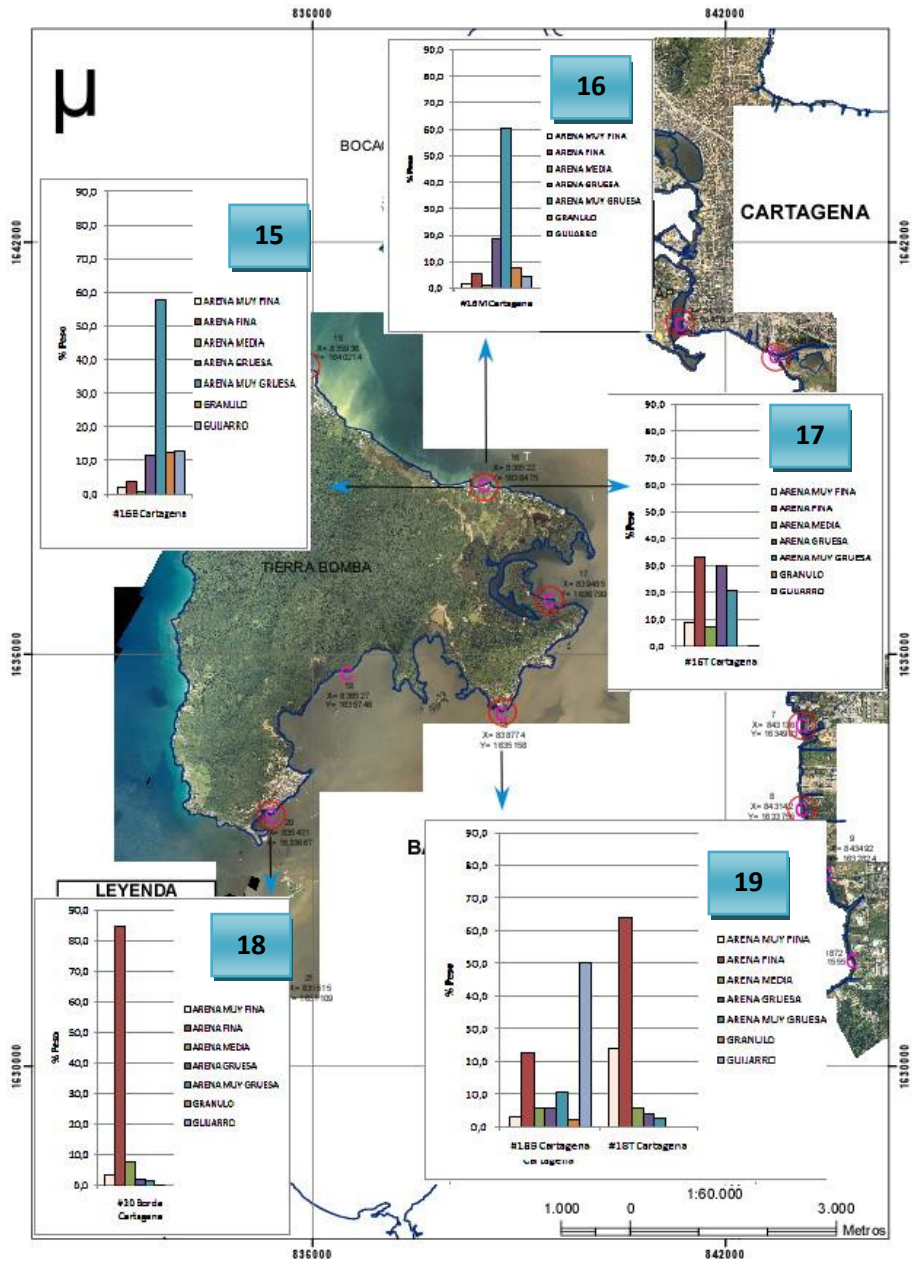


Figura 39: Ubicación geográfica de las muestras analizadas por tamizado con equipo multiziser.

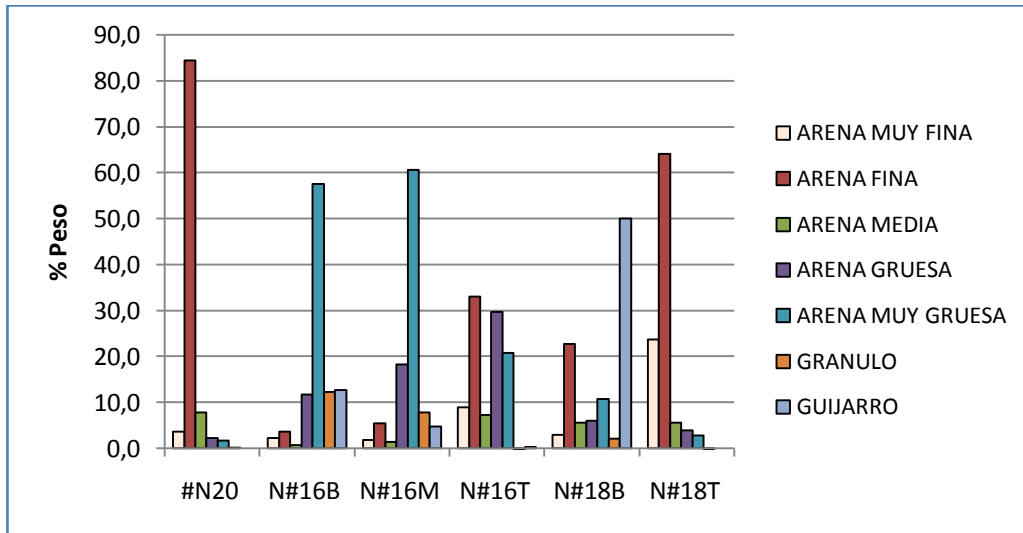


Figura 40: Diagrama de barras a partir del análisis granulométrico para las muestras de núcleo N20, N16B, N16M, N16T, N18B y N18T. Para el caso del núcleo 16 se analizó la base, el medio y el tope denominado con la nomenclatura B, M y T respectivamente.

8.3.4 Aplicación de Funciones Discriminantes

Las funciones discriminantes hacen parte del análisis discriminante; como aplicación del análisis estadístico multivariante desarrollado por Fisher en 1930. Es una técnica de clasificación de objetos que presupone la existencia de dos o más clases: su objetivo es observar las diferencias existentes entre las clases en base a los valores que toman ciertas características sobre objetos de cada una de las clases.

El análisis trata de encontrar funciones de tres o más variables o características cuyos valores separen o discriminen lo más posible a las tres o más clases existentes. Las funciones o ejes discriminantes son combinaciones lineales de las variables originales de la forma:

$$Y = \lambda^0 + \lambda^1 X_1 + \lambda^2 X_2 + \dots + \lambda^p X_p$$

Donde **p** es la cantidad de rasgos o características.

X_i: los valores de los rasgos o características.

λ^j : los coeficientes calculados.

Los coeficientes $\lambda_0, \lambda_1, \dots, \lambda_n$ se eligen de tal forma que se consiga la máxima separación entre las clases existentes, es decir tratando de que los valores que toman estas funciones discriminantes Y en los grupos, sean lo más diferente posible.

La obtención de los coeficientes de las funciones discriminantes se hace mediante cálculos elaborados en software de estadística, como Statistxl, XStat entre otros.

Las funciones serían estructuradas de la siguiente manera:

$$Y_1 = \lambda^{10} + \lambda^{11}X_1 + \lambda^{12}X_2 + \dots + \lambda^{1p}X_p$$

Y será la de mayor capacidad discriminatoria; es decir la que mejor separa las clases.

Las otras serán:

$$Y_2 = \lambda^{20} + \lambda^{21}X_1 + \lambda^{22}X_2 + \dots + \lambda^{2p}X_p$$

$$Y_3 = \lambda^{30} + \lambda^{31}X_1 + \lambda^{32}X_2 + \dots + \lambda^{3p}X_p$$

En el análisis granulométrico se obtienen, una serie de datos que indican los diferentes tipos de tamaño de grano y el porcentaje presente en la muestra de cada uno de los tamaños, valores que permiten aplicar la función discriminante propuesta por Sahu (1964) con el objetivo de caracterizar el escenario de depósito de las estaciones utilizadas para el estudio. La función a utilizar se ha obtenido mediante un estudio cuantitativo de métodos de discriminación de diferentes mecanismos de ambientes de depósito, suponiendo que la distribución del tamaño de grano de sedimentos clásticos refleja el factor de fluidez (viscosidad) del medio de depósito y la energía del ambiente de depósito. (Cupul et al., 2006)

Los resultados del análisis de Sahu (1964), permiten distinguir entre los procesos eólicos y ambiente litoral (playa) (I), entre playa y ambiente marino agitado (II), entre ambiente marino somero y procesos fluviales (III), entre *ambiente fluvial deltaico* y depósitos de *corrientes de turbidez* (IV), cada una de ellos con sus correspondientes λ para cada Y. En nuestro caso de estudio no se involucra la ecuación I, debido a que la zona de estudio no presenta procesos eólicos.

Para la discriminación entre procesos eólicos y ambiente litoral se utiliza la ecuación I, la cual está definida así:

$$Y_1 = -3,5688 \bar{x} + 3,7016\sigma - 2,0766Sk + 3,1135K$$

Si Y_1 es $<$ a 2,7411 corresponde a ambiente eólico, y si Y_1 es $>$ a 2,7411 corresponde a ambiente litoral (playa). (SAHU, 1964)

Donde:

\bar{x} es el tamaño medio de grano.

σ es la desviación estándar (clasificación).

Sk es la asimetría.

K es la curtosis.

Para discriminación entre ambiente de *playa* y *marino somero agitado* se utiliza la ecuación II, la cual está definida así:

$$Y_2 = 15,6534\bar{x} + 65,7091\sigma + 18,1071Sk + 18,5042 K$$

Si $Y_2 < 65.6365$ se sugiere que es un depósito de playa, si $Y_2 > 65.6365$ corresponde a un depósito de mar somero agitado. (SAHU, 1964)

Para diferenciar entre procesos de ambiente *marino somero* y de *fluvial deltaico* se utiliza la ecuación III:

$$Y_3 = 0,2852\bar{x} - 8,7604\sigma - 4,9832Sk + 0,0482 K$$

En la cual si $Y_3 < -7.419$ sugiere un ambiente de depósito fluvial deltaico y si $Y_3 > -7.419$ corresponde a un depósito marino somero. (SAHU, 1964).

Para diferenciar entre un ambiente *fluvial deltaico* y ambiente de corriente de *turbidez* se utiliza la ecuación IV:

$$Y_4 = 0,7215\bar{x} - 0,4030\sigma + 6,7322Sk + 5,2927 K$$

En la cual si $Y_4 < 9.8433$ sugiere un ambiente de corriente de turbidez y si Y_4 es > 9.8433 sugiere que el ambiente es fluvial deltaico.

La figura 41 muestra la relación entre las funciones discriminantes Y_2 y Y_3 en donde se observa la presencia de cuatro posibles ambientes de depósito; marino somero/ playa, marino somero/agitado, fluvial/playa y fluvial/agitado.

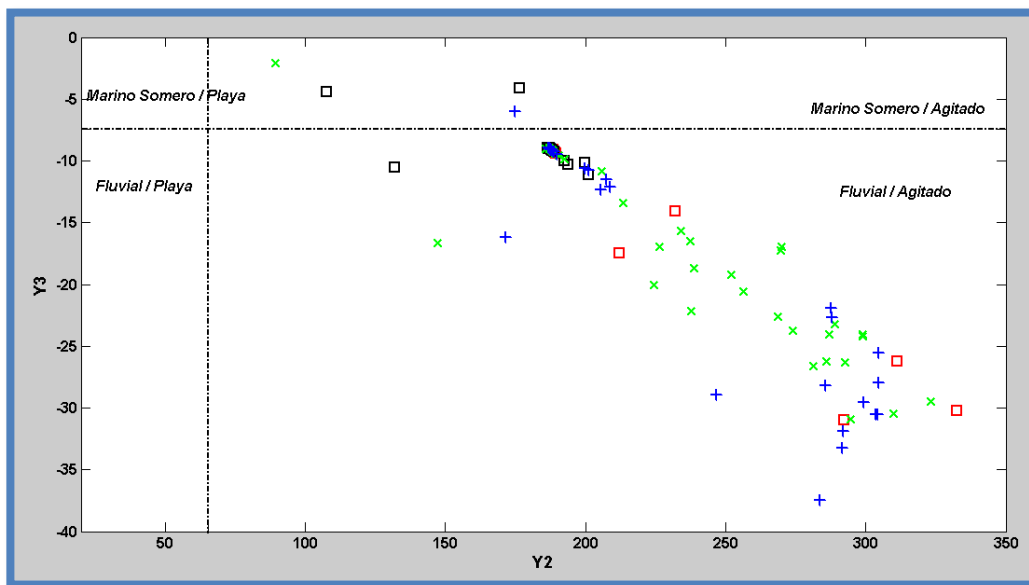


Figura 41: Relación entre las funciones discriminantes Y_2 y Y_3 mostrando los posibles ambientes encontrados en la Bahía.

Los datos de la bahía se encuentran separados en cuatro sectores identificados con una forma geométrica y color diferente así; el

rectángulo rojo corresponde en el área de estudio a los sectores identificados inicialmente para el trabajo ilustrados en la Figura 3, como sector 1 o Bahía Interna, el rectángulo negro corresponde al sector 2 que corresponde , la cruz azul corresponde al sector 3 y la equis verde corresponde al sector 4 y 5, de acuerdo a esto se define que la gran mayoría de los datos se encuentran en ambiente fluvial/agitado con una tendencia hacia ambiente marino somero/agitado en donde existen dos muestras del sector 2 y una del sector 4.

La figura 42 muestra la relación entre las funciones discriminantes Y_4 y Y_3 en donde se observa la presencia de cuatro posibles ambientes de depósito; marino somero/ corriente de turbidez, marino somero/fluvial deltaico, fluvial deltaico/corriente de turbidez y fluvial deltaico/fluvial deltaico. Se observa que la gran mayoría de las muestras posiblemente están en ambiente fluvial deltaico/corriente de turbidez, mostrando algunas en otros tipos de ambientes.

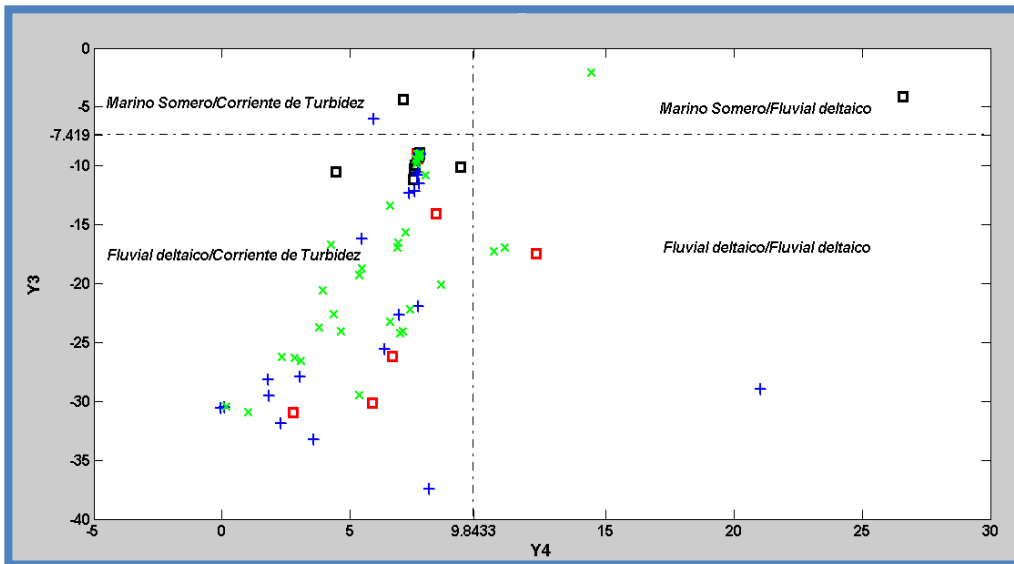


Figura 42: relación entre las funciones discriminantes Y_4 y Y_3 mostrando los posibles ambientes encontrados en la Bahía.

Analizando las figuras 41 y 41 se ve claramente que el ambiente de depositación en común para la bahía de Cartagena y aplicando las

funciones discriminantes está controlado por procesos fluviales deltaicos.

8.3.5 Estadística Espacial

La geoestadística, es la rama de la estadística que trata los fenómenos espaciales (Journel & Huijbregts, 1978); permite cuantificar la escala, y el grado de la variación espacial de una serie de datos y la relación con la distribución de los sedimentos. La variación es clave para explicar procesos en diferentes escalas espacio- temporales. (GIRALDO, 2006).

El modelamiento espacial opera en dos etapas; la primera; el análisis estructural que describe la correlación entre puntos en el espacio y la segunda etapa, es hacer predicción en sitios de la región no muestreados por medio de las técnicas de predicción como el kriging y cokriging.

A continuación se relacionan los fundamentos básicos de las etapas del Modelamiento espacial:

8.3.5.1 Variable regionalizada

Es una variable medida en el espacio de forma que presente una estructura de correlación, en otras palabras es una función $f(x)$ que tiene un cierto valor para todas las coordenadas x . Para el caso de estudio se utiliza %CaCO₃ y %tamaño de grano arena como las variables regionalizadas.

✓ Momentos de una variable regionalizada

Sea $\{Z(x): x \in D \subset R^d\}$ el proceso estocástico que define la variable regionalizada. Para cualquier n puntos x_1, x_2, \dots, x_m , el vector aleatorio $Z(x) = [Z(x)]$ definida en un dominio D contenido en R^d (generalmente una variable medida en la superficie de una región) se

$$E(z(x_i)) = m(x_i)$$

$$V(z(x_i)) = E[z(x_i) - m(x_i)]^2 = \sigma_i^2$$

$$C(z(x_i), (x_j)) = E[z(x_i) - m(x_i)][z(x_j) - m(x_j)]$$

= *Función de autocovarianza*

$$\gamma(z(x_i), (x_j)) = \frac{1}{2} E[[z(x_i) - m(x_i)]^2]$$

= *Función de la semivarianza*

- ✓ Estacionariedad: La variable regionalizada es estacionaria si su función de distribución conjunta es invariable respecto a cualquier translación del vector h. (GIRALGO, 2006)

8.3.5.2 Funciones de Correlación espacial

El desarrollo del análisis geoestadístico es denominado como análisis estructural, consiste en la determinación de la dependencia espacial entre los datos medidos de una variable. El semivariograma, el covariograma y el correlograma son funciones que se utilizan para llevar a cabo el dicho análisis estructural.

El semivariograma o variograma muestra como se parecen los valores en este caso del porcentaje CaCo3 y de la fracción de tamaño arena que se denominara como Z de los puntos o estaciones en el espacio a medida que estos se encuentran más alejados, es la representación gráfica de todas las varianzas en función de la distancia que separa a las muestras.

La semivarianza $\gamma(h)$; es el cálculo de la varianza entre pares separados por intervalos de distancia. Caracteriza las propiedades de dependencia espacial del proceso, esta función es calculada por el método de momentos a través del semivariograma experimental, que se calcula mediante (GIRALDO, 2006):

$$\bar{\gamma}(h) = \frac{\sum ((Z(x+h) - Z(x))^2)}{2n}$$

$Z(x)$ representa el valor de la muestra en una localización (x)

$Z(x + h)$ representa el valor de la muestra a la distancia entre los puntos o estaciones, representa el valor de la muestra en la localización h desde x .

n es el número de parejas que se encuentran separadas por la distancia.

La función de la semivarianza se calcula para varias distancias h y depende de la dirección.

El variograma es una herramienta que permite analizar el comportamiento espacial de una propiedad o variable sobre una zona dada. Se denota por $2\gamma(h)$.

$$2\gamma(h) = E \left((Z(x + h) - Z(x))^2 \right)$$

El semivariograma experimental se calcula para distancias promedios, lo que hace necesario hacer el ajuste de modelos que permitan generalizar lo que se observa en el semivariograma a cualquier distancia. Los modelos que permite el ajuste se divide en acotados y no acotados (Tabla 10).

Modelos teóricos de semivarianza	
Acotados	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Esféricos. ✓ Exponencial. ✓ Gausiano.
No acotados	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Líneal. ✓ Logarítmico. ✓ Potencial.

Tabla 10: Clasificación de los modelos teóricos de semivarianza.

El ajuste a una función permite extraer parámetros que se utilizan en el kriging, estos parámetros son; Figura 43:

- ✓ Efecto pepita o nugget (C_0): representa una discontinuidad puntual del semivariograma en el origen, se puede generar debido a errores o a características propias de la muestra.
- ✓ Meseta o sill ($C_0 + C_1$): Cota superior del variograma, se define como el límite cuando la distancia $h \rightarrow \infty$.
- ✓ Rango: (a) distancia a partir de la cual 2 observaciones son independientes en función de la distancia de los puntos muestrales. Se interpretan como la zona de influencia.

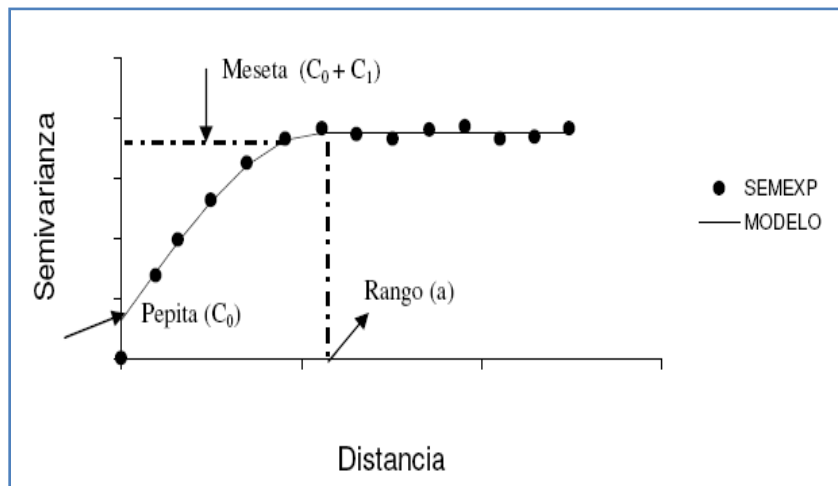


Figura 43: Comportamiento típico de un semivariograma acotado con una representación de los parámetros básicos. (GIRALDO, 2006):

Los modelos acotados son ampliamente usados porque garantizan que la covarianza de los incrementos sea finita y genera un buen ajuste.

La tabla 11 resume las características de cada modelo, la figura 44 muestra la diferencia entre los modelos acotados.

Modelos	Características
Esférico	Tiene un crecimiento rápido cerca al origen, pero los incrementos marginales van decreciendo para distancias grande, hasta que para distancias superiores al rango los incrementos sean nulos.

Exponencial	Se aplica cuando la dependencia espacial tiene un crecimiento exponencial respecto a la distancia entre las observaciones. Este modelo es ampliamente usado.
Gaussiano	Al igual que en el modelo exponencial, la dependencia espacial se desvanece solo en una distancia que tiende a infinito. Se diferencia por si forma parabólica cerca al origen. Figura

Tabla 11: Clasificación de los modelos teóricos acotados.

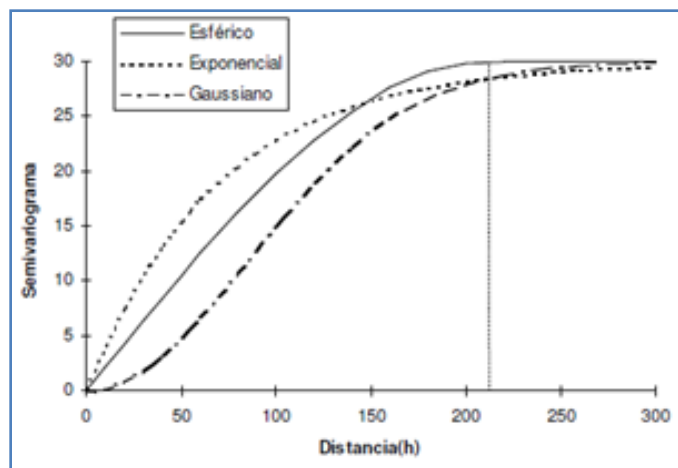


Figura 44: Comparación de los modelos exponencial, esféricos y Gaussiano. La línea punteada vertical representa el rango en el caso del modelo esférico y el rango efectivo en el de los modelos exponencial y gaussiano. (GIRALDO, 2006):

El método de predicción espacial utilizado es el Kriging. Su nombre es en honor al Geólogo Sudafricano D. G. Krige, quien se considera como pionero de los métodos de interpolación espacial, se fundamenta en la minimización del error cuadrático medio de predicción. La tabla 12 relaciona los tipos de kriging y algunas de sus propiedades. (GIRALDO, 2006):

Tipo de Predictos	Nombre	Propiedades
Lineal	-Simple -Ordinario	-Son óptimos si hay normalidad multivariada. - Independiente de la distribución

	-Universal	son los mejores predictores linealmente insesgados.
No lineal	-Indicador. -Probabilístico -Log Normal, transgaussiano. -Disyuntivo.	Son predictores óptimos

Tabla 12: Clasificación de los tipos de Kriging.

Los métodos kriging se aplican con frecuencia con el propósito de predicción.

Kriging Ordinario: supone que se hace mediciones de la variable de interés Z en los puntos $x_i, i = 1, 2, \dots, n$, de la región de estudio, es decir se tienen realizaciones de las variables $Z(x_1), \dots, Z(x_n)$ y se desea predecir $Z(x_0)$, en el punto x_0 donde no hubo medición. El método propone que el valor de la variable puede predecirse como una combinación lineal de las n variables aleatorias así:

$$Z^*(x_0) = \lambda_1 Z(x_1) + \lambda_2 Z(x_2) + \lambda_3 Z(x_3) + \dots + \lambda_n Z(x_n) = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(x_i)$$

En donde los λ_i representan los pesos o ponderaciones de los valores originales. Dichos pesos se calculan en función de la distancia entre los puntos muestreados y el punto donde se va a hacer la correspondiente predicción.

Para la representación de la predicción en un conjunto de puntos diferentes de los muestrales vía kriging se elabora un mapa que muestre la representación del comportamiento de la variable de interés en la zona estudiada. Los más utilizados son los mapas de contornos, residuos y los gráficos tridimensionales.

Para la elaboración de la interpolación se tomaron dos características de los sedimentos; el porcentaje de contenido de carbonato de calcio y

el porcentaje de arenas presentes es cada muestra. La interpolación se realizó por el método kriging utilizando los modelos de semivarianza lineal en un mapa de contornos, debido a que este método es un interpolador exacto, que minimiza la varianza del error de estimación y ha proporcionado los mejores ajustes estadísticos para nuestro caso.

La figura 45 muestra la distribución del contenido de tamaño de grano arena en porcentaje para la bahía; gran parte del fondo de la Bahía está constituido por sedimentos de tamaño lodo; que están influenciados por el Delta del Canal de Dique, las bajas velocidades en las corrientes y la baja influencia del oleaje que se presentan en la bahía. Los sedimentos de tamaños gruesos se encuentran en los bordes con alguna excepciones como el sector este de la bahía Interna, Mamonal, Barú y el Nor-este de la Isla de Tierra Bomba, con altos porcentajes en el sector Norte cerca a Bocagrande, Castillo Grande y Punta Arenas; sectores con mayor influencia de la alta energía presente en las aguas oceánicas del Caribe que generan transporte de sedimentos de tamaños mayores por acción del oleaje.

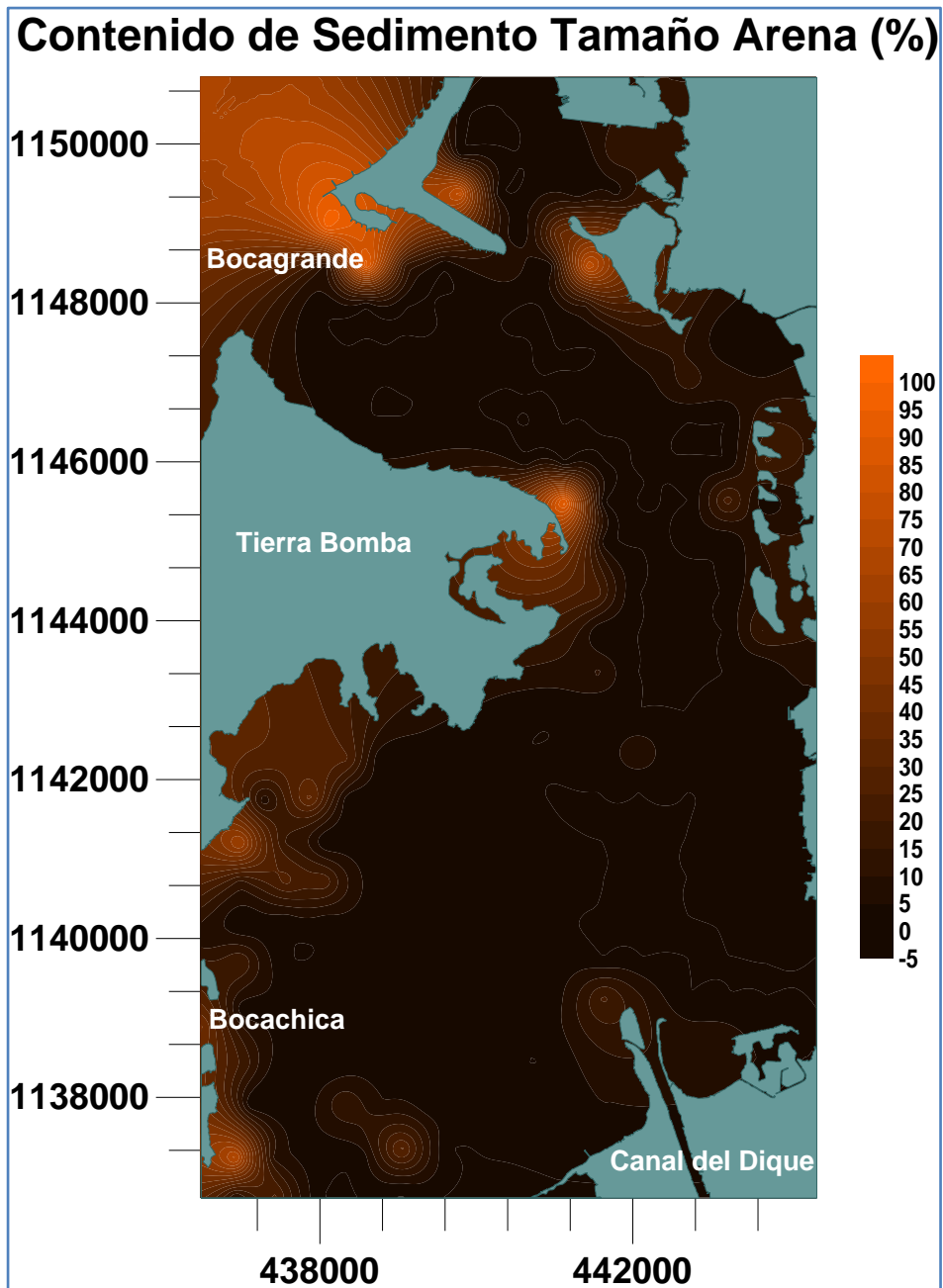


Figura 45: Distribución espacial del tamaño de grano arena en la Bahía.

8.4 Análisis Composicional

El análisis composicional se basó en la determinación del porcentaje de carbonato de calcio que presentan las muestras, este análisis se conoce como calcimetría, se llevó a cabo en el laboratorio de Geología del Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas CIOH.

Para llevarlo a cabo se utilizó un instrumento conocido como el calcímetro de Bernard, que consiste de un matraz erlenmeyer con tubo vertical en su interior, una columna graduada que está unida por su parte superior al matraz y un depósito de agua salada unido a la columna. Se requiere preparar inicialmente una muestra normalizada; para prepararla se coloca 250 mg de CaCO_3 dentro del erlenmeyer, luego se toma en el tubo de ensayo 4 ml ácido clorhídrico diluido en agua destilada, que se introduce en el erlenmeyer. Se procede a tapar con el tapón que va en un extremo de la manguera y batir durante un minuto registrando el volumen de desplazamiento de la columna de agua en la manguera que genera el gas debido a la reacción que produce el HCl con el carbonato de calcio presente en la muestra. Para hacer la medición para cada una de las muestras se reemplazan los 250 mg de CaCO_3 por la muestra a medir. Ver figura 46.



Figura 46: Pasos para determinar el porcentaje de Carbonato de Calcio, secuencia de derecha a izquierda.

De acuerdo al cálculo de la diferencia entre el nivel inicial y el nivel final de la columna de agua de determina el porcentaje de carbonato mediante la ecuación:

$$P \text{ CaCo}_3 = \frac{\text{Volumen desplazado por la muestra}}{\text{Volumen desplazado por el CaCo}_3} \times 100$$

De acuerdo a estos porcentajes de Carbonato de Calcio es posible hacer una clasificación de los sedimentos. Vernette, 1982 desarrollo una clasificación estándar para la plataforma continental basada en la presencia de sedimentos de origen continental y aportes de actividad biológica marina.

Para la bahía se establecen 4 clasificaciones según el porcentaje de CaCO_3 en los sedimentos, como se muestra en la tabla 13.

Nombre	Abreviatura	Contenido en % de Carbonato de Calcio
Bioclástico	b	Superior al 85%
Bio-litoclástico	bl	Entre 85% y 50%
Lito-bioclástico	lb	Entre 50% y 15%
Litoclásticos	l	Menor al 15 %

Tabla 13: Clasificación según el contenido del porcentaje de contenido de CaCO_3 establecido por Vernette.

Los mayores contenidos de carbonato de calcio se encuentran en los bordes de la Bahía: parte sur de la Bahía Interna, Manzanillo formando como una barra en dirección NW. En la parte este y sur-este de la Isla Tierra Bomba en Punta Arenas, Punta de las Hermanas, Ciénaga Carey y Bocachica.

Los menores contenidos se presentan en la dirección que presenta mayor circulación de las aguas; tanto en Boca Grande como el Canal del Dique, debido a que la circulación de las aguas está influenciada por estas dos fuentes de aporte. En la parte sur de la Bahía al oeste del Canal presenta ausencia total de carbonatos de Calcio. Ver figura 45.

Contenido de Carbonato de Calcio (%)

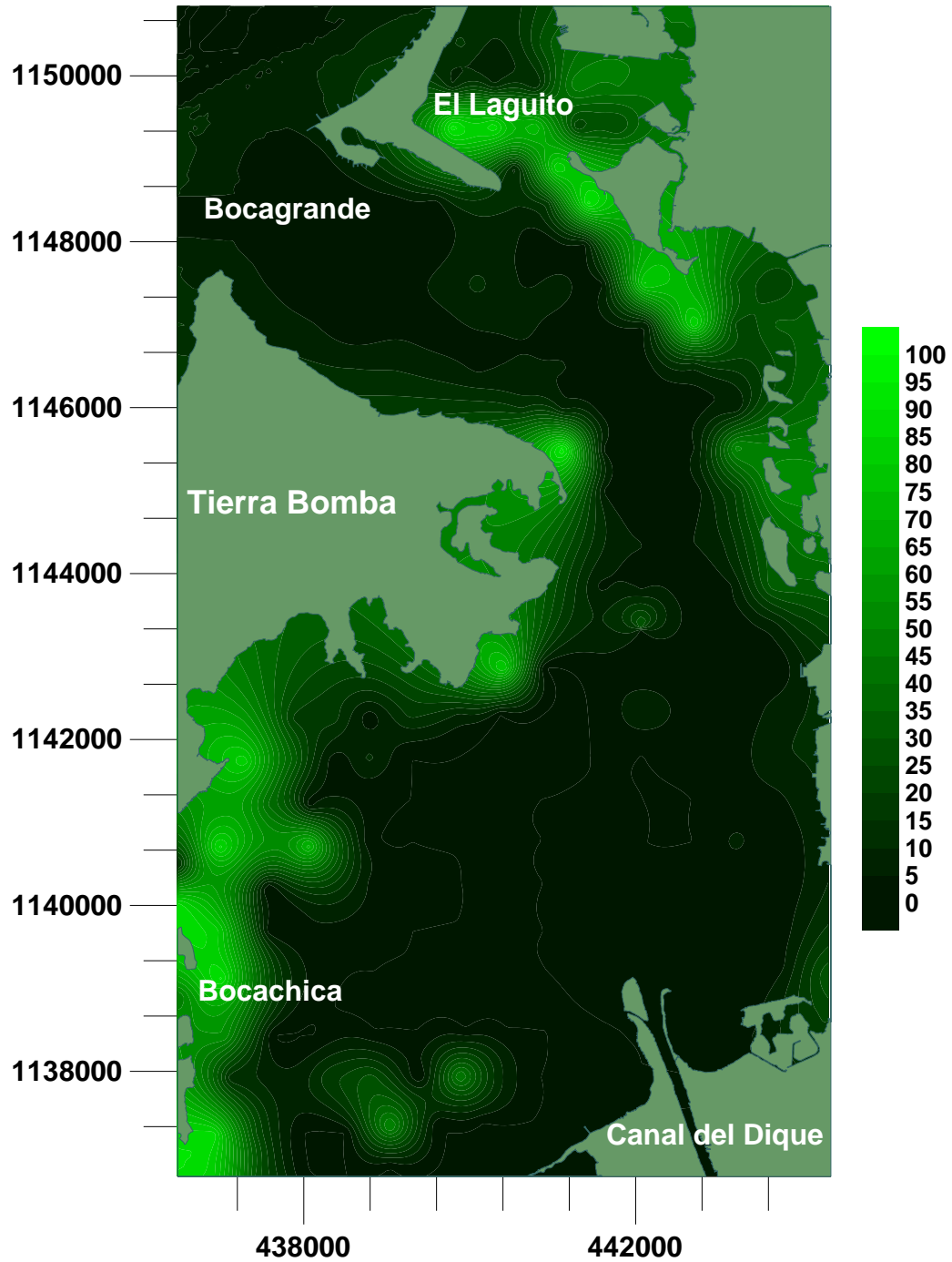


Figura 47: Distribución espacial de los contenidos de CaCO_3 para la bahía.

8.4.1 Mineralógicos

Los estudios composicionales mineralógicos se pueden elaborar de dos formas: petrografía o por Difracción de Rayos X

8.4.1.1 DRX

La difracción de rayos X es la técnica analítica más precisa para la identificación de minerales y/o compuestos cristalinos se basa en la dispersión de rayos X generada por la red cristalina de direcciones y ángulos específicos para cada sistema cristalino, permite conocer la composición en términos de fases cristalinas sin incluir material amorfo, tomando como 100% de las fases detectadas.

Este análisis se realiza bajo dos modalidades: Roca Total o Bulk y en la Fracción arcilla: fracción de la muestra con partículas de diámetro menor a 2 μ . El análisis bulk describe de una manera global la mineralogía de la roca total, mientras que el análisis de la fracción menor de 2 micras caracteriza principalmente los filosilicatos que se concentran principalmente en partículas con este tamaño.

Los filosilicatos

Se conoce como filosilicatos a los tetraedros de Si-O que se disponen formando redes planas. A estos corresponden los minerales arcillosos o arcillas, que son formados por partículas finas, los cuales presentan características especiales como plasticidad, propiedades coloidales, propiedades absorbentes con respecto al agua, a los cationes y comportamientos frente al calentamiento.

Se distinguen minerales importantes, los cuales se diferencian por familias:

- ✓ Familia de la Caolinita:
 - Caolinita: Mineral arcilloso de color blanco o blanco grisáceo, ferroso y es componente de rocas sedimentarias.
 - Serpentina: Mineral no arcilloso, su origen fundamental es en rocas metamórficas y es procedente del olivino.

- ✓ Familia de las micas y de las arcillas micáceas:
 - Pirofilita: Mineral arcilloso de escasa importancia petrogénica, origen es en minerales de alteración procedente de las esmectitas.
 - Talco: Mineral arcilloso que se presenta en agregados compactos escamosos, su origen es de alteración de minerales presentes en rocas metamórficas antiguas.
 - Muscovita: Mineral no arcilloso de origen magmático y metamórfico, componente de rocas sedimentarias. Se conoce como mica blanca o mica potásica.
 - Illita: es la versión arcillosa de la mica blanca porque presenta una estructura idéntica a la de la muscovita, muchas veces está en una primera fase de alteración química.
 - Biotita: Mineral no ferromagnesiano, no arcilloso, conocido como mica negra, de origen magmático y componente de rocas ígneas y metamórficas.
 - Vermiculita: versión arcillosa de la mica negra.

- ✓ Familia de las Cloritas: son semejantes al anterior y están frecuentes en rocas metamórficas como esquistos y pizarras.

- ✓ Familia de la sepiolita:
 - Sepiolita: mineral característico de alteración presente en terrenos sedimentarios moderno.
- ✓ Familia de las arcillas desordenadas:
 - Halloysita.
 - Esmectita: aparece por la transformación de illitaso, la más típica es la montmorillonita, debido a que tiene alta capacidad de absorción

Este análisis se le realizó a 9 muestras, de las cuales una se elaboró en el laboratorio DRX del Instituto Colombiano del Petróleo ICP Ecopetrol de Piedecuesta las 8 restantes en el Laboratorio de Difracción de Rayos-X de la Escuela de Química de la Universidad Industrial de Santander. Ver la figura 48.

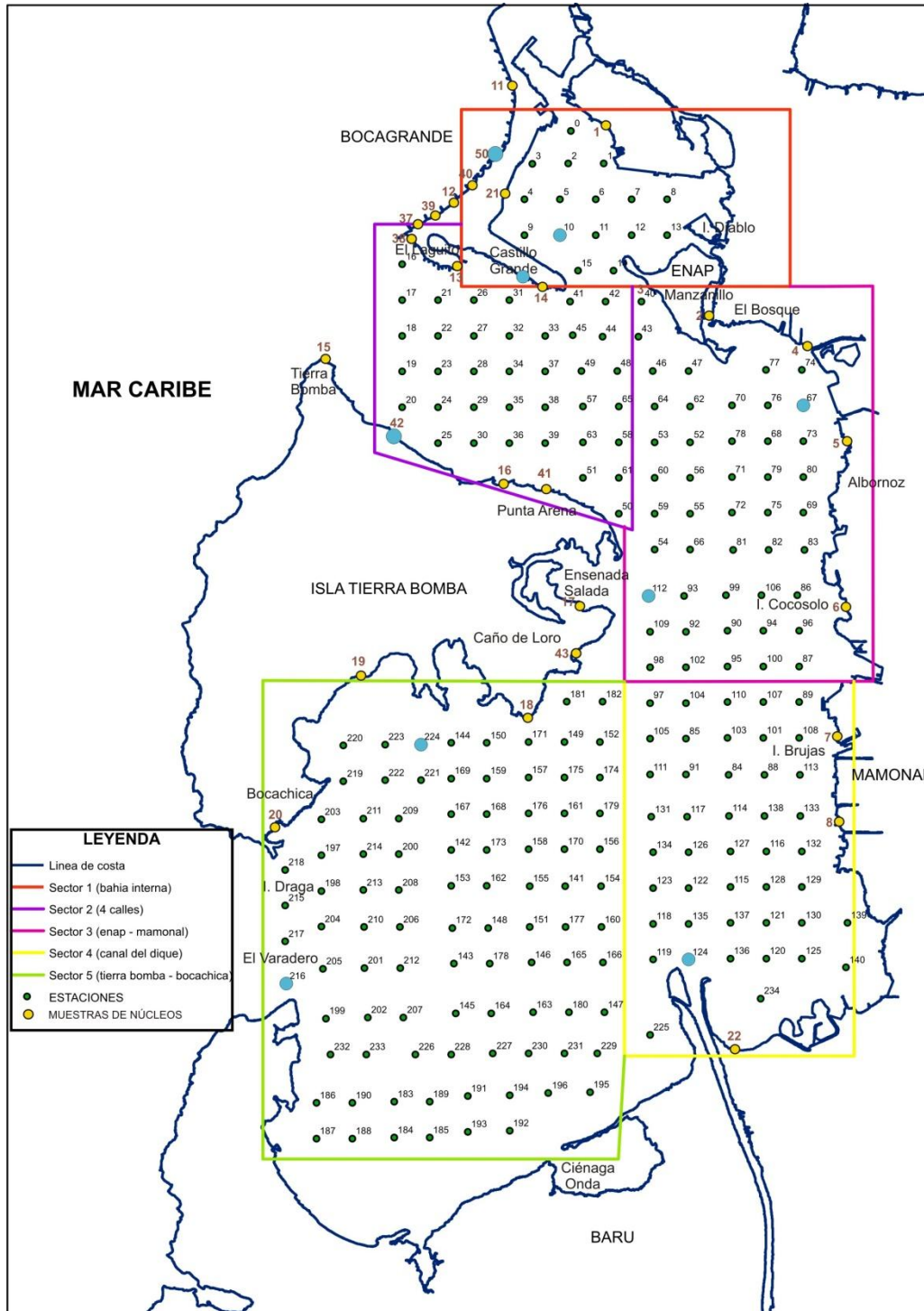


Figura 48: Ubicación geográfica de las muestras a las cuales se les elaboro el análisis mineralógico por DRX.

Las muestras 112, N50, N42B y N44T se les hizo análisis cualitativo, consiste de hacer la identificación de las fases cristalinas no arcillosas debido a que su mayor porcentaje de tamaño de grano son arenas mientras las muestras 10, 67, 124, 216 y 224 que son de tamaño de grano lodo se les hizo análisis cuantitativo que consiste de la identificación y cuantificación de las fases cristalinas arcillosas.

8.4.1.2 Análisis Bulk

Este análisis se realiza sobre la muestra representativa de roca, la cual es sometida a cuarteo, pulverización manual en un mortero de ágata, la cual no se lleva a tratamiento químico, con montaje de distribución de partículas al azar de acuerdo al tamaño.

Esta técnica calcula la fracción en peso de cada componente con una incertidumbre de alrededor de 2% en fases bien cristalizadas, además permite establecer los tratamientos que se requieren en la separación de la fracción menor de 2 μm , para la caracterización de arcilla

Para analizar las muestras de fracción arcilla se utiliza un difractómetro de rayos X marca Bruker modelo D4 equipado por una lámpara de Cu de alta estabilidad y un detector de centelleo, este equipo se caracteriza por presentar gran exactitud y versatilidad. Este difractómetro dispone de un intercambiador de muestras automático que puede comenzar a medir posiciones desde 0° de 2 theta. Este equipo está conectado a un ordenador dotado con el paquete de software DIFFRAC plus, para la adquisición, tratamiento y evaluación de los datos difractométricos.

Para identificar las fases cristalinas se realiza una comparación del difractograma o perfil de difracción de la muestra con el difractograma de materiales puros reportados en las bases de datos cristalográficos, el difractograma de una sustancia pura es como la huella digital de la sustancia y permite la identificación inequívoca de la estructura cristalina que posee el compuesto. Este análisis se basa en el Método de Hanawalt, en el que cada compuesto se identifica por los tres picos de difracción más intensos.

El cálculo de la concentración relativa de los compuestos identificados depende de los diferentes fenómenos tales como el grado de cristalinidad de la muestra, la absorción y la fluorescencia de rayos X que pueden tener los compuestos presentes y la probabilidad de dispersión coherente que tienen los distintos sistemas cristalinos. Este análisis se hace con base en el área bajo la curva y permite calcular la fracción en peso de cada componente.

En el análisis de roca total, los filosilicatos presentes en la muestra se agrupan como arcillas que generalmente se encuentran en tamaños menores de 2μ pero es importante tener en cuenta que este tipo de minerales se pueden encontrar en tamaños mayores a 2 micras. Por tanto el contenido de arcillas no define el contenido de finos presentes en la roca.

La muestra correspondiente a la estación 10, ubicada en el sector el Laguito, corresponde a un sedimento marino de tamaño de grano limo con un alto contenido de cloruro de Sodio. El análisis Bulk ilustrado en la Figura 49 mediante un diagrama circular nos indica que el sedimento está compuesto por Halita: 43%, Arcilla: 22%, Cuarzo: 18%, Carbonatos: 12% y Otros constituyentes: 5%.

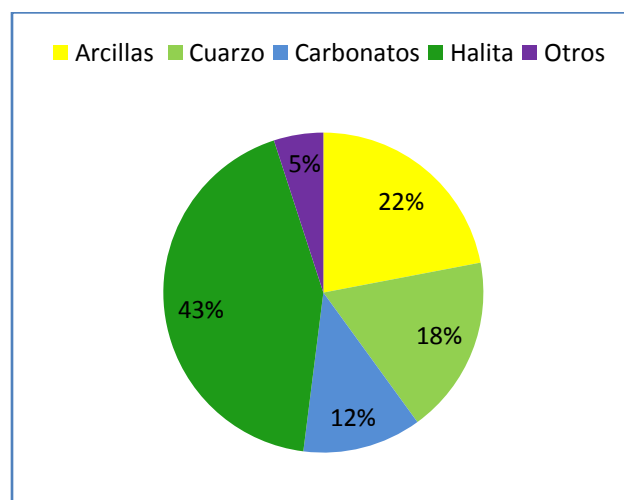


Figura 49: Diagrama circular representativo de la composición mineralógica en Roca Total por Difracción de Rayos X; muestra de la Estación # 10.

8.4.1.3 Análisis Fracción Menor de 2 micras

Esta fracción se separa por centrifugado que permite apartar las partículas por tamaños fundamentándose en la ley de Stokes. Para esto se deben pasar por proceso de disgregación y dispersión con ultrasonido, eliminando cementantes y materia orgánica lo que permite obtener la fracción de arcilla más representativa del contenido total de la muestra.

La metodología a seguir consta de la corrida de tres difractogramas que permiten identificar los grupos principales de arcillas presentes, estos tres difractogramas se hacen de la siguiente manera:

- ✓ Normal (N), en el cual la arcilla suspendida en agua se deja secar para permitir reforzar las reflexiones basales de las arcillas y obtener un espectro DRX orientado.
- ✓ Etilen Glicolada (N), permite que las moléculas orgánicas ocupen las posiciones interlaminares de las Esmectitas o arcillas expandibles para aumentar las distancias basales.
- ✓ Calcinada (F) se realiza calentamiento de la muestra a 550° C, que permite que se destruya la estructura cristalina de las caolinitas, este permite diferenciar el grupo de las caolinitas y de las cloritas.

El análisis mineralógico de la fracción menor de 2 micras de la muestra N° 10 ilustrado en la figura 52 mediante un diagrama circular indica una composición de arcillas expandibles como Esmectita: 34%, Caolinita: 29%, Illita: 20% y adicionalmente Cuarzo 17%.

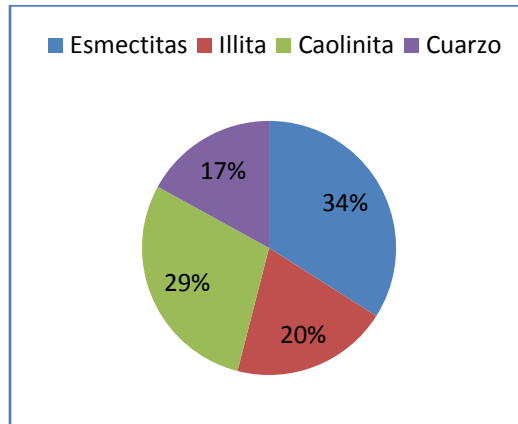


Figura 50: Diagrama circular que representa la composición mineralógica de la fracción menor de 2 micras por Difracción de Rayos X de la muestra estación # 10.

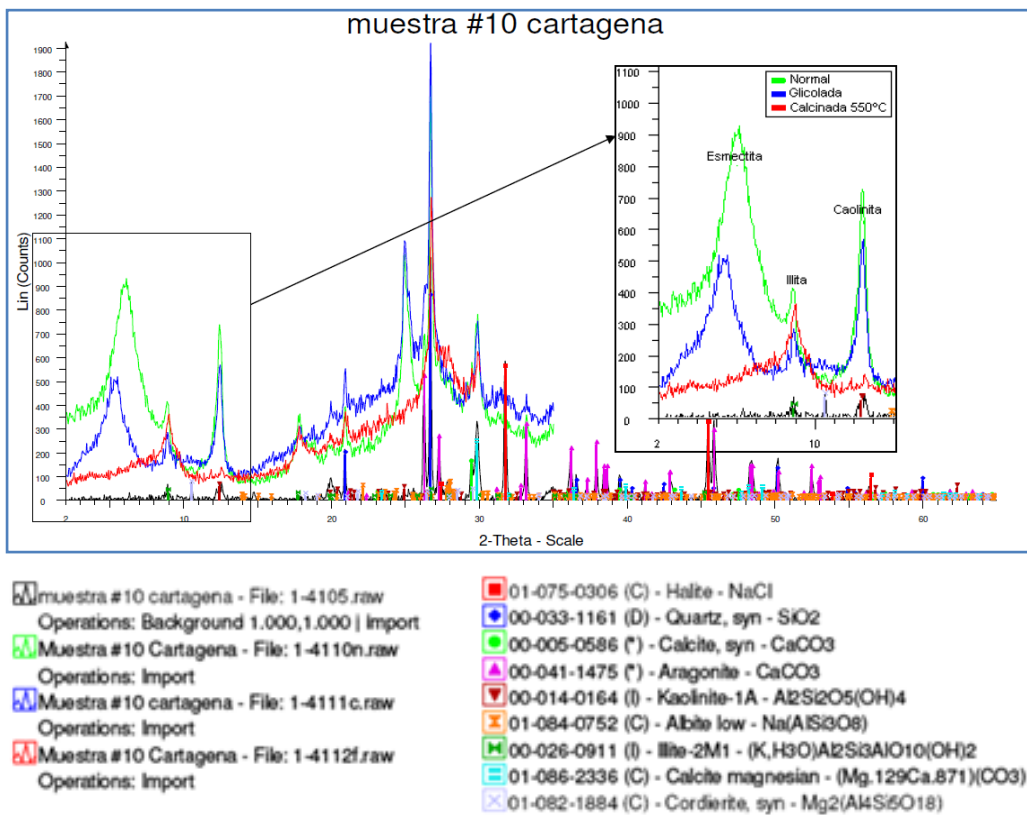


Figura 51: Difractograma obtenido para la muestra 10.

El análisis mineralógico elaborado a las muestras permite observar la presencia de minerales indicadores de ambientes marinos modernos cercanos a la línea de costa; como las arcillas expandibles, el aragonito, la calcita entre otros y de ambientes de tipo continental como la caolinita, el cuarzo y la moscovita. Estos se resumen a continuación:

- ✓ BC 112: corresponde a un lodo litoclástico ubicado en la parte central de la Bahía frente a la Ensenada Salada se resume en la presencia de los siguientes minerales: Aragonito, cuarzo, Halita, Moscovita, Caolinita, Calcita, Albita, Anatasa y Clinocloro. Identificado mediante el siguiente difractograma ilustrado en el anexo 3.

- ✓ BC 44T: corresponde a una arena ligeramente gravosa litoclástica ubicada en el borde de playa sector de Castillo Grande; presenta Microclina, Cuarzo, Halita, Moscovita, Riebeckita, Anatasa, Albita Cálcica y Clinocloro. Identificado mediante el siguiente difractograma ilustrado en el anexo 4.

- ✓ BC 42B: corresponde a una arena gravosa litoclástica ubicada en el borde de playa sector norte de Tierra Bomba; presenta Aragonito, Cuarzo, Calcita, Moscovita, Riebeckita, Calcita Magnésica, Albita Cálcica y Magnesita. Identificado mediante el siguiente difractograma ilustrado en el anexo 5.

- ✓ BC N50T: corresponde a una arena litoclástica ubicada en el borde de playa sector de Boca Grande; presenta Microclina, Cuarzo, Moscovita, Riebeckita, Caolinita, Anatasa, Albita y Clinocloro identificado mediante el siguiente difractograma ilustrado en el anexo 6.

- ✓ BC 67: Corresponde a un lodo gravoso, ubicado en la parte este de la Bahía sector de Albornoz; presenta Halita 2.4%, Moscovita 14,1%, Albita 6,4%, Aragonito 6,9%, Caolinita 3.3%, Calcita Magnésiana 1,2%, Hematites 0,6%, Pirofilita 2,3%, Montmorillonita 0,2%, Cuarzo 16,1%, Clinocloro 3,7% y Amorfos y otros 26,4%.

- ✓ BC 124: corresponde a un lodo arenoso ligeramente gravoso, ubicado en la desembocadura del Canal; presenta Riebeckita 5.5%, Moscovita 17,7%, Albita 12,8%, Microclina 7,7%, Caolinita 9,3%, Pirofilita 6,3%, Cuarzo 21,7%, Calcita 0,4%, Clinocloro 5,5%, Hematites 1% y amorfos y otros 12,1%.

9. Facies sedimentarias

Las facies se definen como un cuerpo de sedimentos que presentan características litológicas, estructurales y orgánicas apreciables en campo, que operan con parámetros físicos, químicos y biológicos en un ambiente sedimentario.

Para definir las facies se tuvieron en cuenta características que se revisaron en todas las muestras tomadas para el área de estudio como litología y contenido de carbonato de calcio, generando las siguientes facies:

9.1 Arcillas litoclásticas:

Color oliva grisáceo 10Y4/2, su tamaño de grano es menor a 53μ , presenta bajos contenidos de carbonato de calcio. Se encuentran distribuidas desde la desembocadura del canal de Dique hasta frente al sector de Albornoz formando la pluma de turbidez sobre la Bahía. Representada por la muestras 123 y 82, figuras 52 y 53:

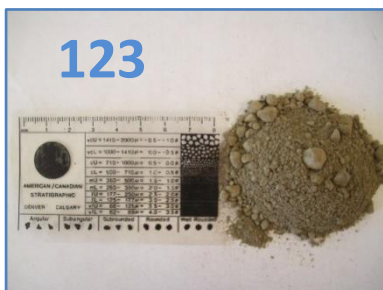


Figura 52: (Izq.): Muestra 123, representación de la facies arcillas litoclástica, ubicada en la parte sur de la Bahía cerca a la desembocadura del Canal del Dique.



Figura 53: (Der.): Muestra 82, facies arcillas litoclásticas, ubicada en la parte central de la Bahía

En algunos sectores de la bahía se encuentran especies vivas indicadoras de la actividad biológica actual, entre ellos arrecifes coralinos (Figura 54) hábitat de gusanos marinos como el poliqueto sedentario Errante (Figura 55) utilizado por los biólogos como indicador de contaminación que conlleva a determinar que la Bahía presenta contaminación en la parte sur donde fue encontrada dicha especie.

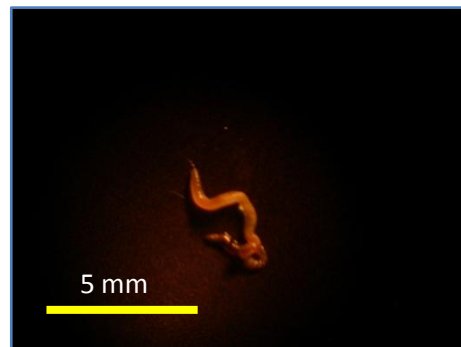
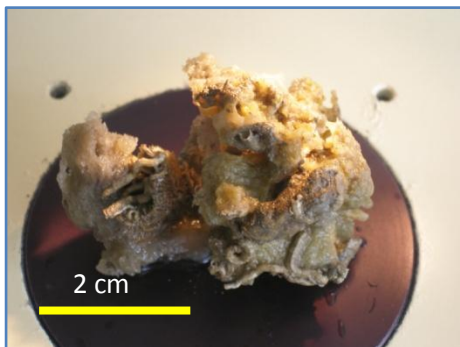


Figura 54 (Izq.): Coral vivo en donde se desarrolla el hábitat del poliqueto.

Figura 55 (Der.): Poliqueto Sedentario Errante, encontrado en la estación 139 ubicada en la parte sur de la Bahía.

Otras especies de crustáceos como cangrejos (Figura 56) y langostinos (Figura 57) cuyo hábitat es en la profundidad de aguas dulces o saladas someras de climas templados.



Figura 56 (Izq.): Cangrejo aun vivo encontrado en la estación 139.

Figura 57 (Der.): Langostino vivo encontrado en la estación 139.

9.2 Lodos litoclásticos:

Color amarillo grisáceo 5Y8/4 con contenidos bajos de carbonato de calcio representado en fragmentos de conchas de bivalvos, ubicados en la bahía interna, parte norte y sur de la Isla de Tierra Bomba, cerca a Isla Brujas y el sector de Mamonal parte este de la Bahía. Representado por la estación 232. Figura 58:



Figura 58: estación 232, facie lodo litoclástico; presenta restos de conchas de tamaños menores a 1 cm, ubicada en la parte sur de la Bahía, cerca a Punta Barú.

9.3 Lodos litobioclásticos:

Lodos color oliva grisáceo 10Y4/2 con contenidos de carbonato de calcio entre 15 y 50%, ubicados en los bordes de la bahía Interna, parte sur-oeste de Manzanillo y cerca a Isla Abanico. Representado en las muestras 42 y 12. Figuras 59:



Figura 59: muestra representativa estación 42, facie lodos litobioclásticos.

9.4 Lodo arenoso ligeramente gravoso litoclástico:

Color oliva grisáceo 10Y4/2 con bajo contenido de carbonato de calcio, ubicados en el sector de Bocachica y parte oeste de la desembocadura del Canal del Dique, representado en la estación 218 y 119. Ver Figuras 60 y 61.

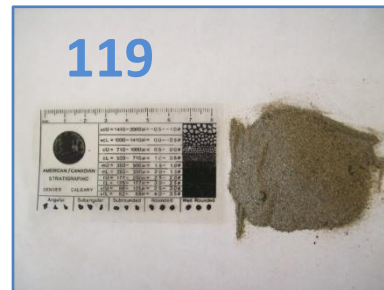


Figura 60: muestra estación 218, facie lodo arenoso ligeramente gravoso litoclástico, ubicada en la salida de Bocachica.

Figura 61: Muestra 119, ubicada en la parte oeste de la desembocadura del Canal del Dique.

9.5 Lodo arenoso ligeramente gravoso lito-bioclástico:

Color entre negro N1 y amarillo moderadamente verdoso 10Y7/4 con contenidos de carbonato de calcio entre 15 y 50%, ubicados en la bahía interna sector de Isla Diablo (parte Norte de la ENAP), Isla Cocosolo, cerca a Barú y Bocachica, representado en la estación 216 y 96. Ver Figuras 62 y 63:



Figura 62: Muestra estación 216, facies lodo arenoso ligeramente gravoso lito-bioclástico, presenta restos de madera ubicado cerca a la Isla de Barú.

Figura 63: Muestra estación 96, ubicada entre Albornoz y Mamonal.

9.6 Lodo arenosos ligeramente gravoso bio-litoclástico:

Color entre negro N1 y amarillo moderadamente verdoso 10Y7/4 con contenidos de carbonato de calcio entre 50 y 85%, ubicados en la bahía sector de Isla Cocosolo y Bocachica, representado en la estación 204, 214 y 83.

9.7 Lodo ligeramente gravoso litoclástico:

Color oliva grisáceo 10Y4/2 opaco con contenidos de carbonato de calcio menor al 15%, ubicados en la parte sur de la bahía sector sur-este de Caño de Loro, representado en la estación 169.

9.8 Lodo ligeramente gravoso lito-bioclástico:

Color oliva grisáceo 10Y4/2 oscuro con contenidos de carbonato de calcio entre 15 y 50 %, ubicados en la bahía interna (parte Norte de la ENAP), parte sur de El Bosque, cerca al Caño de Loro e Isla Barú representado en la estación 150, 201 y 76. Ver figuras 64 y 65:



Figura 64: muestra estación 150, facie lodo ligeramente gravoso lito-bioclástico.



Figura 65: muestras estación 76, ubicada en la parte sur del sector del Bosque.

9.9 Lodo ligeramente gravoso biolitoclástico:

Color oliva grisáceo 10Y4/2 con contenidos de carbonato de calcio entre 50 y 85%, ubicados en la bahía interna (parte Norte de la ENAP), representado en la estación 7.

9.10 Lodo gravoso litoclástico:

Color oliva grisáceo 10Y4/2 opaco con contenidos de carbonato de calcio menor al 15%, restos de conchas de tamaños menores a 2 cm, ubicados en la bahía al este de la Isla de Tierra Bomba cerca a Caño de Loro, en Mamonal y Barú, representado en las estaciones 112 y 85. Ver Figuras 66 y 67:



Figura 66: muestra representativa estación 112, presenta conchas y restos de conchas de bivalvos con varias estructuras de tamaños menores a 2 cm, restos de arrecifes coralino ubicada en la parte este de la Isla de Tierra Bomba, cerca a la Ensenada Salada.



Figura 67: muestra estación 85, presenta restos de arrecife coralino como habitad de poliquetos ubicada frente al sector de Mamonal.

9.11 Lodo gravoso litobioclástico:

Color oliva grisáceo 10Y4/2 opaco con contenidos de carbonato de calcio entre 15 y 50%, restos de conchas, madera y arrecifes coralinos tipo tubo de tamaños menores a 2 cm, ubicados aleatoriamente en toda la bahía; sector de Albornoz, Bocachica y barú, representado en las estaciones 226, 67, 190 entre otras. Ver figura 68.



Figura 68: estación 73, facie lodo gravoso litobioclástico, presenta restos de madera y conchas de varios tamaños con texturas de líneas de crecimiento y costillas, ubicada en la parte sur de la Bahía cerca al sector de Albornoz.

9.12 Lodo gravoso biolitoclástico:

Color amarillo grisáceo 5Y8/4 con contenidos de carbonato de calcio entre 50 y 85%, presentan restos de conchas de varias especies, materia orgánica como madera y corales, ubicados aleatoriamente en toda la bahía; sector de Albornoz, bahía interna, Bocachica y barú, representado en las estaciones 219 y 75. Ver Figura 69 y 70.

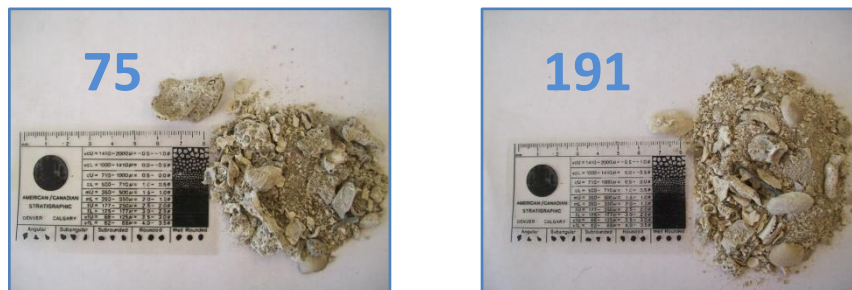


Figura 69 (Izq.): Estación 75, facie lodo gravoso biolitoclástico, presenta fragmentos de conchas y restos de arrecife coralino tipo tubo en varios tamaños, inequivalvas y equivalvas con varias texturas como la crenulada y

costillas y tamaños ubicada en la parte central de la Bahía, sector de Albornoz.

Figura 70 (Der.): muestra estación 191, facie lodo gravoso bioclástico ubicada en la parte sur de la Bahía cerca a la Isla de Barú.

9.13 Lodo gravoso bioclástico:

Color oliva grisáceo 10Y4/2 con contenidos de carbonato de calcio superior al 85%, presenta restos de coral tipo tubo, conchas de bivalvos y gasterópodos, ubicados aleatoriamente en la bahía interna y cerca de Manzanillo (ENAP) y el Bosque, en la parte sur al este de la desembocadura del canal del dique, representado en las estaciones 14, 40, 191 y 70. Ver figura 71 y 72.



Figura 71 (Izq.): muestra estación 14, facie lodo gravoso bioclástico, con restos de corales, conchas de bivalvos y gasterópodos de varios tamaños, está ubicada cerca a la ENAP.

Figura 72 (Der.): muestra estación 40, facie lodo gravoso bioclástico, ubicada cerca a la ENAP pero más al sur de la muestras 14.

9.14 Arenas litoclásticas:

Color gris oliva 5y3/2 con contenidos de carbonato de calcio menor al 15%, ubicados en el borde de playa del sector de Bocagrande y Mamonal, se caracterizan por presentar pocos restos de conchas, representada en las estaciones 16 y N37B. Ver figura 73.



Figura 73: Muestra de núcleo N37B, facie arenas litoclásticas, presenta minerales máficos que le dan una apariencia brillante con pocos restos de conchas ubicada en el extremo entre Bocagrande y El Laguito.

9.15 Arenas ligeramente gravosa litoclásticas:

Color amarillo grisáceo 5Y8/4 con contenidos de carbonato de calcio menor a 15%, ubicados en el borde de playa del sector el Laguito y Castillo Grande, al norte de la Isla de Tierra Bomba y en Caño Loro, representada en las estaciones N45T, N41T. Ver figura 74 y 75.

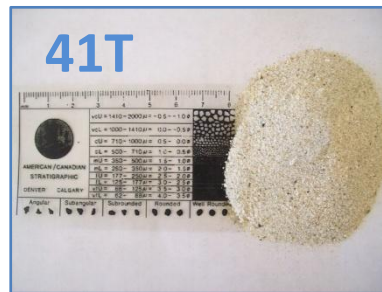
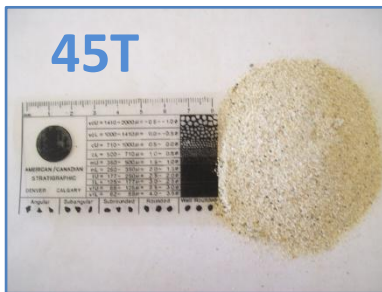


Figura 74 (Izq.): Muestra de núcleo N45T, facie arenas ligeramente gravosa litoclástica, con pocos restos de conchas, ubicada en el borde de costa de la parte norte de Tierra Bomba.

Figura 75 (Der.): Muestra de núcleo N41T, facies arenas ligeramente gravosa litoclástica, granos esféricos sub-redondeados, restos de corales de tamaños menores a 1 cm, ubicada en el borde de costa de la parte norte de Tierra Bomba.

9.16 Arena ligeramente gravosa litobioclástica:

Color oliva grisáceo 10Y4/2, con contenidos de carbonato de calcio entre 15 y 50%, ubicados en el borde este de la Bahía cerca a la Isla Cocosolo, al norte de Mamonal. Está representado en el núcleo 6.

9.17 Arena lodosa ligeramente gravosa litoclástica:

Color oliva grisáceo 10Y4/2 con contenidos de carbonato de calcio menor al 15%, ubicados en la bahía cerca al Laguito, Castillo Grande y entre Isla Draga e Isla Abanico, representado en la estación 215. Ver figura 76.

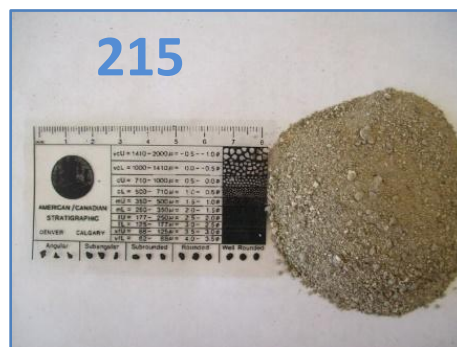


Figura 76: muestras 215, facie arena lodosa ligeramente gravosa litoclástica, ubicada cerca a Isla Draga.

9.18 Arena lodosa ligeramente gravosa bio-litoclástica:

Color oliva grisáceo 10 Y4/2 con contenidos de carbonato de calcio entre 50 y 85%, presenta fragmentos de conchas y corales tamaños menores a 1cm, ubicados en la bahía al sur de la Isla de Tierra Bomba cerca al Fuerte de San Fernando y Bocachica, representado en la estación 203. Ver Figura 77.

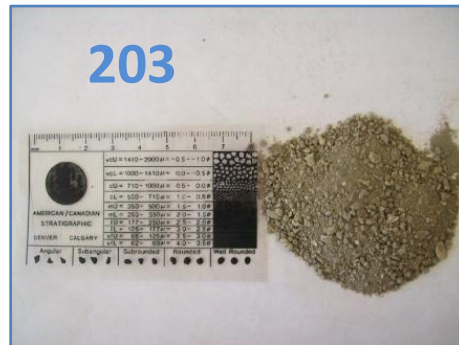


Figura 77: estación 203, facie arena lodosa ligeramente gravosa bioclastística, con fragmentos de conchas y de corales tipo tubo. Ubicada cerca Bocachica.

9.19 Arena lodosa ligeramente gravosa bioclastística:

Color oliva grisáceo 10Y4/2 con contenidos de carbonato de calcio mayores al 85%, ubicados en la bahía interna cerca al sector de Castillo Grande, representado en la estación 9.

9.20 Arena gravosa litoclastística:

Color amarillo grisáceo 5Y8/4 con contenidos de carbonato de calcio menor al 15%, ubicados al sur de la Isla de Tierra Bomba y en la ensenada Salada, representado en la estaciones de núcleo 17 y 19.

9.21 Arena gravosa bioclastística:

Color amarillo grisáceo 5Y8/4 con contenidos de carbonato de calcio mayores al 85%, presenta restos de arrecife coralino, conchas de gasterópodos y bivalvos, ubicados en la parte norte de Barú y la Ensenada Salada, representado en la estación 86 y 43T. Ver Figura 78.



Figura 78: muestra representativa núcleo 86 presenta restos de corales tipo colonial y tabulados, conchas.

9.22 Grava lodosa litoclástica:

Color amarillo grisáceo 5Y8/4 con contenidos de carbonato de calcio menor al 15%, presenta restos de conchas de bivalvos y corales, ubicados frente a Caño de Loro y Mamonal, representado en la estaciones 113 y 98. Ver Figura 79.

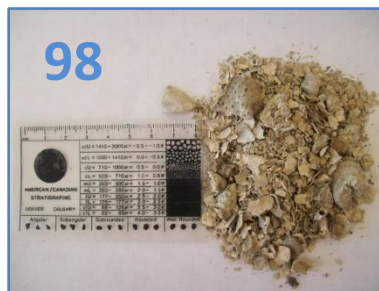


Figura 79: Muestra estación 98. Facie gravo lodosa litoclástica.

9.23 Grava lodosa litobioclástica:

Color amarillo grisáceo 5Y8/4 con contenidos de carbonato de calcio entre 15 y 50%, presenta conchas de bivalvos y restos de arrecife coralino, ubicados al sur de la bahía al este de la desembocadura del Canal, representado en la estación 234. Ver figura 80.



Figura 80: Muestra estación 234, representación facie grava lodosa litobioclástica, presenta conchas de bivalvos de tamaños variados y corales con estructuras ceroide, ubicada parte sur de la Bahía, al este de la desembocadura del Canal del Dique.

9.24 Grava lodosa bio-litoclástica:

Color marrón oscuro a amarillento 10YR4/2 con contenido de carbonato de calcio entre 50 y 85%, presenta conchas de bivalvos de variadas formas y tamaños, restos de materia orgánica como madera, ubicados en la bahía al sur de la Isla de Tierra Bomba cerca a Isla Draga y cerca a Albornoz, representado en la estaciones 198 y 80. Ver Figura 81



Figura 81: muestra estación 80, facie grava lodosa biolitoclastica, presenta conchas de varios tamaños menores a 2 cm y variación en las estructuras de las bivalvas, algunas rellenas de sedimento.

9.25 Grava lodosa bioclástica:

Color amarillo grisáceo 5Y8/4 con contenidos de carbonato de calcio mayor a 85%, presenta restos de arrecife coralino, cnidarios y conchas

de bivalvos, ubicados en la bahía al sur de la Isla de Tierra Bomba cerca a Isla Draga, representado en la estación 197. Ver figura 82.



Figura 82: Muestra estación 197, facie grava lodosa biolitolástica, presenta restos de arrecife coralino y conchas de varia texturas.

Con las facies definidas anteriormente se genera el mapa de distribución facial de los sedimentos, dicho mapa ha sido elaborado utilizando los parámetros de distribución de contenido de carbonato de calcio, granulometría, la batimetría y la circulación de las corrientes del área de estudio. Ver anexo 8.

10. Estratigrafía de secuencias

Para tomar este tema es necesario hablar de conceptos como nivel base de depositación o de erosión, la cual es una superficie de referencia global de denudación continental y agradacional marina, normalmente se refiere al nivel de mar, esta superficie es dinámica porque sube y baja a través del tiempo en relación con el centro de la tierra en paralelo con el aumento eustático y la caída del nivel del mar.

Los conceptos de nivel base y de perfil de equilibrio fluvial permiten entender procesos de sedimentación en áreas continentales, dicho perfil es alcanzado cuando el río es capaz de transportar sedimentos sin causar agradación o degradación de los canales. (CATUNEANU O., 2002).

Para entender los modelos de estratigrafía de secuencias se utiliza la curva de fluctuaciones del nivel base que describe los cambios de acomodación en la línea de costa, que pueden ser de transgresión o regresión; la transgresión se refiere a la migración de la línea de costa hacia el continente, y es evidenciada por la presencia de facies marinas sobre las facies de tipo continental, que se observa actualmente en las secuencia granodecrecientes de las muestras de núcleo tomadas en los bordes de playa tanto de Tierra Bomba como en Bocagrande.

Es importante resaltar que en la Bahía se presentan procesos de sedimentación y de erosión simultáneamente. Estos procesos son influenciados por los movimientos de las corrientes presentes en la Bahía. Los procesos de erosión son evidentes la parte Norte de la Isla de Tierra Bomba, son resultado de los cambios transgresivos que se presentan.

11 Integración de resultados.

Como resultado de los análisis estadísticos elaborados con los datos obtenidos del tamizaje se dice que el tamaño de grano promedio de las muestras está entre lodo fino y lodo medio, este parámetro indica la energía cinética del agente transportador. Para el caso de estudio que se llevo a cabo en época transicional caracterizada por presentar vientos y mareas moderadas, se observa que la fuente de transporte de los sedimentos litoclásticos es el canal de Dique, que contiene sedimentos provenientes del río Magdalena, formaciones y el diapirismo de lodo presentes en la zona. Este diapirismo es característico del tectonismo activo de los domos y las chimeneas del Caribe Colombiano.

Se presenta un tamaño de grano secundario: arenas; son de tipo bioclástico y litoclástico. Las bioclásticas son de colores claros por su composición calcárea; presentan restos de conchas de bivalvos, gasterópodos y corales tipo porite porites, acropora palmata, acropora carvicornis y agaricia. Se encuentran distribuidos en cercanías a la Isla de Tierra Bomba y Barú. Las arenas litoclásticas son de colores más oscuros debido a la presencia de minerales máficos, están ubicados en la parte norte en cercanías a Bocagrande, estas arenas son el resultado de varios procesos; la deriva litoral, agentes oceanográficos como el oleaje, las mareas, los vientos y las corrientes marinas y en especial la intervención del hombre con la construcción de espolones para estabilizar la zona, evitando la erosión y generando espacio para la sedimentación.

De acuerdo a la aplicación de las funciones discriminantes y el análisis espacial elaborado se deduce que el ambiente de depósito es deltaico, dominado por el aporte de procesos de tipo fluvial, caracterizado por presentar lodos arenosos ligeramente gravosos en la desembocadura y arcillas en el frente de Delta.

Las técnicas de difracción láser y sistema Lumosed han logrado dar mayor detalle a la granulometría en especial a las muestras que presentan mayor contenidos de la fracción lodo. El tamizaje o sistema

Sieve permitió generar datos resultado de la granulometría que se trataron estadísticamente y definen el grado de selección de las muestras. Se puede identificar que las muestras de los sectores donde la energía es alta, con influencia de las corrientes marinas del Caribe y la contracorriente de Panamá, como es el caso de los sectores de Bocagrande y Bocachica generando un buen grado de selección; mientras que en gran parte de la bahía donde los sedimentos están controlados por procesos de baja energía como el canal del dique, generando un pobre grado de selección. De acuerdo a los parámetros estadísticos; se presenta un comportamiento simétrico con grado de Curtosis platicúrtico; lo que indica que la mayoría de los sedimentos no han sido sometidos a aumentos drásticos en la energía. Debido a que la bahía está controlada por las corrientes marinas y continentales se dan condiciones de energía que favorecen la variación lateral en la distribución granulométrica de los sedimentos presentes en el fondo.

Aplicando el análisis espacial es posible apreciar que existe una relación directa entre la circulación de las corrientes dentro de la Bahía y el tamaño de grano arena y el porcentaje de CaCO_3 , porque en estos sectores según algunos estudios previos elaborados por el CIOH están influenciados por altas velocidades de corriente.

La relación tamaño de grano – porcentaje de CaCO_3 parte de las características sedimentológicas que presentan las formaciones calcáreas típicas de la zona de estudio: Sectores aledaños a la Isla de Manzanillo (ENAP) presentan lodos y arenas gravosas con contenidos de CaCO_3 entre 50 y 85% considerados Biolitoclásticos. El sector ubicado en la parte este de Isla Tierra Bomba denominada Punta Arena y Caño de Loro presentan lodos y arenas gravosas con contenidos de CaCO_3 mayores a 85% los que se consideran sedimentos Bioclásticos. En la parte sur de la Isla de Tierra Bomba se presenta variación de tamaños de grano desde lodos a arenas ligeramente gravosas con contenidos de CaCO_3 mayores a 50% considerados sedimentos biolitoclásticos. Estos porcentajes altos de carbonato se deben a la descomposición de los arrecifes coralinos y fragmentos de moluscos, espículas, foraminíferos y algas calcáreas que se encuentran en la Isla de Tierra Bomba.

La composición mineralógica de los sedimentos de la bahía interna se basa en la presencia de carbonatos, halitas, arcillas y cuarzos entre otros. Dentro de la fracción de arcillas es posible identificar la presencia de arcillas expandible como la esmectita, caolinita e illita. Minerales como la halita son indicadores de ambientes sedimentarios modernos. La presencia de las arcillas expandibles como la illita y la esmectita indican minerales de origen marino.

Debido a que se presenta gran porcentaje de minerales de origen continental como la Muscovita, la caolinita, la albita entre otras se puede deducir que estos sedimentos que llegan a la Bahía a través del canal son transportados por las corrientes del río Magdalena y afluentes secundarias, que probablemente se originan de los volcanes de lodo Cañaveral y el Totumo ubicados a lo largo del lineamiento del Sinú y el volcán Punta Canoas ubicado a lo largo de la margen de Costa y los bajos presentes en el Delta del Canal

12 Conclusiones

Con la elaboración de todo el muestreo sobre la bahía y la aplicación de las funciones discriminantes propuestas por Sahú, se confirma que la sedimentación de la bahía se ve afectada por procesos fluviales, específicamente del Canal del Dique que durante la época de lluvia genera mayor aporte de sedimento de origen continental proveniente de cuencas drenadas como el Rio Magdalena, caracterizados porque son limos color oliva grisáceo con pocos o nulos contenidos de carbonato de calcio, que están distribuidos sobre la bahía en la parte central desde la desembocadura hasta el sector comprendido entre la Isla Tierra Bomba y Albornoz, formando la pluma de turbidez que es controlada por la circulación de las corrientes marinas y fluviales presentes en la Bahía.

La distribución de los tamaños de grano en la bahía de Cartagena muestra una variación lateral de las facies sedimentarias; influenciadas por la presencia del canal del dique y los arrecifes coralinos. El sector donde la sedimentación está controlada por el Canal presentan sedimentos en suspensión de tamaños más finos en comparación con los sectores alejados a su influencia, es decir en sectores como la parte sur de la Isla de Tierra Bomba y la parte adyacente a Isla Manzanillo presentan mayor porcentajes de sedimentos de tamaños mayores, las que se caracterizan por ser de dos tipos composicionalmente unas bioclástica y otras litoclásticas.

Las arenas litoclásticas son el resultado de varios procesos como la deriva litoral y los agentes oceanográficos, mientras las arenas bioclásticas incluyen restos de conchas de bivalvos y gasterópodos, corales de vario tipos y material detrítico generado por la meteorización de las formaciones arrecifales presentes en el área que hacen parte del Caribe Colombiano.

Mediante el análisis DRX se encuentra la presencia de minerales indicadores de ambientes marinos modernos como las arcillas expandibles y la halita. Sin embargo la presencia de minerales como la Muscovita, la caolinita indican que sedimentos de origen continental

transportados por el río Magdalena, y que pueden ser resultado de los volcanes de lodo presentes en las zonas cercanas a la Bahía.

De acuerdo a los escarpes presentes en las terrazas de la zona norte de la Isla de Tierra Bomba que evidencian la erosión de sedimentos que son depositados en los bordes de la parte este de la Isla sobre la bahía; es posible determinar que la línea de costa en la Bahía sufre variaciones de carácter transgresivo ocasionando simultáneamente erosión y sedimentación. Evidenciada en la variación vertical del tamaño de grano en las muestras tomadas en el borde de la playa tanto en Bocagrande como en Tierra Bomba.

13 Bibliografía

ACOSTA Chady, Juan Carlos. (1982). Validación de las condiciones oceanográficas y meteorológicas en aguas jurisdiccionales del Caribe Colombiano basado en técnicas de percepción remota y metodologías tradicionales. Armada Nacional, Dirección General Marítima CIOH. División de Oceanografía y meteorología. Cartagena.

ANDRADE Carlos, ARIAS Francisco e THOMAS Yves F. (1988). Nota sobre la turbidez, circulación y erosión en la región de Cartagena (Colombia). Boletín Científico CIOH N° 8- ISSN 0120-0642, página 71-81. Cartagena Colombia.

ANGEL, C.; ESQUIVEL, J.; SARMIENTO, G. A., 1985. Geología del Departamento de Bolívar al Norte del Canal del Dique, Ingeominas, Informe 1941, página 143. Bogotá.

ARIAS Isaza, Francisco. (1989). Ensayos preliminares sobre la deposición de carbonatos y concreción marina en la bahía de Cartagena. CIOH. Cartagena.

BAVARIA (1983). Estudio de Avance sobre vientos, corrientes, mareas y profundidades Proyecto Muelle Pasacaballos. CIOH. Cartagena.

BOGGS Sam, Jr. (1987). Principles of Sedimentology and stratigraphy. A Bell & Howell Company. Merrill publishing Company, página 105.

BROOKFIELD M. E. (2004). Principles de estratigrafía. Blackwell Publishing Ltda, página 67.

BUREL, Thrierry & VERNETTE, George. (1985). Evidencias de cambios de nivel del Mar en el Cuaternario de la región de Cartagena (Bolívar). CIOH- Misión Técnica Francesa-Escuela Naval, Cartagena.

CAMACHO, R.; KASSEM, T.; VALDIRI, J. 1968. Informe Geológico preliminar del cuadrángulo D-8. Ingeominas, (inérito). Bogotá.

CARO, P. et al., 1985. Geología del Departamento de Atlántico. Ingeominas, informe 1940. Bogotá.

CARREÑO P. Angélica M. (2009). Análisis Mineralógico y Granulométrico Arenas Fondo Marino- Bahía de Cartagena. Instituto Colombiano Del Petróleo. Unidad de Servicios Técnicos y Laboratorios. Laboratorio DRX. Piedecuesta- Santander.

CATUNEANU O., (2002). Sequence stratigraphy of clastic systems: concepts, merits, and pitfalls. Geological Society of Africa Presidential Review N° 1. Journal of African Earth Sciences 35, página 1-10.

CIOH (1984) Estudio morfológico y sedimentológico de las Islas del Rosario. CIOH. Cartagena-Colombia.

CORREA A, Ivan, GIRALDO V. Marleny, JARAMILLO José M. VERNETTE Goerges (1990). Sedimentos detríticos de la zona Litoral de la bahía de Cartagena. Universidad Nacional de Medellín. Departamento Ciencias de la Tierra- Facultad de Minas. CIOH - Misión Técnica Francesa-Escuela Naval, Cartagena.

CRUZ Guevara, L. E. CABALLERO, V. M. (2007) Descripción y clasificación de rocas terrígenas por su textura. Manual de Laboratorio de Petrología Sedimentaria, Escuela de Geología, UIS. Colombia.

CUPUL MAGAÑA, L. A., MÖSSO Aranda C., SIERRA J.P., MARTÍ E., FERMAN Almada J.L., RODILLA M., GONZÁLEZ del Río, SANCHEZ Arcilla A. (2006). Caracterización y patrones de distribución de los sedimentos superficiales en Bahía Cullera, España. Ensenada, México. En Ciencias Marinas, Universidad Autónoma de Baja California. volumen 32, número 4, página 620.

DE PORTA, J.; et al, 1974. Léxico Estratigráfico Internacional. Volumen V, Fascículo 4B Colombia, Terciario y Cuaternario, Centre National de la Recherche Scientifique. París.

DUQUE- CARO, H. 1968. Observaciones generales a la bioestratigrafía en los departamentos de Bolívar y Córdoba. Bol. Geol. Universidad Industrial de Santander, N° 24, página 71-87.

DUQUE- CARO, H. 1980. Geotectónica y evolución de la región noroccidental colombiana. Ingeominas, Bol. Geol., 23 (3). Bogotá.

FRIEDMAN G. M. & SANDERS J. (1987). Principles of sedimentology. United States of America.

HENAO Ramón Giraldo. (2001). Introducción a la Geoestadística. Universidad Nacional. Departamento de Estadística. Sede Bogotá. Colombia, página 5-20.

KENNEDY & NEVILLE. (1998) Estadística para ciencias e Ingenierías. Segunda edición. Harla, página 24.

KLINGEBIEL A. VERNETTE G. (1978). Estudio batimétrico y sedimentológico en la Plataforma continental entre Cartagena y la Desembocadura del Rio Magdalena (Colombia). Boletín Científico CIOH N° 6, pagina 17-39. Cartagena.

LEBLANC Frederic. (1983). Informe final Estudio geológico litoral Caribe colombiano fase III. Ministerio de Defensa Nacional- Armada Nacional - Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas. Cartagena. Bolívar.

MA2MOF LATANDRET S. Said A., MA2MOF PEÑARLA C. Jesús E., T.O CARDENAS R. Wilmer. CFLOC OTERO Díaz Luis. S1MOF SILVERA Jair M. (2009) Boletín Meteorológico Mensual del Caribe Colombiano. DIMAR-CIOH. Cartagena, Colombia.

MENDOZA M., Luis Alvaro. (1997). Proyecto Regional del Planificación y Manejo de Bahías y Áreas Costeras Fuertemente Contaminadas del Gran Caribe. Estudio de Caso; Bahía de Cartagena. Fondo para el Medio Ambiente Mundial. CIOH. Cartagena.

NICHOLS G. (2009). Sedimentology and Stratigraphy. Second Edition. Editorial Wiley-Blackwell, página 87.

OROZCO Fernando (2009). Colección fotográfica Isla Tierra Bomba. CIOH. Cartagena. Bolívar.

PAGLIARDINI, Jean Luc et al. (1982). Síntesis del Proyecto de la bahía de Cartagena. Boletín Científico N° 4 CIOH. ISSN 0129-0642. Página 48-110. Cartagena. Colombia.

POLANIA J.V. & Borda Luis B. (1991). Caracterización de los manglares de la Bahía de Cartagena, con énfasis en el área de influencia de Ecopetrol y el área Industrial adyacente de Mamonal. Empresa Colombiana de Petróleos ECOPETROL. Refinería Cartagena, Contratista Acuatoxic Ltda. Cartagena.

POT (2009). Alcaldía de Cartagena.

REYES Germán et al. (2001) Geología de las Planchas 23 Cartagena y 29-30 Arjona. Escala 1:100.000. Memoria explicativa. Instituto De Investigación e Información Geocientífica Minero Ambiental y Nuclear. INGEOMINAS.

RODRIGUEZ Nidia S. (1982) Informe Preliminar Micromoluscos Recientes de la Plataforma Caribe Colombiana. Ministerio de Defensa Nacional Armada Nacional - CIOH. Cartagena.

SAHU Basanta K. (1964). Depositional mechanisms from the size analysis Of Clastic Sediments. Departament of Geology, Panjab University, Chandigarh, India. En Journal Of Sedimentary Petrology, Vol 34, N° 1, página 73-83.

SJ GUTIERREZ C. & BERNUIL Cantillo. (2004). Manual Sedimentológico. Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas - CIOH. ENAP. Dimar. Cartagena.

SOLE DE PORTA, N. 1960. Observaciones palinológicas sobre el Plioceno de Cartagena (Colombia). UIS, Bol. Geol., (4). Bucaramanga.

VERNETTE, J. G., BUITRAGO, N., CAMPOS Y LLANO M., (1977). Variación Morfológicas de las Costas de la Bahía de Cartagena a partir del Siglo XVI. Boletín Científico CIOH. N° 1, página 20-39.

VERNETTE, J. G., (1979). Estudio Batimétrico y sedimentológico en la Plataforma Continental entre Cartagena y la desembocadura del Río Magdalena. Boletín Científico CIOH. N° 2, Cartagena, página 55-70.

VERNETTE George (1982). Cartografía de los Fondos en la plataforma continental; estandarización de los criterios sedimentológicos. Boletín Científico CIOH N° 4., página 3-13.

URBANO J., THOMAS Y. F., PARRA C., GENETT P. Y. (1992). Dinámica de la Pluma de turbidez del Canal del Dique en la Bahía de Cartagena- Colombia. Boletín científico CIOH N° 11. ISSN 0120-0542, páginas 3-14. Cartagena.

RED BIBLIOGRAFICA

Medidas de distribución. Consultado Junio 2009. Disponible en:
<http://www.spssfree.com/spss/analisis3.html>

ANEXOS

Anexo 1: RESUMEN DATOS PARÁMETROS ESTADÍSTICOS

Muestra	Grupo Textural	% Grava	% Arena	% Lodo
0	Lodo	0	2,4	97,6
1	Lodo	0	2,9	97,1
2	Lodo	0	0,3	99,7
3	Lodo	0	0,3	99,7
4	Lodo	0	1	99
5	Lodo	0	1,2	98,8
6	Lodo	0	1,5	98,5
7	Lodo ligeramente gravoso	0,5	1,1	98,4
8	Lodo ligeramente areno gravoso	1,9	14,5	83,6
9	Arena Lodosa ligeramente gravosa	3,3	78,8	17,9
10	Lodo Gravoso	17,3	0,8	81,9
11	Lodo Gravoso	15,8	3,8	80,4
12	Lodo	0	1,3	98,7
13	Lodo ligeramente gravoso	0,3	3,3	96,4
14	Lodo Gravoso	20,6	34,9	44,5
15	Lodo	0	0,3	99,7
16	Arena	0	97,4	2,6
17	Lodo	0	8,2	91,8
18	Lodo	0	1,3	99,7
19	Lodo	0	1,2	98,8
20	Lodo	0	2,5	97,5
21	Arena ligeramente gravosa	0,9	94,2	5
22	Lodo	0	0,9	99,1
23	Lodo	0	1	99
24	Lodo	0	0,3	99,7
25	Lodo	0	0,3	99,7
26	Lodo arenoso	0	13,7	85,3
27	Lodo	0	0,6	99,4
28	Lodo	0	0,9	99,1
29	Lodo	0	0,3	99,7
30	Lodo	0	0,3	99,7
31	Lodo	0	0,7	99,3

32	Lodo	0	1,1	98,9
33	Lodo	0	0,6	99,4
34	Lodo	0	0,7	99,3
35	Lodo	0	0,3	99,7
36	Lodo	0	1,2	98,8
37	Lodo	0	0,7	99,3
38	Lodo	0	0,3	99,7
39	Lodo	0	0,3	99,7
40	Lodo Gravoso	18,1	75,8	6,1
41	Lodo	9,7	10,1	89,9
42	Lodo	0	0,6	99,4
43	Lodo gravoso	0	10,2	72,4
44	Lodo	17,4	0,7	99,3
45	Lodo	0	0,4	99,6
46	Lodo	0	0,5	99,5
47	Lodo Gravoso	0	10,2	72,4
48	Lodo	17,4	0,3	99,7
49	Lodo	0	0,3	99,7
50	Lodo Gravoso	5	94,6	0,4
51	Lodo	0	1,8	98,2
52	Lodo	0	1,2	98,8
53	Lodo	0	1,3	98,7
54	Lodo	0	2,3	97,7
55	Lodo	0	1,1	89,9
56	Lodo	0	1	99
57	Lodo	0	0,2	99,8
58	Lodo	0	0,3	99,7
59	Lodo	0	0,3	99,7
60	Lodo	0	0,2	99,8
61	Lodo	0	0,3	99,7
62	Lodo	0	2,2	97,8
63	Lodo	0	0,3	99,7
64	Lodo	0	1,4	98,6
65	Lodo	0	0,4	99,6
66	Arcillas			
67	Lodo Gravoso	15,1	5,6	79,3
68	Lodo	0	0	100
69	Arcillas			

70	Lodo Gravoso	9	12,7	78,3
71	Lodo Gravoso	0	0,5	99,5
72	Arcillas			
73	Lodo Gravoso	8	14,7	77,3
74	Arcillas			
75	Lodo Gravoso	20	22,9	57
76	Lodo ligeramente gravoso	0,8	8,1	91,1
77	Arcillas			
78	Arcillas			
79	Arcillas			
80	Grava lodosa	31,6	21,2	47,2
81	Lodo	0	1,2	98,8
82	Arcillas			
83	Lodo arenoso ligeramente gravoso	0,5	12,2	87,3
84	Arcillas			
85	Lodo Gravoso	27,2	9,5	63,3
86	Lodo Gravoso	27,4	8,7	63,8
87	Arcillas			
88	Lodo	0	0,4	99,6
89	Lodo	0	2,3	97,7
90	Arcillas			
91	Arcillas			
92	Arcillas			
93	Lodo	0	0,4	99,6
94	Arcillas			
95	Arcillas			
96	Lodo arenoso ligeramente gravoso	2	15,3	82,7
97	Arcillas			
98	Grava lodosa	39,9	11	49,2
99	Arcillas			
100	Arcillas			
101	Lodo	0	0	100
102	Arcillas			
103	Arcillas			
104	Arcillas			
105	Arcillas			
106	Arcillas			
107	Lodo	0	2,6	97,4

108	Lodo	0	4,1	95,9
109	Arcillas			
110	Arcillas			
111	Arcillas			
112	Lodo Gravoso	25,5	22,7	51,8
113	Lodo Gravoso	54,8	0,7	44,5
114	Arcillas			
115	Arcillas			
116	Lodo	0	2,2	97,8
117	Arcillas			
118	Arcillas			
119	Lodo arenoso ligeramente gravoso	0	21,4	78,5
120	Arcillas			
121	Arcillas			
122	Arcillas			
123	Arcillas			
124	Lodo arenoso ligeramente gravoso	0,1	10	89,9
125	Arcillas			
126	Arcillas			
127	Arcillas			
128	Lodo	0	0,2	99,8
129	Lodo	0	2,2	97,8
130	Arcillas			
131	Arcillas			
132	Lodo	0	2,2	97,8
133	Lodo	0	2,2	97,8
134	Arcillas			
135	Arcillas			
136	Arcillas			
137	Arcillas			
138	Lodo	0	1,2	98,8
139	Arcillas			
140	Arcillas			
141	Lodo	0	0,4	99,6
142	Lodo	0	0,3	99,7
143	Lodo	0	1	99
144	Lodo	0	0,3	99,7
145	Lodo	0	0,6	99,4

146	Lodo	0	0,3	99,7
147	Lodo	0	0,2	99,8
148	Lodo	0	0	100
149	Lodo	0	0,2	99,8
150	Lodo ligeiramente Gravoso	0,5	3,1	96,5
151	Lodo	0	0,6	99,4
152	Lodo	0	0,2	99,8
153	Lodo	0	0,4	99,6
154	Lodo	0	0,3	99,7
155	Lodo	0	0	100
156	Lodo	0	1,2	98,8
157	Lodo	0	1,4	98,6
158	Lodo	0	1,4	98,6
159	Lodo	0	0,7	99,3
160	Lodo	0	0,4	99,6
161	Lodo	0	1	99
162	Lodo	0	0,6	99,4
163	Lodo	0	0,7	99,3
164	Lodo	0	1,4	98,6
165	Lodo	0	0,8	99,2
166	Lodo	0	1	99
167	Lodo	0	1,2	98,8
168	Lodo	0	0,4	99,6
169	Lodo ligeiramente gravoso	0,3	1,3	98,3
170	Lodo	0	0,5	99,5
171	Lodo Gravoso	9,9	0,6	89,5
172	Lodo	0	0,6	99,4
173	Lodo	0	0,3	99,7
174	Arcillas			
175	Lodo	0	0,6	99,4
176	Lodo	0	0,3	99,7
177	Lodo	0	0,9	99,1
178	Lodo	0	0,3	99,7
179	Lodo	0	0,3	99,7
180	Lodo	0	0,2	99,8
181	Lodo ligeiramente Gravoso	3	1,7	95,3
182	Lodo	0	0,5	99,5
183	Lodo	0	2,3	97,7

184	Lodo	0	0,3	99,7
185	Lodo	0	0,2	99,8
186	Arena Gravosa	22,5	72,9	4,6
187	Arena Gravosa	12,4	8,4	79,2
188	Lodo arenoso ligeiramente gravoso	1,5	26,3	72,2
189	Lodo	0	0,7	99,3
190	Lodo Gravoso	14,6	8,2	77,3
191	Arena lodo gravosa	14,9	32,4	52,7
192	Lodo	0	0,6	99,4
193	Lodo	0	0,9	99,1
194	Lodo	0	0,3	99,7
195	Lodo	0	0,9	99,1
196	Lodo	0	0,6	99,4
197	Grava areno lodosa	39,5	12	48,5
198	Grava	100	0	0
199	Lodo Gravoso	9,9	17,8	72,3
200	Lodo Gravoso	13,1	23,7	63,2
201	Lodo ligeiramente gravoso	1,7	5	93,3
202	Lodo	0	0,4	99,6
203	Areno lodosa ligeiramente gravosa	4,5	61,7	33,8
204	Areno lodosa ligeiramente gravosa	3,3	20,8	75,9
205	Lodo Gravoso	24,9	1,4	73,7
206	Lodo	0	0,7	99,3
207	Lodo	0	0,3	99,7
208	Lodo	0	1,9	98,1
209	Lodo	0	0,2	99,8
210	Lodo	0	0,4	99,6
211	Lodo Gravoso	10	14	76
212	Lodo	0	0,7	99,3
213	Lodo	0	1,1	98,9
214	Lodo arenosa ligeiramente gravosa	2,4	26,8	70,8
215	Arena lodosa ligeiramente Gravosa	2,1	6,13	36,5
216	Lodo arenosa ligeiramente gravosa	1,7	40,8	57,5
217	Arcillas			
218	Lodo arenosa ligeiramente gravosa	0	19	81
219	Lodo ligeiramente Gravoso	0,1	6,3	93,6
220	Lodo Gravoso	8,7	28,6	62,7
221	Lodo	0	0,8	99,2

222	Lodo arenosa ligeramente gravosa	0,7	37,3	62,1
223	Lodo Gravoso	7,5	27,4	65,1
224	Lodo arenosa ligeramente gravosa	2,7	25,5	71,8
225	Arcillas			
226	Lodo Gravoso	15,5	15	69,5
227	Lodo	0	0,5	99,5
228	Lodo Gravoso	19,9	5,3	74,8
229	Lodo	0	0,6	99,4
230	Lodo Gravoso	12	2	86
231	Lodo	0	0,8	99,2
232	Lodo	0	0,3	99,7
233	Lodo	0	0,4	99,6
234	Grava lodosa	76,6	8,6	14,8

Anexo 2: Contenido de Carbonato de Calcio de las estaciones elaboradas para la bahía de Cartagena.

Nº	Volumen de muestra Normalizada (ml)	Volumen (ml)	%
0	50.8	5.4	10,63
1	49	14	28,57
2	49	4.8	9.80
3	49	8	16.33
4	50.8	5	9.84
5	49	5	10.20
6	50.8	5.2	10.24
7	50.8	25.4	50.00
8	49	22.4	45.71
9	49	46	93.88
10	50.8	45.6	89.76
11	52.4	39	74.43
12	49	10	20.41
13	49	12	24.49
14	42	38	85.71
15	52.4	4	7.63
16	49	1	2.04
17	50	0.8	1.60
18	50	1	2.00
19	52	0.6	1.15
20	52	3	5.77
21	50	0.2	0.40
22	50	0.9	1.80
23	52	0,4	0.77
24	52.5	0.6	1.15
25	52	5.2	10.00
26	50	1	2.00
27	52	0.8	1.54
28	52	1.8	3,46
29	50	2	4.00
30	52	5	9.62
31	52	1.6	3.08
32	50	1	2.00
33	50	4.2	8.40
34	50	3	6.00
35	52.4	1.4	2.67
36	52.4	3.8	7.25
37	52.4	6	11.45
38	52.4	2.8	5.34
39	52	2	3.85
40	52	48	92.31
41	50	6	12.00
42	52	8.6	16.54
43	52	2.2	4.23
44	52.4	0	0.00

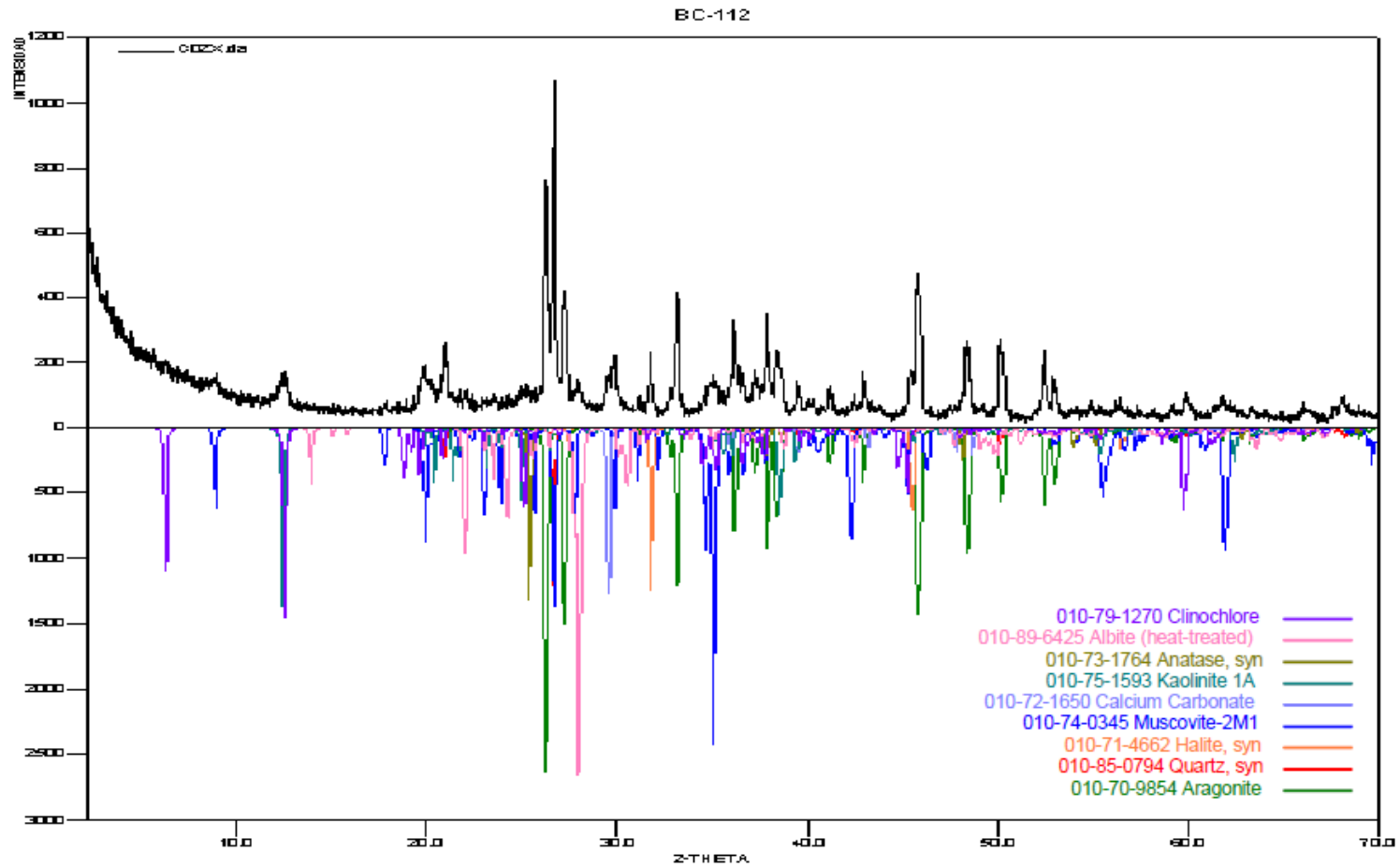
45	52	3.6	6.92
46	52	2.2	4.23
47	52	42	80.77
48	50	47	95.92
49	52	2.6	5.00
50	49	47	95.92
51	52	7.6	14.62
52	52	1.6	14.62
53	52	1	1.92
54	52	2	3.85
55	52	1.8	3.46
56	52	2	3.85
57	50	2.8	5.60
58	50	2.8	5.60
59	52	1.5	2.88
60	52	0.6	1.15
61	50	4	8.00
62	52	2.6	5.00
63	52.4	3	5.73
64	52	1.8	3.46
65	50	2	4
66	21	1	2.38
67	21	13	30.95
70	52	45	86.54
71	52	1.4	2.69
72	21	2	4.76
73			
74	21	9	21.43
75	21	22	52.38
76	21	10	23.81
77	21	13	30.95
78	21	5	11.90
79	21	2	4.76
81	52	1.4	2.69
82	21	9	21.43
83	21	22.5	53.57
84	21	0.8	1.9
85	21	4	9.52
87	21	3	7.14
88	49	0	0
89	49	0	0
90	21	0.4	0.95
91	21	0.25	0
92	21	1.5	3.57
93	52	2.8	5.38
94	21	2	4.76
95	21	1	2.38
96	21	14	33.33
97	21	1.5	3.57

99	21	2	4.76
100	21	0	0
101	49	0	0.00
102	21	1.6	3.81
103	21	1,5	3.57
104	21	0.6	1.43
105	x	x	X
106	21	5	11.90
107	21	0.5	1.19
108	50.8	3.4	6,69
109	21	1.6	3.81
110	21	0.6	1.43
111	21	0.3	0.71
112	x	x	x
113	21	4	9.52
115	21	1	2.38
116	21	0	0
117	21	0	0
118	21	1	2.38
119	21	0.5	1.19
120	21	0	0
121	21	1	2.38
122	21	0.5	1.19
123	21	0.5	1.19
124	21	1	2.38
125	21	0.8	1.90
126	21	0	0
127	21	0	0
128	21	1	2.38
129	21	0.2	0.47
130	21	0.5	1.19
131	21	0.5	1.19
132	21	0.6	1.43
133	21	1.5	3.57
134	21	2	4.76
135	21	0	0
136	21	1	2.38
137	21	0.2	0.47
138	21	0.8	1.90
140	21	0	0
141	51	0	0
142	52.4	0.6	1.15
143	48	0	0
144	48	1	2.08
145	50	0	0
146	48	0	0
147	50	0	0
148	51	0	0
149	48	0	0

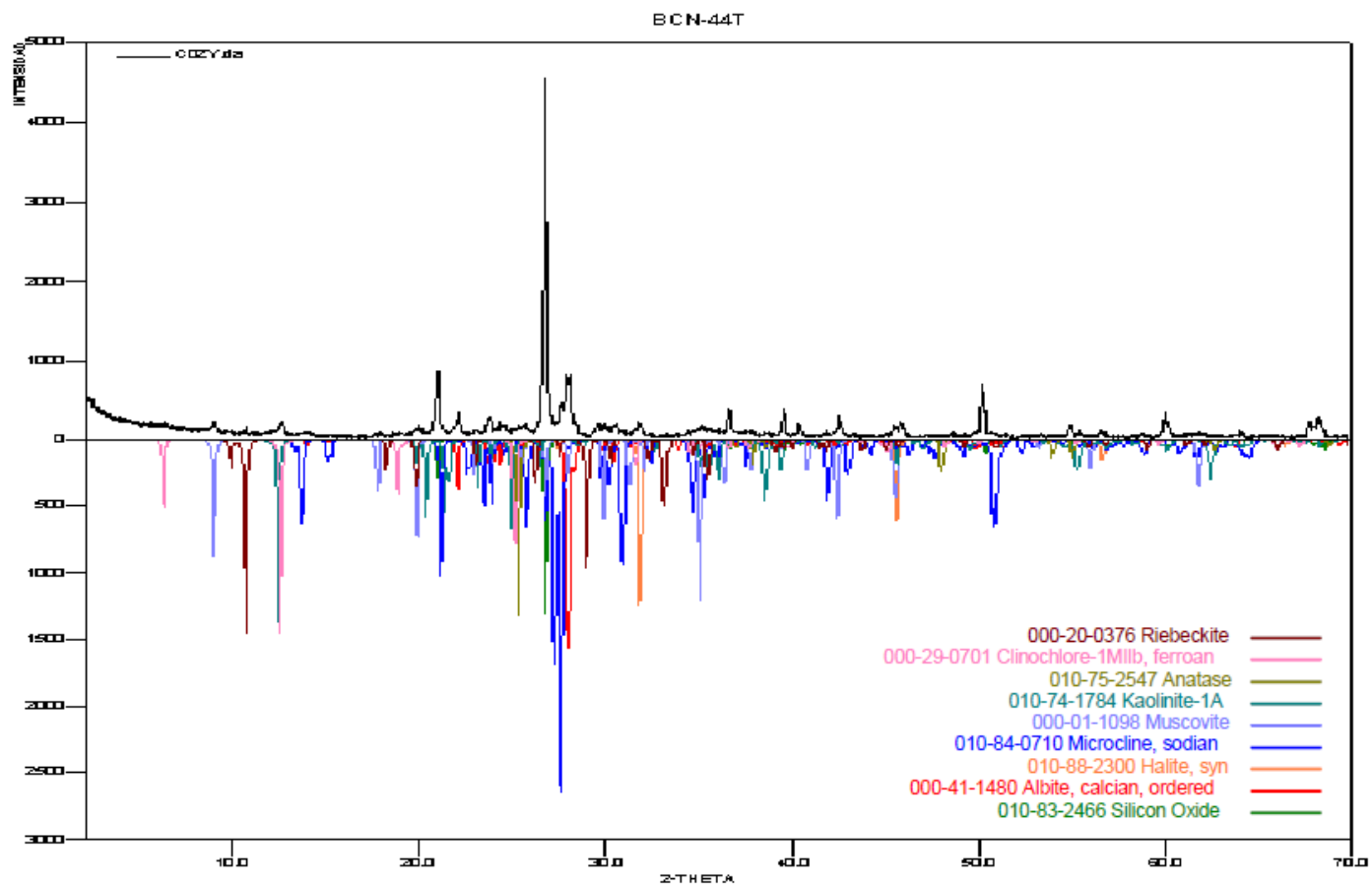
150	50	8	16.00
151	51	0	0
152	52	0	0
153	47.4	2	4.22
154	52.4	0	0
155	52.4	0	0
156	51	0	0
157	50	0	0
158	52	0	0
159	47.4	0	0
160	52.4	0	0
161	52	0	0
162	52	1	1.92
163	50	0	0
164	50	0	0
165	50	0	0
166	48	0	0
167	52	1.4	2.69
168	48	0	0
169	52.4	6	11.45
170	51	0	0
171	52.4	4.6	8.78
172	51	1	1.96
173	47.4	0	0
174	x	x	x
175	52.4	0	0
176	52.4	0	0
177	48	0	0
178	50	0	0
179	50	0	0
180	50	0	0
181	49	40	81.63
182	48	0	0
183	50	0	0
184	50	0.6	1.20
185	51	0	0
186	50	44	88.00
187	50	40.4	80.80
188	48	14	29,17
189	51	0	0
190	51	13	25.49
191	51	21	41.18
192	48	0	0
193	51	0	0
194	48	0	0
195	48	0	0
196	52.4	0	0
197	49	43	87.76
198	50	29	58

199	50	26.8	53.60
200	50	37	74
201	51	12.6	24.71
202	48	0	0
203	47.4	28.8	60.76
204	50	40	80.00
205	49	44.8	91.43
206	51	2	3.92
207	51	0	0
208	51	10	19.61
209	52	1.4	2.69
210	50	1	2.00
211	50	20	40.00
212	50	2	4
213	52	0	0
214	50	26.6	53.20
215	47.4	42.5	89.66
216	50	40	80.00
217	49	14.6	29.80
218	50	5	10.00
219	49	41	83.67
220	52.4	31	59.16
221	48	1	2.08
222	50	17.2	34.40
223	50	29	58.00
224	47.4	8	16.88
225			
226	47.4	13	27.43
227	51	0	0
228	47.4	13	27.43
229	51	0	0
230	49	22.8	46.53
231	48	4.8	10.00
232	48	2	4.17
233	50	4.2	8.40
234	21	14	33.33
N4T	21	1	2.38
N37B		2.5	4.67
N37T		1	1.87
N38B		1	1.87
N38T		1	1.87
N40B		2	3.74
N40T		2	3.74
N43B		50	93.46
N43T		44	82.24

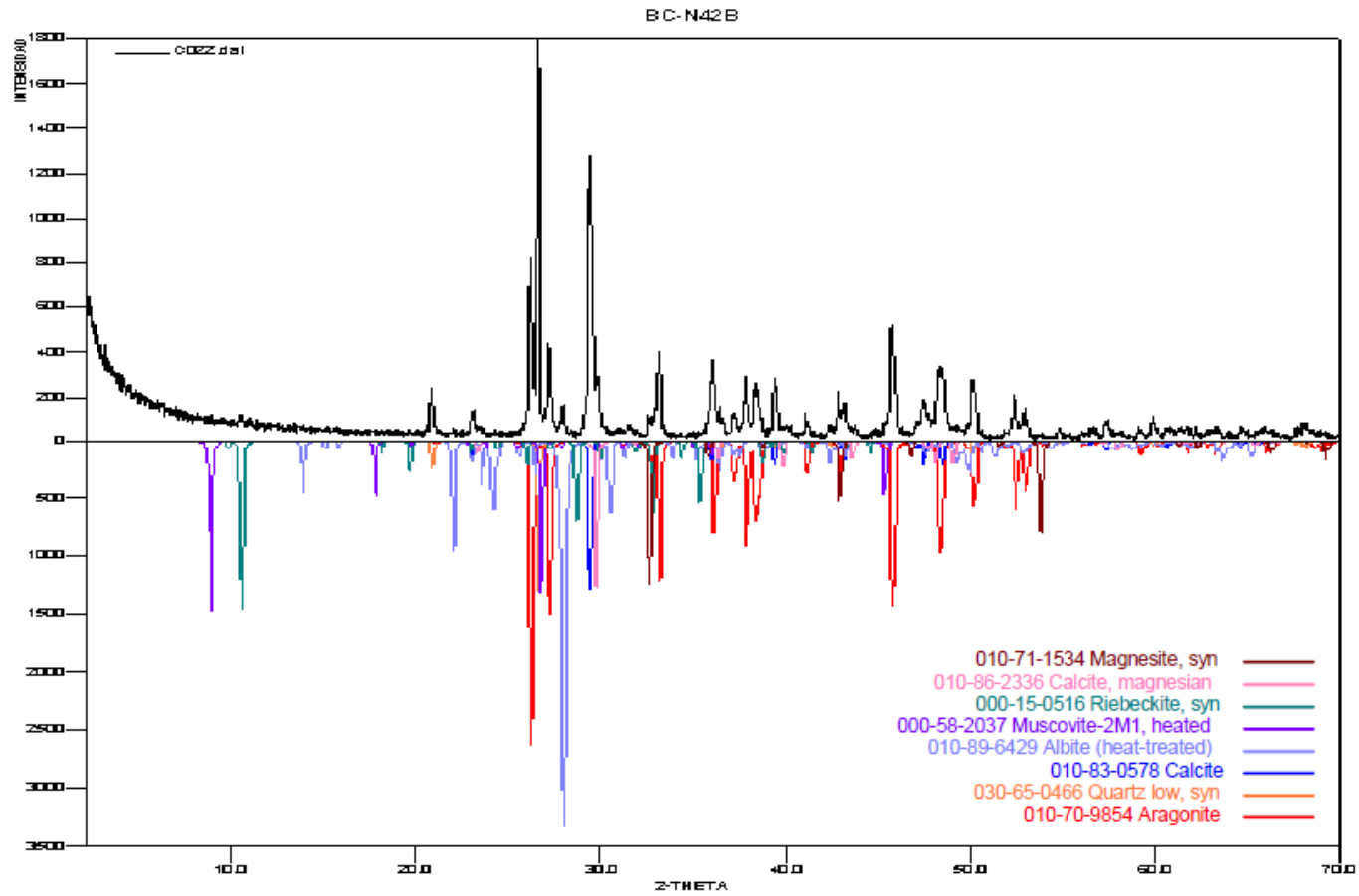
Anexo 3: Difractograma muestra BC 112.



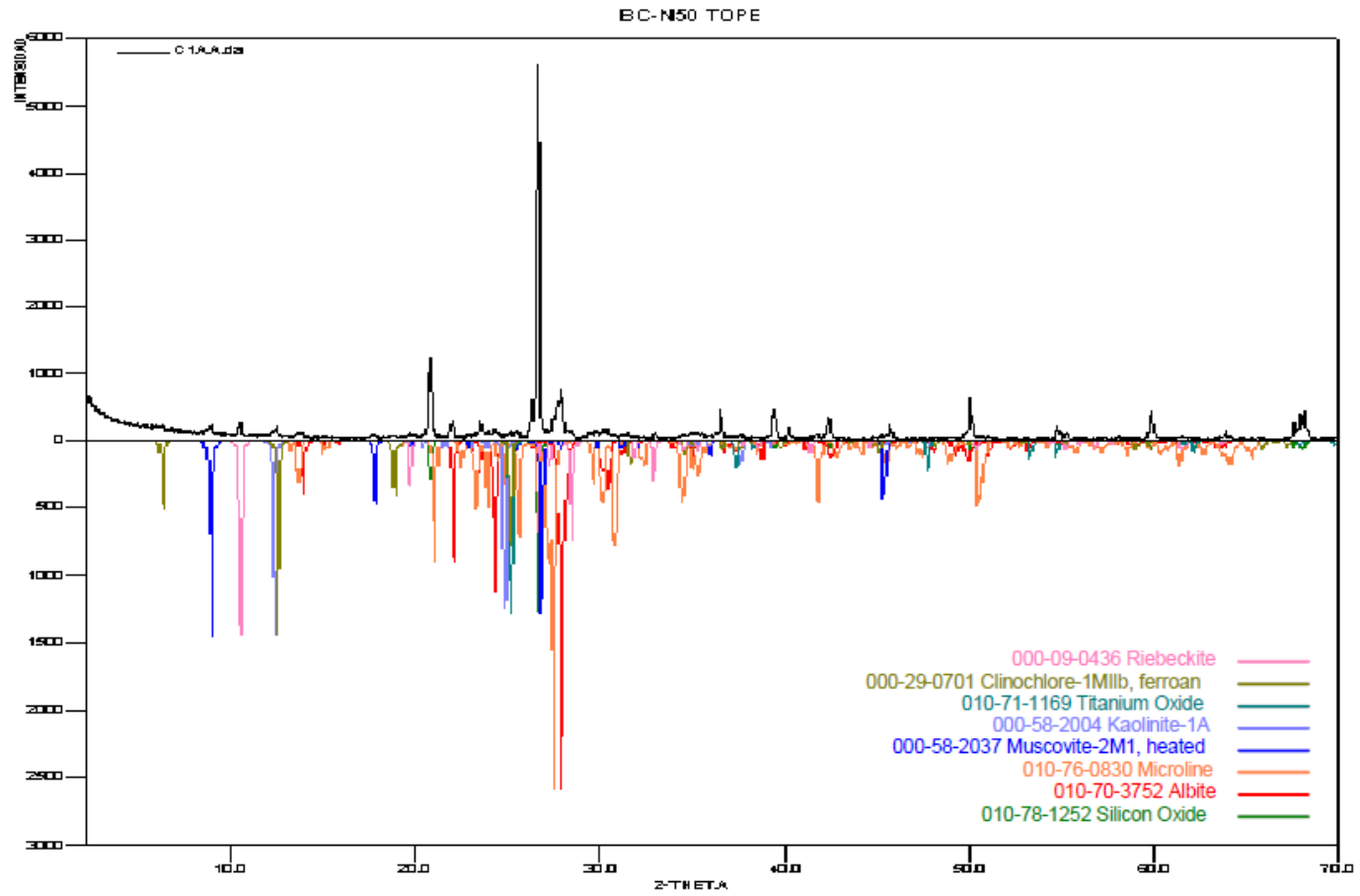
Anexo 4: Difractograma muestraBC44T



Anexo 5: Difractograma muestra BC N42B



Anexo 6: Difractograma muestra BCN50T



Anexo 7: Parámetros estadísticos.

Muestra	Grupo Textural	% Grava	% Arena	% Lodo
0	Lodo	0	2,4	97,6
1	Lodo	0	2,9	97,1
2	Lodo	0	0,3	99,7
3	Lodo	0	0,3	99,7
4	Lodo	0	1	99
5	Lodo	0	1,2	98,8
6	Lodo	0	1,5	98,5
7	Lodo ligeramente gravoso	0,5	1,1	98,4
8	Lodo ligeramente arenoso gravoso	1,9	14,5	83,6
9	Arena Lodosa ligeramente gravosa	3,3	78,8	17,9
10	Lodo Gravoso	17,3	0,8	81,9
11	Lodo Gravoso	15,8	3,8	80,4
12	Lodo	0	1,3	98,7
13	Lodo ligeramente gravoso	0,3	3,3	96,4
14	Lodo Gravoso	20,6	34,9	44,5
15	Lodo	0	0,3	99,7
16	Arena	0	97,4	2,6
17	Lodo	0	8,2	91,8
18	Lodo	0	1,3	99,7
19	Lodo	0	1,2	98,8
20	Lodo	0	2,5	97,5
21	Arena ligeramente gravosa	0,9	94,2	5
22	Lodo	0	0,9	99,1
23	Lodo	0	1	99
24	Lodo	0	0,3	99,7
25	Lodo	0	0,3	99,7
26	Lodo arenoso	0	13,7	85,3
27	Lodo	0	0,6	99,4
28	Lodo	0	0,9	99,1
29	Lodo	0	0,3	99,7
30	Lodo	0	0,3	99,7
31	Lodo	0	0,7	99,3
32	Lodo	0	1,1	98,9
33	Lodo	0	0,6	99,4
34	Lodo	0	0,7	99,3
35	Lodo	0	0,3	99,7
36	Lodo	0	1,2	98,8

37	Lodo	0	0,7	99,3
38	Lodo	0	0,3	99,7
39	Lodo	0	0,3	99,7
40	Lodo Gravoso	18,1	75,8	6,1
41	Lodo	9,7	10,1	89,9
42	Lodo	0	0,6	99,4
43	Lodo gravoso	0	10,2	72,4
44	Lodo	17,4	0,7	99,3
45	Lodo	0	0,4	99,6
46	Lodo	0	0,5	99,5
47	Lodo Gravoso	0	10,2	72,4
48	Lodo	17,4	0,3	99,7
49	Lodo	0	0,3	99,7
50	Lodo Gravoso	5	94,6	0,4
51	Lodo	0	1,8	98,2
52	Lodo	0	1,2	98,8
53	Lodo	0	1,3	98,7
54	Lodo	0	2,3	97,7
55	Lodo	0	1,1	89,9
56	Lodo	0	1	99
57	Lodo	0	0,2	99,8
58	Lodo	0	0,3	99,7
59	Lodo	0	0,3	99,7
60	Lodo	0	0,2	99,8
61	Lodo	0	0,3	99,7
62	Lodo	0	2,2	97,8
63	Lodo	0	0,3	99,7
64	Lodo	0	1,4	98,6
65	Lodo	0	0,4	99,6
66	Arcillas			
67	Lodo Gravoso	15,1	5,6	79,3
68	Lodo	0	0	100
69	Arcillas			
70	Lodo Gravoso	9	12,7	78,3
71	Lodo Gravoso	0	0,5	99,5
72	Arcillas			
73	Lodo Gravoso	8	14,7	77,3
74	Arcillas			
75	Lodo Gravoso	20	22,9	57
76	Lodo ligeramente gravoso	0,8	8,1	91,1
77	Arcillas			

78	Arcillas			
79	Arcillas			
80	Grava lodosa	31,6	21,2	47,2
81	Lodo	0	1,2	98,8
82	Arcillas			
83	Lodo arenoso ligeramente gravoso	0,5	12,2	87,3
84	Arcillas			
85	Lodo Gravoso	27,2	9,5	63,3
86	Lodo Gravoso	27,4	8,7	63,8
87	Arcillas			
88	Lodo	0	0,4	99,6
89	Lodo	0	2,3	97,7
90	Arcillas			
91	Arcillas			
92	Arcillas			
93	Lodo	0	0,4	99,6
94	Arcillas			
95	Arcillas			
96	Lodo arenoso ligeramente gravoso	2	15,3	82,7
97	Arcillas			
98	Grava lodosa	39,9	11	49,2
99	Arcillas			
100	Arcillas			
101	Lodo	0	0	100
102	Arcillas			
103	Arcillas			
104	Arcillas			
105	Arcillas			
106	Arcillas			
107	Lodo	0	2,6	97,4
108	Lodo	0	4,1	95,9
109	Arcillas			
110	Arcillas			
111	Arcillas			
112	Lodo Gravoso	25,5	22,7	51,8
113	Lodo Gravoso	54,8	0,7	44,5
114	Arcillas			

115	Arcillas			
116	Lodo	0	2,2	97,8
117	Arcillas			
118	Arcillas			
119	Lodo arenoso ligeramente gravoso	0	21,4	78,5
120	Arcillas			
121	Arcillas			
122	Arcillas			
123	Arcillas			
124	Lodo arenoso ligeramente gravoso	0,1	10	89,9
125	Arcillas			
126	Arcillas			
127	Arcillas			
128	Lodo	0	0,2	99,8
129	Lodo	0	2,2	97,8
130	Arcillas			
131	Arcillas			
132	Lodo	0	2,2	97,8
133	Lodo	0	2,2	97,8
134	Arcillas			
135	Arcillas			
136	Arcillas			
137	Arcillas			
138	Lodo	0	1,2	98,8
139	Arcillas			
140	Arcillas			
141	Lodo	0	0,4	99,6
142	Lodo	0	0,3	99,7
143	Lodo	0	1	99
144	Lodo	0	0,3	99,7
145	Lodo	0	0,6	99,4
146	Lodo	0	0,3	99,7
147	Lodo	0	0,2	99,8
148	Lodo	0	0	100
149	Lodo	0	0,2	99,8
150	Lodo ligeramente Gravoso	0,5	3,1	96,5
151	Lodo	0	0,6	99,4
152	Lodo	0	0,2	99,8

153	Lodo	0	0,4	99,6
154	Lodo	0	0,3	99,7
155	Lodo	0	0	100
156	Lodo	0	1,2	98,8
157	Lodo	0	1,4	98,6
158	Lodo	0	1,4	98,6
159	Lodo	0	0,7	99,3
160	Lodo	0	0,4	99,6
161	Lodo	0	1	99
162	Lodo	0	0,6	99,4
163	Lodo	0	0,7	99,3
164	Lodo	0	1,4	98,6
165	Lodo	0	0,8	99,2
166	Lodo	0	1	99
167	Lodo	0	1,2	98,8
168	Lodo	0	0,4	99,6
169	Lodo ligeramente gravoso	0,3	1,3	98,3
170	Lodo	0	0,5	99,5
171	Lodo Gravoso	9,9	0,6	89,5
172	Lodo	0	0,6	99,4
173	Lodo	0	0,3	99,7
174	Arcillas			
175	Lodo	0	0,6	99,4
176	Lodo	0	0,3	99,7
177	Lodo	0	0,9	99,1
178	Lodo	0	0,3	99,7
179	Lodo	0	0,3	99,7
180	Lodo	0	0,2	99,8
181	Lodo ligeramente Gravoso	3	1,7	95,3
182	Lodo	0	0,5	99,5
183	Lodo	0	2,3	97,7
184	Lodo	0	0,3	99,7
185	Lodo	0	0,2	99,8
186	Arena Gravosa	22,5	72,9	4,6
187	Arena Gravosa	12,4	8,4	79,2
188	Lodo arenoso ligeramente gravoso	1,5	26,3	72,2
189	Lodo	0	0,7	99,3
190	Lodo Gravoso	14,6	8,2	77,3
191	Arena lodo gravosa	14,9	32,4	52,7
192	Lodo	0	0,6	99,4

193	Lodo	0	0,9	99,1
194	Lodo	0	0,3	99,7
195	Lodo	0	0,9	99,1
196	Lodo	0	0,6	99,4
197	Grava areno lodosa	39,5	12	48,5
198	Grava	100	0	0
199	Lodo Gravoso	9,9	17,8	72,3
200	Lodo Gravoso	13,1	23,7	63,2
201	Lodo ligeiramente gravoso	1,7	5	93,3
202	Lodo	0	0,4	99,6
203	Areno lodosa ligeiramente gravosa	4,5	61,7	33,8
204	Areno lodosa ligeiramente gravosa	3,3	20,8	75,9
205	Lodo Gravoso	24,9	1,4	73,7
206	Lodo	0	0,7	99,3
207	Lodo	0	0,3	99,7
208	Lodo	0	1,9	98,1
209	Lodo	0	0,2	99,8
210	Lodo	0	0,4	99,6
211	Lodo Gravoso	10	14	76
212	Lodo	0	0,7	99,3
213	Lodo	0	1,1	98,9
214	Lodo arenosa ligeiramente gravosa	2,4	26,8	70,8
215	Arena lodosa ligeiramente Gravosa	2,1	6,13	36,5
216	Lodo arenosa ligeiramente gravosa	1,7	40,8	57,5
217	Arcillas			
218	Lodo arenosa ligeiramente gravosa	0	19	81
219	Lodo ligeiramente Gravoso	0,1	6,3	93,6
220	Lodo Gravoso	8,7	28,6	62,7
221	Lodo	0	0,8	99,2
222	Lodo arenosa ligeiramente gravosa	0,7	37,3	62,1
223	Lodo Gravoso	7,5	27,4	65,1
224	Lodo arenosa ligeiramente gravosa	2,7	25,5	71,8
225	Arcillas			
226	Lodo Gravoso	15,5	15	69,5
227	Lodo	0	0,5	99,5
228	Lodo Gravoso	19,9	5,3	74,8
229	Lodo	0	0,6	99,4
230	Lodo Gravoso	12	2	86
231	Lodo	0	0,8	99,2
232	Lodo	0	0,3	99,7

233	Lodo	0	0,4	99,6
234	Grava lodosa	76,6	8,6	14,8

Muestra	Media		Selección	
	Logarítmica	Descripción	Logarítmica	Descripción
0	5,949	Lodo Grueso	1,248	Pobremente
1	5,939	Lodo Grueso	1,256	Pobremente
2	5,993	Lodo Grueso	1,215	Pobremente
3	5,992	Lodo Grueso	1,215	Pobremente
4	5,978	Lodo Grueso	1,226	Pobremente
5	5,974	Lodo Grueso	1,229	Pobremente
6	5,994	Lodo Grueso	1,234	Pobremente
7	5,966	Lodo Grueso	1,236	Pobremente
8	5,593	Lodo Grueso	1,911	Pobremente
9	2,551	Arena fina	2,03	Muy Pobremente
10	3,504	Arena Muy fina	3,911	Muy Pobremente
11	4,096	Muy Lodo Grueso	3,444	Muy Pobremente
12	5,972	Lodo Grueso	1,231	Pobremente
13	5,923	Lodo Grueso	1,268	Pobremente
14	2,469	Arena fina	3,712	Muy Pobremente
15	5,993	Lodo Grueso	1,215	Pobremente
16	3,239	Arena Muy fina	0,603	Moderadamente bien
17	5,818	Lodo Grueso	1,335	Pobremente
18	5,972	Lodo Grueso	1,231	Pobremente
19	5,974	Lodo Grueso	1,229	Pobremente
20	5,947	Lodo Grueso	1,25	Pobremente
21	3,223	Arena Muy fina	0,613	Moderadamente bien
22	5,979	Lodo Grueso	1,225	Pobremente
23	5,976	Lodo Grueso	1,226	Pobremente
24	5,993	Lodo Grueso	1,215	Pobremente
25	5,992	Lodo Grueso	1,216	Pobremente
26	5,68	Lodo Grueso	1,492	Pobremente
27	5,986	Lodo Grueso	1,22	Pobremente
28	5,98	Lodo Grueso	1,225	Pobremente
29	5,993	Lodo Grueso	1,215	Pobremente
30	5,991	Lodo Grueso	1,216	Pobremente
31	5,983	Lodo Grueso	1,222	Pobremente

32	5,976	Lodo Grueso	1,228	Pobrememente
33	5,987	Lodo Grueso	1,219	Pobrememente
34	5,984	Lodo Grueso	1,221	Pobrememente
35	5,992	Lodo Grueso	1,215	Pobrememente
36	5,975	Lodo Grueso	1,229	Pobrememente
37	5,985	Lodo Grueso	1,221	Pobrememente
38	5,993	Lodo Grueso	1,215	Pobrememente
39	5,992	Lodo Grueso	1,215	Pobrememente
40	1,062	Arena Media	3,712	Muy Pobrememente
41	5,773	Lodo Grueso	1,368	Pobrememente
42	5,987	Lodo Grueso	1,22	Pobrememente
43	3,72	Arena Muy fina	3,61	Muy Pobrememente
44	5,984	Lodo Grueso	1,221	Pobrememente
45	5,991	Lodo Grueso	1,216	Pobrememente
46	5,989	Lodo Grueso	1,218	Pobrememente
47	3,72	Arena Muy fina	3,61	Muy Pobrememente
48	5,993	Lodo Grueso	1,215	Pobrememente
49	5,992	Lodo Grueso	1,215	Pobrememente
50	1,84	Arena Media	1,359	Pobrememente
51	5,962	Lodo Grueso	1,238	Pobrememente
52	5,974	Lodo Grueso	1,229	Pobrememente
53	5,972	Lodo Grueso	1,231	Pobrememente
54	5,951	Lodo Grueso	1,246	Pobrememente
55	5,976	Lodo Grueso	1,228	Pobrememente
56	5,976	Lodo Grueso	1,226	Pobrememente
57	5,993	Lodo Grueso	1,214	Pobrememente
58	5,992	Lodo Grueso	1,216	Pobrememente
59	5,968	Lodo Grueso	1,215	Pobrememente
60	5,993	Lodo Grueso	1,214	Pobrememente
61	5,953	Lodo Grueso	1,215	Pobrememente
62	5,969	Lodo Grueso	1,245	Pobrememente
63	5,991	Lodo Grueso	1,216	Pobrememente
64	5,966	Lodo Grueso	1,233	Pobrememente
65	5,974	Lodo Grueso	1,216	Pobrememente
66				
67	4,106	Muy Lodo Grueso	3,362	Muy Pobrememente
68	6,435	Limo Media	1,023	Pobrememente
69				
70	4,733	Muy Lodo	2,924	Muy Pobrememente

		Grueso		
71	5,987	Lodo Grueso	1,219	Pobrememente
72				
73	4,518	Muy Lodo Grueso	3,008	Muy Pobrememente
74				
75	3,177	Arena Muy fina	3,707	Muy Pobrememente
76	5,802	Lodo Grueso	1,438	Pobrememente
77				
78				
79				
80	2,342	Arena fina	3,763	Muy Pobrememente
81	5,973	Lodo Grueso	1,23	Pobrememente
82				
83	5,707	Lodo Grueso	1,563	Pobrememente
84				
85	3,163	Arena Muy fina	3,865	Muy Pobrememente
86	3,178	Arena Muy fina	3,865	Muy Pobrememente
87				
88	5,99	Lodo Grueso	1,217	Pobrememente
89	5,951	Lodo Grueso	1,246	Pobrememente
90				
91				
92				
93	5,991	Lodo Grueso	1,216	Pobrememente
94				
95				
96	5,581	Lodo Grueso	1,619	Pobrememente
97				
98	2,001	Arena fina	3,782	Muy Pobrememente
99				
100				
101	6,2	Limo Media	1,171	Pobrememente
102				
103				
104				
105				
106				
107	5,945	Lodo Grueso	1,251	Pobrememente
108	5,913	Lodo Grueso	1,275	Pobrememente

109				
110				
111				
112	3,228	Arena Muy fina	3,503	Muy Pobremente
113	0,626	Arena gruesa	3,761	Muy Pobremente
114				
115				
116	5,954	Lodo Grueso	1,245	Pobremente
117				
118				
119	5,471	Lodo Grueso	1,608	Pobremente
120				
121				
122				
123				
124	5,774	Lodo Grueso	1,464	Pobremente
125				
126				
127				
128	5,994	Lodo Grueso	1,214	Pobremente
129	5,953	Lodo Grueso	1,245	Pobremente
130				
131				
132	5,953	Lodo Grueso	1,245	Pobremente
133	5,953	Lodo Grueso	1,245	Pobremente
134				
135				
136				
137				
138	5,974	Lodo Grueso	1,229	Pobremente
139				
140				
141	5,99	Lodo Grueso	1,217	Pobremente
142	5,992	Lodo Grueso	1,215	Pobremente
143	5,978	Lodo Grueso	1,226	Pobremente
144	5,991	Lodo Grueso	1,216	Pobremente
145	5,986	Lodo Grueso	1,22	Pobremente
146	5,992	Lodo Grueso	1,215	Pobremente
147	5,994	Lodo Grueso	1,214	Pobremente
148	6,317	Limo Media	1,095	Pobremente

149	5,993	Lodo Grueso	1,214	Pobrememente
150	5,925	Lodo Grueso	1,267	Pobrememente
151	5,986	Lodo Grueso	1,22	Pobrememente
152	5,994	Lodo Grueso	1,214	Pobrememente
153	5,99	Lodo Grueso	1,217	Pobrememente
154	5,992	Lodo Grueso	1,215	Pobrememente
155	5,982	Lodo Grueso	1,223	Pobrememente
156	5,974	Lodo Grueso	1,229	Pobrememente
157	5,97	Lodo Grueso	1,232	Pobrememente
158	5,97	Lodo Grueso	1,232	Pobrememente
159	5,984	Lodo Grueso	1,221	Pobrememente
160	5,99	Lodo Grueso	1,217	Pobrememente
161	5,978	Lodo Grueso	1,226	Pobrememente
162	5,986	Lodo Grueso	1,22	Pobrememente
163	5,984	Lodo Grueso	1,221	Pobrememente
164	5,97	Lodo Grueso	1,233	Pobrememente
165	5,982	Lodo Grueso	1,223	Pobrememente
166	5,978	Lodo Grueso	1,226	Pobrememente
167	5,974	Lodo Grueso	1,229	Pobrememente
168	5,991	Lodo Grueso	1,217	Pobrememente
169	5,964	Lodo Grueso	1,237	Pobrememente
170	5,988	Lodo Grueso	1,218	Pobrememente
171	5,763	Lodo Grueso	2,297	Muy Pobrememente
172	5,986	Lodo Grueso	1,22	Pobrememente
173	5,992	Lodo Grueso	1,215	Pobrememente
174				
175	5,986	Lodo Grueso	1,22	Pobrememente
176	5,992	Lodo Grueso	1,215	Pobrememente
177	5,98	Lodo Grueso	1,225	Pobrememente
178	5,992	Lodo Grueso	1,216	Pobrememente
179	5,993	Lodo Grueso	1,215	Pobrememente
180	5,994	Lodo Grueso	1,214	Pobrememente
181	5,899	Lodo Grueso	1,286	Pobrememente
182	5,988	Lodo Grueso	1,218	Pobrememente
183	5,951	Lodo Grueso	1,246	Pobrememente
184	5,993	Lodo Grueso	1,215	Pobrememente
185	5,994	Lodo Grueso	1,214	Pobrememente
186	0,378	Arena gruesa	1,901	Pobrememente
187	4,409	Muy Lodo Grueso	3,18	Muy Pobrememente

188	5,033	Lodo Grueso	2,175	Muy Pobremente
189	5,984	Lodo Grueso	1,221	Pobremente
190	4,365	Muy Lodo Grueso	3,198	Muy Pobremente
191	3,51	Arena Muy fina	3,32	Muy Pobremente
192	5,986	Lodo Grueso	1,22	Pobremente
193	5,98	Lodo Grueso	1,225	Pobremente
194	5,992	Lodo Grueso	1,215	Pobremente
195	5,98	Lodo Grueso	1,225	Pobremente
196	5,986	Lodo Grueso	1,22	Pobremente
197	2,696	Arena fina	3,786	Muy Pobremente
198	2,35	Gránulos	0,147	Muy bien
199	4,315	Muy Lodo Grueso	3,152	Muy Pobremente
200	3,817	Arena Muy fina	3,357	Muy Pobremente
201	5,863	Lodo Grueso	1,497	Pobremente
202	5,99	Lodo Grueso	1,217	Pobremente
203	3,226	Arena Muy fina	2,543	Muy Pobremente
204	5,19	Lodo Grueso	2,082	Muy Pobremente
205	3,361	Arena Muy fina	3,905	Muy Pobremente
206	5,884	Lodo Grueso	1,221	Pobremente
207	5,992	Lodo Grueso	1,215	Pobremente
208	5,959	Lodo Grueso	1,241	Pobremente
209	5,993	Lodo Grueso	1,215	Pobremente
210	5,99	Lodo Grueso	1,217	Pobremente
211	4,396	Muy Lodo Grueso	3,064	Muy Pobremente
212	5,984	Lodo Grueso	1,221	Pobremente
213	5,975	Lodo Grueso	1,229	Pobremente
214	4,691	Muy Lodo Grueso	2,532	Muy Pobremente
215	3,602	Arena Muy fina	2,222	Muy Pobremente
216	4,665	Muy Lodo Grueso	2,101	Muy Pobremente
217				
218	5,297	Lodo Grueso	1,788	Pobremente
219	5,861	Lodo Grueso	1,323	Pobremente
220	4,134	Muy Lodo Grueso	3,046	Muy Pobremente
221	5,982	Lodo Grueso	1,223	Pobremente
222	4,492	Muy Lodo Grueso	2,38	Muy Pobremente

223	4,219	Muy Lodo Grueso	2,922	Muy Pobrememente
224	4,504	Muy Lodo Grueso	2,704	Muy Pobrememente
225				
226	3,919	Arena Muy fina	3,408	Muy Pobrememente
227	5,988	Lodo Grueso	1,218	Pobrememente
228	3,516	Arena Muy fina	3,801	Muy Pobrememente
229	5,986	Lodo Grueso	1,22	Pobrememente
230	5,673	Lodo Grueso	2,329	Muy Pobrememente
231	5,982	Lodo Grueso	1,223	Pobrememente
232	5,992	Lodo Grueso	1,215	Pobrememente
233	5,99	Lodo Grueso	1,217	Pobrememente
234	-0,548	Arena Muy gruesa	2,767	Muy Pobrememente

Muestra	Asimetría		Curtosis	
	Log	Descripción	Logarítmica	Descripción
0	0,008	Simétrica	0,726	Platicúrtica
1	0,006	Simétrica	0,728	Platicúrtica
2	0,014	Simétrica	0,718	Platicúrtica
3	0,014	Simétrica	0,718	Platicúrtica
4	0,012	Simétrica	0,721	Platicúrtica
5	0,001	Simétrica	0,721	Platicúrtica
6	0,01	Simétrica	0,723	Platicúrtica
7	0,01	Simétrica	0,723	Platicúrtica
8	-0,206	asimétrica hacia los gruesos	1,228	Leptocúrtica
9	0,105	asimétrica hacia los finos	1,996	Muy Leptocurtica
10	-0,608	Muy asimétrica hacia los gruesos	1,705	Muy Leptocurtica
11	-0,557	Muy asimétrica hacia los gruesos	1,67	Muy Leptocúrtica
12	0,011	Simétrica	0,722	Platicúrtica
13	0,004	Simétrica	0,731	Platicúrtica
14	-0,16	asimétrica hacia los gruesos	0.679	Platicúrtica
15	0,014	Simétrica	0,718	Platicúrtica
16	0,015	asimétrica hacia los finos	0,924	Mesocúrtica

17	0,002	Simétrica	0,735	Platicúrtica
18	0,011	Simétrica	0,722	Platicúrtica
19	0,011	Simétrica	0,721	Platicúrtica
20	0,008	Simétrica	0,727	Platicúrtica
21	-0,02	Simétrica	4,659	Extremadamente Leptocúrtica
22	0,012	Simétrica	0,72	Platicúrtica
23	0,012	Simétrica	0,721	Platicúrtica
24	0,014	Simétrica	0,718	Platicúrtica
25	0,014	Simétrica	0,718	Platicúrtica
26	-0,05	Simétrica	0,82	Platicúrtica
27	0,013	Simétrica	0,719	Platicúrtica
28	0,012	Simétrica	0,72	Platicúrtica
29	0,014	Simétrica	0,718	Platicúrtica
30	0,014	Simétrica	0,718	Platicúrtica
31	0,013	Simétrica	0,72	Platicúrtica
32	0,012	Simétrica	0,721	Platicúrtica
33	0,013	Simétrica	0,719	Platicúrtica
34	0,013	Simétrica	0,719	Platicúrtica
35	0,014	Simétrica	0,718	Platicúrtica
36	0,011	Simétrica	0,721	Platicúrtica
37	0,013	Simétrica	0,719	Platicúrtica
38	0,014	Simétrica	0,718	Platicúrtica
39	0,014	Simétrica	0,718	Platicúrtica
40	-0,267	asimétrica hacia los gruesos	1,381	Leptocúrtica
41	-0,003	Simétrica	0,742	Platicúrtica
42	0,013	Simétrica	0,719	Platicúrtica
43	-0,527	Muy Asimétrica hacia los gruesos	1,012	Mesocúrtica
44	0,013	Simétrica	0,719	Platicúrtica
45	0,014	Simétrica	0,718	Platicúrtica
46	0,013	Simétrica	0,718	Platicúrtica
47	-0,527	Muy asimétrica hacia los gruesos	1,012	Mesocúrtica
48	0,014	Simétrica	0,718	Platicúrtica
49	0,014	Simétrica	0,718	Platicúrtica
50	-0,159	Asimétrica hacia los gruesos	0,898	Platicúrtica
51	0,01	Simétrica	0,724	Platicúrtica
52	0,011	Simétrica	0,721	Platicúrtica

53	0,011	Simétrica	0,722	Platicúrtica
54	0,008	Simétrica	0,728	Platicúrtica
55	0,012	Simétrica	0,721	Platicúrtica
56	0,012	Simétrica	0,72	Platicúrtica
57	0,014	Simétrica	0,717	Platicúrtica
58	0,014	Simétrica	0,718	Platicúrtica
59	0,014	Simétrica	0,718	Platicúrtica
60	0,014	Simétrica	0,717	Platicúrtica
61	0,014	Simétrica	0,718	Platicúrtica
62	0,008	Simétrica	0,725	Platicúrtica
63	0,014	Simétrica	0,718	Platicúrtica
64	0,011	Simétrica	0,722	Platicúrtica
65	0,014	Simétrica	0,718	Platicúrtica
66				
67	-0,539	Muy Asimétrica hacia los gruesos	1,582	Muy Leptocúrtica
68	-0,218	Asimétrica hacia los gruesos	0,595	Muy Platicúrtica
69				
70	-0,461	Muy asimétrica hacia los gruesos	1,61	Platicúrtica
71	0,013	Simétrica	0,719	Platicúrtica
72				
73	-0,474	Muy asimétrica hacia los gruesos	1,523	Muy Leptocúrtica
74				
75	-0,412	Muy asimétrica hacia los gruesos	0,718	Platicúrtica
76	-0,066	Simétrica	0.850	Platicúrtica
77				
78				
79				
80	-0,079	Simétrica	0,504	Muy Platicúrtica
81	0,011	Simétrica	0,722	Platicúrtica
82				
83	-0,101	asimétrica hacia los gruesos	0,924	Mesocúrtica
84				
85	-0,488	Muy Asimétrica hacia los gruesos	0,478	Muy Platicúrtica
86	-0,492	Muy asimétrica hacia los gruesos	0,505	Muy Platicúrtica

87				
88	0,014	Simétrica	0,718	Platicúrtica
89	0,008	Simétrica	0,726	Platicúrtica
90				
91				
92				
93	0,014	Simétrica	0,718	Platicúrtica
94				
95				
96	-0,085	Simétrica	0,89	Platicúrtica
97				
98	0,149	asimétrica hacia los finos	0,499	Muy Platicúrtica
99				
100				
101	0,011	asimétrica hacia los finos	0,882	Platicúrtica
102				
103				
104				
105				
106				
107	0,007	Simétrica	0,727	Platicúrtica
108	0,003	Simétrica	0,733	Platicúrtica
109				
110				
111				
112	-0,321	Muy asimétrica hacia los gruesos	0,577	Muy Platicúrtica
113	0,964	Muy asimétrica hacia los finos	0,505	Muy Platicúrtica
114				
115				
116	0,008	Simétrica	0,725	Platicúrtica
117				
118				
119	-0,032	Simétrica	0,802	Platicúrtica
120				
121				
122				
123				

124	-0,071	Simétrica	0,859	Platicúrtica
125				
126				
127				
128	0,014	Simétrica	0,717	Platicúrtica
129	0,008	Simétrica	0,725	Platicúrtica
130				
131				
132	0,008	Simétrica	0,725	Platicúrtica
133	0,008	Simétrica	0,725	Platicúrtica
134				
135				
136				
137				
138	0,011	Simétrica	0,721	Platicúrtica
139				
140				
141	0,014	Simétrica	0,718	Platicúrtica
142	0,014	Simétrica	0,718	Platicúrtica
143	0,012	Simétrica	0,721	Platicúrtica
144	0,014	Simétrica	0,718	Platicúrtica
145	0,013	Simétrica	0,719	Platicúrtica
146	0,014	Simétrica	0,718	Platicúrtica
147	0,014	Simétrica	0,717	Platicúrtica
148	0,133	Asimétrica hacia los finos	0,556	Very Platicúrtica
149	0,014	Simétrica	0,717	Platicúrtica
150	0,005	Simétrica	0,713	Platicúrtica
151	0,013	Simétrica	0,719	Platicúrtica
152	0,014	Simétrica	0,717	Platicúrtica
153	0,014	Simétrica	0,718	Platicúrtica
154	0,014	Simétrica	0,718	Platicúrtica
155	0,012	Simétrica	0,72	Very Platicúrtica
156	0,011	Simétrica	0,721	Platicúrtica
157	0,011	Simétrica	0,722	Platicúrtica
158	0,011	Simétrica	0,722	Platicúrtica
159	0,013	Simétrica	0,719	Platicúrtica
160	0,014	Simétrica	0,718	Platicúrtica
161	0,012	Simétrica	0,721	Platicúrtica
162	0,013	Simétrica	0,719	Platicúrtica

163	0,013	Simétrica	0,719	Platicúrtica
164	0,011	Simétrica	0,722	Platicúrtica
165	0,012	Simétrica	0,72	Platicúrtica
166	0,012	Simétrica	0,721	Platicúrtica
167	0,011	Simétrica	0,721	Platicúrtica
168	0,014	Simétrica	0,718	Platicúrtica
169	0,01	Simétrica	0,723	Platicúrtica
170	0,013	Simétrica	0,718	Platicúrtica
171	-0,302	Muy asimétrica hacia los gruesos	1,858	Muy Leptocúrtica
172	0,013	Simétrica	0,719	Platicúrtica
173	0,014	Simétrica	0,718	Platicúrtica
174				
175	0,013	Simétrica	0,719	Platicúrtica
176	0,014	Simétrica	0,718	Platicúrtica
177	0,012	Simétrica	0,72	Platicúrtica
178	0,014	Simétrica	0,718	Platicúrtica
179	0,014	Simétrica	0,718	Platicúrtica
180	0,014	Simétrica	0,717	Platicúrtica
181	0,001	Simétrica	0,736	Platicúrtica
182	0,013	Simétrica	0,718	Platicúrtica
183	0,008	Simétrica	0,726	Platicúrtica
184	0,014	Simétrica	0,718	Platicúrtica
185	0,014	Simétrica	0,717	Platicúrtica
186	0,032	Simétrica	0,856	Platicúrtica
187	-0,515	Muy Asimétrica hacia los gruesos	1,631	Muy Leptocúrtica
188	-0,22	asimétrica hacia los gruesos	1,059	Mesocúrtica
189	0,013	Simétrica	0,719	Platicúrtica
190	-0,505	Muy Asimétrica hacia los gruesos	1,602	Muy Leptocúrtica
191	-0,3	Asimétrica hacia los gruesos	0,737	Platicúrtica
192	0,013	Simétrica	0,719	Platicúrtica
193	0,012	Simétrica	0,72	Platicúrtica
194	0,014	Simétrica	0,718	Platicúrtica
195	0,012	Simétrica	0,72	Platicúrtica
196	0,013	Simétrica	0,719	Platicúrtica
197	-0,302	Muy asimétrica hacia los gruesos	0,498	Muy Platicúrtica

198	0,317	Muy asimétrica hacia los finos	2,015	Muy Leptocúrtica
199	-0,463	Muy Asimétrica hacia los gruesos	1,118	Leptocúrtica
200	-0,422	Muy Asimétrica hacia los gruesos	0,716	Platicúrtica
201	-0,119	Asimétrica hacia los gruesos	0,967	Mesocúrtica
202	0,014	Simétrica	0,718	Platicúrtica
203	0,172	Asimétrica hacia los finos	0,925	Mesocúrtica
204	-0,22	Asimétrica hacia los gruesos	1,083	Mesocúrtica
205	-0,564	Muy asimétrica hacia los gruesos	0,588	Muy Platicúrtica
206	0,013	Simétrica	0,719	Platicúrtica
207	0,014	Simétrica	0,718	Platicúrtica
208	0,009	Simétrica	0,724	Platicúrtica
209	0,014	Simétrica	0,717	Platicúrtica
210	0,014	Simétrica	0,718	Platicúrtica
211	-0,475	Muy asimétrica hacia los gruesos	1,479	Leptocúrtica
212	0,013	Simétrica	0,719	Platicúrtica
213	0,011	Simétrica	0,721	Platicúrtica
214	-0,318	Muy asimétrica hacia los gruesos	0,973	Mesocúrtica
215	0,336	Muy asimétrica hacia los finos	0,87	Platicúrtica
216	-0,014	Simétrica	0,839	Platicúrtica
217				
218	-0,15	Asimétrica hacia los gruesos	0,848	Platicúrtica
219	-0,01	Simétrica	0,753	Platicúrtica
220	-0,359	Muy asimétrica hacia los gruesos	0,84	Platicúrtica
221	0,012	Simétrica	0,72	Platicúrtica
222	-0,173	Asimétrica hacia los gruesos	0,823	Platicúrtica
223	-0,357	Muy asimétrica hacia los gruesos	0,923	Mesocúrtica
224	-0,369	Muy asimétrica hacia los gruesos	0,808	Platicúrtica
225				
226	-0,483	Muy Asimétrica hacia	0,875	Platicúrtica

		los gruesos		
227	0,013	Simétrica	0,718	Platicúrtica
228	-0,562	Muy Asimétrica hacia los gruesos	1,539	Muy Leptocúrtica
229	0,013	Simétrica	0,719	Platicúrtica
230	-0,294	asimétrica hacia los gruesos	1,787	Muy Leptocúrtica
231	0,012	Simétrica	0,72	Platicúrtica
232	0,014	Simétrica	0,718	Platicúrtica
233	0,014	Simétrica	0,718	Platicúrtica
234	-0,963	Muy asimétrica hacia los finos	3,035	Extremadamente Leptocúrtica

Anexo 8: Mapa de distribución de las facies sedimentarias para la Bahía de Cartagena.

