

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL



**EVALUACION DE LA SEDIMENTACION COSTERA EN LA
BOCANA EL LIMON, EN LOS ULTIMOS SESENTA AÑOS, EN
EL LITORAL DE ACAJUTLA DEPARTAMENTO DE
SONSONATE**

PRESENTADO POR:

OSCAR ERNESTO PACHECO ALAS
JOSE ROBERTO SERRANO CASTRO
PATRICIA LISSETH VASQUEZ CARTAGENA

PARA OPTAR AL TITULO DE:

INGENIERO CIVIL

CIUDAD UNIVERSITARIA, FEBRERO DE 2011.

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTOR :

MSc. RUFINO ANTONIO QUEZADA SÁNCHEZ

SECRETARIO GENERAL :

LIC. DOUGLAS VLADIMIR ALFARO CHÁVEZ

FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA

DECANO :

ING. MARIO ROBERTO NIETO LOVO

SECRETARIO :

ING. OSCAR EDUARDO MARROQUÍN HERNÁNDEZ

ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

DIRECTOR :

MSc. ING. FREDY FABRICIO ORELLANA CALDERÓN

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

Trabajo de Graduación previo a la opción al Grado de:
INGENIERO CIVIL

**EVALUACION DE LA SEDIMENTACION COSTERA EN LA
BOCANA EL LIMON, EN LOS ULTIMOS SESENTA AÑOS, EN EL
LITORAL DE ACAJUTLA DEPARTAMENTO DE SONSONATE**

Presentado por :

OSCAR ERNESTO PACHECO ALAS
JOSE ROBERTO SERRANO CASTRO
PATRICIA LISSETH VASQUEZ CARTAGENA

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docente Director :

ING. M.Sc. ROGELIO ERNESTO GODINEZ GONZALEZ

Asesores :

ING. EDWIN SANTIAGO ESCOBAR RIVAS

ING. HAYDEE BELTRAN MAYORGA

San Salvador, Febrero de 2011.

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docentes Directores :

Ing. M.Sc. Rogelio Ernesto Godínez González

Ing. Edwin Santiago Escobar Rivas

Ing. Haydeé Beltrán Mayorga

AGRADECIMIENTOS

El grupo de Trabajo de Graduación agradece a:

Asesores del Trabajo de Graduación, Ing. Haydeé Beltrán Mayorga, Ing. Edwin Santiago Escobar, por transmitir sus conocimientos, durante el desarrollo del trabajo, y en especial al coordinador del trabajo de graduación, Ing. M.Sc. Rogelio Ernesto Godínez, por orientar en cada etapa para lograr los objetivos planteados desde el inicio.

Decanato, Vicedecanato y Junta Directiva de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, por el apoyo brindado para desarrollar en el tiempo necesario esta investigación, y permitirnos de manera considerada, utilizar recursos de la Facultad.

Escuela de Ingeniería Civil, por el apoyo recibido al realizar trámites necesarios de préstamo de equipo, y dar el soporte en el reconocimiento del grupo al solicitar ayuda en otras instituciones.

Servicio Nacional de Estudios Territoriales (SNET), por proporcionar la información que se solicitó durante el Trabajo de Graduación y que sirve de respaldo a los análisis realizados.

Empresa SEPROBIA S.A. de C.V., por permitir el uso de sus instalaciones y equipo de laboratorio de suelos y materiales, para realizar las pruebas y ensayos utilizados en el proceso investigativo.

DEDICATORIA

A Dios todopoderoso, por ser mi creador, el motor de mi vida, por darme la fortaleza, esperanza y fe necesaria para finalizar el presente trabajo de graduación.

A mi madre Sandra, por su esfuerzo y sacrificio, apoyarme en mis estudios, por sus consejos y su amor que siempre han acompañado mi vida y por ser mi inspiración y ejemplo a seguir.

A mi esposo Cesar, porque siempre estuvo a mi lado en los momentos más difíciles de mi trabajo de graduación, su apoyo incondicional, su sacrificio y su esfuerzo que fueron indispensables en la finalización de la investigación.

A mi hija Diana, por impulsar mis metas y la idea de querer ser mejor en todo lo que hago.

A mis suegros Luis y Julia, Por su apoyo incondicional, su cariño y sus sabios consejos, que siempre fueron una herramienta útil en mi trabajo de graduación.

A mis compañeros del trabajo de graduación Serrano y Pacheco, por la confianza, dedicación y esmero que entregaron a este proyecto, sin su apoyo y amistad no hubiese sido posible la finalización de este estudio.

A todas aquellas personas que no terminaría de mencionar, pero que contribuyeron a culminar mi carrera.

Gracias.

Patricia Lisseth Vásquez Cartagena

DEDICATORIA

Quiero dedicar este triunfo, a Dios, por permitirme hasta la fecha la vida, y dar las capacidades y las fuerzas necesarias para luchar a diario por conseguir mis objetivos.

A mi madre Marina por sus desvelos y preocupaciones, por sus cuidados y sabios consejos, por inculcarme siempre, buscar la perfección en lo que hago, por apoyo y aliento en los momentos que más lo necesité.

A mi padre José Antonio, por haberme dado las herramientas básicas durante todo mi proceso de aprendizaje, por formar y moldear mi carácter, por dar la disciplina que me ha llevado hasta este momento de mi vida.

A mis compañeros Pacheco y Patricia, por su esfuerzo en este largo proceso, en el que compartimos momentos buenos y momentos difíciles, pero que nunca desmayaron en el intento de sacar adelante esta gran investigación.

A mis hermanos Melvin, María, Gloria y Cesar, porque sé que se sienten parte de este esfuerzo, por el sacrificio y la confianza brindada durante este largo camino, esperando que sea este un ejemplo en sus vidas, y que los motive a seguir adelante esforzándose y no desmayando a pesar de las adversidades.

A mi primo Salvador y su esposa Briana, por su ayuda durante mis estudios Universitarios, por confiar en mí y ser ejemplos de personas que perseveran y alcanzan metas gracias a sus deseos de superación y esfuerzo.

A mis tías Leticia, Patricia, María, Lilian y su esposo Joel, a mis primas Sughely y Patricia, por el apoyo incondicional a pesar de la distancia.

A la familia Pacheco Alas por su sincera amistad hacia mi persona, por los cuidados y consejos que siempre recibí y por el apoyo desde hace ya más de trece años.

A mis demás familiares y amigos que se mantuvieron siempre pendientes, por las palabras de ánimo en los momentos difíciles, para poder conseguir este que es el primero de muchos pasos dentro de mi vida profesional.

José Roberto Serrano Castro

DEDICATORIA

A mis padres, haber estado presentes en toda mi carrera, aconsejando y ayudando, dándome confianza para salir adelante. A mis hermanos, por su apoyo incondicional y cariño. A mis compañeros de Trabajo de Graduación, por compartir momentos valiosos de superación en este compromiso que adquirimos. Y a todas aquellas personas que en este recorrido, desinteresadamente dieron su aliento y apoyo.

Oscar Ernesto Pacheco Alas

INDICE GENERAL

RESUMEN	
INTRODUCCION.....	i
CAPITULO I: ESTUDIO DE LAS CONDICIONES COSTERAS Y MARINAS	
EN LA BOCANA EL LIMON, ACAJUTLA	1
1.1 ANTEPROYECTO	2
1.1.1 INTRODUCCION	2
1.1.2 ANTECEDENTES	3
1.1.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	6
1.1.4 OBJETIVO GENERAL.....	7
1.1.5 OBJETIVOS ESPECIFICOS	7
1.1.6 ALCANCES	8
1.1.7 LIMITACIONES	8
1.1.8 JUSTIFICACION	8
1.1.9 METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION	9
1.1.10 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	10
1.1.11 BIBLIOGRAFIA.....	11
MARCO TEORICO	12
INTRODUCCION.....	12
1.2 CONDICIONES Y CARACTERISTICAS DE ACAJUTLA	12
1.2.1 Ubicación y localización de la zona de estudio.....	12
1.2.2 Fisiografía general de la zona de estudio.....	14
1.2.3 Factores ambientales de Acajutla	15
1.2.4 Factores climáticos de Acajutla	16
1.2.5 Factores económicos regionales predominantes	16
1.2.6 Ambiente marino y costero del sitio, faja portuaria de Acajutla	16
1.3 DESARROLLO DEL AMBIENTE COSTERO – MARINO.	18
1.3.1 Clasificaciones de costas, procesos costeros.....	18
1.3.1.1 Clasificación detallada de Shepard.	20
1.3.1.2 Márgenes continentales	26
1.3.1.2.1 Registro de la dinámica eustática en los márgenes continentales terrígneos y las cuencas oceánicas.	27
1.3.1.3 Mareas	28
1.3.1.3.1 Mareas como agente de transporte marino.	29
1.3.2 Olas.....	30

1.3.2.1 Características físicas de las olas.....	32
1.3.2.2 Características matemáticas de las olas.	35
1.3.2.3 Características del oleaje.	37
1.3.3 Corrientes marinas.	38
1.3.3.1 Corrientes litorales, corrientes oceánicas, corrientes de los mares epicontinentales y de plataforma.	38
1.3.4 Condiciones geológicas y geología predominante en Acajutla.	39
1.3.4.1 Características fisiográficas que demarcan la geología y la geomorfología de la zona de estudio.	39
1.3.4.2 Geología de la zona y el sitio	39
1.3.4.2.1 Morfología de la zona.	41
1.3.4.3 Borda y talud continental.	46
1.3.4.3.1 Forma y tipo del talud y borda continental.	46
1.3.4.3.2 Composición del talud y borda continental.	47
1.3.4.3.3 Estructura del talud y borda continental.	48
1.3.4.3.4 Estado actual del talud y borda continental.	48
1.3.4.4 Acumulación de sedimentos en la Bocana El Limón.	48
1.3.4.5 Materiales predominantes en la Bocana El Limón.	50
1.3.4.5.1 Composición y graduación granulométrica.	51
1.3.5.1 Condiciones hidrográficas de la zona.	53
1.3.5.2 Características generales de los ríos tributarios que descargan en la Bocana El Limón	54
1.3.5.3 Cuencas hidrográficas del sistema tributario que descarga escurrimiento superficial en la Bocana El Limón.	55
1.3.5.3.1 Características físicas de las cuencas Sensunapán, San Pedro y Sunza. ...	55
1.3.5.3.2 Fisiometría de la superficie drenante en las cuencas Sensunapán, San Pedro y Sunza	56
1.3.5.4 Desembocadura y tipos de desembocaduras.	61
1.3.6 Desarrollo eólico de la zona.	63
1.3.6.1 Vientos predominantes en la costa salvadoreña.	67
1.4 EROSION Y SEDIMENTACION, INTEMPERISMO Y DEGRADACION.	68
1.4.1 Procesos Mecánicos, superficiales, que se desarrollan en el lecho marino costa y talud o borda continental.	73
1.4.1.1 Modelado de la plataforma marina y la plataforma continental costera	76
1.4.1.2 Procesos químicos de los elementos que componen el ambiente marino	79

1.4.1.3 Morfología de la sedimentación.	86
1.4.1.4 Mineralogía.	88
1.4.2 Erosión Costera.	97
1.5 SEDIMENTACION COSTERA.	99
1.5.1 Transporte y depositación de sedimentos.	101
1.5.2 Efectos del aporte y retiro de los sedimentos en la faja costera de la Bocana El Limón.	107
1.5.2.1 Bancos de sedimentos o acumulaciones, formas y tipificación existente. ...	109
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	113
BIBLIOGRAFIA.....	114
CAPITULO II: DESARROLLO DE LA EROSION Y SEDIMENTACION COSTERA	
EN LA BOCANA EL LIMON A PARTIR DE MEDICIONES DE CAMPO	116
2.1. SEDIMENTACION A PARTIR DE CONDICIONES DE LA ZONA DE INFLUENCIA ..	117
2.1.1 Factores que intervienen en los procesos erosivos.....	117
2.1.1.1 Regímenes de Lluvia.	117
2.1.1.2 Permeabilidad.....	119
2.1.1.3 Topografía.	119
2.1.1.4 Uso de suelo.	120
2.1.2 Obtención de parámetros de sedimentación a partir de mediciones de campo.....	120
2.1.2.1 Puntos de muestreo y sus características.	120
2.1.2.1.1 Puntos estudiados a nivel de playa.	123
2.1.2.1.2 Zona del dique de arena o barra de arena.	123
2.1.2.2 Granulometrías y análisis granulométrico.	133
2.1.3 Evaluación de la erosión.	139
2.2 COMPARACION DE FOTOS AEREAS DE LA BOCANA EL LIMON AÑOS 1949 Y 1996.....	151
2.3 CONTROL VERTICAL DEL LECHO MARINO	160
2.3.1 Batimetría marina frente a la Bocana El Limón 60 años.....	160
2.4 VELOCIDADES DE LAS OLAS MARINO-COSTERAS EN LA BOCANA EL LIMON.....	162
2.4.1 Velocidades de las olas en la costa frente a Bocana El Limón.	163
2.4.2 Velocidades de flujo en la descarga de los ríos, Bocana El Limón.....	170
CONCLUSIONES.....	172
BIBLIOGRAFIA.....	173

CAPITULO III: RESULTADOS, ANALISIS E INTERPRETACION	174
3.1 MAPEO DELIMITANDO AREAS DE SEDIMENTACIÓN Y GEOFORMAS DE ACUMULACION DE SEDIMENTOS.....	175
3.2 EROSION EXISTENTE EN LA BOCANA EL LIMON	176
3.3 ANALISIS DE VELOCIDADES EN LA BOCANA EL LIMON.....	179
CAPITULO IV: PLAN DE MONITOREO PARA LA SEDIMENTACION Y EROSION EN LA BOCANA EL LIMON.	181
4.1 OBJETIVOS.....	182
4.2 FRECUENCIA DE LOS MUESTREOS.....	182
4.3 PUNTOS Y ESTACIONES DE MUESTREO.....	183
4.4 MUESTREOS.	190
4.5 MEDICION DE VELOCIDADES DE FLUJO EN LA DESCARGA DE LOS RIOS..	191
4.5.1 Medición de velocidad con molinete o correntómetro	191
4.5.2 Método convencional para la medición de velocidad.	196
4.5.3 Medición del caudal de los ríos.....	197
4.6 ACUMULACION DE SEDIMENTOS EN EL CORDON LITORAL.....	198
4.7 RECOLECCION DE MUESTRAS GRANULOMETRIAS.....	200
4.8 PENDIENTES DE PLAYA.	201
4.9 DETERMINACION DE SEDIMENTOS SUSPENDIDOS.	203
4.10 MUESTREO DE SEDIMENTOS EN SUSPENSIÓN UTILIZANDO UN DISCO SECCHI METODO CONVENCIONAL.	206
4.11 RECOMENDACIONES PARA LA APLICACION DEL PLAN DE MONITOREO.	208
CAPITULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.	209
ANEXOS	212
MAPAS	246

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Detalle de las zonas geológicas según informe Meyer-Abich y Cornejo 1952	4
Figura 2. Arena sedimentada bajo el antiguo muelle de Acajutla entre 1900-1952	5
Figura 3. Punto de desembocadura de los ríos Grande de Sonsonate, San Pedro y Suncita, en la Bocana el Limón al Norte del actual Puerto de Acajutla.	6
Figura 4. División política del departamento Sonsonate	13
Figura 5. División política del municipio Acajutla.	14
Figura 6. Posibles cerritos aislados al oriente de Acajutla, de corrientes de lava y tobas.	15
Figura 7. Configuración costera de Acajutla.	18
Figura 8. Ejemplos de tipos de costas según la clasificación de Shepard.	24
Figura 9. Fotografía de un tren de olas en la Bocana El Limón.	32
Figura 10. Características físicas típicas de las olas marinas.	33
Figura 11. Pendiente de las olas.	33
Figura 12. Onda trocoidal y sinusoidal de olas.	34
Figura 13. Descripción general de la profundidad y criterio para evaluar la velocidad de una ola.	35
Figura 14. Mapa geológico regional de la costa de Acajutla, basado en el mapa geológico de El Salvador, en el que aparece la forma de S alargada.	40
Figura 15. Fotografía, muestra el pie del acantilado localizado a 1400 metros de la Bocana El Limón, tomada el 24 de mayo 2009.	42
Figura 16. Vista en perfil de los límites morfológicos naturales en las costas de El Salvador.	43
Figura 17. Adaptada del Mapa 5.0 "Los paisajes naturales de la costa de El Salvador", por Helmut Lessmann, 1977. Geografía de El Salvador.	44
Figura 18. Márgenes continentales.	47
Figura 19. Muro de arena que se forma entre la playa El Limón y la garganta del Río Sensunapan. Foto del lateral poniente del cauce, haciendo recodomeándrico hacia la salida, 29 de marzo 2009.	49
Figura 20. Formas de acumulación de sedimentos en la playa el limón.	50
Figura 21. Diferentes tipos de rocas que se encuentran en la Bocana El Limón.	51
Figura 22. Arenas ferruginosas que se adhieren a un imán, producto de la	

atracción magnética entre la magnetita y el imán.	51
Figura 23. Foleación, escalonada en terrazas de declive.	71
Figura 24. Exfoliación esferoidal.....	71
Figura 25. Procesos de meteorización y erosión de los sedimentos a partir de la roca madre, luego ocurre su posterior transporte y depositación en cuencas sedimentarias.....	73
Figura 26. Ciclo del oxígeno.....	81
Figura 27. Ciclo del bióxido de carbono en el océano.	83
Figura 28. Ciclo de las sales en el mar.	85
Figura 29. Ciclo del nitrógeno..	86
Figura 30. Escala de estimación visual para determinar el índice de desgaste de las partículas según Powers, 1953.....	87
Figura 31. Fotografía a escala natural, de los diámetros, morfología y coloración de los materiales pétreos existentes en la Bocana El Limón.....	88
Figura 32. Los cristales minerales existen en diversas formas, algunas de las cuales son las aquí mostradas.	89
Figura 33. Vistas laterales y cortes transversales de tres cristales de cuarzo, con ángulosinterfaciales constantes.	89
Figura 34. a) Dos unidades de hematita con rastros similares, muestras de color diferente. La raya es el color de un mineral pulverizado. b) La hematita(izquierda) tiene la apariencia de un metal y se dice que tiene lustre metálico, mientras la ortoclasa (derecha) tiene lustre no metálico.....	92
Figura 35. Cristales minerales. a) Cristales cúbicos de fluorita., b) Un cristal de calcita.	93
Figura 36. Varios tipos de clivaje mineral	94
Figura 37. Este espécimen muestra una fractura concoidal, que consiste en una superficie curva lisa que semeja la concha de una almeja.	95
Figura 38. La erosión de un risco marino por el oleaje produce una superficie de pendiente suave o plataforma cortada por las olas	99
Figura 39. Efectos de los cambios de estación en los perfiles de las playas. Talud de playa..	104
Figura 40.a) Las flechas se forman donde las corrientes de litoral depositan arena en agua más profunda, como la entrada de una bahía.....	106

Figura 40.b) Origen de un tómbolo. La refracción de ola alrededor de una isla hace que las corrientes de litoral converjan y depositen.	107
Figura 41. Fotografía tomada en la Bocana El limón, donde se muestra la forma típica de la acumulación existente de arenas finas. 21 de agosto de 2009	111
Figura 42. Fotografía tomada en la Bocana El limón, 21 de Agosto de 2009. Frente de playa, con terraza muy suave, (pendiente menor que 2%). ..	112
Figura 43. Promedios mensuales de precipitación en mm.	118
Figura 44. Ubicación de puntos de muestreo a lo largo del eje del río San Pedro. ..	121
Figura 45. Dique de arena, incidencia diferente de las olas, que sugiere un embahiamiento en la zona adyacente al muelle de Acajutla hacia el norte, que incluye la Bocana El Limón.....	124
Figura 46. Representación de puntos importantes analizados, ubicados sobre el cuadrante de Acajutla del Mapa de El Salvador, así como las unidades y sub unidades geomorfológicas definidas en la zona.	125
Figura 47. Cambios en la cresta del talud en el cordón litoral.	127
Figura 48. Desarrollo del acantilado y materiales volcánicos constituyentes. Forma del testigo que quedó del talud después de los deslizamientos, producto del choque del oleaje con la zona bordera.	128
Figura 49. Fotografía que muestra los materiales que han sido socavados producto de la abrasión en la zona y posteriormente sedimentados.....	129
Figura 50. Materiales volcánicos que conforman el acantilado, principalmente piroclastos conglomeráticos con incrustaciones rocosas. Vista natural de frente ampliada.....	130
Figura 51. Fotografía que muestra la zona arqueada de playa ubicada entre la bocana el limón y la zona del acantilado.	131
Figura 52. Limos arenosos de coloración amarilla, matriz con incrustaciones de roca, estructura conglomerada.....	132
Figura 53: a) Lecho de roca (flujo de lava) del río San Pedro, Cantón La Joya. b) Acumulación de sedimentos en las fracturas de roca.	133
Figura 54. Comparación de lluvia máxima para eventos extremos desde 1934 hasta Mayo 2010.....	140
Figura 55. Ubicación de las estaciones hidrotelemétricas Los Naranjos, Ataco y Acajutla, dentro del sistema tributario de las cuencas Sensunapán San Pedro y Sunza. Montaje por el	

Grupo de Tesis, Noviembre 2010.....	141
Figura 56. Cantidad de arenas finas que desembocan en La Bocana El Limón, producto de los procesos erosivos en los ríos Sensunapán, San Pedro y Sunza..	145
Figura 57. Ejemplo de uso de diagrama de Hjulström.....	146
Figura 58. Ubicación Estación La Atalaya de tipo convencional.	147
Figura 59. Curva Granulométrica para las muestras recogidas en el punto Talud 3. Bocana El Limón.	149
Figura 60. Evaluación de la erosión en la Bocana El Limón, usando el diagrama de Hjulström.....	150
Figura 61. Fotografía aérea de 1949 sobre el litoral de Acajutla comprada al Centro Nacional de Registro en formato digital en escala 1:40000.	152
Figura 62. Fotografía aérea de 1996 sobre el litoral de Acajutla comprada al Centro Nacional de Registro en formato digital en escala 1:20000.	152
Figura 63. Puntos fijos seleccionados para el montaje de las fotografías aéreas.....	153
Figura 64. Proyección lineal de la tasa de erosión a nivel de playa, comparando fotografías aéreas de 1949 y 1996.	155
Figura 65. Fotografía de satélite sobre Bocana El Limón, 25 de Febrero de 2005..	156
Figura 66. Fotografía de satélite sobre Bocana El Limón, 09 de Enero de 2006.....	156
Figura 67. Fotografía de satélite sobre Bocana El Limón, 21 de Febrero de 2010..	157
Figura 68. Arco de tren de olas y establecimiento de puntos P1, P2, P3 y P4 de control de corrimiento horizontal de línea de playa..	158
Figura 69. Desplazamientos de línea de costas representados por Δ	159
Figura 70. Historial gráfico de erosión regresiva en la zona de la Bocana El Limón.	160
Figura 71. Batimetría de 1957.	161
Figura 72. Fotografía satelital obtenida a través del programa Google Earth 2010, donde se muestra las coordenadas del punto analizado con el programa Wave Watch III	162
Figura 73. Fotografía satelital que muestra la ubicación de los puntos Utilizados para estimar las velocidades de ola en La Bocana El Limón, Acajutla, adaptada del programa Google Earth 2010.	167
Figura 74. Esquema en planta de aforo en la Bocana El Limón..	170
Figura 75. Delimitación de unidades y subunidades de sedimentación.....	176
Figura 76. Pendientes de playa en época de verano a lo largo del cordón litoral sureste hacia el puerto de Acajutla..	178

Figura 77. Dirección de incidencia de las olas frente a la Playa El Limón.	179
Figura 78. Ilustración del empuje al que se encuentra sometido Bocana El Limón, por los factores marinos y continentales.	180
Figura 79. Puntos de control en la Bocana El Limón y los ríos Grande de Sonsonate, San Pedro y Sunza..	185
Figura 80. Puntos de control sobre el cordón litoral contiguo a la Bocana El limón..	186
Figura 81. Punto de control propuesto en la Figura 3 para el rio Grande de Sonsonate. Ejemplo de los puntos a evaluar en ensayos y muestreos...	187
Figura 82. Punto de control propuesto para el cordón litoral en la Figura 3, ubicado en la parte más alta del talud de playa.	187
Figura 83. Ruta 1, propuesta para acceso a los muestreos en Bocana El Limón....	188
Figura 84. Ruta 2, propuesta para acceso a la Bocana El Limón.....	189
Figura 85. Ruta de acceso a los puntos de muestreo de los ríos San Pedro y Sunza.	190
Figura 86. Principales tipos de molinetes.....	191
Figura 87. Formato para recolección de datos para medir velocidades de flujo en ríos. Elaboración propia.....	196
Figura 88. Sistema para medir la sección transversal del río. Elaboración propia..	197
Figura 89. Formato para registro de datos para aforo de ríos... ..	198
Figura 90. Formato de recolección de datos para prueba de acumulación de sedimentos, elaboración propia.....	199
Figura 91. Muestreo de acumulación de sedimentos de playa producidos por resaca marina. Punto ubicado en las cercanías del punto de descarga de sedimentos de la Bocana El Limón.	199
Figura 92. Formato de campo para recolección de muestras y ubicación de puntos para análisis granulométrico..	201
Figura 93. Sistema para la obtención de perfiles a nivel de playa..	202
Figura 94. Formato de trabajo de campo para recolección de datos para perfiles de playa.... ..	202
Figura 95. Botella Van Dorn. Modelo vertical en plástico opaco.....	203
Figura 96. Armado del mecanismo de disparo... ..	204
Figura 97. Armado de la botella. a) trabado del cierre superior; b)trabado del cierre inferior.... ..	204

Figura 98. a) Mensajero; b) Botella con disparador armado y soga de sostén en posición. Los cierres aún no están abiertos.
Se muestra el mensajero colocado en la soga..205

Figura 99. Fabricación de un disco Secchi.....207

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Características físicas de las cuencas Sensunapán, San Pedro y Sunza, que desembocan en la Bocana El Limón.....	56
Tabla 2: Areas y pendientes de las cuencas que descargan en la Bocana El Limón según zona topográfica.	57
Tabla 3: Pendientes de las cuencas que descargan en la Bocana El Limón según zonas topográficas.....	57
Tabla 4: Areas según tipo de cobertura vegetal.....	58
Tabla 5: Porcentajes del tipo de cobertura vegetal.	58
Tabla 6: Uso de suelos en las cuencas Sensunapán, San Pedro y Suncita	61
Tabla 7: Escala de Vientos de Beaufort	64
Tabla 8: Escala de oleaje de Douglas	66
Tabla 9: Clasificación del oleaje	66
Tabla 10: Características de los vientos según estación climática.	67
Tabla 11: Elementos químicos comunes en la tierra.....	91
Tabla 12: Escala de dureza de Mohs (1773-1839)	96
Tabla 13: Sitios primarios para el depósito global de sedimentos.....	103
Tabla 14: Porcentajes de pendientes según zona.....	119
Tabla 15: Puntos de muestreo a lo largo del Área que conforma el sistema tributario de sedimentos hacia la Bocana El Limón.	122
Tabla 16: Granulometrías a lo largo del eje central del río San Pedro.	135
Tabla 17: Granulometrías a lo largo del eje central del río San Pedro.	136
Tabla 18: granulometrías a lo largo del eje central del río san pedro.....	137
Tabla 19: Ubicación de Estación hidrométrica La Atalaya.....	147
Tabla 20: Tamaño de grano para la obtención del promedio gráfico utilizando el promedio gráfico de Folk and Ward	149
Tabla 21: Desplazamientos de línea de costa en puntos P1, P2, P3 y P4.	159
Tabla 22: Datos obtenidos mediante el modelo numérico llamado Wave Watch III para un periodo de 11 años (1997-2007).....	163
Tabla 23: Velocidad de ola en aguas profundas, en el punto de la boya Acajutla 13.00N-90.00W.....	166
Tabla 24: velocidades en aguas someras.....	168

Tabla 25: Velocidades a 100 m mar adentro de las costas frente a la Bocana El Limón, Acajutla, Sonsonate.....	169
Tabla 26: Velocidad promedio de la descarga de los ríos en la Bocana El Limón.....	171
Tabla 27: Velocidades promedio en los puntos de estudio.	179
Tabla 28: Frecuencia de muestreos en el plan de monitoreo de sedimentación.....	182
Tabla 29: Puntos de monitoreo recomendados.....	183

INDICE DE ANEXOS

ANEXO 1: HOJA DE CALCULO PARA ELEVACION MEDIA Y PENDIENTE MEDIA CUENCA SENSUNAPAN.....	213
ANEXO 2: HOJA DE CALCULO PARA ELEVACION MEDIA Y PENDIENTE MEDIA CUENCA SAN PEDRO.	214
ANEXO 3: HOJA DE CALCULO PARA ELEVACION MEDIA Y PENDIENTE MEDIA CUENCA SUNZA.....	215
ANEXO 4: REGISTRO HISTÓRICO DE EVENTOS EXTREMOS Y EXTRAORDINARIOS EN EL DEPARTAMENTO DE SONSONATE..	216
ANEXO 5: CURVA-MASA PARA DATOS DE LLUVIA ACUMULADA ESTACION LOS NARANJOS TORMENTA AGATHA, 29 Y 30 DE MAYO 2010	219
ANEXO 6: CURVA-MASA PARA DATOS DE LLUVIA ACUMULADA ESTACION ATACO TORMENTA AGATHA, 29 Y 30 DE MAYO 2010	220
ANEXO 7: CURVA-MASA PARA DATOS DE LLUVIA ACUMULADA ESTACION ACAJUTLA TORMENTA AGATHA, 29 Y 30 DE MAYO 2010	221
ANEXO 8: POLIGONOS DE THIESSEN Y CURVAS ISOYETAS DEL SISTEMA TRIBUTARIO QUE DESEMBOCA EN LA BOCANA EL LIMON, UTILIZANDO ESTACIONES TELEHIDROMETRICAS LOS NARANJOS, ATACO Y ACAJUTLA	222
ANEXO 9: HOJA DE CALCULO PARA ALTURA DE PRECIPITACION AJUSTADA Hpaj ..	223
ANEXO 10: HOJAS DE CALCULO PARA ALTURA DE PRECIPITACION Hpaj.....	224
ANEXO 11: HOJAS DE CALCULO PARA ALTURA DE PRECIPITACION Hpaj.....	225
ANEXO 12: DATOS DE ALTURA DE PRECIPITACION AJUSTADA (Hpaj) POR CADA HORA QUE DURO LA TORMENTA AGATHA	226
ANEXO 13: CURVA AREA-PROFUNDIDAD DE PRECIPITACION-DURACION TORMENTA AGATHA MAYO 2010.	227
ANEXO 14: FACTORES PARA EL CALCULO DEL NÚMERO DE CURVA CN.	228
ANEXO 15: FACTOR DE COBERTURA VEGETAL Y TECNICAS DE CULTIVO (C).	229
ANEXO 16: FACTOR DE METODO DE CONTROL DE LA EROSION (P).....	229
ANEXO 17: HOJA DE CALCULO DEL NÚMERO DE CURVA CN y FACTOR DE COBERTURA VEGETAL C PARA LA CUENCA SENSUNAPAN.....	230
ANEXO 18: HOJA DE CALCULO DEL NÚMERO DE CURVA CN y FACTOR DE COBERTURA VEGETAL C PARA LA CUENCA SAN PEDRO.	230

ANEXO 19: HOJA DE CALCULO DEL NÚMERO DE CURVA CN y FACTOR DE COBERTURA VEGETAL C PARA LA CUENCA SUNZA.....	231
ANEXO 20: NOMOGRAMA PARA DETERMINAR EL VALOR DE ERODABILIDAD DE SUELOS K.....	232
ANEXO 21: NOMOGRAMA PARA FACTOR DE LONGITUD Y GRADIENTE DE PENDIENTE LS	233
ANEXO 22: CALCULO DEL VOLUMEN DE SEDIMENTO ACUMULADO CUENCA SENSUNAPAN.....	234
ANEXO 23: CALCULO DEL VOLUMEN DE SEDIMENTO ACUMULADO CUENCA SAN PEDRO.....	235
ANEXO 24: CALCULO DEL VOLUMEN DE SEDIMENTO ACUMULADO CUENCA SUNZA	236
ANEXO 25: REGISTRO DE AFOROS DE LOS ULTIMOS 20 AÑOS ESTACIÓN LA ATALAYA.....	237
ANEXO 26: VARIACION DE POSICION DE LINEA DE PLAYA	244
ANEXO 27: DETALLE DE LAS ZONAS GEOLOGICAS EN EL SALVADOR.	245

INDICE DE MAPAS

- MAPA 1: CUENCA RIO GRANDE DE SONSONATE O SENSUNAPAN
- MAPA 2: CUENCA RIO SAN PEDRO
- MAPA 3: CUENCA RIO SUNZA Y LAS MARIAS
- MAPA 4: PORCENTAJES DE PENDIENTES POR ZONA EN CUENCAS SENSUNAPAN,
SAN PEDRO Y SUNZA
- MAPA 5: TIPO DE COBERTURA VEGETAL EN LAS CUENCAS SENSUNAPAN,
SAN PEDRO Y SUNZA
- MAPA 6: USO DE SUELOS EN CUENCAS SENSUNAPAN, SAN PEDRO Y SUNZA.
- MAPA 7: TIPO DE PERMEABILIDAD DE SUELOS EN CUENCAS SENSUNAPAN,
SAN PEDRO Y SUNZA
- MAPA 8: BATIMETRIA ACAJUTLA AÑO 1957
- MAPA 9: BATIMETRIA ACAJUTLA AÑO 2005
- MAPA 10: PERFILES BATIMETRICOS
- MAPA 11: PERFIL BATIMETRICO FRENTE A COSTA ACAJUTLA

SIGLAS

SNET: Servicio Nacional de Estudios Territoriales

FUNDE: Fundación del Desarrollo de El Salvador

CESSA: Cementos de El Salvador

IGN: National Imagery and Mapping Agency

UNAM: Universidad Autónoma de México

IIP: Oficina de Programas de Información Internacional de Estado de Estados

Unidos

UES: Universidad de El Salvador

MUSLE: Modificate Universal Soil Loss Ecquation

FIA: Facultad de ingeniería y Arquitectura

ABREVIATURAS

Dr.: Doctor

Fc: Faja de construcción

Fr: Faja de destrucción

Fn: Faja neutral

Ec.: Ecuación

Km: Kilómetro

m: Metro

cm: Centímetro

mm: Milímetro

ft: Pies

h: Hora

seg: Segundo

Kph: Kilómetros por hora

Pág.: Página

Máx: Máximo

Mín: Mínimo

Pto.: Punto

Msnm: Metros sobre el nivel del mar

No: Número

Elev.: Elevación

Hpaj: Datos de altura de precipitación ajustada

EJ.: Ejemplo

RESUMEN

El trabajo de graduación "Evaluación de la sedimentación costera en la Bocana El Limón, en los últimos sesenta años, en el litoral de Acajutla, Departamento de Sonsonate", se base en trabajo documental, recopilando información de antecedentes disponibles sobre el tema, visitas de campo para reconocimiento e inspección del lugar, y toma de datos en cada punto considerado de muestreo. Para el análisis de la sedimentación costera, se obtuvieron datos de granulometría, aforos de caudales y sedimentos, observaciones directas de los suelos y topografía a lo largo de la cuenca de los tres ríos efluentes que descargan en la Bocana El Limón, ríos Sensunapán o Grande de Sonsonate, San Pedro y Sunza. El aporte de sedimentos continentales durante un evento lluvioso, para este caso se hizo utilizando datos de intensidades de lluvia de la Tormenta Aghata del año 2009 porque esta tuvo fuerte incidencia en la zona occidental del país, estimando la pérdida de suelos en la cuenca en 11,338.11 toneladas por este evento lluvioso 483 mm acumulados en 24 horas, 71% de los sedimentos fueron aporte del río Grande de Sonsonate. Con el Diagrama de Hjulström, particularmente para el promedio de velocidades de 0.25 m/seg obtenida del registro de la estación hidrométrica La Atalaya, ubicada en el Río San Pedro, y las arenas francas a finas de diámetro promedio 0.44mm, predominantes en la Bocana El Limón, que fueron transportadas por los ríos al ser levantadas de sus lechos, se obtuvo que hay sedimentación y transporte. La incidencia erosiva y sedimentaria de los factores marinos en la zona de esta bocana, se determinó a partir de la comparación de fotografías aéreas registradas del lugar, en los años 1949 y 1996, con las cuales se hizo la sobreposición de las respectivas líneas de playa, el desplazamiento horizontal promedio obtenido de éstas, avanzando hacia el continente, fue 0.82 m/año, erosión regresiva. También, se sobrepusieron los perfiles batimétricos disponibles del lugar, correspondientes a los años 1957 y 2005, obteniendo que además del retroceso de la línea de playa hacia el continente, el lecho marino descendió entre el tramo de la zona de rompiente de olas y la playa, durante estos 48 años. Con estos resultados, se analizó el efecto de excavación que se ha producido entre los períodos de las fotografías y batimetrías en las áreas citadas, estableciendo erosión regresiva del cordón litoral de arena, por el efecto de los factores marinos prevalecientes en la Bocana El Limón.

Las olas actúan a partir de la zona de rompiente arrancando sedimento del lecho, que luego son transportados y distribuidos de forma transitoria en bancos de acumulación por medio de las corrientes marinas, produciendo efecto de sedimentación debido a que existe mayor empuje de los factores marinos respecto de los factores continentales sobre la Bocana El Limón, este resultado se obtiene, al comparar las velocidades con las que llegan las olas 4.61 m/s hasta este lugar o punto de descarga de los ríos al mar, y en el mismo punto de descarga, la velocidad de flujo de los ríos es 1.52m/s, así los factores marinos definen la morfología de la Bocana El Limón y del frente de playa de la provincia sedimentaria marina costera, correspondiente a la llanura y planicie costera de Acajutla, donde $V_{olas} > V_{flujo\ ríos}$ ó Empuje oleaje > E flujo de los ríos.

A partir del estudio de sedimentación costera en la Bocana El Limón, se propone el plan de control y monitoreo del lugar, a instituciones del Estado (Ej. SNET), indicando puntos de control de sedimentación, muestreos periódicos que deben realizarse en estos puntos, con los métodos, procedimiento y equipo a utilizar. Esto conlleva a que en esta zona se prevean el impacto y su consecuencia física, social y económica.

INTRODUCCION

El trabajo de graduación "Evaluación de la sedimentación costera en la Bocana El Limón, en los últimos sesenta años, en el litoral de Acajutla, Departamento de Sonsonate", evalúa la sedimentación costera, en la Bocana El Limón. Desde el anteproyecto, se explican los antecedentes de la problemática de sedimentación referida al desarrollo del Puerto de Acajutla en la zona, los estudios hidrológicos y geológicos realizados en el lugar, lo cual incluye el marco teórico del trabajo, con el estudio documental que recopiló información disponible de la zona cotejada con observaciones en el sitio, estos componentes se toman en cuenta para la caracterización de la sedimentación en la Bocana El Limón. Se explica el desarrollo de la erosión y sedimentación costera en la Bocana El Limón (Capítulo II), a partir de mediciones en campo de granulometrías de suelos, aforos en secciones de ríos, y de la descripción de las observaciones para caracterizar la cuenca de los tres ríos tributarios a la Bocana El Limón; río Sensunapán o Grande de Sonsonate, San Pedro y Sunza, de la zona estuarina y de playa que enmarca a la bocana. Se evalúa la pérdida de suelo y sedimentación, a partir de los datos físicos de la cuenca, y un estudio retrospectivo con fotografías aéreas y batimetrías disponibles, para el análisis de la dinámica costera de la zona, explicando el empuje marino sobre la Bocana El Limón, y la descarga de la cuenca de los ríos. Los resultados de los estudios evaluativos realizados y el análisis e interpretación, describen el mecanismo de acción de los factores que intervienen en la dinámica costera en la Bocana El Limón, caracterizando la sedimentación marina costera durante los últimos sesenta años. A partir de estos resultados y acciones se propone un plan de monitoreo para el control periódico del lugar, los muestreos que se realizan en este tipo de evaluaciones, y los recursos necesarios para su implementación. En el capítulo cinco, están las conclusiones y recomendaciones de la investigación, referidas a erosión y sedimentación explicada, con su impacto en esta zona, entre la Bocana El Limón y el Puerto de Acajutla.

En todo el estudio, se hace referencias a planos, esquemas y tablas, contenidos en los anexos finales. Por cada capítulo, se presentan conclusiones y recomendaciones, y bibliografía de consulta de los temas tratados. En el desarrollo de los temas, se incluyen fotografías y dibujos explicativos de elaboración propia, adaptaciones de

esquemas de otros estudios referenciados y figuras copiadas de documentos de la bibliografía de consulta. Asimismo, en anexos, planos, esquemas y tablas de apoyo.

CAPITULO I

ESTUDIO DE LAS CONDICIONES COSTERAS
Y MARINAS EN LA BOCANA EL LIMON,
ACAJUTLA

1.1 ANTEPROYECTO.

1.1.1 INTRODUCCION.

El anteproyecto del trabajo de graduación "Evaluación de la sedimentación costera en la Bocana El Limón, en los últimos sesenta años, en el litoral de Acajutla, Departamento Sonsonate, aborda la problemática sedimentación en la faja costera del litoral salvadoreño norte del puerto Acajutla, donde, históricamente, ha modificado la morfología del ambiente estuario, Bocana El Limón, impactando y modificando en las últimas seis décadas las instalaciones portuarias. Describe, cómo el desarrollo portuario, ha ido modificando la geomorfología del lugar y las condiciones de la zona, para buen funcionamiento del puerto como tal, respecto a comercio internacional y transporte marítimo. Esto conlleva a estudiar los cambios geomorfológicos, en la Bocana El Limón, producto de los procesos de arrastre, depositación, transporte y sedimentación de materiales en el ambiente costero marino y el aporte de tres ríos que convergen en este punto de estudio, con afectación a las instalaciones portuarias, debido al efecto de flujo y reflujo del agua en interacción, característicos de las zonas de desembocadura. Estos factores sustentan, y justifican la importancia del trabajo a realizar. El objetivo general está referido a evaluar los cambios que se han producido en el litoral de la zona costera producto del arrastre y depositación de sedimentos, en los últimos sesenta años. La propuesta del contenido temático se desarrolla en cinco capítulos, donde se estudian las condiciones costeras y marinas de la zona, y el desarrollo de la sedimentación, con lo cual, se analizan e interpretan los resultados obtenidos para propuesta de un programa de monitoreo de la sedimentación en el área de estudio. La metodología de investigación, consiste en la recopilación de información teórica, visitas de campo a la zona de estudio para recolección de muestras y análisis de las propiedades más importantes de los sedimentos, en el laboratorio, cuyos resultados se utilizan para la propuesta del plan de monitoreo, cronograma de actividades y evaluaciones para el desarrollo de todas las etapas del trabajo de graduación. Recursos necesitados, se estiman sus costos en el desarrollo y finalización de esta investigación.

1.1.2 ANTECEDENTES.

El estudio de las condiciones geomorfológicas de la zona costera-marina de Acajutla a lo largo de los años 1900´ s, tuvo mayor alcance en las etapas más importantes para la existencia del actual puerto en ese lugar. Dentro de los esfuerzos por el desarrollo portuario de la zona, a finales de los años 1800` s (1869-1871), se construyó un muelle de hierro en la playa de Acajutla, (Ver Figura 1) con el objetivo de sustituir el muelle de madera construido a inicios de ese siglo (entre los años 1800-1805), el cual se encontraba en condiciones de deterioro y obsolescencia. La construcción del muelle de hierro fue parte de un proyecto de modernización que incluía puerto y ferrocarril, administrados por la Compañía del Ferrocarril de Acajutla.

Al final de los años 1920´s, la operatividad del muelle resultó afectada por el retroceso de la línea costera, producto de la sedimentación en la playa, creándose la necesidad de realizar trabajos de ampliación del muelle en una longitud de 54 metros.¹ En el año 1953, un informe técnico mostró, que los pilotes de hierro sobre los cuales reposaba el muelle, estaban raídos y desgastados a la altura de la rasante de arena. Habiendo cumplido cincuenta años de construido el muelle, y a quince años de su última remodelación, el deterioro de la infraestructura se evidenciaba, así como los problemas en los servicios que prestaban el muelle y el sistema de lanchones, debido a la acumulación permanente de una gran cantidad de sedimentos, los cuales hicieron subir el fondo marino por debajo del muelle en un espesor de 2 a 4 metros,² (Ver Figura 2) disminuyendo así, la profundidad y el paso de lanchones de gran calado. La caducidad de su vida útil, la falta de mantenimiento y problemas de administración, afectaban la eficiencia del puerto, por lo cual, el Puerto de Acajutla tenía que modernizarse. Así, se comenzó con la planificación de un proyecto congruente con los intereses nacionales para tener un puerto moderno, funcional y bien administrado, creando para ello, a mediados de los años 1950´s, la Comisión Ejecutiva del Puerto de Acajutla. El Ministerio de Obras Públicas, a cuyo cargo estuvieron los estudios preliminares del proyecto, asignó al Dr. Helmut Meyer-Abich, efectuar investigaciones geológicas e hidrográficas detalladas, y comisionó a la Dirección de Cartografía, efectuar los sondeos de la zona, institución con la cual el Dr.

¹Rubio Sánchez, Manuel. 1977. Historia del Puerto de Acajutla.

²Geografía de El Salvador. 1ra Edición tomo 1.

Meyer-Abich colaboró ampliamente.³ De los estudios realizados, se determinó la ubicación del llamado "puerto moderno" (puerto actual) dentro de la zona costera de Acajutla denominada geológicamente neutral, debido a que ese lugar no estaba afectado por la sedimentación que se presenta en la faja costera al norte del puerto, ni por la erosión (abrasión) que se da en la faja costera al sur del puerto de Acajutla, (ver Figura 1) siendo estos efectos ocasionados por los procesos hidrográficos (mareas, oleaje, y sedimentación) inherentes de la región.⁴

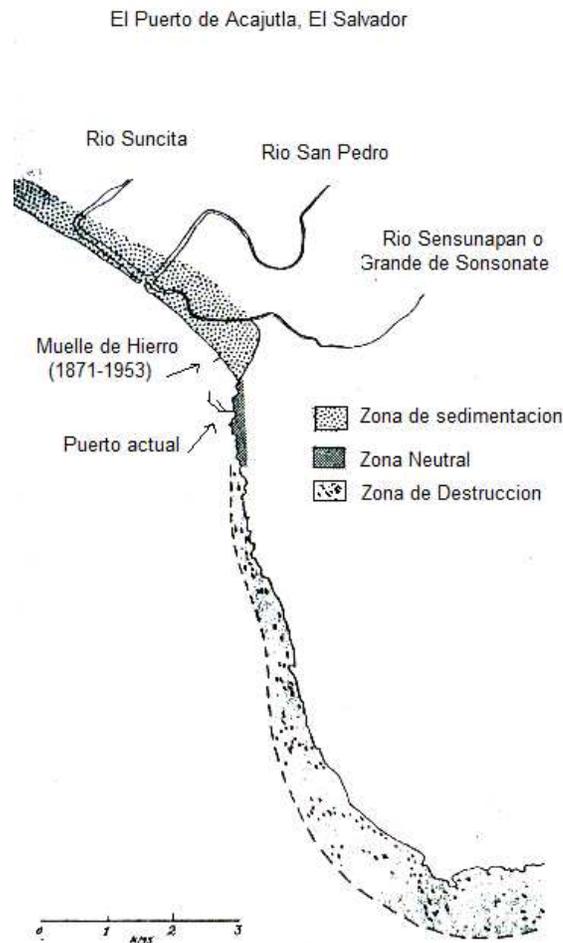


Figura 1. Detalle de las zonas geológicas según informe Meyer-Abich y Cornejo 1952.

Ver Mapa en Anexo 27.

³ Rubio Sánchez, Manuel. 1977. Historia del Puerto de Acajutla.

⁴ Meyer-Abich, 1952. El Puerto de Acajutla.

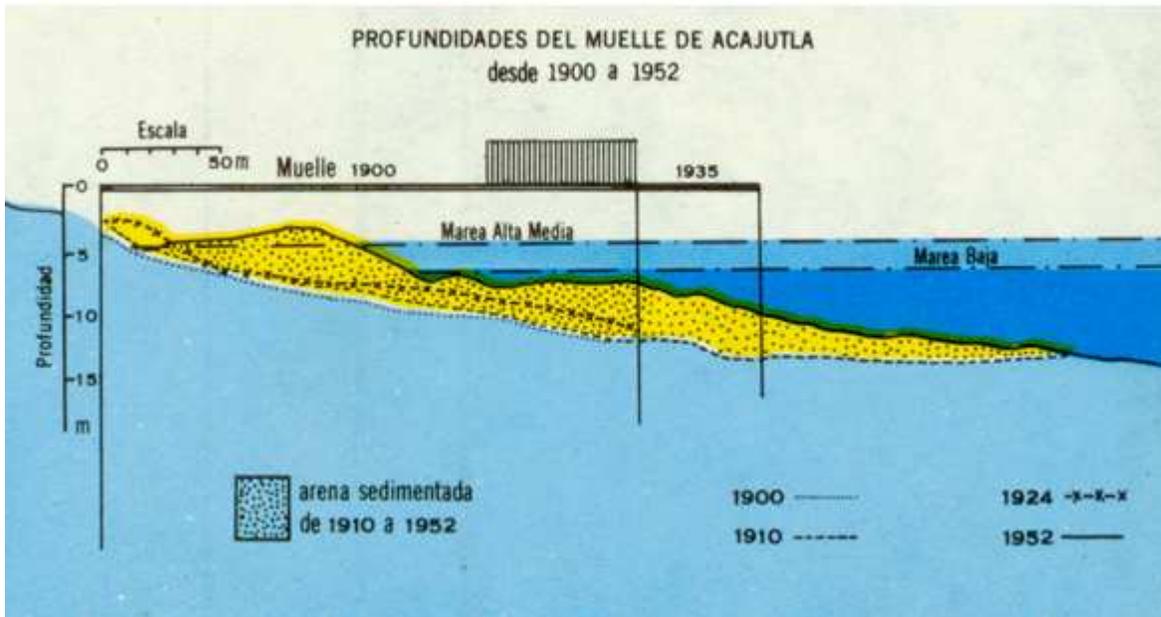


Figura 2. Arena sedimentada bajo el antiguo muelle de Acajutla entre 1900-1952.

Al norte de la costa de Acajutla se encuentra la Bocana El Limón, la cual es la desembocadura común de los ríos Grande de Sonsonate, San Pedro y Sunza o Suncita. (Ver Figura 3). De estos, el más importante es el Río Grande de Sonsonate, cuyos registros indican que su lecho ha cambiado frecuentemente y especialmente el lugar de su desembocadura, y es en este punto que se genera la mayor sedimentación dentro de la faja costera norte de Acajutla, y en sus mayores crecidas invernales depositan grandes cantidades de arena.⁵

⁵Meyer-Abich, 1952. El Puerto de Acajutla.



Figura 3. Punto de desembocadura de los ríos Grande de Sonsonate, San Pedro y Suncita, en la Bocana El Limón al Norte del actual Puerto de Acajutla.

1.1.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

La zona costera-marina de Acajutla, es un ambiente territorialmente vulnerable a la degradación erosiva de los materiales constituyentes de la plataforma marina continental, ya que los procesos que inciden sobre éstas, producen continuos altibajos en el lecho marino y aportes y desaportes de arena en la borda marina continental, propiciando sistemas dinámicos que son modificados tanto por las condiciones inherentes⁶ al ambiente marino, impuestas por los procesos generados en las costas (olas y corrientes costeras), como por los factores hidrográficos y meteorológicos (viento, lluvia) y eventos extremos (crecidas, tempestades, cambio

⁶Entre estas condiciones, no incluidas en esta investigación, se citan: la posición de la Tierra con la Luna, el Sol con la Tierra y el sistema Solar. Estas son responsables de la modificación del ambiente y clima por ejemplo: temperatura, presión, en consecuencia el relieve y la geomorfología litoral costera.

de tiempo lunar, etc.) correspondientes, que maximizan los cambios y parámetros propios y del ambiente. El estudio de estos factores, al igual que las condiciones geológicas y morfogenéticas predominantes, determinan la magnitud de las variaciones en la geomorfología e incidencias en la porción costera norte, respecto a las instalaciones portuarias, debidas principalmente a la sedimentación en la desembocadura de convergencia tributaria de los ríos Sensunapán o Grande de Sonsonate, Suncita o Sunza y San Pedro, e interacción marina, explicando el desarrollo de este efecto en la zona estuaria. La falta de un programa de monitoreo de la sedimentación en ese lugar, el arrastre y acumulación de sedimentos en las instalaciones portuarias y las inundaciones en la zona estuaria, debido a las crecidas, son parte del problema que requerirá atención a través de una propuesta de monitoreo de la sedimentación según lo indiquen los resultados de este estudio.

1.1.4 OBJETIVO GENERAL.

Evaluar la sedimentación en la Bocana El Limón, producida en el litoral de la zona costera, producto del arrastre y depositación erosiva marina continental, entre el puerto de Acajutla y la Bocana El Limón.

1.1.5 OBJETIVOS ESPECIFICOS.

- Evaluar la sedimentación en la Bocana El Limón a partir de datos obtenidos con el estudio de campo.
- Detectar cualitativamente los puntos críticos de acumulación de sedimentos en la Bocana El Limón, y en la faja litoral de playa hacia el Puerto de Acajutla, mediante estudios de campo.
- Evaluar los cambios en la faja costera entre la Bocana El Limón y el Puerto de Acajutla, mediante la comparación de fotografías aéreas y satelitales disponibles entre los años 1949 y 2009.
- Proponer las bases para un plan de monitoreo permanente de la faja costera norte y sur del Puerto de Acajutla, respecto a erosión y sedimentación.

1.1.6 ALCANCES.

Este estudio evaluará sedimentación en la Bocana El Limón, ubicada en el cordón litoral al norte del puerto de Acajutla, tomando como referencia la ubicación de las instalaciones portuarias, por ser el punto de mayor importancia en la región. El estudio geomorfológico de la Bocana El Limón, comprenderá el análisis de las condiciones del actual litoral costero, generadas por las influencias climáticas, hidrográficas y geológicas, tomando en cuenta el estudio geomorfológico en la costa de Acajutla, realizado a mediados de los años 1950's, ver antecedentes. El análisis hidrológico corresponderá a las cuencas de los ríos Grande de Sonsonate, San Pedro y Sunza; ya que estos son los que tienen influencia directa en el aporte de sedimentos en la zona estuaria.

1.1.7 LIMITACIONES.

Al no disponer equipo y recursos necesarios para estudiar la batimetría de la zona, se utilizarán los datos más recientes disponibles hasta la fecha. Extracción de muestras en las profundidades oceánicas, estas no se realizarán, por ser de grandes costos y labor para su obtención. Limitándose a información existente y datos recopilados por el grupo en las visitas de campo.

1.1.8 JUSTIFICACION.

El Servicio Nacional de Estudios Territoriales (SNET), creó en el año 2008 una sección exclusiva a la Oceanografía, con el fin de realizar investigaciones en las regiones costeras-marinas del país, donde se desarrollan trabajos de pesca, navegación, recreación, generación de energía eólica y mareomotriz, construcción de infraestructura, etc. Los estudios propiamente de oceanografía física, se apoyan en disciplinas afines como la ingeniería civil, para explicar los procesos de sedimentación en las costas; por ejemplo, mediante un análisis de los sedimentos y los factores que

influyen en estas etapas como el arrastre y depositación. Los cambios en la geomorfología de los sistemas litorales, conforman ambientes vulnerables en las costas salvadoreñas, tal como sucede en la Bocana El Limón en Acajutla, a la cual llega gran cantidad de sedimentos en época lluviosa, cuyas acumulaciones afectan el funcionamiento y operatividad del Puerto de Acajutla, limitando el tamaño y peso de los barcos de gran calado, debido a la disminución de las profundidades en la zona. Este efecto de sedimentación, pone en riesgo a la comunidad Los Coquitos, adyacente a la zona estuaria, por problemas de inundación del agua del mar y pérdida de terreno debido a la acumulación de grandes cantidades de sedimentos. Con estos efectos de la dinámica en la Bocana El Limón y adyacente a ella, se analizan los procesos de erosión y sedimentación más influyentes en esta zona de estudio.

1.1.9 METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION.

El estudio consta de la combinación de cinco etapas. La primera consiste en recopilar información relacionada con el tema, para elaborar el marco teórico, basándose en libros, manuales, revistas, material gráfico y todo tipo de documentación relacionada. También, será de ayuda la información que se obtenga a través de entrevistas con expertos en el tema, respecto a detalles y experiencias relacionadas con estas investigaciones y estudios similares.

La segunda etapa, consiste en el estudio de los cambios en la morfología en la Bocana El Limón en la sección costera norte de Acajutla, por medio del análisis e interpretación de cuadrantes cartográficos y fotografías aéreas. Paralelamente a las etapas anteriores, se realiza la tercera etapa, con visitas técnicas programadas, para el reconocimiento del sitio de estudio y la conceptualización, generada con la información recopilada. Estas investigaciones de campo, estarán dirigidas a ubicar el área de muestreo, obtener muestras, análisis in situ y posibles mediciones precisas que complementen el análisis físico fotogramétrico y teórico, resaltando las características más importantes e influyentes, por ejemplo, a través de aforos, estudios de factores causantes de erosión, medición de capacidad de arrastre de sedimentos de los tres ríos aportadores citados y tipos de sedimentos, estratigrafía, y características ambientales propias de la zona. Con la información obtenida, se

calculará la tasa de sedimentación, la cual, constituirá un dato clave de la investigación.

En la cuarta etapa, una vez obtenidas las muestras, y analizados los sedimentos en el laboratorio por ejemplo, granulometría, composición mineralógica, textura, cantidad de materia orgánica, los datos obtenidos serán procesados en la quinta etapa, con el fin de generar resultados para que sean evaluados en base a los parámetros establecidos en las cuatro etapas anteriores, produciendo representaciones gráficas detalladas, tablas y esquemas concisos que sirvan para comprender mejor el estudio, y concluir, basados en los resultados generados, con el fin de establecer el procedimiento de monitoreo a recomendar.

1.1.10 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

La realización de este estudio es de gran interés, ya que en la zona costera de Acajutla, existen instalaciones portuarias y ecosistemas importantes en ambientes vulnerables a cambios geomorfológicos. El estudio de la dinámica costera-marina, en el ambiente territorial, constituye la base para evaluar los efectos de la sedimentación en la Bocana El Limón, ubicada en el cordón litoral norte de Acajutla y sus posibles impactos en las instalaciones portuarias. El uso de fotografías aéreas, dentro de la metodología del trabajo de investigación, es un procedimiento para determinar los cambios en el litoral costero en la zona de la Bocana El Limón, entre los años 1949 y 2009.

RECOMENDACIONES.

- El estudio de la sedimentación y sus cambios, debe ser dado a conocer para desarrollar proyectos nacionales en la zona costera-marina del país.
- Crear un centro de investigación y medición de la sedimentación costera marina del país, en la sección de oceanografía del SNET.
- La investigación en las zonas costeras-marinas del país deben ser coordinadas con las comunidades aledañas a estas zonas.

- Las investigaciones de esta clase, deberían realizarse en coordinación con las disciplinas afines (biología, agricultura, geografía, etc.) y desarrolladas en estas regiones, con el fin de optimizar e innovar el trabajo conjunto.
- El desarrollo de este trabajo de graduación servirá de base para futuras investigaciones en la zona y determinar los efectos directos de la sedimentación en el Puerto de Acajutla y las posibles obras de mitigación a impactos negativos en las comunidades más próximas a la línea costera.

1.1.11 BIBLIOGRAFIA.

- Wicander Reed y Monroe S. James. 2000. Fundamentos de Geología, Segunda Edición. Thomson Editores. México. Páginas 340-351.
- Meyer-Abich H., Cornejo A. 1952. "El Puerto de Acajutla, El Salvador". Revista Comunicaciones del Instituto Tropical de Investigaciones Científicas. Año 1 No 3 Julio. Páginas 8-14.
- De la Cámara, M. San Miguel, Manual de Geología, S.A.1958. 2da Edición. 4ta Impresión 1960, CIA Editorial Continental, México.
- ICMARES/UES. Resumen Ejecutivo del Plan de Manejo del Área Natural Arrecife Los Cóbanos. Revista Instituto Ciencias del Mar y Limnología de El Salvador. El Salvador. Agosto 2007.
- Rubio Sánchez, Manuel. 1977. Historia del Puerto de la Santísima Trinidad de Sonsonate o Acajutla. Editorial Universitaria. Universidad de El Salvador. San Salvador. Página 547.
- Dirección de Cultura y Comunicaciones, Geografía de El Salvador, Dirección de Publicaciones, 1ra Edición, tomo 1. San Salvador, 1986.

MARCO TEORICO

INTRODUCCION.

Las condiciones y características en la Bocana El Limón, marco local y regional, describen factores ambientales y climáticos del lugar, desarrollo del ambiente costero-marino, clasificaciones existentes de costas, con el objeto de determinar a cuál tipo corresponde la zona de estudio. Así mismo, los agentes marinos que propician erosión y sedimentación, olas, corrientes marinas, mareas y sus respectivos mecanismos de erosión. Morfología y geología características del lugar, según la provincia fisiográfica a la que pertenece la Bocana El Limón, especificando materiales geológicos predominantes en ésta, enfatizando en la morfología característica. Se establecen las zonas hidrográficas del país, con especial atención en las cuencas de los ríos que tributan a la Bocana El Limón, ríos Grande de Sonsonate o Sensunapán, San Pedro y Sunza o Suncita. En correlación, los tipos de desembocaduras, desarrollo eólico de la zona, vientos predominantes en las costas salvadoreñas y la relación de los vientos con el oleaje, que es también agente de erosión. Formas de erosión y sedimentación terrestres, los estadios por los que el sedimento pasa, antes de llegar a las zonas bajas de la corteza terrestre, donde finalmente se depositan o los transportan corrientes litorales y luego continentales u otros agentes, cumpliendo el ciclo característico de las rocas del medio marino costero. Las formas típicas de acumulación de sedimentos se ilustran con fotografías y esquemas. Se revisa la composición mineralógica de las partículas finas, que constituyen el sedimento de las playas y se relaciona la procedencia de los mismos, desde el punto de vista geológico.

1.2 CONDICIONES Y CARACTERISTICAS DE ACAJUTLA.

1.2.1 Ubicación y localización de la zona de estudio.

El municipio Acajutla, se localiza en el suroeste del departamento Sonsonate, de la República de El Salvador, a 65 Km de la ciudad capital, San Salvador⁷. Está limitado al norte por los municipios, Guaymango del departamento Ahuachapán y Santo Domingo de Guzmán, al este por la ciudad Sonsonate, al sur por el Océano Pacífico y al oeste por el municipio Jujutla, del departamento Ahuachapán (ver Figura 4).

⁷ <http://es.wikipedia.org/wiki/SonsonateWiki>

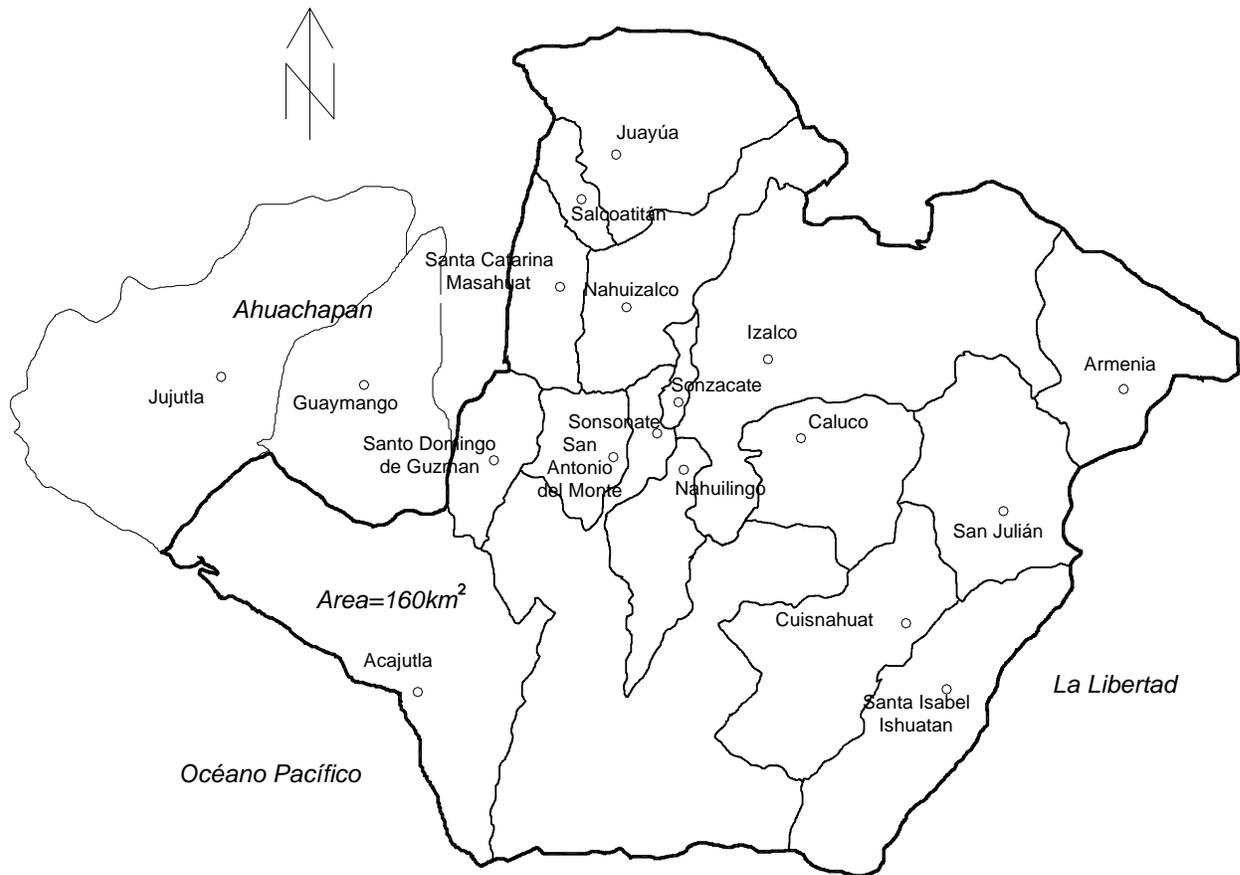


Figura 4. División política del departamento Sonsonate.

Se llega a Acajutla, por la carretera (CA-12) de Sonsonate. La disposición del casco urbano es dependiente de la actual zona portuaria, Puerto de Acajutla, el puerto marítimo más importante del país.

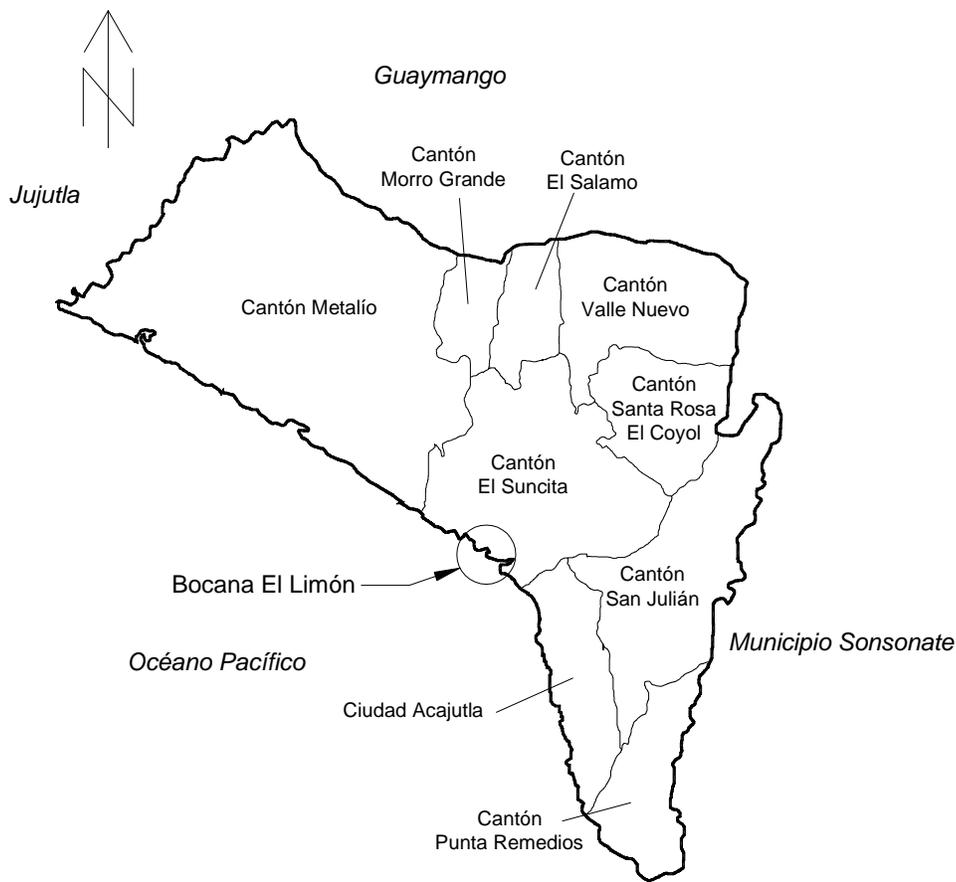


Figura 5. División política del municipio Acajutla.

La Bocana El Limón, está ubicada en el Cantón El Suncita (ver Figura 5) del municipio Acajutla; en esta convergen, en orden de importancia hidrográfica, los ríos Grande de Sonsonate o Sensunapán, San Pedro, y Suncita, en latitud $13^{\circ}45'08''N$ y longitud $89^{\circ}42'34''W$.

1.2.2 Fisiografía general de la zona de estudio.

Acajutla, se ubica en la llanura costera salvadoreña. Presenta un relieve plano en la mayor parte de su territorio, aunque al oriente del puerto de Acajutla, en continuidad con el Cantón San Julián, se levantan cerritos aislados, alineados y en prolongación de las lomas de la Sierra del Bálsamo que están compuestos de corrientes de lava e intercalaciones de tobas que llegan a los 50 metros de altura. La parte plana, entre

los cerritos, está cubierta por una capa delgada de arcilla gris hasta negra. La región central y sur de Acajutla, está compuesta principalmente por aluviones, sobre conglomerados y tobas, que no alcanzan los 60 metros sobre el nivel del mar.

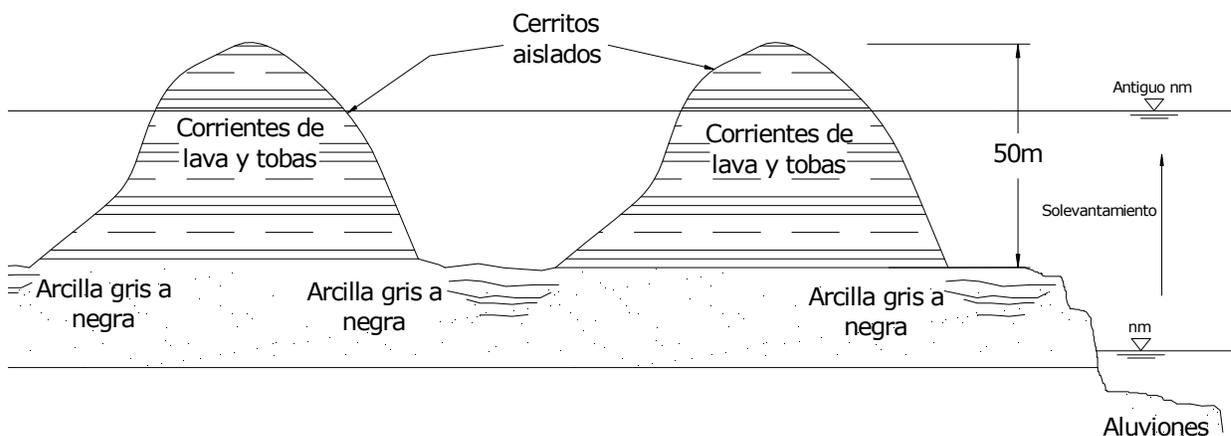


Figura 6. Posibles cerritos aislados al oriente de Acajutla, de corrientes de lava y tobas.

1.2.3 Factores ambientales de Acajutla.

Este municipio, se encuentra en una zona de sedimentación, formada principalmente, por arrastre y depositación de sedimentos en las crecidas de los ríos del lugar, que desembocan en el Océano Pacífico. El suelo de esta región está degradado y además existe una incesante deforestación, que provoca intensa erosión. También, en Acajutla, las diversas actividades productivas como la agricultura, ganadería, pesca, industria pesada y ligera, servicios portuarios y turismo, han provocado gran deterioro ambiental. Así, los recursos naturales se han sometido a fuerte proceso de degradación; los impactos más relevantes, por ejemplo, vertidos industriales no limpios, repercuten en los recursos hídricos (ríos, quebradas, esteros, mantos acuíferos y el mar), arrecifes coralinos, flora y fauna acuática y terrestre, el suelo y el aire. El desarrollo urbano también contribuye al deterioro ambiental, sólo 15% de las viviendas del municipio tienen agua potable por cañería, 32% carece de servicios sanitarios, 63% no disponen de alcantarillas para la descarga de aguas servidas y sólo 20% de las familias tiene acceso al servicio de recolección de basura municipal.⁸

⁸ Acajutla: Industria y Contaminación Ambiental. Serie Alternativas para el desarrollo, Año 1996.

1.2.4 Factores climáticos de Acajutla.

El clima de esta zona es, sabana tropical caliente, temperatura promedio mensual 28°C, en estación seca (noviembre a abril), temperatura máxima 40°C, poco antes de la estación lluviosa (marzo, abril).

1.2.5 Factores económicos regionales predominantes.

Acajutla, es muy importante para la economía salvadoreña. Es la mayor zona industrial de la costa occidental. Posee el principal puerto del país, la única refinería de petróleo, una de las más importantes plantas de generación térmica, un puerto pesquero relevante y al menos otras 15 grandes empresas del sector industrial. Pese a la importancia de estas empresas en la dinámica de la economía del país, el desarrollo humano de los habitantes de Acajutla es bajo, su ambiente está contaminado principalmente por vertidos industriales no procesados, que provocan el detrimento de las buenas condiciones del municipio y de las potencialidades para su futuro desarrollo. Gran cantidad de habitantes de la región, se dedican a la pesca artesanal, otros aprovechan las zonas de estuario como la Bocana El Limón, para la extracción de arena, con el objeto de venderla como material de construcción y generar ingresos familiares de subsistencia. La actividad agrícola se orienta al cultivo de algodón y caña de azúcar. La ganadería se desarrolla al norte del municipio.

1.2.6 Ambiente marino y costero del sitio, faja portuaria de Acajutla

En la zona costera comprendida entre la Bocana El Limón y la Punta de Remedios (sureste de Acajutla), se encuentran dos ambientes geológicos, el cordón litoral de arena, donde estaba situado el muelle de hierro (1900-1952 y del cual aún se encuentran restos de los pilotes de la estructura) y el acantilado de unos 18m de altura, que linda con la playa arenosa de unos 960 m de largo, al sureste de este antiguo muelle, corriendo de ahí con rumbo sur hasta la Punta de Remedios (ver Figura 7). Es un acantilado vertical que llega hasta la ex fábrica de cemento (Antigua CESSA), desde ahí hasta el sur, el acantilado se pierde, encontrándose un cordón litoral de arena de cáscaras de moluscos molidos y pedacitos de corales entre las puntas rocosas pronunciadas. En esta parte, se encuentran numerosos arrecifes de

rocas frente a la costa y hay una zona ancha con aguas de poca profundidad. Cerca de la Punta Remedios, la línea de 6 m (bajo el nivel del mar) dista más de 1 km de la playa.

Al norte de la ex fábrica de cemento, mar adentro en el lecho marino, tienen profundidades de 6 metros respecto al nivel del mar, a medio kilómetro de distancia de la playa. El oriente de la ciudad Acajutla, es una terraza marina solevantada, es decir, en tiempos pasados estaba bajo el nivel del mar, y el oleaje de entonces destruyó la continuidad de las lomas sumergidas, dejando como restos de ellas los actuales cerritos aislados que en aquel tiempo eran islitas o arrecifes. Después del levantamiento del terreno, por subducción empezó la acción destructora del oleaje. La línea costera de entonces, estaba mar adentro desde los arrecifes actuales y estos arrecifes (rocas eruptivas, aglomerados) partes duras de las tobas que no han podido ser destruidas por el oleaje. Según Meyer-Abich, 1952, hay arrecifes frente a la costa donde hubo abrasión y la zona de destrucción, llega más o menos hasta la antigua fábrica de cemento, y desde este lugar hasta carretera CA-12, el acantilado prácticamente no fue destruido. Desde la carretera va el acantilado tierra adentro hasta la orilla del río Grande, indicando que era línea costera en el pasado. Todo el terreno entre el centro de la ciudad de Acajutla y el muelle antiguo es sedimentado recientemente (aproximadamente 1.5 km de longitud, ver mapa de la Figura 7).⁹

En la Figura 7, hay delimitadas tres fajas en la costa del acantilado, al norte de la Bocana El Limón, la faja de construcción f_c (color rojo), donde las fuerzas de sedimentación están enterrando el acantilado; al sur, color verde, el acantilado está forzado a retroceder f_r (color verde) debido a las acciones destructoras del oleaje; y la parte media de faja bordera (color celeste), neutral f_n , es el lugar en el que está construido el actual puerto en Acajutla. A esta última faja, se le ha denominado neutral, porque el acantilado permanece en equilibrio. Los agentes marinos actúan sobre la plataforma de abrasión, que se ha formado al pie del acantilado que no permite el choque directo contra la pared vertical. Sin embargo, es posible observar formas de erosión cóncavas en áreas del acantilado, por la heterogeneidad de los materiales constituyentes.

⁹ Meyer-Abich H., Cornejo A. 1952. "El Puerto de Acajutla, El Salvador". Revista Comunicaciones del Instituto Tropical de Investigaciones Científicas. Año 1 No 3 Julio. Páginas 8-14.



Figura 7. Configuración costera de Acajutla.

1.3 DESARROLLO DEL AMBIENTE COSTERO – MARINO.

1.3.1 Clasificaciones de costas, procesos costeros

Costa, es la región de interacción entre el mar y los continentes, que abarca la zona submarina activa y la del continente, hasta donde llega la influencia efectiva del mar, condicionada por el oleaje de tormenta¹⁰. Hay costas con montañas jóvenes (como las montañas de la cordillera central del país), costas con montañas viejas, costas

¹⁰Wicander, Reed y James S. Monroe. 2000. Fundamentos de Geología.

con vastas llanuras y costas glaciadas. Con esta clasificación se identifican de forma general las regiones costeras, de acuerdo con la morfología que acompaña la línea de costa. Otra clasificación, hace amplia categorización de costas dividiéndolas en costas de inmersión, costas emergentes y costas neutrales. Está basada en la historia reciente de las costas, en relación con el nivel del mar, de acuerdo con el avance y retroceso de la línea de playa, producto del ascenso o del descenso del nivel del mar, en períodos interglaciares y en el período postglacial. Basado en esto, refiriéndose a las formaciones geológicas salvadoreñas recientes (neógeno y cuaternario), el emergimiento es parte importante de la génesis de éstas ver Figura 8. Esta clasificación es útil para designar costas de historia conocida.

Para cuando haya poca evidencia respecto al desarrollo de costa, se hacen con relaciones morfológicas entre la tierra y el mar, entre el perfil de la costa y el piso marino adyacente, con lo cual se establecen los tipos de costas siguientes según Ottman (1962)¹¹:

1. Costas con inclinación pronunciada y continua, mar adentro de la faja litoral.
2. Costas con acantilados marinos, con una plataforma de abrasión en las márgenes, mar adentro.
3. Costas que tienen una inclinación importante de tierra, que termina en un estante continental sumergido de suave inclinación.
4. Costas en las que el relieve continental continúa en algunos tramos con modificaciones morfológicas, más allá de la línea litoral o línea de playa.
5. Costas planas, que continúan más allá de la línea de playa con suaves inclinaciones.

La Clasificación Genética de las Costas, propuesta por Francis Sherpard (1948-1973), está desarrollada de acuerdo con los procesos geológicos que han tenido lugar en ellas, dividiéndolas en costas primarias y secundarias¹².

¹¹ Sherpard, F.P., 1973. Submarine Geology, Harper & Row, New York, pág.109.

¹² Las costas primarias y secundarias corresponden respectivamente a las costas jóvenes y maduras de la clasificación de Jonhson de 1919.

Costas primarias, casi sin modificaciones, por procesos marinos. En ellas, el océano descansa en una morfología litoral, que es el resultado de agentes terrestres (erosión y depositación), vulcanismo o movimientos de tierra.

Costas secundarias, se presentan donde en la actualidad, procesos marinos (erosión y depositación) o la ocupación de organismos marinos vivientes han sido responsables en la formación de costas.

1.3.1.1 Clasificación detallada de Shepard, ver Figura 8, de 1 a 11.

Costas primarias: configuración debida a procesos no marinos.

A. Costas de erosión de tierra: formadas por erosión subaérea y en parte por la inundación debida a la elevación del nivel del mar (con o sin hundimiento de la corteza terrestre) o inundación por derretimiento de una masa de hielo de un valle de costa.

1) Costas Ría (valles inundados): son usualmente reconocidas por el agua relativamente poco profunda en los estuarios. Comúnmente, han formado secciones en V y profundizado el eje, mar adentro, excepto, donde una barrera se ha construido a través de la boca del estuario (Figura 8.1). Son de los siguientes tipos:

a) Dendrítico: parecido a una hoja de cedro debido a la erosión del río en canales horizontales o material homogéneo.

b) Trellis: debidas a erosión de río en canales inclinados con materiales homogéneos.

2) Costas de erosión por inundación glacial: son reconocidas por un comienzo muy parecido con algunas islas. Algunas muestran agua profunda (comúnmente mayor que 100m) con secciones en forma de U, como bahías; y con mayores profundidades en el interior de estas, cerca de su entrada. Casi todas las costas glaciadas tienen bahías con las siguientes características:

- a) Costas Fiord¹³ (Figura 8.3): normalmente, entradas estrechas cortando a través de costas montañosas.
 - b) Estanques glaciares: con entradas anchas acompañadas con morfología montañosa.
- 3) Topografía carst inundada: embahiamientos con depresiones en forma de óvalo indicadores de hundimiento.

B. Costas de depositación subaéreas.

- 1) Ríos que depositan en costas: debido, principalmente, a la depositación por ríos, extendiendo la línea costera desde el lento levantamiento postglacial del nivel del mar.
- a) Costas delta:
 - (i) Pie de pájaro, Birdfoot. (Figura 8.2b).
 - (ii) Lobate.
 - (iii) En arco (Figura 8.2a).
 - (iv) Cúspide.
 - (v) Deltas poco sumergidos.
 - b) Costas deltas compuestas: donde una serie de deltas ha construido delante, un gran segmento de costa, por ejemplo, la costa inclinada de Alaska.
 - c) Costas abanico aluvial compuestas, modificadas por erosión de olas.

2) Costas de depositación glaciár:

¹³ Fiord se traduce del inglés al español, fiordo, y se define como un valle excavado por un glaciar que luego ha sido invadido por el mar, dejando agua salada. La palabra fiordo proviene de fjord, que existe en lenguas escandinavas: noruego, sueco y danés.

- a) Morrenas parcialmente sumergidas.
 - b) Drumlins parcialmente sumergidos (Figura 8.4).
 - c) Estratos apilados parcialmente sumergidos.
- 3) Costas de depositación por viento: algunas costas consisten de dunas formadas únicamente por arena de playa:
- a) Costas dunas pregraduadas: donde la pronunciada inclinación del sotavento de la duna ha transgredido sobre la playa.
 - b) Costas de duna: donde las dunas son bordeadas por una playa.
 - c) Costas de dunas fósiles: donde dunas consolidadas (eolianitas) formaron costas acantiladas.
- 4) Costas de deslizamiento de tierras: reconocidas por el abultamiento de la masa de tierra en la costa y la topografía de deslizamiento de tierra.

C. Costas Volcánicas.

- 1) Costas de flujo de lava: reconocidas por los contornos de la superficie, mostrando conos; por convexidades de la faja litoral o por la inclinación cónica en continuación desde la tierra, hasta debajo del mar. Arriba y debajo del nivel del mar son comunes planos con inclinaciones de 10° hasta 30° . Se encuentran en algunas islas oceánicas. (Figura 8.5a).
- 2) Costas de tefra: donde los productos volcánicos son fragmentarios, de forma convexa, y mucho más

rápidamente modificados por la erosión de las olas que las costas de flujo de lava.

3) Costas de colapsos volcánicos o explosión (Figura 8.5b).

D. Formadas por movimientos de diastrofismo.¹⁴

1) Costas de falla: reconocidas por la continuación de la relativamente recta y pronunciada inclinación de tierra debajo del mar. Quiebres angulares en la cabeza y el pie de la inclinación (Figura 8.6).

2) Costas plegadas: se forman cuando el mar entra en contacto con relieves plegados, se caracterizan por la existencia de islas alargadas cuyo origen está en los sinclinales, sumergidos, y los anticlinales, las islas.

3) Extrusiones sedimentarias.

a) Domos de sal: infrecuentemente emergen como islas en forma de óvalo, como en el golfo pérsico y en Sipaquirá, Colombia.

b) Promontorios arcillosos.

E. Costas de Hielo: varios tipos de glaciares forman extensas costas, especialmente en la Antártica.

2. Costas secundarias: formadas primordialmente por agentes marinos (olas, corrientes, mareas) o por organismos marinos. Estas pueden o no haber sido costas primarias antes de comenzar a ser formadas por el océano.

¹⁴ Diastrofismo es el conjunto de muchos procesos y fenómenos geofísicos de deformación, alteración y dislocación de la corteza terrestre por efecto de fuerzas internas.

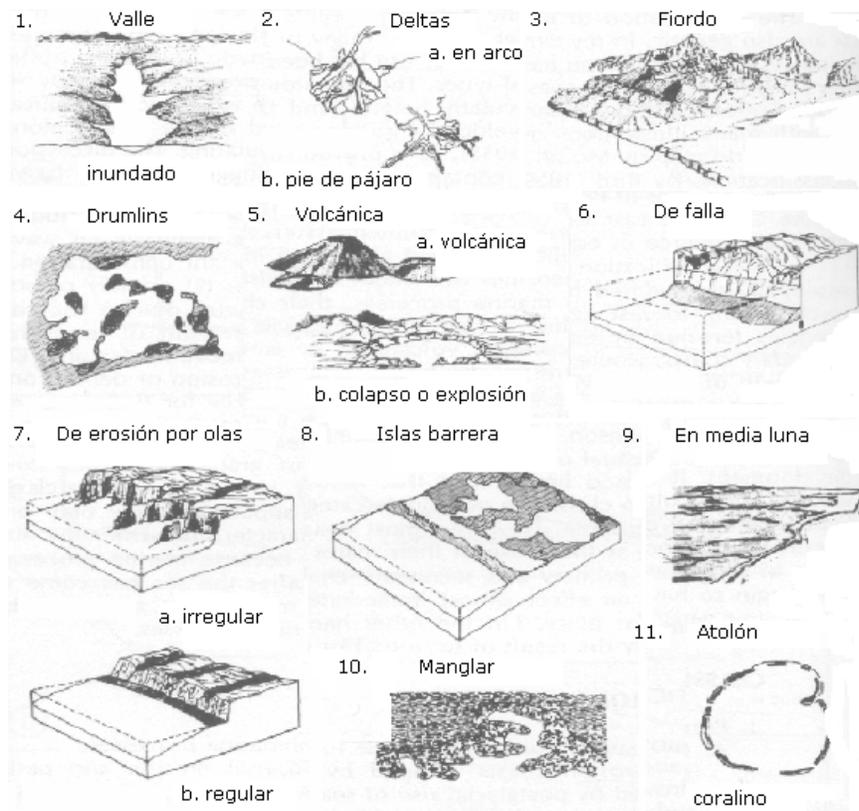


Figura 8. Ejemplos de tipos de costas según la clasificación de Sherpard.

A. Costas de erosión de olas

- 1) Acantilados sometidos al concurso de las olas: bordeados por un piso marino suavemente inclinado. Como el caso del Puerto de Acajutla y más al norte de la Bocana El Limón¹⁵.

¹⁵ Formación de la Bocana El Limón, morfología plana de mar adentro como en tierra, no permite que los ríos provenientes de las elevaciones de la cadena montañosa central del país (Volcán de Santa Ana, Lago de Coatepeque, etc. en este caso), desemboquen con la suficiente fuerza, como para la formación de una costa deltaica, trellis, fiord. Está relacionada con factores como viento y existencia de ríos, que depositan sedimentos en la costa, pero no en contra de erosión de tierras. Así, su morfología corresponde, mayormente, a influencia directa de procesos marinos (olas, corrientes, mareas), que la definieron. Por lo tanto, las costas de depositación marina y costas de erosión de olas, corresponderían a las formas más importantes de este lugar.

- a) Cortes en materiales homogéneos (Figura 8.7b).
- b) Costas de ataque.
- c) Costas de línea de falla.

2) Formas irregulares por erosión de costas (Figura 8.7a):

- a) Costas de pendiente: donde alternan duras y suaves láminas en la costa en un determinado ángulo; no pueden ser siempre distinguidas de las costas trellis.
- b) Formación de costas heterogéneas: donde la erosión de olas han cortado en las zonas de rompientes, dejando grandes irregularidades.

B. Costas de depositación marina: costas pregraduadas por olas y corrientes.

1) Barreras (Figura 8.8).

- a) Playas de barrera.
- b) Islas de barreras.
- c) Espigas de barrera.
- d) Bahías detrás de barreras.
- e) Abanicos de sobrelavado.

2) En media luna (Figura 8.9).

3) Planicies de arena.

4) Planicies de marea y marismas.

C. Costas construidas por organismos

1) Arrecifes de coral:

- a) Arrecifes exteriores.
- b) Arrecifes de barrera.
- c) Atolones (Figura 8.11).
- d) Arrecifes elevados.
- e) Arrecifes de Perpulidos.
- f) Arrecifes de Ostras.

- 2) Manglares (Figura 8.10).
- 3) Marismas protegidas.

1.3.1.2 Márgenes Continentales.

Las márgenes continentales y las cuencas oceánicas contienen en su registro sedimentario, información sobre la evolución y dinámica geológica de los sedimentos y de las variaciones del nivel del mar, climáticas, tectónicas, etc., permitiendo identificar oscilaciones globales y locales. El análisis del registro sedimentario se aborda a través de la estratigrafía, la cual permite delimitar la paleogeografía, establecer los modelos de dispersión y reconstruir la historia geológica de los sistemas depositacionales en las márgenes continentales y en cuencas. La estratigrafía secuencial, trata sobre la redistribución continua de los sedimentos mediante los cambios relativos o globales del nivel mar.¹⁶

Las causas de los cambios globales del nivel del mar, pueden ser de origen climático, que implica un cambio en el volumen del agua del océano, y de origen tectónico, que conduce a un cambio en el volumen y tamaño de las cuencas oceánicas. Estos pequeños cambios del nivel del mar están relacionados con el crecimiento y retracción de los casquetes polares como consecuencia de los cambios climáticos¹⁷. Por ejemplo, el total deshielo de la antártica, representaría un ascenso generalizado del nivel del mar, de hasta 60 m. Los procesos relacionados con la dinámica de la tectónica de placas causan cambios en la forma y tamaño de las cuencas oceánicas. Las posibles causas de estos cambios son las variaciones en la tasa de expansión de las cuencas oceánicas, y las variaciones en la compensación isostática de los continentes. Estos cambios originan variaciones del nivel del mar, de baja frecuencia¹⁸.

¹⁶ <http://www.galeon.com/geologiageneral/page36.html>

¹⁷ Glacio-eustáticos: muy pequeñas variaciones, estacionales, en referencia glacial, propios de las variables del ambiente (Presión, Temperatura, Humedad relativa, Radiación, Nivel del mar).

¹⁸ *Ibidem*.

1.3.1.2.1 Registro de la dinámica eustática en los márgenes continentales terrígenos y las cuencas oceánicas.

Los cambios del nivel del mar representan uno de los procesos más eficientes en la edificación y modelado de las márgenes continentales terrígenas y las cuencas oceánicas. Las márgenes continentales terrígenas comprenden márgenes compuestas por sedimentos formados por fragmentos más o menos rotos y desgastados por el transporte mecánico. Los procesos que acontecen durante la evolución y la dinámica de los estadios regresivos, conducen al desarrollo de un conjunto de depositaciones genéticamente relacionadas, y que se denominan cortejos debajo del nivel del mar, relacionados con sismicidad y sedimentación y geometría propia, por ejemplo, depositaciones progradacionales mar adentro de plataforma y deltas de plataforma, sistemas turbidíticos, depositaciones progradantes en cuña de margen distal, y depositaciones de cuenca. Las depositaciones progradacionales mar adentro y deltas de plataforma, se desarrollan en la plataforma continental media y externa respectivamente, a medida que la línea de costa, y por lo tanto las áreas fuentes de sedimento (desembocadura de los ríos y ambientes depositacionales asociados), se desplaza mar adentro. Los sistemas turbidíticos, comprenden el conjunto de sedimentos transportados a través de los valles submarinos y se depositan en el medio marino profundo, formando un cuerpo sedimentario propio. Por lo tanto, los elementos primarios que definen un sistema turbidítico, están representados por depósitos de cañones submarinos, canales, desbordamiento de canales y lóbulos. Las depositaciones progradantes en cuña de margen distal, se definen como una sucesión de sistemas depositacionales regresivos, acumulados en los cañones y en el talud, al final de un rápido descenso del nivel del mar. La formación de las depositaciones de cuenca, ocurren durante los estadios más bajos del nivel del mar y representan el destino final de los sedimentos terrígenos transportados desde el continente.

Los estadios transgresivos, incluyen los períodos de ascenso del nivel del mar, cuando la línea de costa y ambientes sedimentarios asociados se desplazan hacia tierra, produciendo una expansión de las depositaciones marinas sobre las terrestres. Los productos sedimentarios resultantes de la dinámica transgresiva son los cortejos transgresivos, que se desarrollan principalmente en la plataforma continental, ya que es en esta provincia fisiográfica, donde tiene lugar el desplazamiento de la línea de

costa y sus sistemas depositacionales asociados. El estadio de alto nivel del mar, se inicia cuando la plataforma continental consigue la máxima inundación marina, y se desarrolla entre las dos inflexiones de la curva del nivel del mar, entre un ascenso y un descenso. Los cortejos de alto nivel del mar, se forman a partir de los procesos que acontecen durante el estadio de alto nivel. Estos cortejos contribuyen generalmente a un menor crecimiento del margen continental y la cuenca oceánica, porque los sistemas depositacionales no tienen tiempo suficiente para rellenar el nuevo espacio de acomodación creado. La sedimentación resultante, está integrada por sistemas depositacionales menos desarrollados y generalmente relacionados con aportes puntuales de sedimento.

1.3.1.3 Mareas.

Las mareas son el producto de la atracción gravitacional de la Luna y del Sol, así como de la inercia o fuerza centrífuga producida por la rotación de la Tierra en combinación con estos astros. El efecto de la gravedad lunar sobre las mareas es casi el doble del que ejerce el Sol, de modo que el ciclo de las mareas se correlaciona mejor con el día lunar de 24 horas y 50 minutos, también conocido como "día mareal". Definen el movimiento alternativo del agua del mar que periódicamente se eleva, cubriendo las orillas, y luego desciende, retirándose¹⁹.

Debido a que los cuerpos de agua se deforman fácilmente, a medida que la atracción lunar actúa sobre el agua, crea un abultamiento en el nivel del mar en el lado de la Tierra, orientado hacia la Luna, y esto es lo que produce la pleamar o marea alta. En el lado opuesto de la Tierra, la fuerza centrífuga causada por la rotación del planeta alrededor del centro de masa común del sistema Tierra-Luna produce otro abultamiento. La bajamar o marea baja ocurre entre estos dos abultamientos.

El sistema Tierra-Sol crea abultamientos, en el nivel del mar, análogos a los que produce la Luna, aunque son menos fuertes y cambian de posición más lentamente, porque la Tierra tarda un año en hacer una revolución en torno al Sol. El efecto del Sol en las mareas es más evidente cuando las fuerzas gravitacionales y centrífugas del Sol y de la Luna están alineadas o perpendiculares la una respecto de la otra. Cuando el Sol y la Luna están alineados, las fuerzas se combinan para crear la

¹⁹ Esta sección está apoyada en los documentos de meteorología de la página web:
<http://www.meted.ucar.edu>.

pleamar más alta posible, o "marea viva". A la vez, en los puntos perpendiculares a la alineación del Sol y la Luna se produce la bajamar más baja. Las mareas vivas ocurren cada 14 ó 15 días, en luna llena y luna nueva. Cuando las fuerzas de los dos astros son perpendiculares una a la otra, la variación entre el nivel de la alta y la baja marea es menor, porque las fuerzas atraen el agua en direcciones diferentes. Estas mareas muy bajas, o "mareas muertas", ocurren durante el cuarto creciente y el cuarto menguante.

Las fuerzas descritas generan dos mareas bajas y dos mareas altas durante cada día lunar (marea semidiurnas). Aunque la mayoría de las localidades costeras del mundo experimentan mareas semidiurnas, hay sitios que experimentan mareas diurnas, o sea, una marea alta y una marea baja cada día. Por ejemplo, estas mareas ocurren en el Golfo de México, al oeste de Alaska, en el Pacífico Occidental y en el Golfo de San Lorenzo, en Canadá.

El tercer tipo de marea que ocurre alrededor del mundo, es la marea mixta. Estas mareas son similares a las mareas semidiurnas, porque presentan dos mareas altas y dos mareas bajas durante el día. Sin embargo, difieren en que entre las dos mareas altas de cada día hay una notable diferencia en altura. También ocurre entre las dos mareas bajas del día. Las mareas mixtas son comunes en Hilo, Hawái; y la Isla Adak, en Alaska. En El Salvador, las mareas son generalmente semidiurnas.

1.3.1.3.1 Mareas como agente de transporte marino.

Las mareas, van determinando el transporte de los materiales detríticos. Realizan un fuerte desplazamiento periódico de agua en puntos donde la densidad de los aportes continentales es mayor, en el límite, mar continente. La amplitud, o diferencia de cota entre la pleamar y la bajamar puede alcanzar 17 metros en la bahía de Fundy (Nueva-Brunswick, Canadá) y 15 metros en la bahía del Mont-Saint-Michel (Francia). Cuando el mar sube en la bahía de Fundy, se desplaza una muralla de agua de más de un metro y se calcula en unos 120,000 millones de m³ el volumen de agua que periódicamente es removida en la bahía. Las mareas penetran a velocidades variables en los mares aislados de los océanos. Esta propagación va acompañada de corrientes importantes en los estrechos y zonas angostas.

Las corrientes periódicas asociadas a los movimientos de las mareas, se localizan en canales permanentes o esporádicos del fondo marino. La trayectoria general de las

aguas y las corrientes locales, relacionadas con las mareas, son generalmente turbulentas y provocan la erosión y la puesta en suspensión de partículas minerales. El resultado esencial de los movimientos ligados a las mareas, es la distribución uniforme de los materiales en la zona litoral, especialmente entre los niveles de pleamar y bajamar.

El flujo y reflujo de las aguas implican un balance nulo en el transporte de los materiales. Sólo varía su distribución. Todo aporte puntual en mar abierto se distribuye rápidamente a través de una zona restringida que rodea al continente²⁰. La invasión periódica de una franja litoral por parte del agua marina produce fenómenos igualmente periódicos de humectación y desecación que intervienen en la alteración de los materiales.

1.3.2 Olas.

En los océanos del mundo se encuentran cuatro tipos de olas: las olas generadas por el viento, las olas producidas por las mareas, los seiches (ondas estáticas o estacionarias) y los tsunamis¹¹, descritas como sigue:

Olas por viento. La acción inicial del viento sobre la superficie del agua produce las ondas capilares, cuya longitud de onda es menor que 1.73 cm; la fuerza que trata de restaurar en ellas el equilibrio es la cohesión (atracción) de sus moléculas individuales. La importancia de las ondas capilares radica en que inician el proceso de transferencia de la energía del aire al agua. La mayoría de las olas generadas por viento se conocen como ondas de gravedad, porque es fuerza de la gravedad la que intenta restaurar el equilibrio. El viento es de suma importancia en el ambiente marino y es la causa principal del desarrollo de las olas. Las olas, que son la respuesta del agua a la acción del viento, suelen tener el mayor impacto sobre las estructuras en las zonas costeras, los buques, las embarcaciones pequeñas y las personas que participan en actividades acuáticas recreativas.

Seiches. Es una onda estacionaria que oscila hacia adelante y hacia atrás en un cuerpo de agua. Estas olas pueden ser generadas por disturbios naturales tales como terremotos, deslizamientos de tierra, la interacción entre olas o algún cambio en la presión del aire o en la dirección del viento. La altura de una seiche puede variar de pocos centímetros a tres metros, en casos extremos. La mayoría de las veces las

²⁰ J. Dercourt y J. Paquet. 1978. Geología.

seiches son generadas por vientos fuertes y persistentes que soplan por el eje largo de un cuerpo de agua grande. Cuando el viento se calma, el agua se libera en forma de una seiche.

Tsunami. Es una serie de olas de período largo (del orden de decenas de minutos) generadas por un disturbio repentino que desplaza enormes cantidades de agua, como un terremoto que ocurre cerca o en el fondo del mar. Otros fenómenos pueden causar tsunamis, son las erupciones volcánicas y los deslizamientos submarinos. Las olas resultantes, ("olas de marea"), viajan en todas las direcciones a partir del área del disturbio. A medida que viaja por las aguas profundas del océano. El tsunami mantiene una longitud de onda extremadamente larga, con frecuencia mayor que 100 km (60 millas), pero una amplitud pequeña y una inclinación de la ola despreciable, lo cual, para la mayoría de las embarcaciones en alta mar, apenas causa un ligero movimiento de ascenso y descenso y a veces hasta resulta imperceptible. Los tsunamis viajan a muy alta velocidad, a veces a más de 700 km/h (435 millas/h). En mar abierto, estas olas de alta velocidad pierden muy poca energía. Cuando el tsunami alcanza las aguas someras cerca de la costa, su velocidad comienza a disminuir y su tamaño aumenta debido a la poca profundidad del agua. Estos grandes volúmenes de agua, destructivos, pueden alcanzar alturas extremas de varias decenas de metros (más de 30 pies) una vez que alcanzan la línea de costa. La cantidad de agua y energía contenida en un tsunami puede tener efectos desastrosos sobre el continente.

Olas inducidas por presión. Son poco comunes, producto de la acción del viento o de actividad sísmica, se desarrollan conforme un disturbio en la presión atmosférica que se desplaza sobre la superficie del agua. La superficie del agua se ajusta de acuerdo con los cambios en la presión. A medida que la presión atmosférica disminuye, el agua ejerce más fuerza hacia arriba y se genera una ola inducida por presión. Si la ola en el agua se desplaza en fase con la onda de gravedad atmosférica (baja presión) que la generó, la ola en el agua entra en resonancia y produce olas incluso más grandes. La velocidad de fase de la ola en el agua es proporcional a la raíz cuadrada de la profundidad del agua, porque éstas son olas de aguas someras. Si el agua es demasiado profunda, la ola viaja más rápido que la onda atmosférica y la sobrepasa; si el agua es demasiado somera, el disturbio atmosférico sobrepasa la ola en el agua. Para que ambas entren en resonancia, el fenómeno atmosférico debe moverse a lo largo de un canal de agua constante de profundidad óptima. Con un

canal suficientemente largo, la ola puede crecer mucho y dar la impresión de que sale de la nada. Estas olas pueden aparecer con vientos ligeros y buen tiempo. A estas olas frecuentemente se les llama "olas gigantes" o rogue wave²¹.

1.3.2.1 Características físicas de las olas.

Independiente del medio en que se mueven las olas, tienen las mismas características físicas o atributos que determinan sus tamaños, formas y aspectos generales (Ver Figura 9). La cresta, es el punto más alto de la ola. El valle de una ola, es su punto más bajo. La altura de la ola, es la distancia vertical entre la cresta y el valle. La Figura 10, indica la altura de la ola; su amplitud es el desplazamiento del agua a partir de su estado de reposo, la cual corresponde siempre a la mitad de la altura de la ola (al menos en una ola simétrica). La longitud de onda, es la distancia entre una cresta y otra, o entre un valle y otro. Aunque en realidad, se trata de la distancia entre dos puntos idénticos a lo largo de una ola. Es más fácil concebir o medir la longitud de onda en términos de la distancia entre dos crestas adyacentes (ver Figuras 10 y 11).



Figura 9. Fotografía de un tren de olas en la Bocana El Limón

²¹ <http://www.met.ed.ucar.edu>

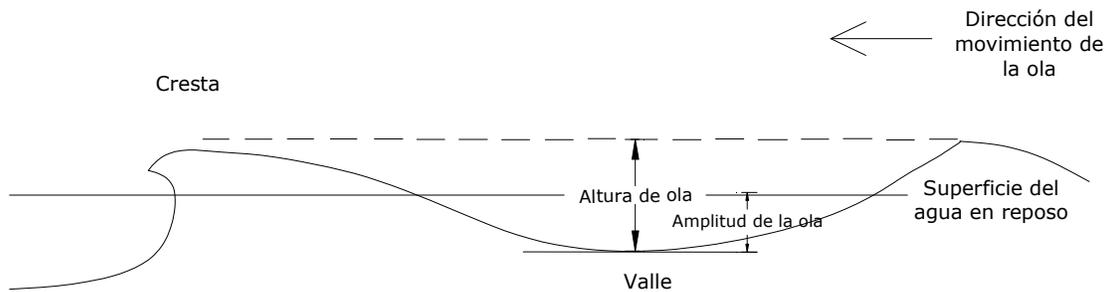


Figura 10. Características físicas típicas de las olas marinas.

Pendiente (S) de una ola. Es la altura (H) de la ola dividida por la longitud de onda (L), es decir: $S = H/L$. Por consiguiente, si la longitud de onda de una ola disminuye, pero su altura se mantiene constante, su pendiente aumenta (Figura 12). En contacto con las elevaciones del fondo marino en las playas, las olas cambian de forma, cuando la longitud de onda disminuye, y la altura aumenta. A consecuencia de su deformación, las crestas dejan de ser estables y rompen. La pendiente de una ola en aguas profundas no puede exceder de $1/7$ ó 14.3% ($S=H/L$), cuando ese límite ocurre, la ola empieza a romper y su cresta se corona de espuma. Esto significa que, a medida que la pendiente aumenta, la cresta alcanza un ángulo de 120 grados y deja de ser redondeada, y la ola adquiere una forma trocoidal (Figura 12). G. G. Stokes, 1880, planteó que el valor umbral de pendiente para que una ola rompa es $1/7$, lo cual, limita el ángulo de inclinación del agua desde 0° a 30° .

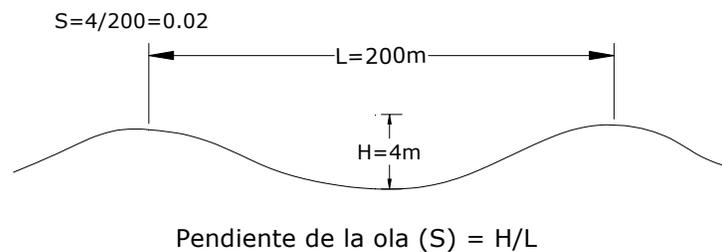


Figura 11. Pendiente de las olas.

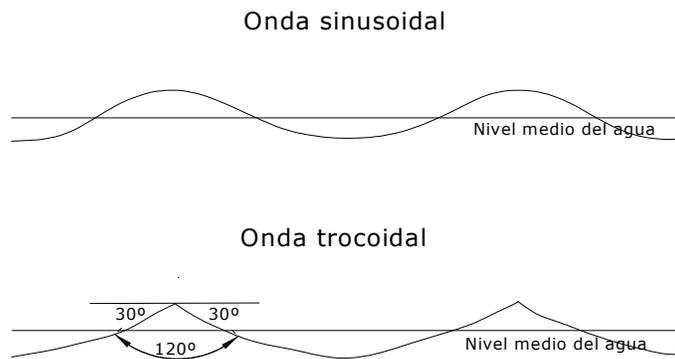


Figura 12. Onda trocoidal y sinusoidal de olas.

Las crestas, pueden romper bastante lejos de la playa. El “romper” de la ola en este caso, es netamente débil. En las zonas de rompiente, las olas son un agente geológico de erosión y de transporte; el efecto de las olas sobre el litoral, acentúa el efecto de las mareas y de las corrientes de marea. El efecto de una ola rompiente es el de las partículas desplazadas hacia arriba y el de las desplazadas hacia abajo en el momento del reflujó del agua. Así, la dirección de las olas con respecto a la costa es determinante para el transporte de los detritos. Las olas paralelas a la costa no modifican prácticamente la distribución de las partículas detríticas. Por el contrario, cuando existe oblicuidad entre la dirección de las olas y la de la costa, se produce una transferencia lateral de materiales. Durante las mareas, debido al juego permanente de las olas, se produce un desplazamiento general de materiales en la dirección del reflujó. El movimiento de reflujó oblicuo origina una deriva litoral que, según la topografía de la costa, puede crear un área de sedimentación²².

Período de una ola, es el tiempo que tardan dos crestas o valles sucesivos en pasar por un punto fijo. Se compone de un espectro de períodos que están comprendidos en un período de ola promedio que debe ser evaluado con parámetros estadísticos.

²² J. Dercourt y J. Paquet. 1978. Geología.

Los materiales de sedimentación son arenas, gravas de varios diámetros, productos calcáreos molidos o incluso enteros, flóculos de restos biológicos o biodesechos marinos, etc.

1.3.2.2 Características matemáticas de las olas.

La velocidad individual, la velocidad de grupo y su energía, caracterizan a las olas, viajando en aguas profundas o someras. La velocidad de la ola o su celeridad, es la velocidad a la que esta se desplace por el agua. Para cualquier longitud de onda y profundidad, su valor se expresa como sigue:

$$C \cong \sqrt{\frac{gL}{2\pi} \tanh\left(\frac{2\pi h}{L}\right)} \quad (\text{Ecuación. 1.1})$$

donde:

- n : 3.14159
- C : velocidad de una ola (m/s)
- g : aceleración de la gravedad (9,8 m/s²)
- L : longitud de onda (m)
- tanh : la función tangente hiperbólica
- h : profundidad del agua (m)

Esta ecuación es válida para olas en zonas de transición entre aguas profundas y aguas someras. Ver Figura 13.

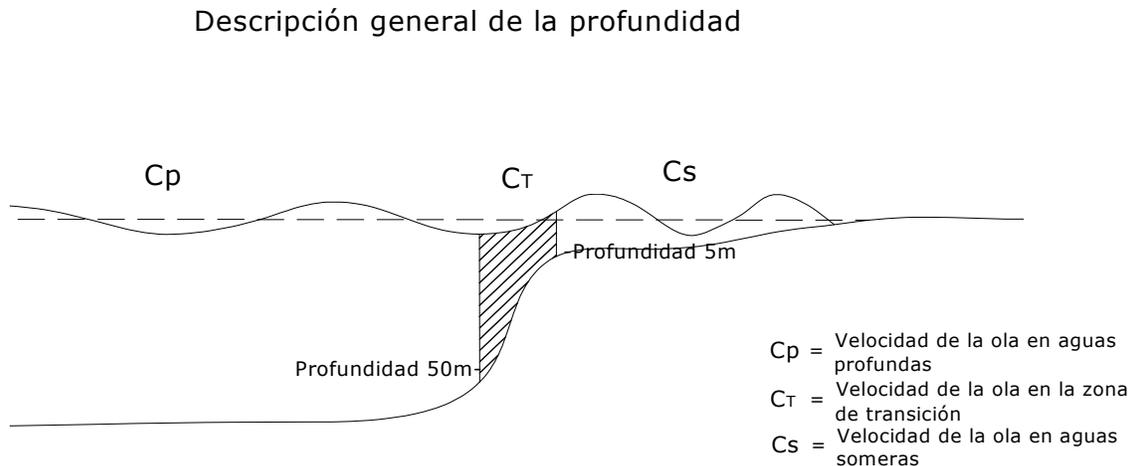


Figura 13. Descripción general de la profundidad y criterio para evaluar la velocidad de una ola.

Las olas se consideran de aguas profundas cuando la profundidad (h) del agua excede la mitad de la longitud de onda (L) de la ola. En aguas profundas, la tangente hiperbólica de $2\pi h/L$ se aproxima a 1. Si se sustituye por 1 el valor de la tangente (\tanh) en la Ecuación 1.1, su velocidad es la raíz cuadrada de $gL/2\pi$ (Ecuación 1.2).

$$C \cong \sqrt{\frac{gL}{2\pi} \tanh\left(\frac{2\pi h}{L}\right)}$$

$$C \cong \sqrt{\frac{gL}{2\pi}} (1)$$

$$C_p \cong \sqrt{\frac{gL}{2\pi}}$$

(Ecuación 1.2)

Las olas se consideran de aguas someras cuando la profundidad (h) del agua es menor que 1/20 de la longitud de onda (L) de la ola. En aguas someras, la tangente hiperbólica de $2\pi h/L$ se aproxima a $2\pi h/L$, su velocidad es la raíz cuadrada de gh , Ecuación 1.3.

$$C \cong \sqrt{\frac{gL}{2\pi} \tanh\left(\frac{2\pi h}{L}\right)}$$

$$C \cong \sqrt{\frac{gL}{2\pi} \left(\frac{2\pi h}{L}\right)}$$

$$C_s \cong \sqrt{gh}$$

(Ecuación 1.3)

Zona de transición. Es el área entre la zona de aguas profundas y la zona de aguas someras, basados en la longitud de onda (L) como sigue:

$$L/20 < \text{zona de transición} < L/2$$

(Ecuación 1.4)

Pero en general la velocidad de las olas en aguas profundas (V_{oH}) es mayor que la velocidad de las olas en aguas someras, V_{oh} , inherente a la longitud de onda.

$$V_{oh} < V_{oH} \quad (\text{Ecuación 1.5})$$

La velocidad de la ola es la rapidez con que esta se mueve para llegar a un sitio desde donde se generó, esto mismo es válido para un grupo de olas, correspondiéndoles una velocidad de grupo (C_g). Para olas en aguas profundas, la velocidad es la de una ola individual (Ecuación 1.6):

$$C_g = 0.5C_p \quad (\text{Ecuación 1.6})$$

La velocidad de grupo, C_s , para ondas en aguas someras, se aproxima a la velocidad de una onda individual, C_s , conforme la profundidad disminuye:

$$C_g = 0.5C_s \quad (\text{Ecuación 1.7})$$

1.3.2.3 Características del oleaje.

Un conjunto de olas, lo genera el viento regionalmente, produciendo oleaje con las siguientes características:

Pendientes muy pronunciadas que se aproximan y a veces exceden el umbral de rompimiento de $1/7$, (Stokes, 1880) y se observa la espuma que se forma en sus crestas. Conforme las olas se alejan de la zona de generación, su pendiente disminuye, y suele ser menor que la de las olas. La pendiente de una ola se conoce al saber, cuánto tiempo hace que salió de la zona donde fue generada y viceversa.

Las rutas del oleaje describen trayectorias de círculo máximo, éstas representan la distancia más corta entre dos puntos en una esfera y, cuando se proyecta sobre un mapa, en dos dimensiones, se ve como una curva.

En la costa de El Salvador, el oleaje típico son olas provenientes del suroeste con altura entre 1 y 2 metros y cada 15 segundos rompen en playas, acantilados, y desembocaduras de ríos y esteros.

1.3.3 Corrientes marinas.

Una corriente oceánica o marina genera movimiento de traslación, continuado y permanente, de una masa de agua determinada de los océanos y en menor grado de los mares más extensos. Las causas de estos, es principalmente, el movimiento de rotación terrestre (que actúa de manera distinta y hasta opuesta en el fondo del océano y en la superficie), los vientos constantes o planetarios, la configuración de las costas y la ubicación de los continentes²³.

1.3.3.1 Corrientes litorales, corrientes oceánicas, corrientes de los mares epicontinentales y de plataforma.

Las corrientes litorales y las de los mares poco profundos, son muy parecidas a las corrientes fluviales, con flujo laminar o turbulento. Su eficacia es tanto mayor cuanto más angostas son las zonas de flujo. La morfología antigua de los mares epicontinentales, a menudo permite determinar su trazado. Las corrientes litorales incrementan periódicamente su fuerza por las corrientes de marea. Las corrientes litorales permanentes, su trayectoria no la condiciona la configuración local de costa. Las corrientes de la plataforma continental son los agentes de transporte que toman el relevo mar adentro de las corrientes litorales. Cuando estas pasan por las proximidades de los continentes, las modificaciones físico-químicas que aportan, las convierten en elementos importantes de distribución de las partículas detríticas procedentes de las desembocaduras de los ríos. Las corrientes oceánicas generalizadas se pueden relacionar directamente con el régimen de los vientos. A pesar de que las corrientes oceánicas tienen una gran potencia de arrastre, sólo transportan muy pocas partículas detríticas. Sólo su temperatura más elevada, que provoca una vida más abundante en la zona eufótica y una solubilidad menor que la del carbonato de calcio (CaCO_3), ocasiona modificaciones importantes en la sedimentación profunda²⁴.

²³ http://es.wikipedia.org/wiki/Corriente_marina

²⁴ J. Dercourt y J. Paquet. 1978. Geología.

1.3.4 Condiciones Geológicas y geología predominante en Acajutla.

1.3.4.1 Características fisiográficas que demarcan la geología y la geomorfología de la zona de estudio.

El ambiente sedimentario de Acajutla, es parte de la provincia fisiográfica de la llanura o terraza costera de El Salvador correspondientes al período cuaternario, ver en el Figura 14, predominando depósitos sedimentarios acuáticos con intercalaciones de piroclastitas, en toda el área; epiclastitas volcánicas aparecen en la región noroeste del municipio Acajutla, y el Cantón Metalío.

1.3.4.2 Geología de la Zona y el sitio.

En el Figura 14, la configuración del cordón litoral, en forma de S alargada, indica la dinámica costera por aportes de sedimentos, y la costa acantilada (ver Figura 7.0), extendiéndose hasta Punta Remedios, contiene epiclastitas volcánicas y piroclastitas, localmente efusivas básicas-intermedias intercaladas, constituyendo bancos litificados resistentes a la hidrodinámica de la región marina bordera (transgresión o azote del oleaje marino). Las epiclastitas volcánicas contienen lapillis de pómez.

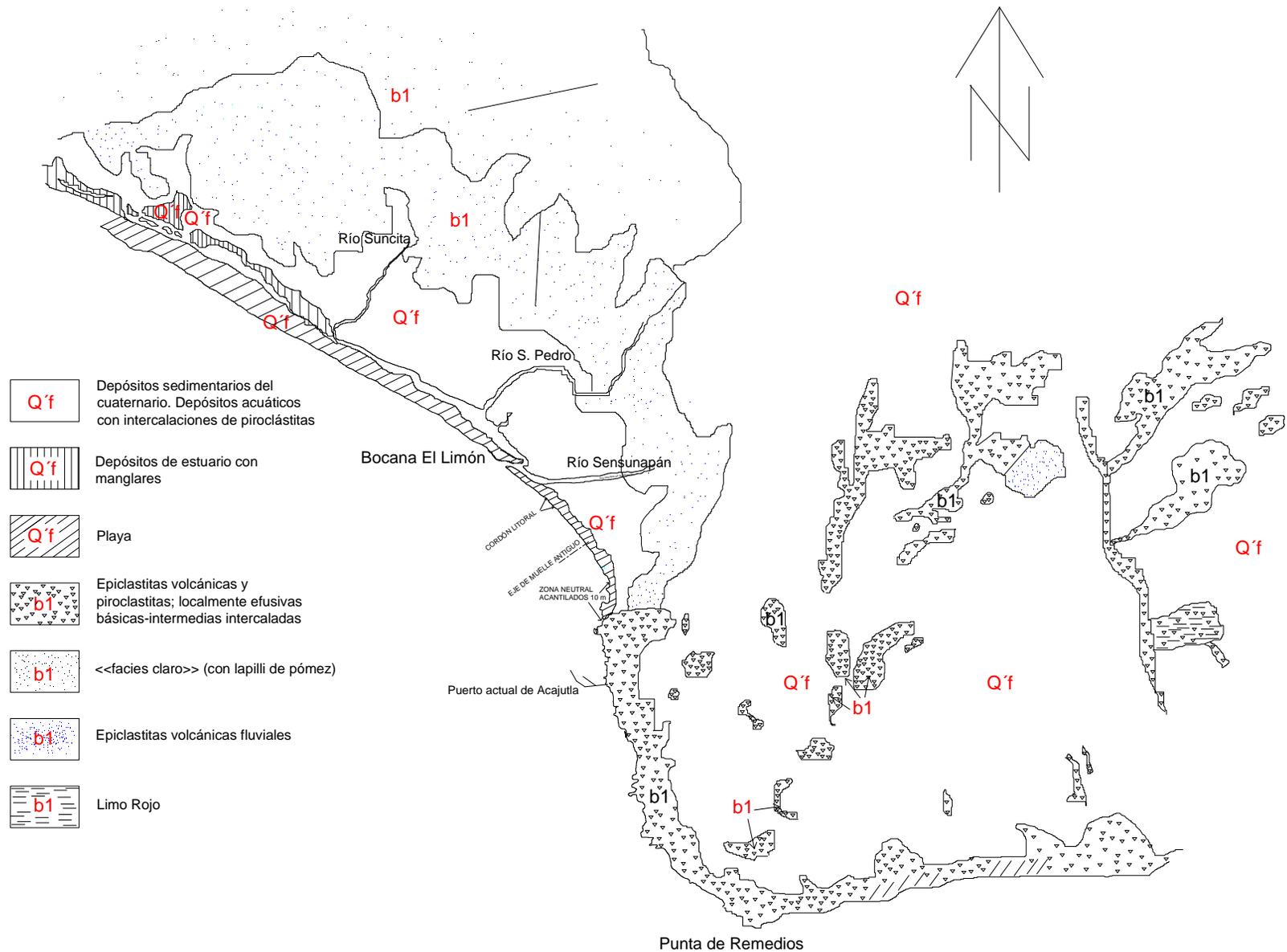


Figura 14. Mapa geológico regional de la costa de Acajutla, basado en el mapa geológico de El Salvador, en el que aparece la forma de S alargada.

1.3.4.2.1 Morfología de la zona.

Morfología Terrestre. El relieve terrestre constituye las formas de la superficie terrestre, las cuales por su origen se dividen en constructivas o de acción interna, dentro de las cuales se encuentran las montañas, llanuras, mesetas o altiplanos y volcanes. Las formas destructivas o de acción externa, son causadas por la erosión y depositación. Por ejemplo, la erosión fluvial configura los valles, peniplanos, mesas y meandros²⁵, en su paso a través de las áreas y trayectorias con materiales poco o muy poco consolidados.

Morfología del Litoral. Las olas actúan en la base de los acantilados, desmoronándolos y haciendo retroceder la línea de costa (ver Figura 15), debido a erosión abrasiva, resultando una plataforma de abrasión. Pero éstas también ejercen labores "constructivas" por medio de los aluviones, depositando sedimentos en zonas de poca profundidad hasta formar por ejemplo: los tómbolos o flechas litorales.²⁶

La costa, es una zona de contacto entre la tierra y el mar, donde las aguas, debido a la sucesión de las mareas, la cubren o la dejan en seco, alternativamente. A la costa baja y arenosa se le llama playa, si es alta y rocosa es el acantilado, y cuando estos se derrumban forman costas bravas o peñascosas. La acumulación de materiales en las costas, combinada con los movimientos de las aguas marinas, dan lugar a la formación de depósitos acumulados de forma alargada, en la línea del litoral, estos son los cordones litorales.²⁷

De acuerdo con la estructura, composición, estado de los materiales, estratificación y dureza, de la roca madre, o el suelo, y las diversas actuaciones de la resaca, mareas, viento, corrientes marinas y sedimentos litorales, se desarrollan formas costeras, por los efectos destructivos o constructivos que transforman los bordes continentales costeros.

²⁵ Geomorfología descriptiva. Rodolfo Meyer. Página 26.

²⁶ http://www.natureduca.com/geog_fisica_geomorf8.php.

²⁷ Geomorfología descriptiva. Rodolfo Meyer. Página 54.



Figura 15. Fotografía, muestra el pie del acantilado localizado a 1400 m de la Bocana El Limón, rumbo sureste sobre el cordón litoral de Acajutla, el cual por efectos de las olas y de agentes biológicos ha ido degradando su base y cuerpo. Fotografía tomada el 24 de mayo 2009.

La acción destructiva la produce la erosión marina o abrasión. Debido a la acción de la resaca se generan formas cóncavas de resaca, cantiles, terrazas de abrasión, que se encuentran principalmente en las costas acantiladas, pero en zonas de costa con materiales menos resistentes, la resaca escurre generalmente en una orilla baja, formando una costa llana, que tiene una playa ancha de arena o grava fina, y la erosión marina, con intensa acumulación marina o sedimentación continua. A lo largo de las costas salvadoreñas, se tienen dos límites morfológicos naturales: en el norte, el límite del paisaje costero, es el pie de montaña de la cadena volcánica principal que se encuentra entre 20 y 30 kilómetros tierra adentro. En el sur, el área costera es la plataforma continental de una anchura entre 50 y 80 kilómetros hasta su límite natural que es el talud continental hacia la Fosa de Guatemala.²⁸ Ver Figura 16.

²⁸ Geografía del El Salvador página 149.

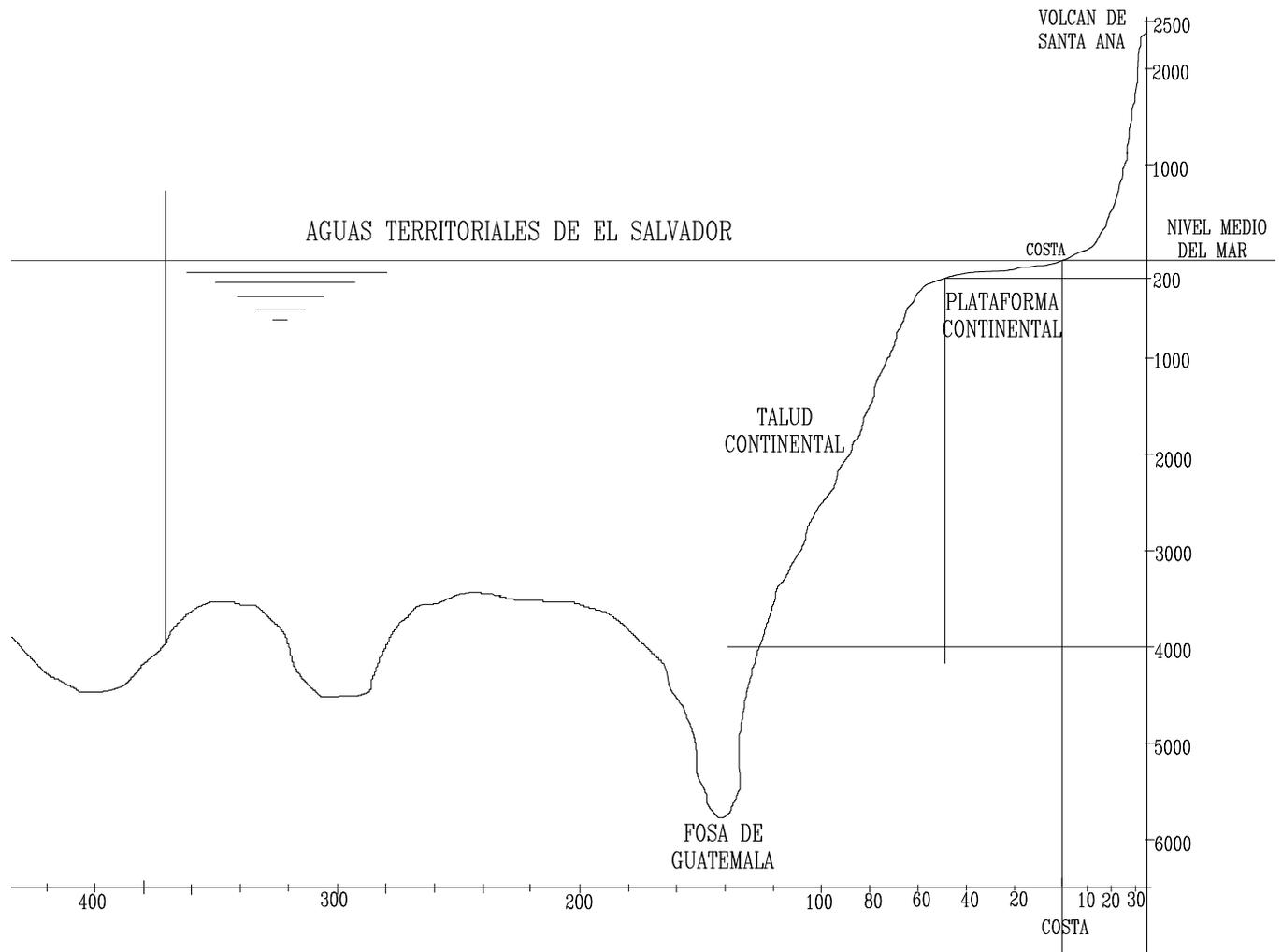


Figura 16. Vista en perfil de los límites morfológicos naturales en las costas de El Salvador. Adaptada de Geografía de El Salvador. Página 131.

Las costas salvadoreñas contienen cinco paisajes principales:

- i) Planicies costeras (occidental, central y oriental) aluviones con varias secciones secundarias.
- ii) Sierra del Bálsamo (40 km de largo), y de Jucuarán (25 km de largo), entre las montañas costera, y el Volcán de Conchagua al oriente del país, y las islas volcánicas del Golfo de Fonseca.
- iii) Paisajes costeros, incluyen costas llanas, esteros y una pequeña sección de acantilados, conectados con la planicie costera occidental.

- iv) Costas acantiladas, 10m a 50 m de alto, de la sierra del Bálsamo. Cantiles, terrazas de playa y ensenadas, formadas por las montañas costeras.
- v) Paisaje marino del Golfo de Fonseca.

Acajutla tiene cuatro paisajes, identificados en la Figura 17.²⁹

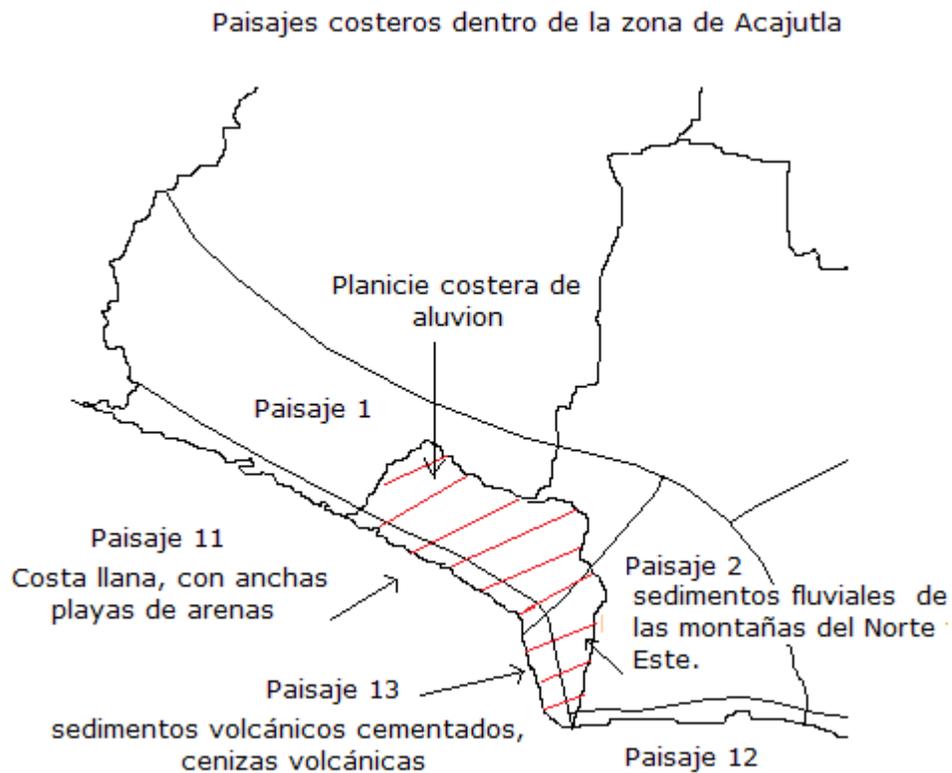


Figura 17. Adaptada del Mapa 5.0 "Los paisajes naturales de la costa de El Salvador", por Helmut Lessmann, 1977. Geografía de El Salvador.

²⁹ Mapa 5. Geografía de El Salvador. página 153.

Las Costas llanas. La Sierra del Bálsamo, separa dos planicies costeras, la central, a ambos lados de la desembocadura del río Lempa y la occidental, en dirección norte hacia la República de Guatemala, al río Paz. Ambas de material volcánico fluvial, y alejándose hacia tierra continental con un declive de $0^{\circ} 17'$ ó 5 metros por kilómetro. La planicie costera occidental, con 55km de aluvión, se extiende desde el río Paz, hasta las estribaciones de la Sierra del Bálsamo, con anchura de 8 a 20 kilómetros, hasta la isoipsa de 200 metros. La Bocana El Limón, está incluida en este tramo en la Sección río Paz, río Grande de Sonsonate (Paisaje 1), planicie de aluvión construida con sedimentos de la Sierra Tacuba-Apaneca y el Macizo volcánico, El Aguila-Santa Ana, con el límite de pie de monte en la planicie costera occidental. La Sección río Grande de Sonsonate - río Ayacachapa (Paisaje 2), es parte de la planicie costera con fisonomía distinta, ya que es una zona tectónicamente perturbada. Las estribaciones ponientes y sur occidentales de la Sierra del Bálsamo, comienzan debajo de la plataforma continental. Encima se depositaron sedimentos fluviales originarios de las montañas al Norte y Este, que formaron una capa relativamente delgada. En Acajutla, la planicie costera forma una terraza elevada que rompe hacia el mar en forma de cantil hasta más de 15 metros de alto, y continúa tierra adentro formando la rivera oriental del río Grande de Sonsonate, con materiales fuertemente cementados.³⁰

Costa llana y esteros. Entre los ríos Paz y Grande de Sonsonate, se forma el paisaje 11, el cual, va desde la desembocadura del río Paz hasta Acajutla, es una costa compensatoria casi rectilínea de orientación noroeste-sureste, con anchas playas de arena que se interrumpen por varias desembocaduras de esteros.

Entre el Estero El Zapote y Acajutla, se distinguen tres esteros, cada uno de los cuales se alimentan de varios ríos. El río Grande de Sonsonate, San Pedro y el río Sunza, forman una pequeña laguna que desemboca en la Bocana El Limón y consecuentemente van hasta el mar Pacífico. El cauce del río Grande es encajonado y fijo, hasta el antiguo camino real, desde la Hacienda La Atalaya, donde cruza el río San Pedro y después el río Grande, a unos 700 metros al norte de la actual línea costera. Desde este punto de vado hasta la desembocadura, el río ha cambiado frecuentemente su cauce hasta la bocana. En 1890, el río Grande

³⁰ Geografía de El Salvador página 151.

de Sonsonate tenía un brazo paralelo a la costa hacia el oriente, que desembocaba al pie del acantilado. Durante la construcción del muelle sobre la costa llana entre los años 1893-1900 el cauce del brazo oriental fue rellenado, pero el río siempre ha conservado la tendencia de abrirse hacia el este, esto sucede cuando en el periodo de crecidas, las aguas transportadas por los ríos San Pedro y Sunza, situados un poco más cerca de la desembocadura común, dificultando la salida de las aguas del río Grande, depositando este, los materiales grandes como troncos, desechos sólidos, y rocas acarreadas por su cauce hasta que se cierre la salida natural hacia el oeste.

Paisaje 13: entre el río Grande de Sonsonate y Punta Remedios. En la ensenada de Acajutla, la costa, está sobre una planicie elevada (máxima elevación 52 msnm) que rompe hacia el mar en forma de cantil de más de 15 metros de alto. En el vértice de la ensenada se encuentra la costa llana, procedente del noroeste y la costa acantilada, que sigue hacia el sur sobre una sección de 2 km hasta el área del nuevo puerto. En esta parte costera, hay por lo menos sedimentos volcánicos cementados, y cenizas volcánicas. La existencia de formas cóncavas y cavernas en su pié, indicando un cantil activo.

1.3.4.3 Borda y talud continental.

1.3.4.3.1 Forma y tipo del talud y borda continental.

El talud continental es una parte de la morfología submarina, ubicada entre los 200 a 4,000 metros bajo el nivel del mar. Esta zona con 5° a 7° pendiente media tiene un fuerte declive, alcanzando 1500 a 3000 metros de profundidad, donde se localiza el borde continental, topografía irregular, predominando depresiones y cuencas, cañones submarinos, surcos profundos cortados verticalmente en forma de V a modo de valles sumergidos. Su amplitud varía de 8 km a 10 km hasta 250 km a 270 km.³¹ mar adentro.

La plataforma continental, o plataforma submarina, llega hasta los 200 m de profundidad, y bastante plana. El borde continental se ubica a continuación del

³¹ http://es.wikipedia.org/wiki/Talud_continental

talud, y es difícil reconocer el lugar en donde se inicia (Figura 18). Es la zona de transición entre el talud y lo más profundo del océano. Su inclinación es semejante a la plataforma continental, y tiene un metro más de profundidad por cada 1000 metros.³²

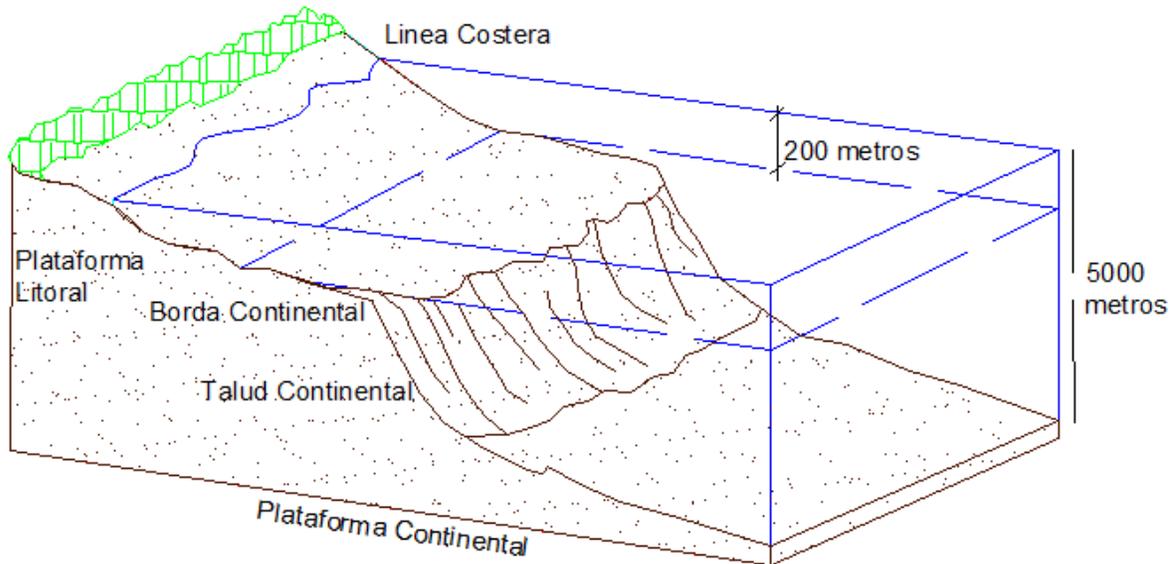


Figura 18. Márgenes continentales.

1.3.4.3.2 Composición del talud y borda continental.

La borda continental, está cubierta en 50% a 60% por fango sedimentario, 25% arena, 15% roca desnuda y 10% restos orgánicos. Los pisos del talud continental, no están cubiertos de sedimentos, siendo frecuente la existencia de depresiones o cañones submarinos.

³² Juan Luis Cifuentes Lemus / María Del Pilar Torres García / Marcela Frías M., El Océano y sus Recursos II.
<http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen1/ciencia2/12/htm/oceano2.html>

1.3.4.3.3 Estructura del talud y borda continental.

El talud continental tiene forma de cuña, debido a su topografía, cambios abruptos de nivel que se dan desde la cabeza al pie. La borda continental, en forma de plataforma, por sus pendientes suaves, entre 0° a 2°, (0° 15' en la zona occidental de El Salvador)³³. Ver Figura 16. (Página 48).

1.3.4.3.4 Estado Actual del talud y borda continental.

En El Salvador, la forma del talud continental es convexa, su declive aumenta con la profundidad. Entre 55 km a 70 km, el fondo submarino baja unos 4000 m. Gierloff y Emden, estimaron un declive medio de 4.5° frente a las costas salvadoreñas, entre 500 y 4000 metros de profundidad, indicando que el talud no es muy escarpado.³⁴

1.3.4.4 Acumulación de sedimentos en la Bocana El Limón.

La acumulación de sedimentos en la Bocana El Limón, en época de estiaje, está distribuida de la siguiente manera:

Acumulaciones en la zona estuaria debidas a los arrastres en los lechos de los ríos, formando pequeñas isletas, islas duníticas, con meandros que avanzan rumbo noroeste, hacia la zona de la Finca la Coquera. Esta acumulación es activamente progresiva, notorio por las tonalidades en los verdes de las plantas (arbustos y hierbas) y los grises de la arena acumulada. En la parte limítrofe entre la playa y la garganta del río Sensunapán, la acumulación de arenas es abundante, ver Figura 19, y se forma por un muro de arena, que contiene al talud cuya cabeza es mayor que 2 metros de alto.

³³ Geografía de El Salvador. Página 131.

³⁴ Dirección de Cultura y Comunicaciones, Geografía de El Salvador, Dirección de Publicaciones, 1ra Edición tomo 1. San Salvador 1986.



Figura 19. Muro de arena que se forma entre la playa El Limón y la garganta del Río Sensunapán. Foto del lateral poniente del cauce, haciendo recodo meándrico hacia la salida, 29 de marzo 2009.

En la zona de playa, la acumulación de arena en la cresta, forma taludes que varían entre 0.70 m a 1.20 m de alto, algunos de estos, también son debido a los efectos de la resaca y han formado terrazas de acumulación. Playa adentro y hacia el puerto Acajutla actual, la acumulación se hace cada vez menor, ya que, su pendiente va de suave a muy suave, y en algunos puntos es prácticamente imperceptible, como se muestra en la Figura 20.

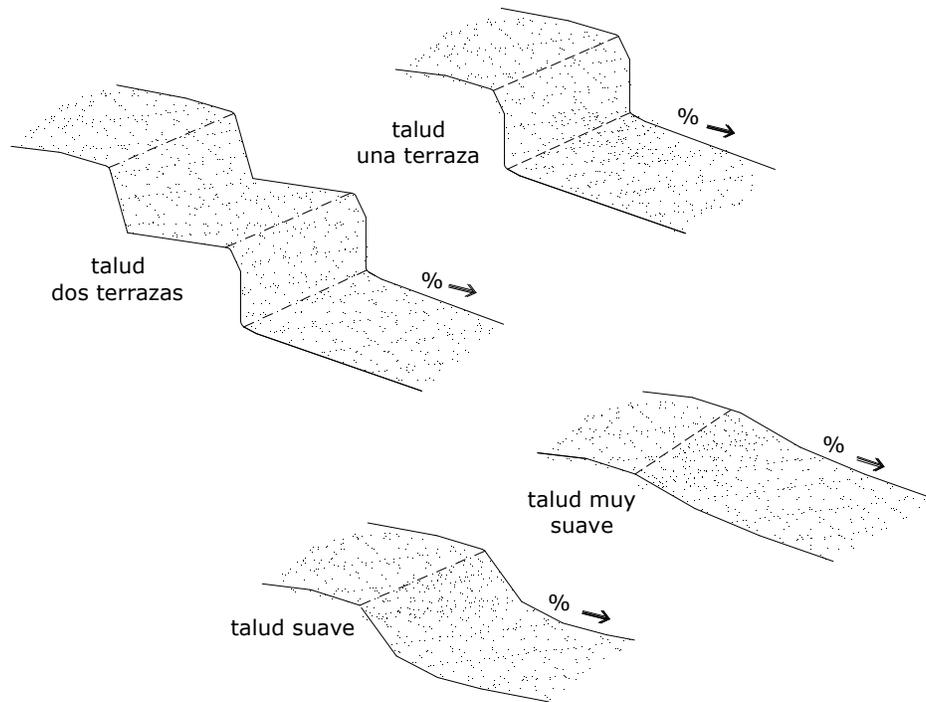


Figura 20. Formas de Acumulación de sedimentos en la playa El Limón.

1.3.4.5 Materiales predominantes en la Bocana El Limón.

Predominan arenas ferruginosas o ferromagnéticas color gris oscuro, que van de finas a muy finas, con diámetros entre los (0.075-0.42 mm) dependiendo de los procesos de desgaste causados por la erodación y la abrasión entre partículas, en el lecho de los cuerpos de agua y el causado por las olas y mareas. La Figura 21, muestra algunos tipos y tamaños de rocas, que son arrastradas hasta la zona de desembocadura, a lo largo del cauce del río Sensunapán, rocas basálticas, y andesíticas. También, a lo largo de la playa en dirección sureste, desde la Bocana El Limón, con rumbo hacia el actual puerto de Acajutla, se observó, que la marea deposita boleos con diámetros entre los 10 cm a 15 cm, que están en constante vaivén hacia el mar, así como también la depositación y arrastre de arenas muy finas, con diámetros menores que 0.2 mm.



Figura 21. Diferentes tipos de rocas que se encuentran en la Bocana El Limón.

1.3.4.5.1 Composición y graduación granulométrica.

Las muestras de arenas recogidas y estudiadas en laboratorio, tienen graduación no uniforme, en la mayor proporción (entre 20% a 35%) son arenas finas, con diámetros entre 0.20 mm a 0.25 mm, y entre un 8% a 19% arenas muy finas con diámetros entre 0.075 mm a 0.15 mm. En su composición, estas arenas, contiene una fuerte proporción de magnetita, la cual se puede comprobar al colocar un imán, tal como se muestra en la Figura 22.

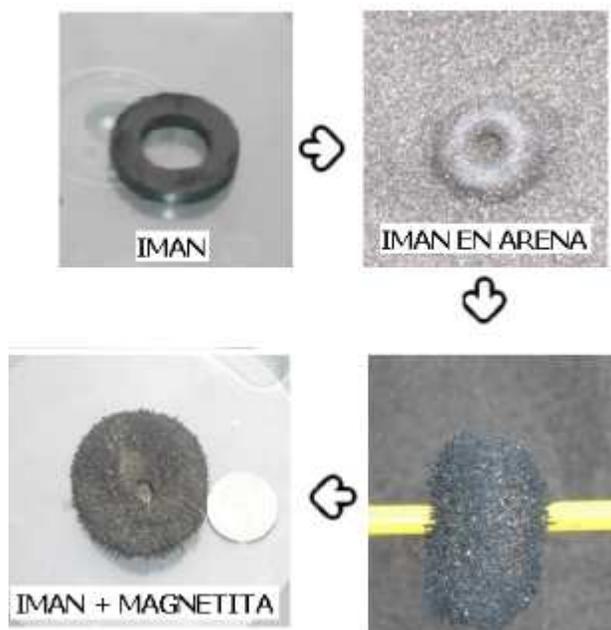


Figura 22. Arenas ferruginosas que se adhieren a un imán, producto de la atracción magnética entre la magnetita y el imán.

Hidrografía.

Los ríos erosionan fuertemente el terreno por donde corren, comenzando por el desgaste de su cauce. Algunas características hidrográficas más importantes de los ríos, a estudiar, son, caudal, tipo y forma de la cuenca, erosión, sedimentación fluvial, pendientes y forma de los cauces, ya que El Salvador es un país con abundantes recursos hídricos, debido a la combinación de la topografía montañosa y los altos regímenes de lluvia que se acumulan en la época lluviosa. Todo su territorio constituye un sistema de cuencas hidrográficas que captan, canalizan y almacenan este líquido, de Mayo a Septiembre cada año. La distribución de las aguas continentales salvadoreñas, está directamente determinada por la topografía y la geología del territorio, comprende ríos, lagos, lagunas, embalses, aguas subterráneas y el mar. La superficie marítima se estima en 94,081 km² considerando los 355 kilómetros del litoral y las 200 millas náuticas que le corresponden al país³⁵.

Zonas hidrográficas y ríos principales del país.

El régimen hídrico de los 360 ríos que forman la red fluvial del país, está determinado por el régimen de lluvias y presenta los siguientes periodos: de aguas altas (junio-octubre), de aguas bajas (diciembre-abril), y periodo de transición o estiaje (mayo y noviembre). En su mayoría, los ríos del país tienen longitud corta y caudales menores que 1 m³/seg (caudal ecológico), durante el estiaje, aunque algunos llegan a ser estacionales. Considerando su ubicación dentro del territorio nacional se pueden clasificar como sigue:

1. Grandes ríos internacionales: los que tienen parte de su cuenca fuera del territorio nacional, el río Lempa, el río Paz, y el río Goascorán. Estos ríos, están contenidos en grandes cuencas y, por tanto, se caracterizan por transportar grandes volúmenes de agua durante todo el año.
2. Ríos originados en la cadena de volcanes: los ríos Grande de San Miguel, Acelhuate, Sucio, Suquiapa, Acahuapa, Banderas y Sensunapán o Grande

³⁵ Enciclopedia de El Salvador. Editorial Océano. página 71.

de Sonsonate, se caracterizan por movilizar grandes cantidades de agua, aún, durante la estación seca.

3. Ríos con origen en la cordillera del Bálsamo: paralela a la costa del Océano Pacífico, se alza la cordillera del Bálsamo. Esta zona, es rica en vegetación, se caracteriza por contener la mayoría de ríos de corto recorrido (longitudes menores que 30 km), los cuales descienden desde las montañas hacia la planicie costera y desembocan al mar, por ejemplo, el río Cuilapa, El Rosario, El Naranjo, Cauta, Sunzal, Comasagua, San Antonio, Huiza y Comalapa. Todos ellos, poseen pequeñas cuencas que contienen áreas menores que 100 km².
4. Ríos que se originan en las montañas de la frontera: los ríos que se forman en las montañas del norte, en la zona fronteriza con Honduras. Por ejemplo, los ríos Torola, Sapo, Negro, Sumpul. Dada la fuerte estacionalidad de las lluvias y de las escorrentías, durante la época lluviosa, estos presentan fuertes crecidas de corta duración. En la época seca, según el estado de forestación de sus cuencas, mantienen pequeños caudales, mientras que otros prácticamente se secan.³⁶

1.3.5.1 Condiciones hidrográficas de la zona.

El sistema hidrográfico de Sonsonate, lo constituyen tres regiones así: en la región sur, los ríos Cauta, Metalío, Madre Vieja, Sunzacuapa o Sunza, Las Marías, San Pedro, Grande de Sonsonate o Sensunapán, El Venado, Huiscoyol, Chimalapa, Bandera, Ceniza, Mandinga, Pululuya, Apancoyo, Topahuashusha y Acachapan. En la región oriental, los ríos Tazulate, Chiquihuat, Los Lagartos, Copapayo y Santa Teresa. En la región occidental los ríos: El Rosario, El Naranjo, Copinula, Moscuca, Tepechapa, El Haragán, Barranca y Cuyuapa.³⁷

³⁶ Enciclopedia de El Salvador. Editorial Océano. Página 72.

³⁷ Monografías del Departamento y Municipio de Sonsonate. Instituto Geográfico Nacional. IGN. Páginas 10 y 11.

1.3.5.2 Características generales de los Ríos Tributarios que descargan en la

Bocana El Limón y sus correspondientes cuencas.

Río Sensunapán o Grande de Sonsonate. Hace su recorrido por los municipios Izalco, Nahuilingo, Nahuizalco, Sonzacate, Sonsonate y Acajutla. Se forma de la confluencia de una quebrada sin nombre, y el río La Calera, 4 km al sureste de la ciudad Juayúa y 3.8 km al norte de la ciudad Nahuizalco. Corre de norte a sur desde su nacimiento hasta inmediaciones del área urbana de la ciudad, Sonsonate, sirve de línea municipal entre Nahuizalco y Sonzacate, luego cambia su rumbo en dirección suroeste hasta su desembocadura en la Bocana El Limón, en el Océano Pacífico. Su longitud total 35 km, sus afluentes principales son los ríos Papalote, Las Monjas, y Los Trozos en el municipio de Nahuizalco, Julupe, Cárdenas, Cuyuapa y Piedra de Sal ³⁸ en Sonsonate y San Antonio o Los milagros.

Río Suncita o Sunza. Se forma de la confluencia del río Sunzacuapa y la quebrada Guilata, 7.7 km al norte de la ciudad Acajutla. Su recorrido lo hace con dirección noreste a suroeste, hasta desembocar en el río San Pedro. Sus afluentes son el río Copinula, y la quebrada El Diablo, su longitud 7.5 km dentro del Municipio Acajutla. ³⁹

Río San Pedro. Nace fuera del municipio Acajutla, a 8.8 km al norte de este. La mayor parte de su recorrido lo hace de norte a sur, hasta llegar a la hacienda La Atalaya, de aquí cambia su rumbo al noroeste y luego hacia el suroeste, hasta desembocar en la Bocana El Limón, en el Océano Pacífico. Con 13 km de recorrido dentro de la ciudad Acajutla. ⁴⁰

³⁸ Monografías del Departamento y Municipio de Sonsonate. Instituto Geográfico Nacional. Páginas 11 y 12.

³⁹Ibidem. Página 23.

⁴⁰Ibidem.

1.3.5.3 Cuencas Hidrográficas del sistema tributario que descarga escurrimiento superficial en la Bocana El Limón.

La descarga de aguas superficiales que escurren por las lluvias de la época y las drenantes superficiales subterráneas de época seca y la lluviosa, está constituida por las cuencas de los ríos Sensunapán o Grande de Sonsonate, San Pedro y Sunza, en una sola área (427.96 km²) de conjunción entre sí y de interacción con las aguas marinas de ésta zona, adyacente al norte del puerto de Acajutla, a unos 1400 m, la Bocana El Limón. En este punto de recepción y paso interactúan las aguas de descarga continental y las de ambientes costeros sobre la borda continental, a través de la resaca marina normal de llena y de eventos extremos y extraordinarios. Con lo cual, ocurre la sedimentación y sus modalidades morfológicas en acumulaciones y desacumulaciones superficiales en los lechos marinos y de los cauces tributarios ubicados en esta área, principalmente por las pendientes suaves predominantes 0% a 5%. Estas cuencas se caracterizan como sigue:

1.3.5.3.1 Características físicas de las cuencas Sensunapán, San Pedro y Sunza.

Tomando de base los mapas cartográficos de El Salvador, año 1996, hojas 2256 IV, 2257 I, 2257II 2257III, 2257 IV, hechos por el Instituto Geográfico Nacional (IGN), en 1996 y la National Imagery and Mapping Agency, en escala 1:50,000, al delimitar los contornos por los parteaguas de las cuencas en el sistema hídrico que conforman a los ríos Sensunapán, San Pedro y Sunza, ver anexo Mapas 1,2 y 3, se calcularon los parámetros más importantes, los cuales se detallan en la Tabla 1.

Los datos geométricos como área, perímetro y longitud del cauce principal, se calcularon por medio del programa Autocad 2010, y la elevación media y pendiente media por medio de una combinación de datos en Autocad y aplicando las ecuaciones que se muestran en la Tablas de cálculo en Anexos 1,2 y 3.

Tabla 1: Características físicas de las cuencas Sensunapán, San Pedro y Sunza, que desembocan en la Bocana El Limón.

Parámetro calculado	Cuenca		
	Sensunapán	San Pedro	Sunza
Área de drenaje(Km ²)	215.28	106.58	106.10
Perímetro (km)	114.76	68.11	74.00
Longitud del cauce principal (km)	44.68	31.65	34.50
Pendiente Media (%)	26.02	24.19	30.82
Elevación máxima (msnm)	2000.00	1841.00	1841.00
Elevación media (msnm)	845.75	371.07	552.34
Elevación Mínima (msnm)	0.00	0.00	0.00
Forma de la cuenca	Alargada	Alargada	Alargada
Drenaje predominante	Paralelo	Paralelo	Paralelo
Lugar de desembocadura	Bocana El Limón	Bocana El Limón	Bocana El Limón

Fuente: Elaboración propia.

1.3.5.3.2 Fisiometría de la superficie drenante en las cuencas Sensunapán, San Pedro y Sunza.

Dentro de las cuencas se identifican tres zonas delimitadas por la topografía

como se describe:

- Zona baja y media baja, pendientes dominantes entre 0% a 5%, representan el 62.2% del área en estudio.

- Zona intermedia, pendientes dominantes entre 5% a 15%, es el inicio del pie de montaña de la cadena de volcanes que conforman el límite morfológico máximo de las cuencas, constituye 2.4% del área total.
- Zona alta, representa 17.3% del área total, contiene pendientes entre 15% a 50%. Ver Mapa 4, en Anexos y Tablas 2 y 3 con los parámetros calculados de cada cuenca.

Tabla 2: Areas y pendientes de las cuencas que descargan en la Bocana El Limón según zona topográfica.

Cuenca	Área Total (km ²)	Areas de las cuencas según zona topográfica (km ²)			
		Zona Baja 0% a 1.5%	Zona media-baja 1.5% a 5%	Zona Media 5% a 15%	Zona Alta 15% a 50%
Sensunapán	215.28	8.40	91.60	54.40	60.88
San Pedro	106.58	30.20	60.90	10.70	4.78
Sunza	106.1	15.50	59.80	22.40	8.40

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3: Pendientes de las cuencas que descargan en la Bocana El Limón según zonas topográficas.

Cuenca	Pendientes de las cuencas según zona topográfica en %			
	Zona Baja 0% a 1.5%	Zona media-baja 1.5% a 5%	Zona Media 5% a 15%	Zona Alta 15% a 50%
Sensunapán	2.00	21.40	12.70	14.23
San Pedro	7.10	14.20	2.50	1.21
Sunza	3.60	14.00	5.20	1.96
TOTAL	12.60	49.60	20.40	17.40

Fuente: Elaboración propia.

El transporte del agua lluvia, depende del tipo de cobertura vegetal y el uso de la tierra de los suelos en donde esta cae. Basados en la nomenclatura de los cuadrantes de los mapas cartográficos de El Salvador, año 1996, hojas 2256 IV, 2257 I, 2257II 2257III, 2257 IV, dentro de los 427.96 km² que conforman el sistema tributario de las cuencas Sensunapán, San Pedro y Sunza, que desembocan en la Bocana El Limón, en las Tablas 4 y 5, se establecen las áreas y porcentajes de áreas del tipo de cobertura vegetal predominante, para cada cuenca, ilustrando esta información en el Mapa 5, Ver Anexos.

Tabla 4: Areas según tipo de cobertura vegetal.

Cuenca	Areas que cubren (Km ²)			
	Area	Arboles dispersos	Matorrales	Terrenos arenosos
Sensunapán	215.28	113.99	20.02	78.51
San Pedro	106.58	16.08	34.92	55.28
Sunza	106.10	41.60	13.76	50.45
TOTAL	427.96			

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 5: Porcentajes del tipo de cobertura vegetal.

Cuenca	Porcentaje de área que cubren (%)		
	Arboles dispersos	Matorrales	Terrenos arenosos
Sensunapán	26.6	4.7	18.3
San Pedro	3.8	8.2	12.9
Sunza	9.7	3.2	11.8
TOTAL	40.1	16.1	43.1

Fuente: Elaboración propia.

La cuenca Sensunapán contiene 50.24% del área total del sistema hídrico que descarga en la Bocana El Limón, este porcentaje se distribuye de la siguiente forma:

- 26.6% está representado por zonas con árboles dispersos, distribuidos en la parte alta y media de la cuenca, correspondientes a la cadena de cerros que cruzan la zona de oriente a occidente.
- 4.7% de la cuenca está cubierta con matorrales menores que 3 metros de alto, concentrados en la zona media y media-baja de la cuenca.
- La zona baja de la cuenca está cubierta por suelos arenosos, lo cual constituye el 18.3%, ya que es una zona de interacción entre el ambiente costero-marino y el continente.

La cuenca San Pedro contiene 24.97% del área total del sistema hídrico que descarga en La Bocana El Limón, este porcentaje se distribuye de la siguiente forma:

- 3.8% son zonas de árboles dispersos, ya que su parte alta está limitada por los cerros El Cerrito, Cerro de Apaneca, y el Cerro de Oro.
- 8.2% la constituyen matorrales menores que 3 metros de alto, ubicados en la zona media de la cuenca.
- 12.9% son suelos arenosos, ubicados en su mayor extensión en la parte baja.

La cuenca Suncita, contiene 24.7% del área total del sistema hídrico que descarga en la Bocana El Limón, este porcentaje se distribuye de la siguiente forma:

- 9.7%, de árboles dispersos, ubicados en la parte alta cercana a la sierra Apaneca.
- 11.8% de suelos arenosos ubicados en la parte media y baja de la cuenca y 3.2% de matorrales aislados, ubicados en la zona baja, tal como se muestra en la Tabla 5.

Las tres cuencas presentan terrenos sujetos a inundaciones, representados en porcentajes entre 12% a 18% del área total de ellas en conjunto, constituyendo zonas de alto riesgo, principalmente ante eventos extraordinarios, ya que la combinación entre las bajas pendientes y denudación de suelos arenosos, crean ambientes propicios para mayor erosión y por consiguiente generan sedimentación de suelos en suspensión que llegan a las partes bajas, con grandes volúmenes de agua que se van descargando en avenida, y provocan desbordes de agua en la zona, cuya consecuencia es erosión regresiva en estos bordes continentales y marinos.

Uso de suelos en la zona.

La cuenca en análisis, abarca 18 tipos diferentes de usos de suelos dentro de los encontrados en el territorio Nacional, ver Mapa 6, desarrollándose por zonas de la siguiente manera:

- Zona alta predomina el cultivo de café, corresponde a casi la mitad (45.85%) del uso total del suelo. En esta zona las pendientes son variables entre 10% y 50%, propicio para el cultivo en terraza.
- Los granos básicos, 28.26% del uso de suelo de toda la cuenca, y ocupan la zona media donde las pendientes varían entre 1.2% y 5%.
- En la zona baja de la cuenca, el uso de suelos es diverso, predominando vegetación arbustiva de playa, pastizales, palmeras, hortalizas, etc. Representando cada uno, menos que 5% de proporción respecto al área total, ya que es la zona angosta de la cuenca. Las pendientes ahí son mínimas, 0% a 1.5%. El tejido urbano correspondiente a las ciudades de Sonsonate, Acajutla, San Pedro Puxtla, San Antonio del Monte, Santo Domingo de Guzmán, Sonzacate, representan menos que 3% del total del área de la cuenca. Ver Tabla 6.

Tabla 6: Uso de suelos en las cuencas Sensunapán, San Pedro y Sunza.

Uso de suelo	Cuenca							
	Sensunapan		San Pedro		Sunza		Total	
	Area (Km ²)	%						
Café	126.20	29.49	22.00	5.14	48.00	11.22	196.20	45.85
Granos Básicos	24.50	5.72	55.28	12.92	41.18	9.62	120.96	28.26
Tejido Urbano discontinuo	3.39	0.79	0.62	0.14	0.86	0.20	4.87	1.14
Arboles frutales	15.32	3.58					15.32	3.58
Pastos Naturales	11.88	2.78	4.69	1.10			16.57	3.87
Tejido Urbano continuo	8.37	1.96					8.37	1.96
Tejido Urbano precario	0.39	0.09	0.19	0.04			0.58	0.14
Vegetacion arbustiva baja	0.56	0.13					0.56	0.13
Pastos Cultivados	4.13	0.97			2.86	0.67	6.99	1.63
Caña de azucar	3.64	0.85					3.64	0.85
Hortalizas	10.03	2.34	8.13	1.90	0.60	0.14	18.76	4.38
Praderas montañosas	0.68	0.16					0.68	0.16
Marismas interiores	0.69	0.16					0.69	0.16
Cultivos anuales	4.91	1.15	9.73	2.27	5.64	1.32	20.28	4.74
Vegetacion arbustiva de playa	0.59	0.14	0.14	0.03			0.73	0.17
Mosaico de cultivos y pastos			5.80	1.36	6.96	1.63	12.76	2.98
TOTAL	215.28	50.30	106.58	24.90	106.10	24.79	427.96	100.00

Fuente: Elaboración propia.

Estas prácticas agrícolas y uso del suelo condicionan la vulnerabilidad del suelo a ser erosionado, ya que el agua de escorrentía arrastra y transporta, en su paso, los suelos más sueltos, llegando estos en suspensión a los cuerpos de agua para el inicio del ciclo de sedimentación que incluye su posible transitoriedad estacionaria local.

1.3.5.4 Desembocadura y tipos de desembocaduras

La desembocadura, es la parte más baja de un río. Es la sección del curso de agua donde vierte sus aguas al mar o a un lago. Puede tener las siguientes formas: Estuario, Ría, Delta, Angosta.

Los estuarios, se originan porque la entrada de aguas marinas durante la pleamar, retienen las aguas del río, mientras que durante la bajamar, todas las aguas comienzan a entrar a gran velocidad en el mar u océano, lo que contribuye a limpiar y profundizar su cauce, dejando a menudo, grandes zonas de marismas.⁴¹

⁴¹<http://es.wikipedia.org/wiki/Marisma>. Marisma: ecosistema húmedo con plantas herbáceas que crecen en el agua.

Los ecosistemas de los estuarios suelen caracterizarse por una alta productividad biológica y por su gran biodiversidad.⁴²

La ría, es una de las formas que puede adoptar la desembocadura de un río, formando un valle costero sumergido o estuario, anegado por el mar y por una elevación de su nivel, obteniendo como consecuencia, un brazo de mar que se interna en la costa, coincidiendo con la desembocadura de un río, que está regido también por las subidas y bajadas de las mareas.⁴³

Delta de un río, es la desembocadura de un río permanente, caudaloso, en forma asociada con la letra griega delta (Δ), donde mediante sedimentos que se depositan a medida que la corriente del río va desembocando en el mar van quedando canales que en vista en planta, simulan una pata de gallina. Está compuesto por brazos o "caños" fluviales que separan a las islas en las que se han ido depositando los sedimentos acarreados por ese río, al llegar al mar, océano o lago. Los depósitos de los deltas de los ríos más grandes se caracterizan porque el río se divide en múltiples brazos que se van separando y volviendo a juntarse para formar un cúmulo de canales activos e inactivos.

Los deltas y los estuarios constituyen las dos formas principales de desembocadura de los ríos en los mares, océanos, lagos o en otros ríos más grandes. Su presencia en las desembocaduras está originada por la amplitud de las mareas. Cuando las mareas son muy intensas, la desembocadura de los ríos en los océanos suele ser del tipo estuaria, ya que durante la pleamar se represan las aguas del río, mientras que en la bajamar se produce una gran aceleración de la velocidad de las aguas, lo que impide la acumulación de los sedimentos que forman las islas en el caso de los deltas. Por ello los deltas suelen producirse más en los lagos, mares y hasta en la desembocadura de los grandes ríos. El material térreo que forma el delta es bastante variado, una mezcla de arcilla, limo y arena. Estos materiales pueden ser arrastrados por la corriente fluvial en función de la velocidad de ésta, y acumularse o no, según sea la mayor o menor intensidad de las mareas. El suelo

⁴² <http://es.wikipedia.org/wiki/Estuario>

⁴³ <http://es.wikipedia.org/>

de los deltas es generalmente fértil, aunque algunas veces tienen alto contenido de sales en bancos de evaporitas.

1.3.6 Desarrollo Eólico de la zona.

Los vientos son agentes causantes de erosión y transporte de partículas en suspensión hacia los cuerpos de agua, estos son generados por diferencia de presión atmosférica por las diferencias de temperatura y humedad del aire, la cual está organizada en centros de alta y baja presión. En un centro de alta presión atmosférica este tiene mayor presión que la periferia, el aire seco y frío desciende de niveles superiores hacia los niveles inferiores por el centro del sistema. En un centro de baja presión atmosférica ocurre lo inverso, la presión es menor en el centro que en la periferia, el aire húmedo y caliente asciende de niveles inferiores hacia los superiores por el centro del sistema.

Los vientos se mueven hacia donde la presión es menor y por efecto de la rotación de la tierra hacia la derecha en el Hemisferio Norte. Por esta razón la circulación resultante es anticiclónica (a favor de las manecillas de un reloj), cuando son alrededor de los centros de alta presión atmosférica; y ciclónica (contra las manecillas de un reloj), en el caso de los centros de baja presión atmosférica. En primavera (de abril a junio) y verano (de julio a septiembre) del Hemisferio Norte, se localizan centros de baja presión en el Océano Pacífico Oriental Tropical al Oeste de El Salvador, por lo que vientos del Sur soplan sobre el territorio, transportando aire húmedo y caliente. En el otoño (de octubre a diciembre) e invierno (de enero a marzo) del Hemisferio Norte, se localizan centros de alta presión atmosférica sobre América del Norte al Oeste de El Salvador, por lo que vientos del Norte soplan sobre el país, transportando aire seco y frío.

La escala Beaufort, describe el viento, ver Tabla 7, relacionando velocidad del viento con la altura del oleaje y las condiciones en mar y tierra. La escala Douglas, (ver Tabla 7 y 8) describe el oleaje relacionando su altura con su origen, es decir, mar local o mar de leva. Esta última clasificación, es la aceptada por la Organización Meteorológica Mundial para caracterizar el estado del mar.

Tabla 7: Escala de Vientos de Beaufort.

Escala	Velocidad del viento		Descripción	Altura del oleaje		Condiciones en mar	Condiciones en tierra
	Kph	Nudos		m	ft		
0	<1	<1	Calma	0	0	Superficie del mar lisa.	El humo sube verticalmente.
1	2-4	1-2	Ventolina	0.1	0.3	Superficie del mar rugosa.	El movimiento del viento es visible en el humo.
2	6-19	3-10	Brisa suave	0.6	2	Oleaje de longitud corta. Rompimiento parcial de crestas. Espuma cristalina.	El viento se siente en la piel y las hojas susurran. Las hojas en constante movimiento.
3	20-28	11-15	Brisa moderada	1	3.3	Incremento en la longitud del oleaje. Rompimiento parcial de crestas. Espuma blanca. El sonido es suave y se disipa rápidamente.	El polvo y papel suelto se eleva. Pequeñas ramas comienzan a moverse.
4	30-37	16-20	Brisa regular	2	6.6	Oleaje de longitud mediana. Rompimiento total de crestas. Espuma blanca. El sonido es suave pero perdura por más tiempo.	Ramas de tamaño moderado se mueven. Pequeños árboles comienzan a balancearse.
5	39-48	21-26	Brisa fuerte	3	9.9	Oleaje de longitud mediana e incremento en la altura del oleaje. Superficie del mar con áreas de espuma blanca. El sonido es fuerte.	Ramas grandes se mueven. Los cables silban. Se hace difícil el uso de sombrillas. Depósitos vacíos de basura se vuelcan.
6	50-	27-	Temporal	4	13.1	Superficie del mar encrespado. La	Los árboles se mueven. Se requiere

	61	33	moderado			espuma tiende a alinearse en bandas en la dirección del viento.	un esfuerzo para caminar contra el viento. Se puede sentir el balanceo en los últimos pisos de edificaciones altas.
7	63-87	34-47	Temporal regular	7	23	Incremento de la longitud y altura del oleaje como de la longitud de sus crestas. Las bandas de espuma acortan distancia.	Se rompen las ramas de los árboles. Los carros son desviados por la fuerza del viento. Se caen pequeños árboles, señales de construcciones temporales y barricadas. Daños en carpas.
8	89-117	48-63	Temporal fuerte	11.5	37.7	Oleaje de gran altura y longitud de cresta. Rompimiento constante del oleaje. Formación rápida de bandas de espumas. Superficie del mar con grandes áreas de espuma blanca. Visibilidad reducida.	Se rompen los árboles o son sacados de raíz. Árboles jóvenes son doblados y deformados. Se levantan láminas mal sujetadas de los techos. Daños extendidos en la vegetación. En la mayoría de techos se desprenden láminas.
9	>117	>63	Huracán	>14	>46	Oleaje de enorme altura en constante rompimiento. El aire está saturado de agua pulverizada por el viento. Visibilidad mínima.	Daños considerables y extendidos en la vegetación. Algunas ventanas rotas. Daños estructurales a casas móviles y edificaciones mal construidas. Basura arrojada o lanzada por el viento.

Fuente: <http://www.aemet.es/documentos/maritima/escalasdevientoyoleaje.pdf>.

Basándose en datos registrados en la estación ACAJUTLA, ubicada a 600m rumbo sur- este, hacia el actual puerto, la velocidad promedio anual del viento en esta zona, es 10.6 km/h; de acuerdo con la escala Beaufort, corresponde a brisa suave, con una altura de oleaje promedio de 0.6 m, como se muestra en la Tabla 7. Según la clasificación de Douglas en la Tabla 8, el mar local es de tipo marejada, y el mar de leva, son olas cortas y moderadas. En la Tabla 9 el oleaje se clasifica como altura pequeña, con longitudes menores que 100 metros y periodos menores a los 10 segundos en el mar local.

Tabla 8: Escala de oleaje de Douglas.

Escala	Altura del oleaje (metros)	Descripción del mar local	Descripción del mar de leva
0	0	Llana	Sin olas
1	0.00 - 0.10	Rizada	Olas cortas y pequeñas
2	0.10 - 0.50	Marejadilla	Olas largas y pequeñas
3	0.50-1.25	Marejada	Olas cortas y moderadas
4	1.25-2.50	Fuerte marejada	Olas medianas y moderadas
5	2.50-4.00	Gruesa	Olas largas y moderadas
6	4.00 -6.00	Muy gruesa	Olas cortas y grandes
7	6.00 -9.00	Arbolada	Olas medianas y grandes
8	9.00 – 14.0	Montañosa	Olas largas y grandes
9	14	Enorme	Olas de longitud y altura variable

Fuente: <http://www.aemet.es/documentos/maritima/escalasdevientoyoleaje.pdf>

Tabla 9: Clasificación del oleaje.

Altura	Metros	Longitud	Metros	Período	Segundos
Pequeña	<2	Corta	<100	Mar local	$T_p < 10$
Moderada	2-4	Mediana	100-200	Mar de leva	$T_p > 10$
Grande	>4	Larga	>200		

Fuente: <http://www.aemet.es/documentos/maritima/escalasdevientoyoleaje.pdf>

1.3.6.1 Vientos predominantes en la costa salvadoreña.

El desarrollo del viento frente a la costa salvadoreña durante la estación seca, de diciembre a abril, todos los vientos, cerca de la costa y aún mar adentro, soplan mucho más desde rumbos norte y noreste, generalmente con fuerza 4 en la escala de Beaufort, porque el territorio salvadoreño, se encuentra sobre una costa expuesta hacia el suroeste. Estos vientos invernales del norte, soplan de tierra a mar. Durante la estación lluviosa de mayo a octubre las condiciones de viento delante de la costa y más mar adentro son diferentes. Sobre el océano soplan en esta época, generalmente del suroeste y rumbos vecinos, sin alcanzar la costa en superficie. En el área cerca de la costa, los vientos son variables, el porcentaje de días con calma es alto. Estas condiciones del viento resultan del predominio de la corriente de vientos alisios del noreste de la estación seca y de la influencia de la zona Intertropical del Oeste, con vientos del suroeste desde el mar.⁴⁴ Ver Tabla 10.

Tabla 10: Características de los vientos según estación climática.

Periodo Climático	Estación lluviosa	Estación seca
	Mayo-inicios de Octubre	Octubre a inicios de Mayo
Vientos, circulación general	Vientos del suroeste desde el mar, influencia de la zona Intertropical del oeste.	Vientos Alisios del norte.
Vientos, fenómenos especiales	Ocurrencia de "temporales" con lluvias persistentes de 3 a 6 días desde el sur, fenómeno del monzón.	Ocurrencia de nortes, ramales de northes de los Estados Unidos que soplan desde la serranía de Honduras con efectos en forma de foehn o de bora.

Fuente: Geografía de El Salvador, Dirección de Publicaciones, 1ra Edición tomo 1. San Salvador 1986.

⁴⁴EMDEN, Gierloff. La Costa de El Salvador. Monografía Morfológica-Oceanográfica, página 47.

1.4 EROSION Y SEDIMENTACION, INTEMPERISMO Y DEGRADACION.

Erosión, es el proceso de sustracción o desgaste de la roca o suelo, por acción de procesos geológicos exógenos como las corrientes superficiales de agua o hielo glaciario, el viento o la acción de los seres vivos. La erosión es el arranque y transporte de granos de suelo o roca, que se depositan instantánea o permanentemente.

Sedimentación, es un proceso que tiene lugar cuando los suelos de roca, después de erosionados y transportados por cualquier agente dinámico, por ejemplo, una corriente de agua o viento, los depositaron por la disminución de la velocidad del flujo y por su propio peso; al final, quedan acumulaciones de ellos, dando lugar a formas propias que de manera natural tienen lugar según el ambiente de ocurrencia. Por ejemplo, dunas, tolvas como terrazas, depósito sedimentarios. Así, Las características de los depósitos sedimentarios dependen de la naturaleza del agente de transporte. En el caso de los ríos, mares o viento, el sedimento se deposita cuando el movimiento se reduce hasta el mínimo, alcanzando la velocidad de depositación de la carga en suspensión (ley de Stoker). Es el último paso en el proceso de la metamorfogénesis. En geomorfología, se consideran dos tipos de sedimentación, por características físicas propias y composición y los medios donde estos se depositan, sedimentación continental y sedimentación marina. Los sedimentos continentales, se caracterizan por ser gruesos y angulosos y su fragmentación y pérdida de ángulos depende de la cantidad de golpes que reciba el fragmento durante el transporte, y este es más pasivo o menor en un medio continental que en un medio marino. Los sedimentos marinos se caracterizan por ser finos y muy redondeados, producto del continuo golpeo de los fragmentos entre sí, particularmente en las zonas del litoral.

El proceso clásico de sedimentación, comprende varios estadios. Se inicia con la alteración del material procedente, ello conlleva a que, encima de la roca intacta, esta se profundiza en un espesor en función del tipo de agente de alteración, de la naturaleza del material y de la posibilidad de aportación de los productos. El transporte se realiza generalmente mediante el agua, en primer lugar en los arroyos, después en los ríos y finalmente en el mar (corrientes y oleaje), pero puede deberse también al viento, a los glaciares, a la gravedad e incluso a

organismos vivientes en el ambiente. Ello conduce, en general, a una clasificación en base a dimensiones, peso específico, composición química y mineralógica. En el transporte mediante el agua. La depositación y el sedimento toman características de textura definitiva. El estadio final del proceso de sedimentación está constituido por la litificación, o sea la consolidación del sedimento suelto en roca y demás procesos de coherencia de los granos entre sí, para "fundirse y soldarse entre sí para la litificación"; este proceso se realiza por precipitación mecánica o química y soleamiento a través de un elemento cementante de los gránulos detríticos. Esta fase se complementa con la diagénesis, que es la recristalización parcial debida a la presión de los sedimentos dispuestos en las capas superiores, a la disolución y al intercambio químico selectivo operado por las aguas congénitas, que a menudo lleva a la formación de rocas de composición particular, por ejemplo las dolomitas, que son rocas sedimentarias. La diagénesis corresponde a los cambios físicos y químicos que afectan al sedimento después de su depositación y la litificación, corresponde a los procesos por los cuales un sedimento depositado se convierte lentamente en una roca sedimentaria sólida. Una de las consecuencias más importantes de los procesos diagenéticos es la pérdida de porosidad, o espacio entre las partículas de la roca, que cada vez se van apretando entre sí, disminuyendo el porcentaje de vacíos o aire contenido, así mismo los porcentajes de gases que componen todo cuerpo solidificado.

El intemperismo es la reacción de un material, que alguna vez estuvo en equilibrio dentro de la corteza terrestre, a nuevas condiciones como el contacto con agua, aire o materia viviente. Todas las rocas que por algún proceso geológico, quedan expuestas a la superficie de la tierra, interactúan con la atmósfera, hidrosfera y biosfera, como resultado a esta interacción, las diferentes especies minerales que conforman las rocas expuestas, se desestabilizan, produciendo degradaciones como cambios físicos y químicos o intemperismo.

Meteorización, es la descomposición, desintegración y destrucción de las rocas, o desgaste de ellas, como respuesta a su exposición (intemperismo) ante los agentes internos y externos, propios de su ambiente. Por ejemplo, agua (lluvia), aire, variaciones de temperatura, acción de organismos vivientes o biológicos, etc. La mayor parte de estos procesos, son fundamentalmente mecánicos o físicos (desintegración de la roca en trozos cada vez más pequeños), o bien,

dominantemente químico (descomposición de los componentes minerales originales de la roca transformándose en otros diferentes). Aunque los procesos de ambos tipos se analizan por separado, en la naturaleza, usualmente, actúan juntos.

La meteorización mecánica, se lleva a cabo por fuerzas físicas que rompen la roca, en trozos cada vez más pequeños, sin modificar su composición mineral. Se produce por alguna o una combinación de las siguientes causas y procesos:

1.- Presencia de zonas (planos) de debilidad. Todas las rocas tienen líneas y planos de debilidad en estratificaciones y foliación, fracturas, diaclasas, etc. Entre más cercanos se encuentren estos planos entre sí, más favorecerán la desintegración de las estructuras rocosas.

2.- Expansión provocada por descompresión. La eliminación de una fuente de presión, hace desaparecer una roca por erosión, provocando el fenómeno de lajeamiento (Figura 23) y exfoliación, planar o esferoidal (Figura 24). La exfoliación esferoidal, es típica en las rocas intrusivas graníticas, el intemperismo actúa superficialmente, profundizándose a través del tiempo. En sus zonas fracturadas, grietas, o donde el agua penetra y reacciona químicamente, los fragmentos de roca que han adquirido esa forma, también desarrollan este tipo de estructura, y llegan al encascaramiento.

3.- Fragmentación por hielo o gelifracción. El agua congelada se expande 9% al congelarse. Cuando ocurre en un espacio confinado, se ejerce gran presión en las paredes del recipiente, que se rompe. En las rocas, el proceso de rotura por cuñas de hielo es la gelifracción.

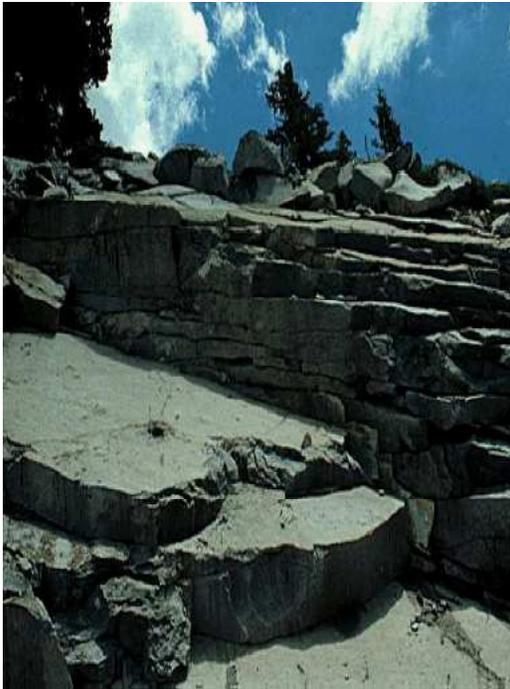


Figura 23. Foleación, escalonada en terrazas de declive.

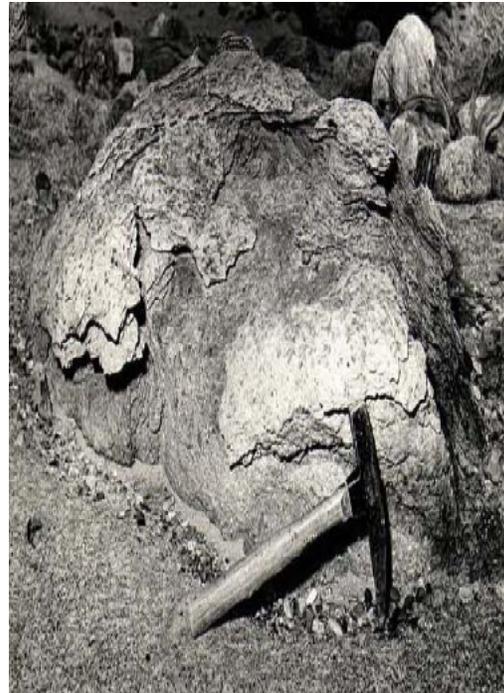


Figura 24. Exfoliación esferoidal.

4.- Expansión y contracción térmica. Los minerales aumentan su volumen a temperaturas altas, tienen diferentes propiedades, por ejemplo, contracción y dilatación térmica. Durante día y noche los minerales en una roca cambian la magnitud de su volumen, provocando un rompimiento de los contornos entre los minerales.

5.- Fragmentación por crecimiento de minerales. El crecimiento de minerales a partir de soluciones circulantes en las fracturas de las rocas, produce fuerzas expansivas que rompen la roca. Esto ocurre por enriquecimiento de cristales o recristalización enriquecida, por ejemplo, al cristalizar carbonato de calcio y más raramente yeso o sales minerales.

6.- Actividad biológica. Ocurre por efecto mecánico directo (acción de raíces de árboles, movimientos de organismos vivientes o biológicos en el suelo) o indirecto, por emisión de ácidos orgánicos (intemperismo químico).⁴⁵

La meteorización química, es el conjunto de procesos complejos que descomponen las rocas (estructuras internas de los minerales), generando nuevos minerales, liberando compuestos y elementos al medio, generalmente acuoso.⁴⁶ Una particularidad del intemperismo químico es, que los nuevos productos son estables en el medio en el que se han producido, manteniéndose inalterados hasta que el ambiente cambia. El agente de meteorización química más importante es el agua, por su calidad de solvente casi universal. Además, pequeñas cantidades de materiales disueltos dan como resultado un aumento de la actividad química del agua.

Los principales procesos de meteorización química son:

1.- Disolución. Es el proceso de mezclar homogéneamente, dos o más sustancias que no reaccionan entre sí. La mayoría de los minerales son, a efectos prácticos, insolubles en agua pura; pero la presencia de pequeñas cantidades de ácido (H_2CO_3 , ácidos orgánicos) incrementa de manera notable la capacidad corrosiva del agua.

2.- Oxidación. Es el proceso por el cual, el oxígeno se combina con otros elementos o compuestos, o bien éstos pierden electrones.

3.- Hidrólisis. Es el fenómeno por el cual, una sustancia reacciona con el agua. Usualmente, el ión H^+ del agua disociada substituye algún catión de la red cristalina, lo cual la desestabiliza al destruir la disposición ordenada original y se

⁴⁵ Cecilia Irene Caballero Miranda, Asignatura Ciencias de la Tierra, Facultad Ciencias, Universidad Autónoma de México (UNAM).

<http://www.geofisica.unam.mx/~cecilia/cursos/Intemperism.pdf>

⁴⁶ Cecilia Irene Caballero Miranda, Asignatura Ciencias de la Tierra, Facultad Ciencias, Universidad Autónoma de México (UNAM).

<http://www.geofisica.unam.mx/~cecilia/cursos/Intemperism.pdf>

va descomponiendo. En estado natural, es frecuente que el agua contenga iones H^+ adicionales, lo cual acelera la meteorización.

Los agentes erosivos como viento, hielo glaciar y aguas corrientes van retirando más fácilmente los fragmentos que se originan de la fragmentación mecánica. La meteorización mecánica rompe a la roca en pedazos cada vez más pequeños que conservan las características de la roca original. Este proceso aumenta la superficie expuesta al intemperismo.

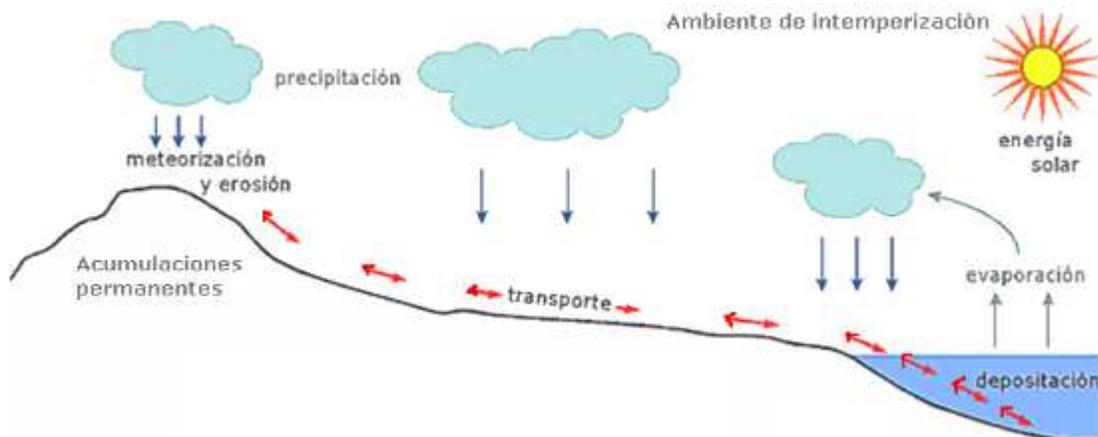


Figura 25. Procesos de meteorización y erosión de los sedimentos a partir de la roca madre, luego ocurre su posterior transporte y deposición en cuencas sedimentarias.⁴⁷

1.4.1 Procesos Mecánicos, superficiales, que se desarrollan en el lecho marino, costa y talud o borda continental.

Los procesos mecánicos que rigen el desplazamiento de las partículas sólidas durante el ciclo hidrosedimentológico pueden identificarse como sigue: desagregación, erosión, transporte, decantación o sedimentación temporal, depósito y consolidación.

⁴⁷http://mct.dgf.uchile.cl/AREAS/mine_mod230.pdf

La desagregación, es el desprendimiento de partículas del medio, roca o suelo, que son parte componente de su estructura, este es un efecto de la meteorización mecánica, principalmente.

La erosión, es el proceso de arranque y desplazamiento en un medio, desde su lugar de origen, de las partículas sólidas de la superficie del suelo o de los lechos de los cursos de agua. El agente erosivo más importante es el agua, y la erosión puede relacionarse con la temperatura o la precipitación media anual. Las fuerzas resistentes a la erosión incluyen la gravitatoria y las de estructura o trabazón granular, así como los agentes ligantes o cementantes. Tienen su origen principalmente en la composición, el peso de la partícula y en las fuerzas de cohesión de las masas compuestas.

La erosión hidráulica, puede ser de dos tipos, erosión laminar, que es la que se produce por efecto de una lámina de agua en curso, de altura o espesor uniforme, en cada unidad de terreno y erosión encausada, en la cual, el agua tiende a escurrir en canales, cuya acción erosiva conduce a la formación de cada vez mayores y más densos cursos de agua. Si es más intensa la acción erosiva, esta puede formar cárcavas, según la calidad y tipo de materiales a los que afecta.

Erosión general, ocurre cuando no hay equilibrio entre la capacidad de transporte de la corriente fluyente y la cantidad de sedimento transportada.

Erosión local, ocurre siempre, aún en las corrientes de agua que han alcanzado un equilibrio entre su capacidad de transporte y la cantidad de sedimentos disponibles.

Las cárcavas, consisten en canales profundos que resultan de la acción del agua y la debilidad de los materiales, en quiebres de pendientes o donde el proceso erosivo canalizado es más evidente, profundo o muy profundo.

Agradación o depositación, ocurre cuando la capacidad de transporte del flujo es superada o no se alcanza a cubrir. Pueden depositarse partículas gruesas y finas en el lecho del cauce, por reducción local o general de la capacidad de transporte, donde la velocidad y la turbulencia se reduzcan, debido a constricciones locales o engargantados. La acelerada erosión también produce rápida descarga, por saturación de la capacidad de transporte.

La abrasión marina, es la erosión provocada por el oleaje. El transporte de sedimento conduce a pérdida de este material, y el oleaje debilita la roca en el área litoral. El material suelto de la costa funge como un agente erosivo, lijante y abrasivo. El fuerte oleaje contra las rocas fisuradas, desgarradas y fracturadas provoca la ruptura y desprendimiento de bloques de roca. La abrasión marina se fortalece mediante formación de nuevos cristales de sal en la roca fisurada, enriquecimiento químico y mecánico, aumentando la presión en la grieta. En las zonas donde yacen rocas calcáreas o salinas, se originan procesos de disolución, similares a los que ocurren en las áreas cársticas. Las plataformas de abrasión litoral y los acantilados son las formas de abrasión marina más comunes.

Acantilados. Los factores más importantes que influyen en el desarrollo de los acantilados son:

- La intensidad del oleaje en la base del acantilado.
- La composición de la roca (compacta o no compacta, estratificación).
- El relieve de la costa.

Las grutas, son las formas más comunes al pie o en el cuerpo plano de los acantilados. Estos modelados en formas de cuevas surgen de la continua perforación de la base de los acantilados por medio de la eficacia de las olas y por las zonas débiles de la estructura de estos. Por lo general, se diferencian tres tipos de acantilados:

1. Los acantilados de oleaje, son de pendiente fuerte y de génesis totalmente marina. (ver Figura 15, página 42)
2. Los acantilados compuestos, son modelados, en su base, por los efectos del mar, y en su parte superior, por otros agentes extra-marinos, principalmente cuando la roca que los conforman es vulnerable a movimiento en masa.
3. Los acantilados en sumersión alcanzan grandes profundidades. En vista de que en el fondo del piso marino no hay materiales abrasivos, por ejemplo arena, grava. No surgen acantilados de oleaje. En gran parte predomina un receso en la actividad morfogenética del mar.

Las plataformas de abrasión litoral, conocidas también como rasas costeras o terrazas de abrasión, son rampas rocosas con una pendiente muy suave (hasta 3°) sujetas a la abrasión marina y ubicadas por debajo de la superficie del agua a unos 10 m de profundidad, anchura variable. Existen terrazas de un kilómetro de ancho, pero, por lo general, son más angostas. Mientras más fuerte es la roca, más pronunciada es la pendiente, y mientras más fuerte son las olas y más alta la carrera de marea, más ancha es la plataforma de abrasión. La parte que aflora durante la marea baja muestra un sin número de formas pequeñas. A través de las oscilaciones del nivel del mar se originan diferentes niveles de plataformas de abrasión llamadas rasas escalonadas.⁴⁸

1.4.1.1 Modelado de la plataforma marina y la plataforma continental costera

El relieve se forma mediante el suministro (transporte, sedimentación, acumulación), o pérdida (erosión, meteorización) de rocas o sustancias del suelo que van modelando las zonas. El modelado costero, las formas de su relieve son creadas por la erosión y depositación por las fuerzas marinas sobre las líneas de costa de las masas terrestres. La importancia relativa de determinadas fuerzas marinas varía, según el tipo de línea de costa. Las que están expuestas a los océanos y mares pueden encontrarse muy alteradas debido especialmente a la acción de las olas, y están afectadas en menor grado por las corrientes de marea, los movimientos de subida y bajada del nivel del agua. Por el contrario, las líneas de costa resguardadas en bahías y estuarios suelen acusar enormemente la influencia de las corrientes de marea, mientras que el oleaje desempeña un papel secundario. La acción de estos procesos costeros, combinada con la sedimentación y el tipo y estructura de la roca de la zona, da origen a distintas formas de relieve. Cada una de ellas presenta problemas concretos para la gestión y conservación de

⁴⁸ Axel Borsdorf, Carlos Dávila, HannesHoffert, Carmen Isabel Tinoco Rangel, InstitutfürGeographie der Universität Innsbruck, Espacios naturales de Latinoamérica, Capítulo 2: Geomorfología, el relieve de Latinoamérica, 2.1.1.7.5.2 Plataformas de abrasión. <http://www.lateinamerika-studien.at/content/natur/naturesp/natur-681.html>

la zona costera.⁴⁹ El modelado terrestre en el área costera, además, está influido por los procesos siguientes:

- procesos terrestres exógenos (deslizamientos, procesos de escorrentía, eventos fluviales en el litoral).
- procesos biogénicos influyentes sobre el relieve (en el caso de los arrecifes coralinos, manglares de la costa).
- por la actividad morfogénicas de las tectónicas (formación de fosas tectónicas, eventos volcánicos; costa a lo largo de estructuras tectónicas).

La topografía de las costas es muy variada. Las costas acantiladas (o rocosas) y las playas de arena (o costas llanas) son unos de los principales componentes del relieve litoral. La formación de la costa depende de la capacidad de resistencia de la roca y el clima. A las rocas resistentes surgen acantilados profundos, y de las rocas fácilmente erosionables se originan formas poco claras y acantilados pequeños. Por la energía de las olas y del aire, costas expuestas a fuertes oleajes son más vulnerables a la erosión que los litorales protegidos, áreas que se caracterizan por las formas de acumulación. En Latinoamérica hay zonas costeras como las costas de manglares y los arrecifes coralinos sujetas a influjos climáticos, aunque las formas litorales no dependen en principio, de elementos climáticos ordenados según las zonas.⁵⁰

La correspondencia entre el dominio continental y el marino no se da de manera brusca, las pendientes de descenso van aumentando poco a poco hasta llegar a las profundidades del océano. La zona de transición tiene el aspecto de una plataforma que se inicia inmediatamente después de la línea de costa. En periodos geológicos recientes, gran parte de esta plataforma se encontraba fuera del mar. Al cambiar el nivel del agua durante las glaciaciones, la plataforma fue

⁴⁹Enciclopèdia Microsoft Encarta Online 2009.

http://es.encarta.msn.com/encyclopedia_961521959_3/Modelado_costero.html#howtocite

⁵⁰Axel Borsdorf, Carlos Dávila, HannesHoffert, Carmen Isabel Tinoco Rangel,

InstitutfürGeographie der Universität Innsbruck, Espacios naturales de Latinoamérica, Capítulo 2: Geomorfología, el relieve de Latinoamérica, 2.1.1.7 Procesos marinos y límnicos.

<http://www.lateinamerika-studien.at/content/natur/naturesp/natur-433.html>

cubriéndose, pero conservó la mayoría de sus características continentales, que han cambiado a través del tiempo, debido a los procesos de erosión y sedimentación. A esta plataforma se le llama plataforma continental, la cual, es la primera provincia del borde externo del margen continental y se encuentra después de la zona costera, hacia el mar. Con el avance y retroceso de la línea de costa, las características de las plataformas han cambiado; unas son de tipo continental y otras totalmente submarinas.

Estas plataformas que son muy diversas, resultan más irregulares en las regiones tropicales que en las zonas frías. Están conformadas por procesos de sedimentación y por la actividad de organismos sedentarios como los corales. En algunos lugares, las plataformas continentales tienen uno o dos escalones en el borde que las une al talud continental.

Tales escalones son planicies marginales.⁵¹ El ancho medio de la plataforma continental es de unos 60 km, y su pendiente media es menor que 0.25°. El borde continental se ubica a continuación del talud, y es difícil reconocer el lugar en donde se inicia.

La plataforma continental salvadoreña es casi tan extensa como su territorio; mar adentro y a poca distancia del límite de esta, se halla una fosa o graben submarino (aproximadamente a una distancia de 80 km, ver Figura 16, página 43), originada por una falla, con más de 5,000 m de profundidad y un abismo de 5,442 m, correspondiente a una región sísmica donde se localizan los epicentros del fondo del océano.⁵²

Elementos más importantes que definen los ambientes sedimentarios marinos: la principal influencia en la formación de su relieve son: fisiografía del medio, energía, clima, aporte de sedimento y cambios del nivel del mar. La fisiografía del medio define y limita las dimensiones del medio, geometría y profundidad. La

⁵¹ Juan Luis Cifuentes Lemus / María Del Pilar Torres García / Marcela Frías M., El Océano y sus Recursos II, Capítulo V: Origen y desarrollo de las plataformas continentales y de los fondos Oceánicos.

<http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen1>

⁵² Gran Enciclopedia Rialp, Ediciones Rialp S.A 1991. Canal Social. Montané Comunicación S.L.

http://www.canalsocial.net/Ger/ficha_GER.asp?id=6489&cat=geografia

energía comprende factores como la oceanografía (corrientes geostroficas, olas, mareas, tormentas) hasta otros como la tectónica. El clima puede condicionar algunos aspectos de la oceanografía, así como la naturaleza del aporte de sedimento y el volumen de material aportado. El aporte de sedimento afecta a la composición de los materiales procedentes de ella, y al volumen de sedimento, las áreas donde se originan pueden ser externa (terrestre o atmosférica) e internas (pre producción biológica marina).

Márgenes continentales y cuencas oceánicas, edificación y factores de control. Estas contienen información en su registro sedimentario de su propia evolución y dinámica geológica, por ejemplo, acerca de las variaciones del nivel del mar, variaciones climáticas, tectonismo, etc., permitiendo identificar oscilaciones globales y locales. El análisis del registro sedimentario se aborda a través de la estratigrafía, el reconocimiento y correlación de paquetes de estratos relacionados genéticamente, y que permite delimitar tridimensional la paleogeografía, establecer los modelos de dispersión y reconstruir la historia geológica de los sistemas depositacionales en los márgenes continentales y cuencas.

1.4.1.2 Procesos químicos de los elementos que componen el ambiente marino.

En el agua marina se encuentran disueltas diversas sales, particularmente cloruro de sodio, lo que proporciona al agua de una notable actividad química. Las más relevantes están relacionadas con la disolución de la caliza y la hidrólisis de las rocas silíceas. El agua de mar es una mezcla de 96,5% de agua pura y 3,5% de otros materiales, tales como sales, gases disueltos, sustancias orgánicas y partículas sin disolver.

Sobre las rocas calizas se forman lapiazes y dolinas, en la zona litoral salpicada por pequeñas gotas que permanecen cierto tiempo sobre la roca. También hay formas cársticas sumergidas (aunque no aparecen microformas) principalmente en la zona por encima de la menor bajamar. Además de las formas de disolución, hay formas de precipitación del carbonato cálcico, como el gres de playa que es una especie de arenisca formada por arena, conchas y gravas más o menos cementada por

calizas y el gres dunar, formado por cementación de las arenas y caliza. Estas son características en mares cálidos.

La hidrólisis, también genera en las rocas silíceas del litoral, oquedades similares a las calcáreas. La hidrólisis transforma los silicatos en arcilla, argilización, más fácilmente erosionable. Su desarrollo es más importante cuantos más silicatos tenga la roca, por lo tanto, en las rocas volcánicas es más limitado. En las rocas permanentemente sumergidas, este mecanismo queda bloqueado, al no existir mecanismos de transporte que retiren la parte afectada y descubra nueva roca sana que pueda ser atacada. En determinadas rocas muy sensibles a la hidrólisis, la argilización es total y la turbulencia del agua permite el desarrollo de formas submarinas en la roca.

Las rocas y sedimentos oceánicos se alteran por la reacción con agua de mar. La meteorización submarina incluye alteración de minerales de arcilla (cambios de uno a otro tipo), formación de glaucomita a partir de feldespatos y micas, y la formación de philipsita (una zeolita) y plagonita (vidrio volcánico alterado) a partir de ceniza volcánica. La meteorización submarina de los basaltos, especialmente en las dorsales oceánicas es un fenómeno químico de extrema importancia. El olivino y el vidrio intersticial en los basaltos se reemplazan por esmectita y posteriormente se forman minerales de las zeolitas y clorita. Como resultado, hay un intercambio de elementos entre las rocas y el agua marina y en ambos hay cambios importantes. Las fuentes hidrotermales submarinas en estos procesos, son claves, por la alta temperatura. Asociativamente, el aporte de materiales disueltos al agua de mar por meteorización submarina es tan importante como el aporte de los ríos desde el continente.

El oxígeno tiene un proceso cíclico en el océano (ver Figura 26), se encuentra como componente de la atmósfera y llega al mar al disolverse en el agua, de donde lo toman los vegetales y los animales para su respiración. Con las corrientes y el oleaje, la cantidad de oxígeno en el agua aumenta, pero también contribuyen a incrementar su cantidad los vegetales verdes, que durante el proceso de fotosíntesis, fijan el carbono y desprenden el oxígeno, como resultado de las reacciones químicas que efectúan, completándose el ciclo del oxígeno en el mar. La cantidad de oxígeno disuelto en el agua del mar es inversamente proporcional a

la profundidad, encontrándose en los grandes fondos marinos áreas carentes de este gas.

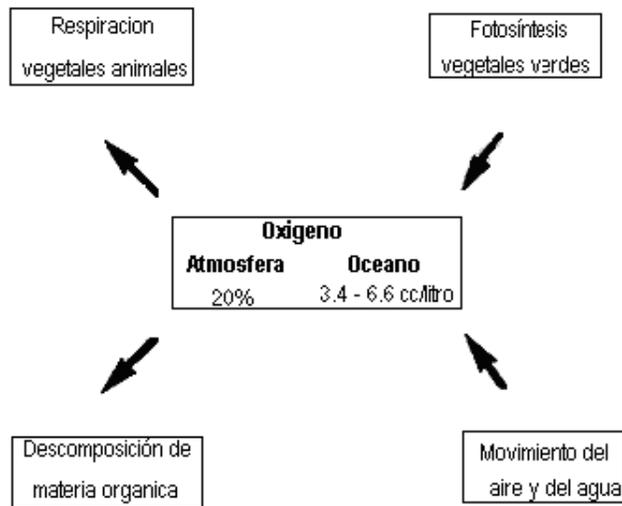


Figura 26. Ciclo del oxígeno.

En la mayoría de los océanos, los ciclos químicos que actualmente se producen pertenecen, mayormente, a un sistema oxidante. Sin embargo, en algunas zonas, aparecen situaciones en que el oxígeno se ha agotado por la descomposición de sustancia orgánica, en una proporción grande para que resulte insuficiente el oxígeno proveniente de la atmósfera o de las plantas fotosintetizadoras y, por tanto, prevalecen condiciones de carencias de este gas o anóxicas.⁵³

Para los procesos metabólicos de síntesis, también es indispensable el bióxido de carbono, el cual se encuentra en el mar en diferentes concentraciones, llegando a él, fundamentalmente, desde la tierra y la atmósfera como desecho de los procesos industriales del hombre, que al quemar la materia lo desprende durante las reacciones de combustión. También, las erupciones volcánicas submarinas

⁵³ Juan Luis Cifuentes Lemus / María Del Pilar Torres García / Marcela Frías M., EL OCÉANO Y SUS RECURSOS II, Capítulo XIII

<http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen1/ciencia2/12/htm/oceano2.html>

producen el bióxido de carbono existente en los océanos. Cuando los vegetales y los animales del mar realizan su respiración, utilizan el oxígeno que se encuentra disuelto en el agua y desprenden bióxido de carbono (CO₂). Asimismo, cuando estos vegetales y animales mueren, se desprende bióxido de carbono por la descomposición bacteriana (ver Figura 27), y es así como se repite el ciclo del carbono en el mar. El carbono también se encuentra en las aguas oceánicas en forma de carbonatos(CO₂, CO₃), los que llegan al mar al disolverse en los continentes, rocas carbonatadas del tipo de las calizas, y al ser arrastrados los sedimentos hasta la costa por los ríos, estos carbonatos, en especial el carbonato de calcio, son fijados por organismos como las algas coralinas, los corales y los moluscos, para formar sus exoesqueletos, que cuando mueren quedan depositados el fondo, siendo una fuente de estos carbonatos.

La distribución del CO₂ producido por el hombre en los océanos en todo el mundo, en alrededor de 72,000 muestras de todo el mundo, determinó, que los océanos habían absorbido 118 petagramos de bióxido de carbono equivalente a mil millones de toneladas métricas. Una tonelada métrica tiene más o menos el tamaño de un auto pequeño, por lo que el océano ha absorbido el equivalente de 118,000 millones de autos pequeños. Durante los últimos 200 años, esos 118 petagramos de carbono han rebajado el pH en una décima, que representa un incremento del 30 por ciento en la acidez del océano.⁵⁴

⁵⁴Richard Feely y Christopher Sabine, 2004, Seattle, Estados Unidos, Laboratorio Marino Ambiental del Pacífico de la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica, Revista digital América Gob., Oficina de Programas de Información Internacional (IIP) del Departamento de Estado de Estados Unidos.
<http://www.america.gov/st/env-spanish/2009/April/20090403170923emanym8.823794e-02.html?CP.rss=true>

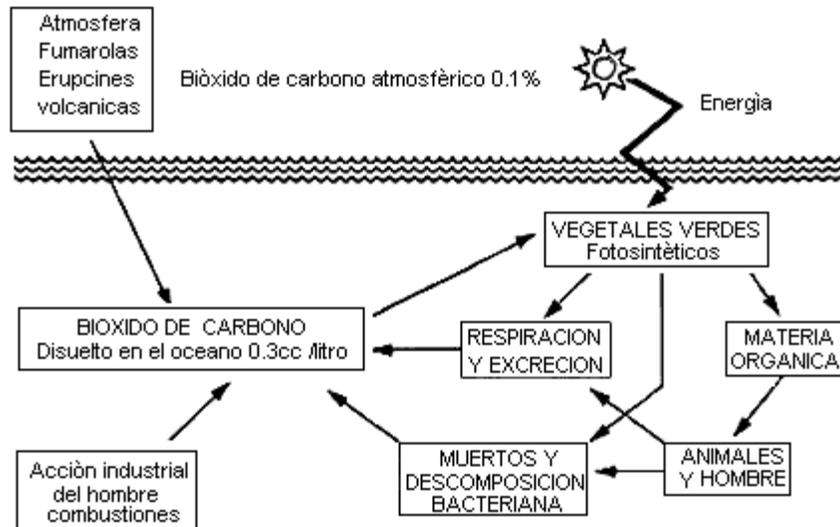


Figura 27. Ciclo del bióxido de carbono en el océano.

Dentro de los ciclos químicos del océano se encuentra el de los componentes químicos que intervienen en la salinidad, la cual es característica de las aguas del mar (ver Figura 28). La salinidad del océano está dada, fundamentalmente, por el sodio y el cloro, además de otros elementos como el magnesio, el calcio y el potasio, cuyas cantidades han variado de acuerdo con sus características fisicoquímicas a través de los años. Estos elementos proceden de la disgregación de masas de la tierra, que son arrastradas por las aguas de la costa a diferentes zonas oceánicas y también pueden originarse por el envejecimiento de los sedimentos oceánicos. Los compuestos químicos que se formaron de estos elementos, como el cloruro de sodio, que es uno de los principales, tienen un proceso cíclico, lo que permite encontrarlos en proporciones constantes en el agua del océano. Estas sales llegan al océano, principalmente, por los aportes de los ríos, como producto de la disgregación de las rocas por la acción de los factores del clima en la tierra; en el mar se disuelven en el agua, donde las fijan los organismos vivos o se sedimentan colaborando a formar la topografía de los fondos marinos, pero volviendo a combinarse con las aguas, al morir los organismos o al desgastarse la corteza de sedimentación, estableciéndose el ciclo químico de las sales en el océano, que hace que su composición química se

mantenga constante. La concentración de sales se mantiene más o menos constante a pesar de que las aguas de escurrimiento aportan anualmente al mar 400 millones de toneladas de sustancias sólidas, además de que, al evaporarse el agua del océano, ésta pasa a la atmósfera en forma de agua destilada dejando las sales. Los cambios de concentración que se podían presentar por estos fenómenos son muy pequeños, casi imperceptibles por el hombre. Estos materiales cedidos por la tierra al mar provienen de la erosión del suelo, la corrosión de materiales, la combustión y la erosión costera. Se ha calculado que casi 50 billones de toneladas de sales se encuentran disueltas en el agua de los océanos. El mar devuelve a la tierra algunos compuestos, principalmente en las pulverizaciones que acompañan a la lluvia costera, estableciéndose un depósito de materiales metálicos. También aportan sustancias sólidas al agua del mar las emanaciones producidas por los volcanes submarinos, como cloruro de hidrógeno, cloruro de sodio, cloruro de potasio, etc. El agua del mar está formada en un 96.5 por ciento de agua y 3.5 por ciento de sales disueltas; en promedio contiene 35 gramos de sales por litro, por lo que se dice que tiene 35 partes por mil (35,000), aunque esta proporción varía según las zonas del planeta siendo el término medio de 27 a 33 partes por mil.⁵⁵

Otro de los ciclos químicos que se realizan en el mar, es el de los elementos nutrientes, estos intervienen, de manera básica, en la vida vegetal de los océanos, y son indispensables para la producción de alimento. Están compuestos a base de nitrógeno, fósforo, sílice, manganeso, cobre y hierro; en su ciclo intervienen una serie de procesos químicos y biológicos, que determinan su concentración en las diferentes capas del agua del mar.

⁵⁵ Juan Luis Cifuentes Lemus / María Del Pilar Torres García / Marcela Frías M., EL OCEANO Y SUS RECURSOS II, capítulo X.

<http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen1/ciencia2/12/htm/oceano2.html>

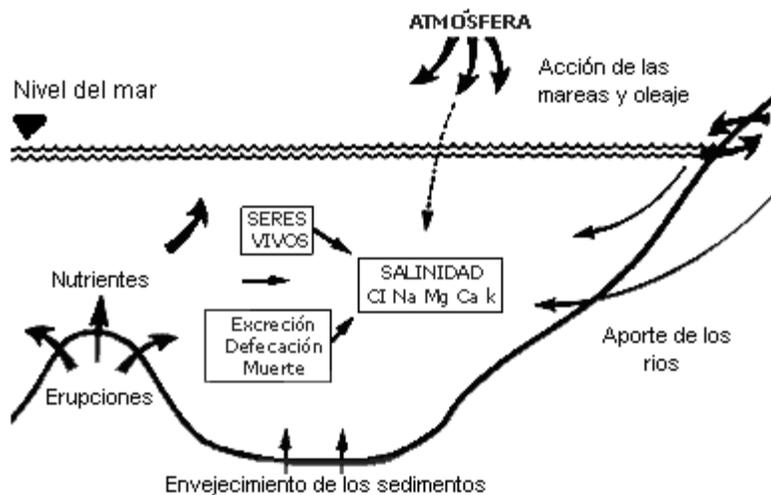


Figura 28. Ciclo de las sales en el mar.

Los nutrientes salen nuevamente a la superficie, por corrientes de agua ascendentes, que se producen al cambiar la temperatura de las diferentes masas de agua, en las llamadas zonas de surgencia o afloramiento, donde los toman los pequeños vegetales que forman el fitoplancton, los que al utilizar la energía solar y el bióxido de carbono vuelven a elaborar sustancia orgánica.

El principal elemento de estos nutrientes es el nitrógeno, cuyo ciclo en el mar es complejo (ver Figura 29). Este elemento se encuentra en estado gaseoso en la atmósfera y parte de él, disuelto en el agua del mar; químicamente, es muy estable y el que está en el mar responde con facilidad a una multitud de reacciones químicas y biológicas, encontrándose, generalmente, en forma de nitritos y de nitratos por la acción de las bacterias; estos compuestos son fácilmente asimilables por los vegetales verdes. Este nitrógeno asimilado representa el 35 por ciento del total del océano y el otro 65 por ciento se presenta en forma de nitrógeno gaseoso.

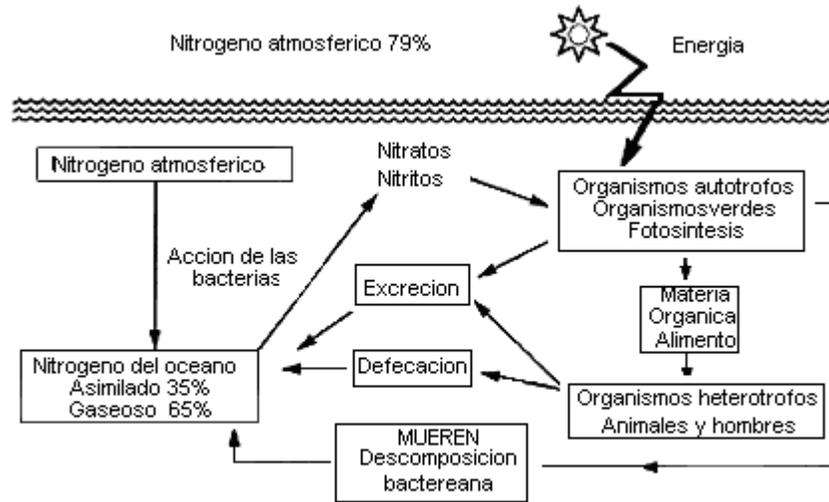


Figura 29. Ciclo del nitrógeno.

La provisión y distribución del total de nitrógeno se lleva a cabo por los aportes continentales, por las corrientes oceánicas y por las excreciones y muerte de los vegetales y animales marinos. El nitrógeno llega en forma de compuestos nitrogenados no asimilables, pero a través de la acción de las bacterias y de las algas verde-azules, durante el proceso de nitrificación, este se transforma en nitrógeno soluble, que lo fijan los vegetales verdes para formar nuevamente materia orgánica, la que a la vez es aprovechada por ellos o por los animales cuando se los comen, repitiéndose el ciclo de aprovisionamiento.

1.4.1.3 Morfología de la sedimentación.

En La Bocana El Limón los sedimentos son arenas francas, finas a gruesas, la forma de los granos de estos, en la playa, son redondeados a casi uniformemente esféricos, así mismo las gravas y boleas, presentes en la bocana, hay en muy poca cantidad, comparada con las arenas. La redondez de los granos se explica por el intenso transporte de las rocas que se hace por rodamiento sobre el piso marino, acompañada por la saltación, producto de este movimiento, se desgastan con rapidez las aristas de las partículas, quedando superficies alisadas y

redondeadas. Las arenas de playa provienen de las profundidades marinas muy desgastadas en aguas profundas, con granos muy superficialmente lijados, o durante el curso de una larga historia geológica. Otra característica de estos pétreos, en el lugar, es que presentan cúpulas por el choque entre partículas, "grano picado", es el producto del desgaste al chocar superficies con otras rocas. Su redondez natural, es debida al estado de desgaste de los bordes angulosos y es independiente de la forma. De acuerdo con la escala de estimación visual para determinar el índice de desgaste de las partículas, según Powers, 1953⁵⁶, las partículas bien redondeadas alcanzan un índice entre 0.60 a 0.80, este método es muy práctico debido a que se compara visualmente, las muestras obtenidas en el área de trabajo (Figura 21, página 54) con la escala de estimación (Figura 30), al aplicar la silueta de estimación visual, para el caso de la Bocana el limón, se obtienen índices de desgaste menores ubicándose entre 0.20 a 0.40.

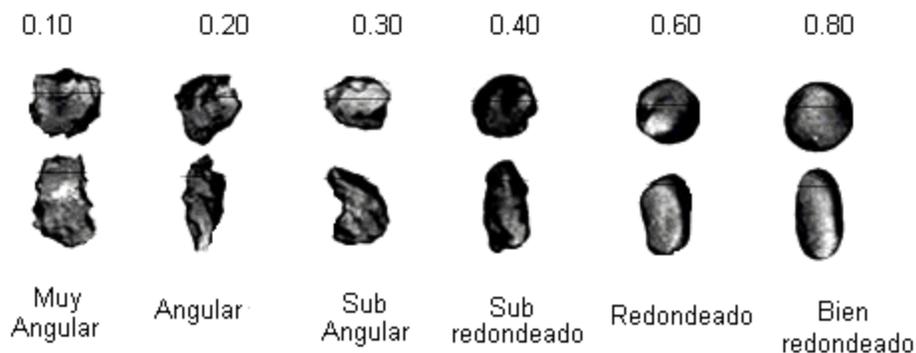


Figura 30. Escala de estimación visual para determinar el índice de desgaste de las partículas según Powers, 1953.

La ausencia de redondez plena (aristas y bordes bien redondeados) observada en partículas del lugar, se explica por el trayecto corto (cercano) recorrido mediante transporte de los sedimentos. Ver Figura 31.

⁵⁶ Powers, M.C.. A new roundness scale for sedimentary particles. JSP, v. 23, pág. 117-119. 1953.



Figura 31. Fotografía a escala natural, diámetros, morfología y coloración de los materiales pétreos existentes en la Bocana El Limón. Arreglo de diámetros recolectados in situ a orilla de playa del corte de agua de marea (diámetros de 2.61 cm a 0.67 cm).

1.4.1.4 Mineralogía.

Mineral es un sólido cristalino, inorgánico, que se forma de manera natural, con una composición química estrictamente definida y propiedades físicas propias.

Sustancias inorgánicas de existencia natural. La existencia natural excluye de los minerales a todas las sustancias elaboradas por los seres humanos. Las materias animal y vegetal no son minerales, no obstante, algunos organismos, como los corales y las almejas, forman sus conchas del compuesto carbonato de calcio (CaCO_3), el cual es aragonita o calcita, minerales ambos.

La naturaleza de los cristales. Por definición, un mineral es un sólido cristalino; esto es, un sólido en el que los átomos constitutivos están dispuestos en una estructura regular, tridimensional. En condiciones ideales, como las de una cavidad en la roca, los cristales minerales pueden crecer y formar cristales perfectos con superficies planas (caras del cristal), esquinas afiladas y bordes rectos (Figura 32).

La forma geométrica regular de un cristal mineral bien formado, es la manifestación exterior de una disposición atómica interna ordenada. No todas las sustancias rígidas son sólidos cristalinos; el vidrio natural y el manufacturado carecen de una disposición ordenada de átomos y se dice que son amorfos, sin forma.

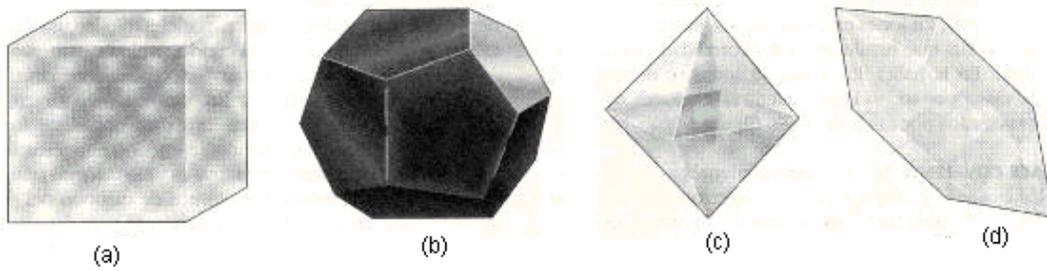


Figura 32. Diversas formas de cristales minerales. a) Los cristales cúbicos suelen formarse en los minerales halita, galena y pirita, b) Los cristales dodecaédricos, como los del granate, tienen 12 lados, c) El diamante tiene cristales octaédricos, o de 8 lados, d) Un prisma que termina en una pirámide se encuentra en el cuarzo.

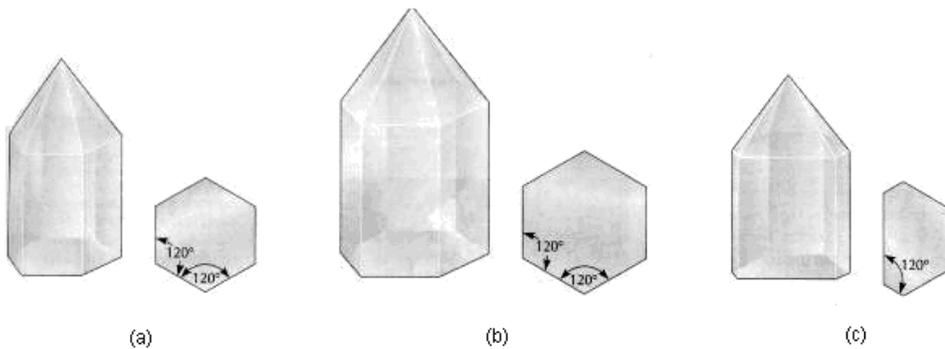


Figura 33. Vistas laterales y cortes transversales de tres cristales de cuarzo, con ángulos interfaciales constantes: a) cristal bien formado; b) un cristal mayor, y c) un cristal mal formado. Los ángulos formados entre las caras del cristal en diferentes especímenes del mismo mineral son los mismos, independientemente del tamaño o forma de esos ejemplares.

Muchos minerales, en las rocas, tienen clivaje, significa que pueden partirse o fracturarse a lo largo con planos separados por un estrechísimo espacio, indicando que la estructura interna del mineral controla tal fractura. La luz y los haces de

rayos X transmitidos a través de los minerales, indica que hay una disposición ordenada de átomos dentro de los minerales.

Composición química del mineral. La fórmula química, es una forma abreviada de indicar el número de átomos de los diferentes elementos que lo componen. Por ejemplo, el cuarzo mineral consta de un átomo de silicio (Si) por cada dos átomos de oxígeno (O) y, tiene la fórmula SiO_2 ; el número en el subíndice indica el número de átomos. Hay unos pocos minerales que se componen de un solo elemento; se les conoce como elementos nativos por ejemplo platino (Pt); grafito y diamante, estos dos son compuestos de carbono (C); la plata (Ag) y el oro (Au). En muchos minerales su composición química es constante, cuarzo (SiO_2) y halita (NaCl); otros tienen una gama de composiciones, porque un elemento puede sustituir a otro, si los átomos de dos o más elementos son aproximadamente del mismo tamaño y la misma carga.

Diversidad mineral. Se han identificado y descrito más de 3500 minerales, aproximadamente dos docenas, son particularmente comunes. Muchas combinaciones de elementos son químicamente imposibles; no hay compuesto que conste sólo de potasio y sodio, o de silicio y hierro. Otro factor importante que restringe el número de minerales es que sólo ocho elementos químicos constituyen el grueso de la corteza de la Tierra. El oxígeno y el silicio constituyen más del 74% (por peso) de la corteza y casi 84% de los átomos disponibles para formar compuestos. La mayoría de los minerales comunes consisten en estos elementos, combinados con uno o más de los otros incluidos en la Tabla 11.

Propiedades físicas de los minerales. Las propiedades físicas características, de los minerales, se determinan por su estructura interna y su composición química. Muchas propiedades físicas son notablemente constantes en una determinada especie mineral, pero algunas, en especial el color, pueden variar, la mayoría de los minerales comunes pueden reconocerse por medio de las propiedades físicas siguientes:

a) Color y lustre. El color de algunos minerales varía debido a mínimas cantidades de impurezas. Los silicatos ferromagnesianos son característicamente negros, cafés o verdes oscuros, aunque el olivino es verde olivo. Los silicatos no ferromagnesianos, pueden variar considerablemente en color, pero rara vez son

oscuros. Los minerales que tienen la apariencia de metales son de color bastante firme. Algunas de las variaciones de color de los minerales sólo pueden uniformarse, para determinar el color único, pulverizándolos finamente. El mineral de hierro, hematita, tiene apariencia variable, puede ser rojo y terroso o gris plateado y metálico, pero siempre deja una marca café rojizo (Figura 34a). También debido a la condición de ambiente e intemperismo a las que están sometidos la tonalidad del color siempre puede ser más clara o más oscura con otra apariencia de coloración.

El lustre, no confundible con el color, es la apariencia de un mineral al reflejar la luz. Se distinguen dos tipos básicos de lustre: el metálico y el no metálico (Figura 34 b). Se reconocen observando la calidad de la luz reflejada por un mineral y determinando si tiene la apariencia de un metal o de algo que no lo es. Se distinguen varios tipos de lustre no metálico, que comprenden el vidrioso o vítreo, graso, ceroso, brillante (como en el diamante) y opaco o terroso.

Tabla 11. Elementos químicos comunes en la tierra.

Elemento	Símbolo	Porcentaje de la corteza por peso	Porcentaje de la corteza por átomos
Oxígeno	O	46.60	62.60
Silicio	Si	27.70	21.20
Aluminio	Al	8.10	6.50
Hierro	Fe	5.00	1.90
Calcio	Ca	3.60	1.90
Sodio	Na	2.80	2.60
Potasio	K	2.60	1.40
Magnesio	Mg	2.10	1.80
Todos los demás		1.50	0.10

Fuente: Wicander Reed y Monroe S. James. Fundamentos de Geología, Capítulo 3, Pág. 57.



Figura 34.a) Dos unidades de hematita con rastros similares, muestras de color diferente. La raya es el color de un mineral pulverizado. b) La hematita (izquierda) tiene la apariencia de un metal y se dice que tiene lustre metálico, mientras la ortoclase (derecha) tiene lustre no metálico. Adaptada de Wicander Reed y Monroe S. James. Fundamentos de Geología, Capítulo 3, Pág. 60.

b) Forma del cristal. Los minerales son sólidos cristalinos, pero muchos se forman en condiciones que no permiten el desarrollo de cristales perfectos. Son comunes los cristales bien formados de algunos minerales (Figura 35), como los cristales de granate de 12 lados y la pirita, de 6 y 12 lados. Los minerales formados crecen sin cavidades o son precipitados de agua caliente (soluciones hidrotermales) en grietas o huecos, en las rocas, también aparecen como cristales bien formados.

La forma del cristal puede servir para identificar los minerales, pero varios minerales diferentes tienen la misma apariencia de cristal. Por ejemplo, los cristales cúbicos de la pirita (FeS_2), la galena (PbS_2) y la halita (NaCl) son bastante comunes. Sin embargo, estos minerales pueden diferenciarse, fácilmente, por otras características, color, lustre, dureza y densidad.

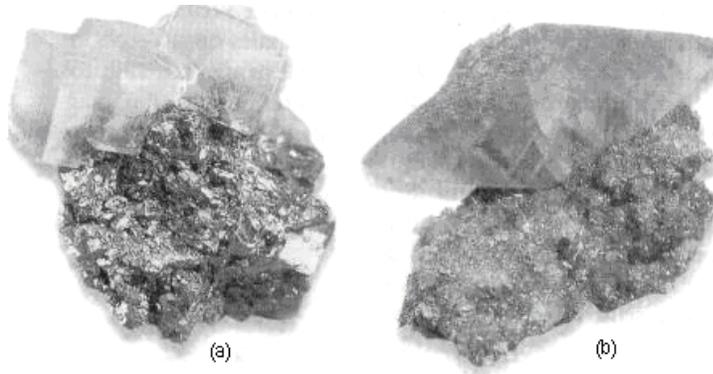


Figura 35. Cristales minerales. a) Cristales cúbicos de fluorita. b) Un cristal de calcita. Adaptada de Wicander Reed y Monroe S. James. Fundamentos de Geología, Capítulo 3, Pág. 60.

c) Clivaje y fractura. El clivaje es una cualidad de los cristales minerales individuales. No todos los minerales tienen la posibilidad del corte, pero los que la poseen tienden a romperse o hendirse a lo largo de uno o más planos lisos de debilidad, determinados por la fuerza de los enlaces del cristal del mineral. El corte puede caracterizarse en términos de la calidad (perfecto, bueno, malo), dirección y ángulos de intersección de planos de corte. La biotita, es un silicato ferromagnesiano común, gris muy oscuro, tiene un corte perfecto en una dirección (Figura 36a). La biotita se corta de preferencia a lo largo de varios planos paralelos, entre los que media un estrecho espacio, esto se relaciona con su estructura hojosa, ya que, la biotita es un silicato en el cual las hojas de tetraedros de sílice están débilmente ligadas una con otra, por iones de hierro y magnesio (Figura 36c).

Los feldespatos. Tienen dos direcciones de corte que se interceptan en ángulos rectos (Figura 36b) y la halita mineral tiene tres direcciones de corte que se interceptan, todas, en ángulos rectos (Figura 36c). La calcita tiene tres direcciones de corte, pero ninguno de sus ángulos de intersección es recto, de modo que los fragmentos de corte de la calcita son romboedros (Figura 36d). Entre los minerales con cuatro direcciones de corte están la fluorita y el diamante (Figura 36e). El diamante, es el mineral más duro, puede cortarse fácilmente. Unos cuantos

minerales, como la esfalerita, (mineral de cinc) tienen seis direcciones de corte (Figura 36f).

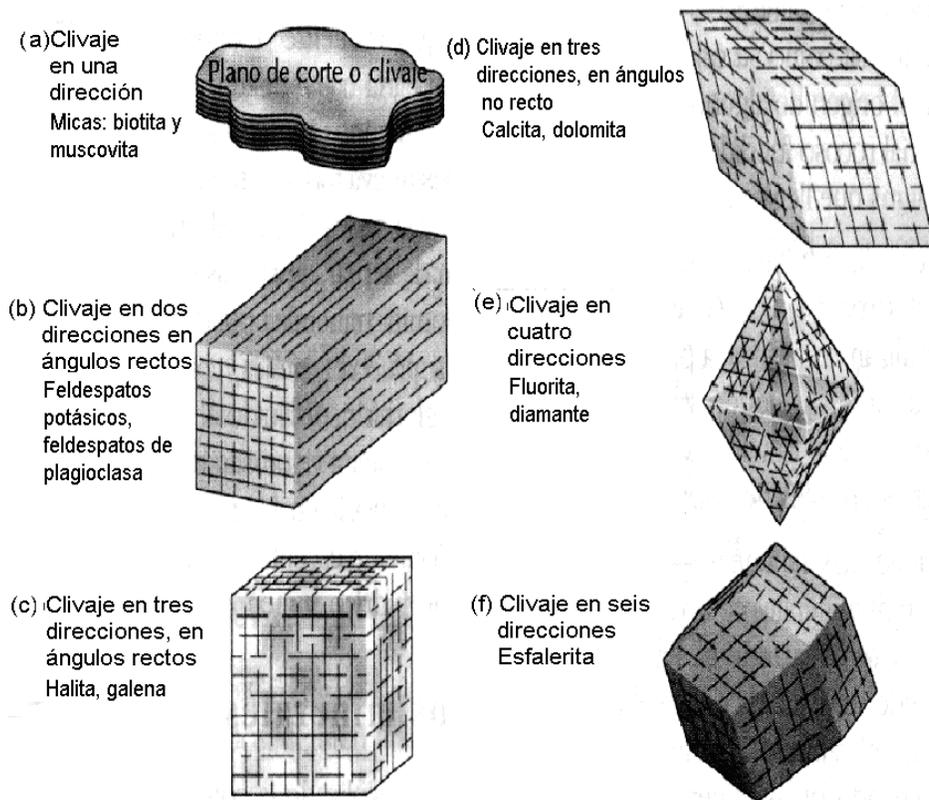


Figura 36. Varios tipos de clivaje mineral: a) una dirección; b) dos direcciones en ángulos rectos; c) tres direcciones en ángulos rectos; d) tres direcciones en ángulos no rectos; e) cuatro direcciones, y f) seis direcciones. Adaptada de Wicander Reed y Monroe S. James. Fundamentos de Geología, Capítulo 3, Pág. 61.

El corte, es una propiedad importante para el diagnóstico de los minerales; su reconocimiento es esencial para distinguir entre los otros, a diferencia del corte o clivaje, la fractura es la rotura del mineral a lo largo de superficies irregulares, indicando ausencia de planos de debilidad. Cualquier mineral puede fracturarse al aplicarle fuerza suficiente, pero las superficies de fractura no serán lisas; suelen ser desiguales o concoidales (como conchas: curvas y lisas) (Figura 37).



Figura 37. Este espécimen muestra una fractura concoidal, que consiste en una superficie curva lisa que semeja la concha de una almeja. Adaptada de Wicander Reed y Monroe S. James. Fundamentos de Geología. Capítulo 3, Pág. 62.

d) Dureza. Es la resistencia de un mineral por ejemplo a la abrasión. El geólogo austríaco Friedrich Mohs (1825), ideó una escala de dureza relativa para 10 minerales. Asignó, arbitrariamente, un valor de dureza de 10 al diamante, este es el mineral más duro que se conoce, y así, asigno valores menores para los otros minerales. La dureza relativa puede determinarse fácilmente usando la escala de dureza de Mohs (Tabla 12). El cuarzo raya la fluorita, pero no puede ser rayado por ésta; el yeso puede ser rayado por la uña, y así sucesivamente. La dureza es controlada principalmente por la estructura interna en cada mineral. El grafito y el diamante son compuestos de carbono, durezas 1 a 2 el grafito y 10 el diamante respectivamente.

e) Peso específico. Es la razón del peso de un cuerpo, con respecto al peso de un volumen igual de agua. Un mineral con peso específico 3.0, es tres veces tan pesado como el agua. Su valor es adimensional. El peso específico de un cuerpo varía según su composición y estructura. Entre los silicatos comunes, los ferromagnesianos tienen pesos específicos que van de 2.7 a 4.3, mientras que los silicatos no ferromagnesianos varían de 2.6 a 2.9, en su mayoría, los silicatos ferromagnesianos tienen pesos específicos mayores que los no ferromagnesianos. En general, los minerales metálicos, como la galena (7.58) y la hematita (5.26) son más pesados que los no metálicos. El oro puro tiene peso específico 19.3, lo hace 2.5 veces más pesado que el plomo. La estructura como control del peso

específico es ilustrada por el elemento nativo carbono (C): el peso específico del grafito varía de 2.09 a 2.33; el diamante 3.5.

Tabla 12. Escala de dureza de Mohs (1773-1839).

Dureza	Mineral	Dureza de algunos objetos comunes
1	Talco	Uña (2.5)
2	Yeso	
3	Calcita	Moneda pequeña de cobre
4	Fluorita	
5	Apatito	
		Cristal(5.5-6)
6	Ortoclasa	
		Lima de acero(6.5)
7	Cuarzo	
8	Topacio	
9	Corindón	
10	Diamante	

Fuente: Wicander Reed y Monroe S. James. Fundamentos de Geología, Capítulo 3
Página 62.

f) Otras propiedades físicas caracterizan a algunos minerales.

El talco se siente inequívocamente jabonoso. Con el grafito se escribe sobre el papel. La halita tiene sabor salado y la magnetita es magnética. Algunos minerales son plásticos y si se les dobla para darles nueva forma, la cual retienen, en tanto que otros, son flexibles y si se les dobla volverán a su forma original cuando dejen de actuar las fuerzas que los deformaron. La calcita y dolomita, minerales, pueden

identificarse mediante una sencilla prueba química, consistente en aplicar una gota de ácido clorhídrico diluido al espécimen mineral. La calcita, reaccionará vigorosamente con el ácido y liberará bióxido de carbono, lo cual hará que el ácido burbujee o tenga una reacción efervescente. La dolomita no reaccionará con el ácido clorhídrico, a menos que esté pulverizada.

Un fenómeno común que explica el origen de algunos minerales es el enfriamiento de la rocosa fundida, el magma; la lava, es el magma que llega a la superficie de la Tierra. Al enfriarse el magma o la lava, los minerales empiezan a cristalizarse y a crecer, determinando con ello la composición mineral de las rocas ígneas. Los minerales se cristalizan, asimismo, a partir de soluciones de agua caliente (hidrotermales) que invaden las grietas y huecos de las rocas donde se encuentran muchos cristales de cuarzo (SiO_2) bien formados. Las sustancias disueltas en el agua de mar, y en agua de los lagos, raramente se podrían combinar para formar diversos minerales como la halita (NaCl), el yeso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), y otros cuando el agua se evapora; la calcita (CaCO_3) puede ser extraída de la solución por diversos organismos. Algunos minerales arcillosos se forman cuando otros minerales, especialmente los feldespatos, cambian de composición y estructura, debido a procesos químicos de intemperización. Otros minerales se originan de las rocas debido al metamorfismo.

1.4.2 Erosión Costera.

La erosión de una costa se produce cuando el sistema litoral en su conjunto ha perdido sedimento, dando otra forma superficial a la extensión afectada.

Una playa cualquiera no es un elemento aislado en el conjunto del litoral, sino que forma parte de un tramo y una franja de costa, en la que cualquier cambio en la dinámica litoral en un punto, genera afectos al resto. La playa se encuentra inmersa y condicionada por una unidad mayor, esto es parte del Sistema Litoral. La costa se puede fragmentar en espacios independientes o unidades fisiográficas, no existiendo transporte litoral longitudinal de sedimentos de una unidad fisiográfica a otra adyacente. Cuando hay paso de sedimentos de un tramo de costa al contiguo, pero la cantidad que pasa es pequeña respecto a lo transportado

dentro del tramo, habrán subunidades fisiográficas, siendo poco o muy poco sensibles, las zonas de una subunidad, a las alteraciones de la adyacente. El sistema litoral se encuentra limitado también hacia el mar, sus límites vienen definidos por la profundidad en la que los agentes climáticos marinos, especialmente el oleaje, tienen la capacidad de movimiento de sedimento, a partir de la cual el sedimento no lo mueve el oleaje. Esta profundidad es la profundidad de cierre máxima.

El sistema litoral se extiende a las zonas que sin estar dentro de la acción dinámica de los agentes marinos, actúa directamente, aportando sedimentos al sistema como los estuarios (Bocana El Limón), cuencas de los cauces fluviales, o las que lo retraen del sistema, sumideros, como son algunos fondos marinos, bahías, etc.⁵⁷

A lo largo de las costas marinas donde predomina la erosión más que la depositación, las playas están "raquíticas" o mal desarrolladas y aparecen riscos marinos (ver Figura 38). Estos son accidentes erosivos azotados frecuentemente por el oleaje, en especial durante las tormentas, lo cual provoca que el risco se retire hacia el continente como resultado de la corrosión, la acción hidráulica y la abrasión como en la Playa la Libertad, El Salvador. La corrosión es un proceso erosivo que consiste en el desgaste de una roca por procesos químicos, de manera especial, la acción solvente del agua del mar. La fuerza del agua o acción hidráulica, es un proceso erosivo particularmente eficaz. Las olas ejercen fuerte presión en las costas por embate directo, pero son más efectivas en los riscos marinos compuestos de sedimento no consolidado o de rocas sumamente fracturadas. La abrasión es un proceso erosivo consistente en la acción trituradora de desgaste de las rocas y la arena acarreada por las olas. Los riscos marinos se erosionan hacia tierra, principalmente, como resultado de la acción hidráulica y la abrasión en sus bases. Al ser desgastado el risco marino en su parte inferior, la parte superior queda sin soporte y es susceptible a los procesos de movimientos de masas, los riscos marinos se retiran poco a poco y, al hacerlo, van dejando

⁵⁷Colegio de Ingenieros Técnicos de Obras Públicas de España, Revista CIMBRA / Nº 380 / MARZO - ABRIL 2008.
http://www.citop.es/PubPDF/Cimbra380_01.pdf

una superficie biselada o plataforma cortada por las olas, que declina suavemente hacia el mar (ver Figura 38)⁵⁸.

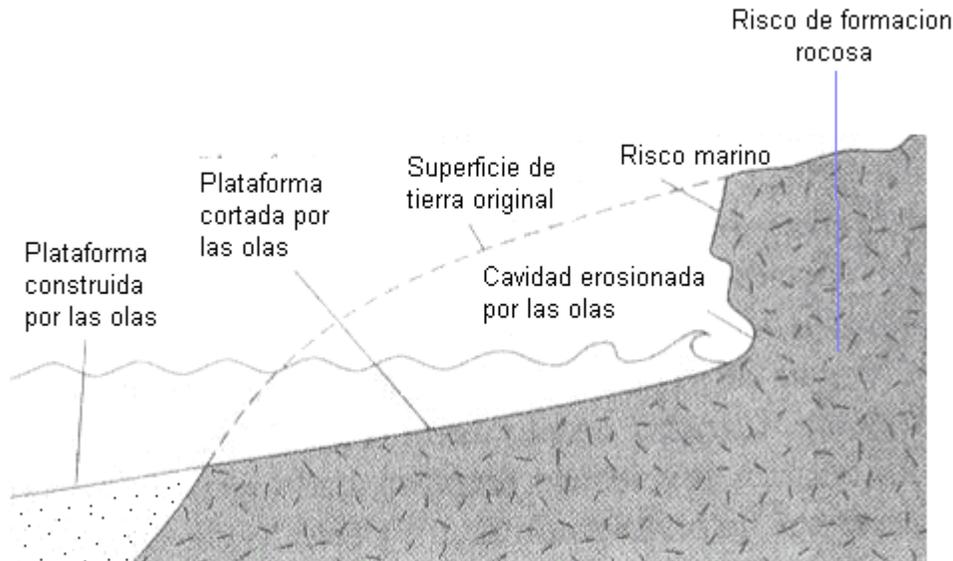


Figura 38. La erosión de un risco marino por el oleaje produce una superficie de pendiente suave o plataforma cortada por las olas. La depositación en el lado del mar de la margen de la plataforma cortada por las olas crea una plataforma construida por las olas. Según de Wicander Reed y Monroe S. James. Fundamentos de Geología, Capítulo 16, Pág. 351.

1.5 SEDIMENTACIÓN COSTERA.

Es la acumulación por depositación de todos los materiales alterados y transportados al disminuir la energía de los agentes de transporte. Por ejemplo, en la llegada del río al mar.

La costa sedimentaria incluye playas, dunas, marinas, almarjales, saladares y lagunas costeras. El aporte de gravas y arenas por los lechos de aguas fluviales, alimentan las playas, pero localmente, también forman pequeños deltas, fáciles de reconocer en el perfil de su desembocadura.

⁵⁸Wicander Reed y Monroe S. James. Fundamentos de Geología, Capítulo 16, Pág. 351.

En la plataforma continental, el espesor de sedimentos no consolidados comúnmente varía entre 1m y 300m, pero puede rebasar los 1000 m. Unos son de origen organógenos y corresponden a los restos de seres vivos relativamente abundantes en esta región. Otros, terrígenos, de origen continental, transportados en suspensión, según su tamaño, o por las corrientes fluviales o litorales. En conjunto, la naturaleza de estos materiales es extraordinariamente variable por causa de:

- a) La diversidad de agentes dinámicos de transporte: corrientes oceánicas, corrientes de marea, aportes fluviales y eólicos, etc.
- b) La proximidad al continente de donde proceden los aportes detríticos, que hace que éstos no lleguen a homogeneizarse en el transporte.
- c) La profundidad relativamente débil que permite que el clima influya profundamente en la diversidad de la sedimentación organógena.
- d) Que la plataforma continental ha estado sometida a una alternativa de transgresiones y regresiones durante los últimos cambios fluctuantes del nivel del mar.

Los sedimentos marinos, por lo menos se identifican cinco grupos diferentes, sin que estos sean equivalentes entre sí:

- 1) Sedimentos organógenos originados por las acumulaciones de restos de seres vivos.
- 2) Sedimentos autógenos o sedimentos minerales formados en el interior de cuencas marinas a partir de otros materiales alterables.
- 3) Sedimentos residuales, resultan de la alteración submarina de las rocas subyacentes. Son especialmente abundantes cuando el zócalo de la plataforma está constituido por materiales terciarios poco consolidados.
- 4) Sedimentos relictos, son materiales depositados en un momento en que las condiciones eran distintas de las actuales. Por ejemplo, dunas, acumuladas en un momento en que la plataforma estaba emergida.
- 5) Sedimentos detríticos actuales provenientes del aporte de ríos, playas y erosión de los acantilados.

La distribución miscelánea y no uniforme de los sedimentos de la plataforma continental es consecuencia del poco tiempo que ha transcurrido desde la última transgresión postglaciar. 60.000 años los cuales son insuficientes para que se haya acumulado una cantidad de detritos, organógenos y autógenos que recubran por completo los accidentes y depósitos formados en el momento de la última emersión.

1.5.1 Transporte y depositación de sedimentos.

Transporte. Los sedimentos son transportados por cualquier agente geológico que tenga energía suficiente para mover los distintos tamaños de partículas contenidas en estas. Los glaciares pueden mover las partículas de cualquier dimensión, mientras que el viento sólo transporta sedimentos del tamaño de las arenas finas. Las olas y las corrientes marinas arrastran sedimentos también, pero la forma más efectiva de que el sedimento se arrastre y se erosione en el sitio de intemperización estriba en las corrientes fluviales. Durante el acarreo del sedimento, la erosión reduce el tamaño de las partículas, las esquinas y los bordes agudos se desgastan y se alisan conforme las partículas de grava y arena chocan unas con otras y se redondean.⁵⁹ Así mismo, durante la conducción sobre los lechos. El transporte de sedimentos es el proceso intermedio entre la fase de erosión y la fase de depositación. Toda corriente de agua, posee, por el tipo de movimiento, una determinada capacidad de transporte, que está relacionada directamente con la velocidad, caudal y volumen del flujo. Un aumento de velocidad en el flujo da mayor capacidad de arrastre, desgaste del perímetro mojado y fuerza de tracción para conducir las partículas de la época lluviosa, debido a que las cuencas están prácticamente secas, con poca vegetación sólidas. Para aprovechamiento de los recursos hídricos, el transporte puede ser una limitante que determine la necesidad de volumen de agua adicional en los embalses o para recurrir a obras de control y protección del transporte del agua con el consiguiente incremento en las inversiones o disminución de la vida útil de ellos. El transporte de sedimentos no es constante a lo largo de todo el año, representa cierta función del caudal que circula, aunque no se puede establecer

⁵⁹Wicander Reed y Monroe S. James. Fundamentos de Geología, Capítulo 7, Pág. 138

una ley general que la defina, cada año el volumen transportado difiere de los años anteriores. El mayor volumen transportado de sedimentos se da en el período de iniciación y gran erosionabilidad. En cambio al final de la época lluviosa el transporte de sedimentos se reduce, porque las condiciones de las cuencas son diferentes, presentando una mayor vegetación y menor vulnerabilidad a la erosión⁶⁰.

Formas de Transporte. Las partículas sólidas son transportadas por las corrientes de agua en varias formas, como se describe:

- Las de mayor tamaño ruedan o se deslizan sobre el lecho, constituyendo el transporte sólido del fondo, llamado también acarreo de arrastre.
- Las partículas más finas van en suspensión, recibiendo el nombre de sedimento suspendido.
- Es posible que ciertas partículas se transporten de un modo especial: a saltos, a esta modalidad se le denomina transporte por saltación.
- Partículas muy finas conducidas en estado coloidal y sumamente difícil de sedimentar se les clasifica como sedimento de lavado o en solución.⁶¹

Deposición. El sedimento puede ser transportado grandes distancias desde su área fuente, hasta llegar a lugares de acumulación. Parte de la arena y el lodo se depositan en la desembocadura de los ríos, cualquier área geográfica en la que se almacena sedimento es un ambiente de deposición el cual es el conjunto de procesos físicos, químicos y biológicos que se encuentran afectando la sedimentación. Tradicionalmente se han reconocido tres sitios primarios para el depósito global de sedimentos:

(1) Continental, (2) Marino-marginal, y (3) Marino. Cada uno de éstos se encuentra dividido en diferentes sistemas de depósito, así como en una serie de

⁶⁰Trabajo de Graduación UES, Estudio sobre la sedimentación del embalse del Cerrón Grande, Castro Rauda Marco y otros, 1994.

⁶¹Trabajo de Graduación UES, Estudio sobre la sedimentación del embalse del Cerrón Grande, Castro Rauda Marco y otros, 1994.

ambientes y sub-ambientes asociados (Ver Tabla 13). Cada uno de ellos presenta ambientes sedimentarios que lo caracteriza, aunque esto no quiere decir que sean exclusivos de cada sistema. Por ejemplo, los sedimentos fluviales son depositados principalmente por ríos, generados en regiones húmedas.

Tabla 13: Sitios primarios para el depósito global de sedimentos.⁶²

SITIO PRIMARIO DE DEPOSITACION	Continental	Marino-Marginal	Marino
SISTEMAS PRINCIPALES	<ul style="list-style-type: none"> -Fluvial -Desértico -Lacustre -Glacial -Volcaniclástico 	<ul style="list-style-type: none"> -Deltaico -Lagunar -Estuario -Playa -Barras de arena -Planicie de mareas 	<ul style="list-style-type: none"> -Plataforma carbonatada -Plataforma siliclástica -Abanico submarino -Planicies abisales

Fuente: Wicander Reed y Monroe S. James. Fundamentos de Geología, Capítulo 16, Pág. 345.

Deposición costera. Los accidentes de deportación en las costas, comprenden las playas, flechas de bahía e islas de barrera. Las características de estos depósitos las determinan, en su mayor parte, la energía del oleaje y las corrientes de litoral. Las corrientes refluo tienen una función menor en la configuración de las costas.

Playas. Son depósitos de sedimentos no consolidados, que se extienden hacia tierra, desde la línea de marea baja hasta un cambio en la topografía, como una línea de dunas de arena, un risco marino o el punto donde empieza la vegetación permanente. Parte de los sedimentos en las playas deriva del intemperismo y de la erosión de las olas de la costa, transportados a la costa por corrientes y

⁶²<http://www.geologia.uson.mx/academicos/grijalva/ambientesfluviales/introduccion.htm>

redistribuidos a lo largo de la línea costera por, las corrientes de litoral, constituye el fenómeno deriva litoral. El transporte de la arena va a lo largo de la línea costera por las corrientes del litoral.

Una playa, es un área donde la energía de la ola se disipa; por ello, los granos sueltos que componen la playa son alterados constantemente por el movimiento del oleaje. No obstante, la configuración de conjunto de una playa se mantiene mientras persistan condiciones de equilibrio. El perfil de una playa costa adentro a costa afuera (Franja costera) puede considerarse un perfil de equilibrio; esto es, todas las partes de la playa se ajustan a las condiciones prevalecientes de intensidad del oleaje y de corrientes litorales (ver Figura 39).

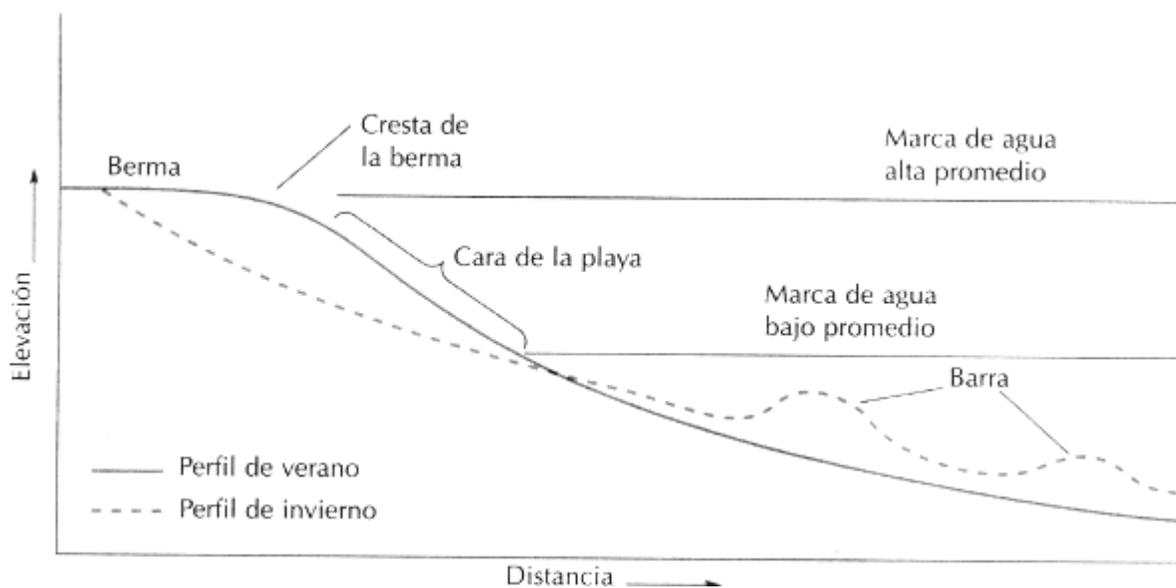


Figura 39. Efectos de los cambios de estación en los perfiles de las playas. Talud de playa. Adaptada de Wicander Reed y Monroe S. James. Fundamentos de Geología, Capítulo 16, Pág. 346.

Las mareas y las corrientes litorales afectan a la configuración de las playas, pero más las olas de tormenta, son el agente modificador más importante de su perfil de equilibrio. En numerosas áreas costeras, los perfiles de playa cambian con las estaciones, de modo que hay playas de verano y playas de invierno, cada cual adaptada a las condiciones predominantes en esas temporadas. Las playas de verano suelen ser anchas y estar cubiertas de arena; tienen un perfil fluido hacia

el mar. Durante el invierno, cuando las olas atacan vigorosamente la playa, se desarrolla la playa de invierno, que es más angosta, declina más suavemente hacia el mar y tiene barras de arena frente a la costa, paralelas a esta. Los cambios de estación pueden ser tan profundos, que la arena que se mueve costa adentro y costa afuera crea playas cubiertas de arena durante el verano y cubiertas de grava durante el invierno.

Los cambios de estación en los perfiles de playa se relacionan con la intensidad cambiante del oleaje. En el invierno, las enérgicas olas de tormenta erosionan la arena de la playa y la transportan costa afuera, donde se almacena en barras de arena. La misma arena que fue erosionada de la playa durante el invierno regresa en el verano siguiente, época en la cual es llevada y depositada costa adentro por las oleadas, más suaves, de la estación cálida. El volumen de arena en el sistema se mantiene más o menos constante; sencillamente se muda costa adentro o costa afuera, dependiendo de la energía de las olas.

Flechas, barreras de boca de bahía y barras. Algunos de los accidentes de depositación más comunes en las playas son las flechas y las barreras de boca de bahía, que son variaciones de una misma característica. Una flecha, es sencillamente la continuación de una playa en forma de saliente aguzada o "extremo libre" que se proyecta en un cuerpo de agua, por lo común una bahía. Una barrera de boca de bahía es una punta que ha crecido, hasta cerrar por completo una bahía al mar abierto (Figura 40). Las flechas y las barreras de boca de bahía se forman y crecen debido a las corrientes del litoral. Cuando las corrientes son débiles, como en las aguas profundas en la abertura de una bahía, la velocidad de la corriente de litoral disminuye y se deposita el sedimento, formándose una barra de arena. Los extremos libres de muchas flechas se curvan por la refracción de la ola o porque las olas llegan de una dirección diferente. Estas flechas se llaman ganchos o flechas curvas (Figura 40a). Un tipo más raro de flecha es el tómbolo, que se extiende hacia el mar y conecta una isla con tierra firme. Los tómbolos, se crean en los lados de las islas que miran a la costa (Figura 40b). La refracción de las olas alrededor de una isla crea corrientes convergentes que giran hacia el mar y depositan una barra de arena, la cual conecta la costa con la isla.

Las barras son islas largas y angostas compuestas de arena y separadas de tierra firme por una laguna. Se sabe que se forman sobre plataformas continentales de pendiente suave con arena abundante, donde son menores las fluctuaciones de las mareas y los niveles de energía de las olas. Las barras, se forman como flechas que se separan de tierra, o como dorsales de playa en costas, que se sumergieron parcialmente cuando subió el nivel del mar.⁶³

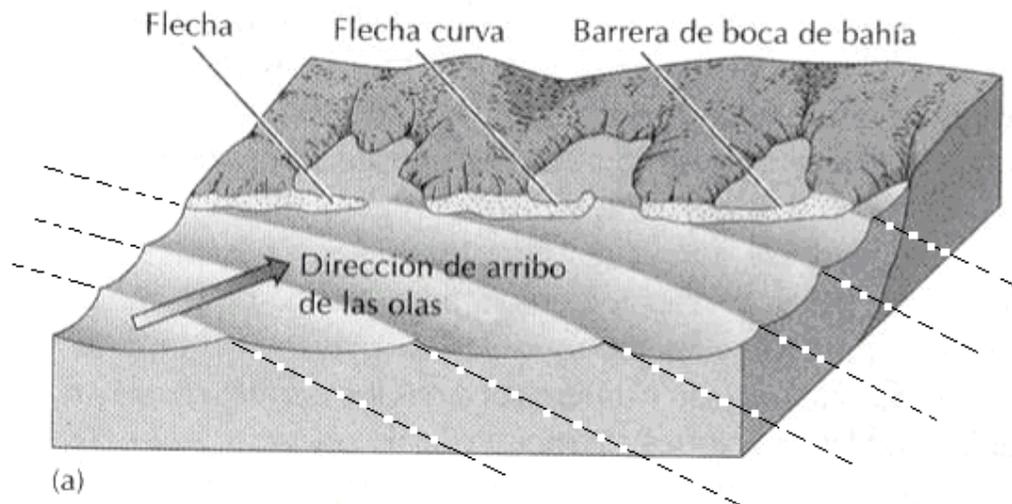


Figura 40.a) Las flechas se forman donde las corrientes de litoral depositan arena en agua más profunda, como la entrada de una bahía. Una barrera de boca de bahía es, simplemente, una flecha que crece hasta extenderse a través de la boca de la bahía.

⁶³Wicander Reed y Monroe S. James. Fundamentos de Geología, Capítulo 16, Pág. 345-346.

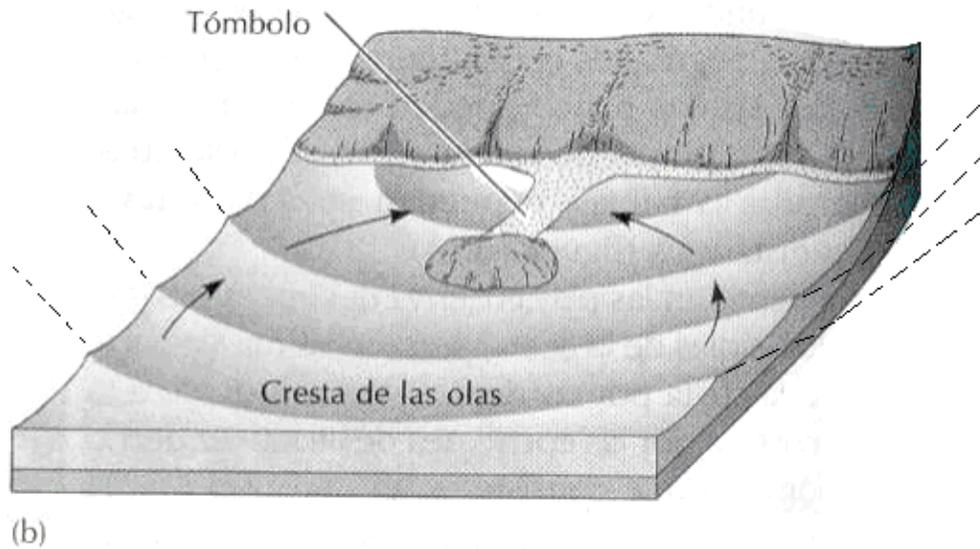


Figura 40.b) Origen de un tómbolo. La refracción de ola alrededor de una isla hace que las corrientes de litoral converjan y depositen. Una barra de arena, que une la isla con tierra firme. Adaptada de Wicander Reed y Monroe S. James. Fundamentos de Geología, Capítulo 16, Pág. 346.

1.5.2 Efectos del aporte y retiro de los sedimentos en la faja costera de la Bocana

El Limón.

Si un sistema de la franja tiene un aporte y retiro, balanceado, el sedimento que provee se elimina, y el volumen de sedimentación permanece más o menos constante, la arena puede mudar de sitio costa afuera y costa adentro, por el cambio de estaciones. Al evaluar acumulaciones de arena, un balance positivo significa, que las ganancias exceden a las pérdidas, mientras que un balance negativo resulta cuando las pérdidas sobrepasan a las ganancias. Si un balance negativo predomina lo suficiente, el sistema de franja costera se vacía y pueden desaparecer el ambiente de playas. Si ocurren procesos de reversión, se recuperan las condiciones anteriores, similares a las iniciales. Estos ciclos son propios del sistema de playas marinas.

En algunas áreas, el aporte de arena se puede, mantener e incluso aumentar cuando:

- Resulte de la aceleración de la erosión de acantilados
- Aumente los aportes fluviales por aumento de la intensidad y frecuencia de las lluvias y pérdida de vegetación en la cuenca de drenaje.
- Aumente el aporte por deriva litoral.
- Los fondos oceánicos próximos tienen aporte de sedimentos como para alimentar el perfil transversal de la playa.⁶⁴

En la Bocana El Limón, Meyer Abich, 1952, y observaciones actuales in situ, “hay un sistema balanceado, en el que se ha ido incrementando la sedimentación a través de los años, por las crecidas y eventos extremos que se dan en las épocas de invierno”. Observaciones hechas in situ y muestreos de tasación durante el período de llena de 11:00 am a 1:30 pm (julio 2009), la estimación es, que en este tramo, desde mar a dentro hacia la cresta del talud de playa o el cordón de playa, que constituye un largo dique en barrera, el mar aporta una cantidad o masa de arena en suspensión contenida en el agua salada de este, originando en la superficie de la playa una capa de espesores variables, mayores que 2.5 cm, a lo largo y ancho de ella, y cuando se deposita y hay acumulación de arenas, con aportes en la llegada y desayortes al regreso del va y viene de la resaca marina durante el oleaje permanente. Este régimen de dinámica marina, en este tramo de playa de arena, es intenso pero mantiene su equilibrio, aunque a largo plazo se estima que resulta en erosión regresiva o deterioro de la zona continental, durante la acción del oleaje, principalmente durante grandes crecidas en la época invernal con eventos extraordinarios, dando como resultado la depositación de sedimentos aluviales muy sueltos, con una estructura íntimamente ligada y condicionada por mecanismos de erosión, transporte y sedimentación que les han dado lugar, acumulándose en diversas geofomas que dependen de la dinámica costera-marina en la zona. El capítulo 2 explicará este fenómeno debido a que se tiene que tomar en cuenta los parámetros meteorológicos, presión, viento, lluvia, temperatura, otros siderales como soleamiento o radiación solar, densidad del agua de mar en ese lugar de estuario y otros factores que puedan influir para que finalmente se logre caracterizar el impacto de la acción marina-oceánica, la

⁶⁴ Miguel Angel Nombela, Respuesta de la costa al ascenso del nivel del mar.

<http://webs.uvigo.es/esuarez/RNL/1%20Respuesta%20de%20la%20costa%20al%20ascenso%20del%20nivel.pdf>

estructura que va generando y el deterioro progresivo que desarrolla por la erosión regresiva, así como el impacto en las comunidades asentadas en los terrenos atrás del cordón litoral del arena o del área de playa donde la urbanización en la ciudad ha avanzado hacia esta, abusando, a pesar de lo extendida que es la superficie de de playa con pendiente muy suave y es una faja relativamente angosta para la permanencia de las comunidades en esa vecindad.

1.5.2.1 Bancos de sedimentos o acumulaciones, formas y tipificación existente.

Son cuerpos sedimentarios elongados, cuya morfología resulta de la interacción de factores tales como: corrientes, energía de las olas, fuente de sedimento, clima, geometría de la cuenca. Estos cuerpos pueden ser simétricos o asimétricos en sección transversal, alcanzando a medir, en algunos casos, varios kilómetros de longitud, unos pocos metros de ancho y unas decenas de metros de altura. Para su formación es necesario que exista una adecuada fuente de arena y un régimen hidrodinámico capaz de movilizar el sedimento.

Los estuarios, son una fuente natural de sedimento, constituyendo bancos de arena ampliamente desarrollados. Los cuerpos arenosos se forman en zonas donde no hay transporte longitudinal neto de sedimento. Así, en los sectores de canales de marea, donde el transporte residual de flujo y reflujo presentan direcciones opuestas, son áreas óptimas para su formación. La ubicación de tales bancos, está determinada por la geomorfología general del estuario, la cual controla la distribución de los canales de flujo y reflujo. Se considera que deben prevalecer tres condiciones importantes para la formación de bancos de sedimentos:

- 1) suministro de sedimento.
- 2) agentes de transporte.
- 3) una zona de entrampamiento.

Entre la Bocana El Limón y el inicio del acantilado(al sur de la Bocana), el cordón litoral de arena es una estructura de dique o barra, transversalmente en forma de parábola invertida con ramas muy extendidas, se considera a las barras y bancos de arena como un proceso natural de la erosión costera, estas se desarrollan donde se encuentre erosión muy intensa, puede ser en costas de mar abierto, desembocadura de ríos, confluencia de ríos, etc. Yendo de la bocana al acantilado,

la cresta del dique va de muy pronunciado a muy suave hasta casi desaparecer y haciendo terrazas frente a la playa, hasta terminar en una zona de pendientes muy suaves. Esta estructura de dique se ha formado por el accionar de las olas aportando distintas cargas de arena, como resultado de la intensa erodabilidad que hay en el lecho marino o abrasividad marina. El mar aporta una masa de arena en suspensión del agua salada, originando una capa de espesor variable a lo largo y ancho sobre la playa. Durante pleamar, la arena se deposita y se acumula con los aportes de la llegada de la ola y desaparece al regreso del va y viene de la resaca.

Así, en la formación de estas acumulaciones la fuerza del mar empuja hacia aguas arriba el agua del río y sus sedimentos son transportados, al disminuir o anularse la velocidad, se depositan, durante el reflujo penetra fácilmente el agua del mar al río con sus sedimentos, y se establece una lucha entre el río que empuja sus aluviones al mar y el flujo que los empuja hacia el río; como estas dos fuerzas son de sentido contrario, necesariamente llegarán a neutralizarse en una línea sobre la cual los sedimentos depositados forman una barra. Pero las corrientes de flujo y reflujo, no son siempre del mismo valor o intensidad, ni la corriente del río, por lo tanto el punto neutro o muerto no está siempre en el mismo lugar, a esto se debe que estas acumulaciones cambien de posición a través del tiempo.



Figura 41. Fotografía tomada en la Bocana El limón, donde se muestra la forma típica de acumulación existente de arenas finas. 21 de agosto de 2009.

Alejándose de la Bocana El limón hacia el sur este, en dirección al puerto de Acajutla, la barra va desapareciendo, hasta quedar la playa totalmente plana, sin acumulaciones al llegar a la zona del inicio del acantilado, esto se debe a que ahí ya no hay interacción entre los ríos y el mar, como se muestra en la Figura 42.



Figura 42. Fotografía tomada adyacente a la Bocana El limón, zona de balneario público, al sur de la Bocana El Limón, hacia el Puerto de Acajutla, justo antes del inicio del acantilado. 21 de Agosto de 2009. Frente de playa, con terraza muy suave, que se funde con la playa (pendiente menor que 2%).

CONCLUSIONES

- El sistema de aporte y retiro de sedimentos balanceado en la Bocana el Limón, a largo plazo, provoca erosión regresiva o deterioro en la proximidad continental, por sedimentación de la arena que finalmente queda en terrenos adyacentes a la borda o límite oceánico, durante la acción del oleaje y grandes crecidas en la época invernal resultando la depositación de sedimentos aluviales sin consolidar.
- Las arenas de playa, finas a muy finas que permanecen en la Bocana El Limón son redondeadas a casi uniformemente esféricas, inherentes a su tamaño de grano, debido al intenso transporte, en su interacción durante el movimiento, desgastando con rapidez las aristas de las partículas y reduciendo sus diámetros hasta su forma descrita.
- En la Bocana El Limón, las isletas duníticas resultan de la interacción predominante entre el río que empuja sus aluviones al mar durante el flujo y las corrientes marinas, y la resaca empuja arena de su lecho y las de la descarga riada en la bocana. Dos fuerzas de sentido contrario, que llegan a neutralizarse en una línea sobre la cual los sedimentos depositados quedan formando acumulaciones en forma de isletas, barras, talud, regresión erosiva, transgresión de arenas finas, y expresiones de playa extendida hacia el continente, acordonando en forma de dique entre la borda continental y marina.

BIBLIOGRAFIA

LIBROS Y DOCUMENTOS CONSULTADOS

- Fundación del Desarrollo de El Salvador (FUNDE). 1996. Acajutla: Industria y Contaminación Ambiental. Serie Alternativas para el desarrollo. Páginas. 8-13.

- Meyer-Abich H., Cornejo A. 1952. "El Puerto de Acajutla, El Salvador". Revista Comunicaciones del Instituto Tropical de Investigaciones Científicas. Año 1 No 3 Julio. Páginas 8-14.

- Wicander, Reed y James S. Monroe. 2000. Fundamentos de Geología. Thomson editores. Páginas. 122-146.

- J. Dercourt y J. Paquet. 1978. Geología. Editorial Reverté.

- Dirección de Cultura y Comunicaciones. 1986. Geografía de El Salvador, Dirección de Publicaciones, 1ra Edición tomo 1. San Salvador. páginas 130-154.

- Rodolfo Meyer. 1908. Elementos de Geomorfología Física. Páginas 21-84.

- Instituto Geográfico Nacional. Monografías del Departamento y Municipio de Sonsonate.

- Juan Luis Cifuentes Lemus / María Del Pilar Torres García / Marcela Frías M., El Océano y sus Recursos II.

- Enciclopedia de El Salvador. 1996. Editorial Océano. Tomo I.

- Resumen Ejecutivo Proyecto USAID. 2008. Manejo y Conservación de Cuencas Hidrográficas. Propuesta del Plan de manejo de cuenca San Pedro.
- EMDEN, Gierloff. La Costa de El Salvador. Monografía Morfológica-Oceanográfica.

PAGINAS WEB

- <http://www.meted.ucar.edu>
- http://es.wikipedia.org/wiki/Corriente_marina
- <http://es.wikipedia.org/wiki/SonsonateWiki>
- http://es.wikipedia.org/wiki/Talud_continental
- http://www.natureduca.com/geog_fisica_geomorf8.php.
- <http://www.galeon.com/geologiageneral/page36.html>
- <http://es.wikipedia.org/wiki/Marisma>.
- <http://es.wikipedia.org/wiki/Estuario>
- <http://es.wikipedia.org/wiki/R%C3%ADa>

CAPITULO II

DESARROLLO DE LA EROSION
Y SEDIMENTACION COSTERA EN
LA BOCANA EL LIMON A PARTIR
DE MEDICIONES DE CAMPO

CAPITULO II: DESARROLLO DE LA EROSION Y SEDIMENTACION COSTERA EN LA BOCANA EL LIMON A PARTIR DE MEDICIONES DE CAMPO.

2.1. SEDIMENTACION A PARTIR DE CONDICIONES DE LA ZONA DE INFLUENCIA CONTINENTAL EN LA BOCANA EL LIMON.

2.1.1 Factores que intervienen en los procesos erosivos.

La erosión de un suelo resulta de la acción de factores propios del ambiente, meteorológicos: viento y lluvia, geológicos como la topografía, rocas o tipos de suelos, hidrológicos: sistema de ríos y sus respectivas cuencas, esto hace que el suelo suelto sea transportado hacia los ríos a través del viento o la escorrentía generada por la lluvia; que la cohesión o el confinamiento de una estructura de suelo ceda ante sus condiciones de permeabilidad y topografía, generando desprendimiento de los materiales más débiles, sueltos o menos consolidados, que serán transportados y depositados de un lugar a otro. Una descripción de los factores más importantes que influyen en el sistema tributario de los ríos Sensunapán, San Pedro y Sunza, que descargan directamente en la Bocana El Limón, es la siguiente:

2.1.1.1 Regímenes de Lluvia.

En El Salvador, se distinguen dos temporadas climáticas, y sus transiciones. Epoca seca entre los meses de Noviembre a Abril y la época lluviosa de Mayo a Octubre con un intervalo de reducción de lluvias entre Julio y Agosto. Regularmente, el mes más lluvioso es Septiembre, similar pero menos intenso el mes de Junio, sin escapar a los efectos actualmente sobresalientes, a causa del cambio climático, por el calentamiento global, que resultan en los fenómenos del niño y la niña.

La estación de Acajutla en el departamento Sonsonate, se encuentra ubicada a 600 m rumbo sur-este de las instalaciones del actual Puerto de Acajutla, siguiendo en la zona costera de la región Occidental del país. Los registros de promedios mensuales de precipitación para el período de 50 años (1959-2009) generan la gráfica en la Figura 43, en la que los meses de lluvia es más intensa en la zona, debido al período invernal, entre Mayo y Octubre, con registros de precipitaciones

de 150 mm a 380mm en promedio, donde Septiembre el mes más copioso con promedio de 380.8 mm, lo contrario ocurre en la época seca o época de estiaje, entre los meses de Noviembre a Abril, con registros casi nulos en los meses de Enero con 0 mm y Febrero 0.9 mm, ver Figura 43.



Figura 43. Promedios mensuales de precipitación en mm.

La importancia de estudiar el régimen de lluvia en la zona es debida a que durante la época lluviosa es cuando más se modifica el relieve del terreno o la morfología de la zona. Durante el invierno las crecidas de los ríos provocan el traslado recurrente de materiales procedentes de la erosión de suelos. Durante el verano, los suelos y rocas arrastrados se transforman en sedimentos marinos costeros, al disminuir la intensidad del oleaje y velocidad de la corriente de los ríos permitiendo mayor tiempo de sedimentación costera.

Registro Histórico de Inundaciones en el Departamento de Sonsonate.

La época lluviosa, a veces puede iniciar antes de lo normal o tardarse. Ocurren eventos de lluvia fuera de la época esperada, y dentro del régimen de lluvia anual y hay eventos extremos y extraordinarios como las tormentas tropicales y huracanes, en los cuales, la lluvia es de intensidad y duración extrema. Durante la estación lluviosa, la magnitud de los eventos extremos de precipitación está relacionada inversamente con la frecuencia en que ocurren, es decir, ocurren

eventos muy severos con menor frecuencia que los eventos hidrológicos moderados. La Tabla del Anexo 4 muestra el registro de los eventos extremos documentados para el departamento Sonsonate. La importancia de estudiar este tipo de eventos es, que estos tienen un alto potencial erosivo, debido a la severidad y a la cantidad de lluvia que cae.

2.1.1.2 Permeabilidad.

La capacidad de un suelo para filtrar el agua que escurre sobre él, depende de cómo esté conformada su estructura interna. Dependiendo del tiempo en que el agua es absorbida, se clasifica al suelo, permeable, semipermeable o impermeable. La zona en estudio presenta diversas permeabilidades, ya que está íntimamente relacionada con la geología existente. En la zona baja los suelos presentan una alta permeabilidad, ya que esta zona está compuesta por suelos granulares sueltos, específicamente arenas muy finas, Ver Mapa 7.

2.1.1.3 Topografía.

Las condiciones de inclinación o declive de la cuenca, el lugar donde cae el agua lluvia, son importantes dentro del proceso erosivo de un suelo. El sistema de cuencas que desemboca en la Bocana El Limón está influenciado por la topografía propia de los ambientes volcánicos, ya que las cuencas Sensunapán, San Pedro y Sunza nacen de la cadena de volcanes que atraviesa a esa zona. La Tabla 14 muestra la distribución de pendientes por zona del sistema.

Tabla 14: Porcentajes de pendientes según zona.

% Pendiente	Zona			
	Baja	Media-Baja	Media	Alta
0% a 1.5 %	12.60%			
1.5% a 5%		49.60%		
5% a 15%			20.40%	
mayores de 15%				17.40%

Fuente: Elaboración propia.

En este ambiente hay diferencias de nivel bien marcadas, que permiten que el agua que cae en la parte alta y media, escurra más fácilmente debido a la

topografía abrupta que forma canales de acumulación, generando así, mayor escorrentía y que el proceso de transporte y erosión de suelo sea más intenso. Lo contrario ocurre en la parte baja y media baja, en donde la topografía es de planicie, dándose una disminución en las velocidades del flujo, y mayor infiltración del agua, lo que genera depositación y sedimentación.

2.1.1.4 Uso de suelo.

El tipo de suelo, uso de la tierra y las condiciones hidrológicas de la cobertura, son los factores de la cuenca que tienen el mayor impacto en la estimación del volumen de escorrentía. El Mapa 6 y la Tabla 6 (página 66) muestran los usos de suelo y prácticas agrícolas dentro del sistema de cuencas Sensunapán, San Pedro y Sunza.

2.1.2 Obtención de parámetros de sedimentación a partir de mediciones de campo.

Dentro de este proceso se desarrollarán y explicarán los criterios y consideraciones tomadas para abordar el análisis de los procesos erosivos que generan sedimentación.

2.1.2.1 Puntos de muestreo y sus características.

Para analizar erosión y sedimentación en la Bocana El Limón, y en la zona que contiene las cuencas en estudio. Se muestreó la zona eligiendo la dirección con el eje del río San Pedro, ver Figura 44, con el objetivo de conocer la gradación de las partículas de suelo que sedimentan o depositan a lo largo de los cauces de los ríos. En ocho de los once puntos visitados se recolectaron muestras de material sedimentado. Los sondeos se hicieron hasta 0.60 m de profundidad, recolectando muestras a cada 0.2 m, en la rivera más cercana a los lechos del río. La Tabla 15, muestra las coordenadas geográficas de cada punto, y la profundidad de los sondeos donde fue muestreado. Para las extracciones se utilizó la posteadora manual y un barreno, por esa razón, en algunos puntos no se extrajeron muestras cuando se encontró roca en el lecho del río.

Con estas herramientas se obtuvieron muestras alteradas de arenas, limos, arcillas o mezclas de estos, encontrando que en estas áreas, en las muestras de suelo extraídas predominan arenas, que van de gruesas a finas.



Figura 44. Ubicación de puntos de muestreo a lo largo del eje del río San Pedro.

Tabla 15: Puntos de muestreo a lo largo del Area que conforma el sistema tributario de sedimentos hacia la Bocana El Limón.

PUNTO	COORDENADAS ⁶⁵		ELEVACION (m)	PUNTO DE MUESTRO	PROFUNDIDADES MUESTREADAS (m)
1	N13°36'06.50"	89°50'35.80" W	0	Bocana El Limón, Zona del dique de arena	0.00 a 0.20 0.20 a 0.40 0.40 a 0.60
2	N13°36'29.8"	89°49'53.8" W	38	Lado oeste del Rio San Pedro, Hacienda la Atalaya	0.00 a 0.20 0.20 a 0.40 0.40 a 0.60
3	N13°36'29.8"	89°49'53.8" W	38	Lado este del Rio San Pedro, Hacienda la Atalaya	0.00 a 0.20 0.20 a 0.40 0.40 a 0.60
4	N13°39'01.6"	89°48'41.1" W	41	Cantón los santos, Acajutla	0.00 a 0.20 0.20 a 0.40 0.40 a 0.60
5	N13°37'53.7"	89°49'25.6" W	36	Talud en carretera rural hacia San Pedro Puxtla	0
6	N13°37'48.6"	89°50'40.8" W	56	Rio Sunza, rivera del rio totalmente cubierta de rocas, no se pudo obtener muestra	0
7	N13°44'13.83"	89°48'04.97" W	340	Santo Domingo de Guzmán	0.00 a 0.20 0.20 a 0.40 0.40 a 0.60
8	N13°46'10.60"	89°48'19.41" W	487	Puente de San Pedro Puxtla	0.00 a 0.20 0.20 a 0.40 0.40 a 0.60
9	N13°48'31.2"	89°47.558' W	885	Cantón la Joya, Apaneca	0.00 a 0.20 0.20 a 0.40 0.40 a 0.60
10	N13°48'38.7"	89°47.815' W	985	Barreno en calle, de Apaneca a San Pedro Puxla	0.00 a 0.50 0.50 a 1.00 1.00 a 1.50 1.50 a 2.00
11	N13°48'1.74"	89°47.807' W	781	Cantón Bolivia, quebrada de invierno.	0

Fuente: Elaboración propia.

⁶⁵ Leídas con GPS (Sistema de Posicionamiento Global).Elaboración propia.

Principales características de los puntos muestreados.

2.1.2.1.1 Puntos estudiados en la faja de playa propiamente a lo largo y ancho.

Dentro del proceso de reconocimiento de puntos importantes sobre la borda marina entre la Bocana El Limón y el Acantilado, ubicado a 1400m de la Bocana El Limón con rumbo sur-este, sobre el cordón litoral de Acajutla, se muestran tres zonas con las cuales se describen los procesos más influyentes dentro del fenómeno erosión-sedimentación que se genera en la zona, producto del arrastre marino.

2.1.2.1.2 Zona del dique de arena o barra de arena.

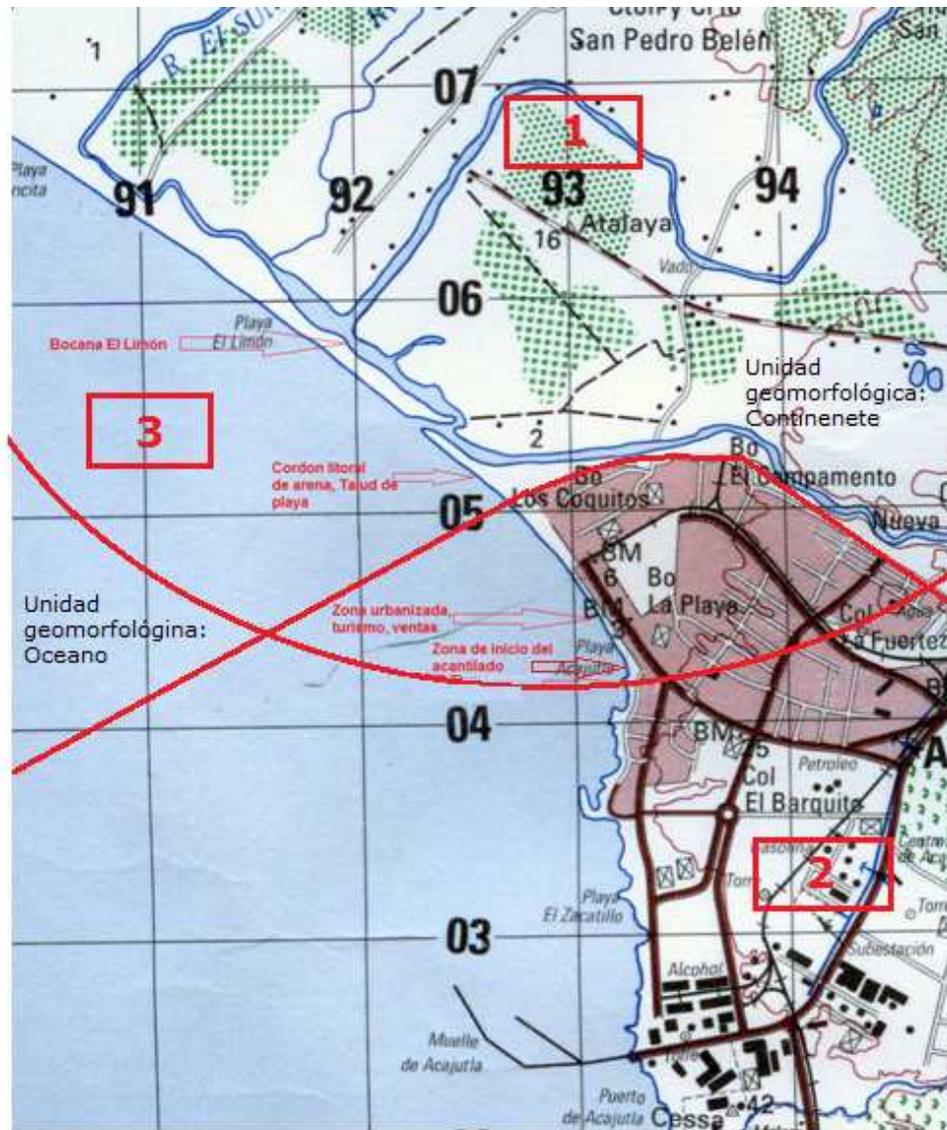
En dirección sur este, hacia el Puerto de Acajutla, se ha formado una estructura alargada de arena, en cresta, constituyendo un dique de transición marina continental, el cual separa el agua del reservorio del estero y la llegada de la resaca del oleaje del mar (ver Figura 45). Tiene longitud entre 700 m a 800 m de largo, mantiene una superficie de playa con anchura promedio, en el periodo de "no llena marina" entre los 25 m a 30 m, en donde el accionar del oleaje tiene una faja de resaca de unos 10 m de ancho, esta va y regresa al cordón de arena y al mar en muy cortos periodos de tiempo con distintas cargas de arena erodada en suspensión, como resultado de la intensa abrasividad que ocurre en el lecho marino y el impulso que se genera por el movimiento de las masas de agua superficiales y a profundidad en la cercanía de playa (corrientes marinas).

Está constituido por arenas ferruginosas, de color gris oscuro a negro por su alto contenido de magnetita, de granos finos a muy finos. Estas se encuentran desde la Bocana hasta el inicio del acantilado, son procedentes de los procesos de erosión y meteorización mecánica y química, principalmente, en forma de sedimentos aluvionales y piroclastos retrabajados con el transporte en aguas fluviales desde aguas arriba y provenientes desde el fondo del océano con sus grandes masas de agua que llegan disueltos y en suspensión en la resaca marina, descargando e interactuando en condición estuaria, encontrándose en la zona en forma de acumulaciones, en llegada hacia el continente, con pendientes entre 15%-20% hacia el límite bordero marino continental.



Figura 45. Dique de arena, incidencia diferente de las olas, que sugiere un embahiamiento en la zona adyacente al muelle de Acajutla hacia el norte, que incluye la Bocana El Limón, donde descargan los cauces finales de los ríos Sensunapán, Sunza y San Pedro.

Es una geoconformación de playa aluvial relativamente reciente en forma de "barrera de playa" (ver Figura 46). En su conformación, han intervenido mecanismos del oleaje, corrientes marinas y viento marino del Océano Pacífico que producen las olas, que llegan a esta zona oblicuamente a la borda o cordón litoral, en dirección más sursureste-nornoroeste que lo obligan a prolongarse en ambas direcciones.



Sub unidades geomorfológicas
límites de contacto

- 

1 Zona costera, vegetación, ríos afluentes que descargan al océano.
- 

2 Zona urbanizada, turismo, industria, comercio.
- 

3 Zona marina, oceanica, interacción del mar con el continente.

Figura 46. Representación de puntos importantes analizados, ubicados sobre el cuadrante de Acajutla del Mapa de El Salvador, así como las unidades y sub-unidades geomorfológicas definidas en la zona.

Un mecanismo que explica el modelaje del dique de playa es el siguiente:

- 1) Se produce el transporte de sedimentos, hacia la costa, contigua a un terreno firme en el continente. Este está compuesto por suelos sedimentarios volcánicos, consolidados y antiguos, tobas y epiclastitas volcánicas, participan el viento, el oleaje y corrientes marinas.
- 2) El sedimento más superficial acarreado, está más suelto y es fácilmente transportado conforme a la dirección predominante de vientos, olas y las corrientes marinas. El mar aporta una cantidad de masa o arena en suspensión, originando en la superficie de la playa una capa de espesores variables, que durante la pleamar se deposita y se acumula, con aportes y desaportes al regreso del va y viene de la resaca marina.
- 3) El sedimento desplazado hacia la zona adyacente, se acomoda y asienta, exista o no un cuerpo de tierra contiguo, donde conformará la barrera puramente de arena, la cual separará los dos cuerpos de agua del estuario y del mar en la rotura bordera litoral o borde de la Bocana El Limón.

A medida que se avanza desde la Bocana El Limón hacia el acantilado, la cresta va de muy pronunciada haciendo entre una a dos terrazas hacia el frente de la playa, a muy suave, hasta casi desaparecer en la zona donde inicia la zona urbanizada e inicio del acantilado, ver Figura 47.

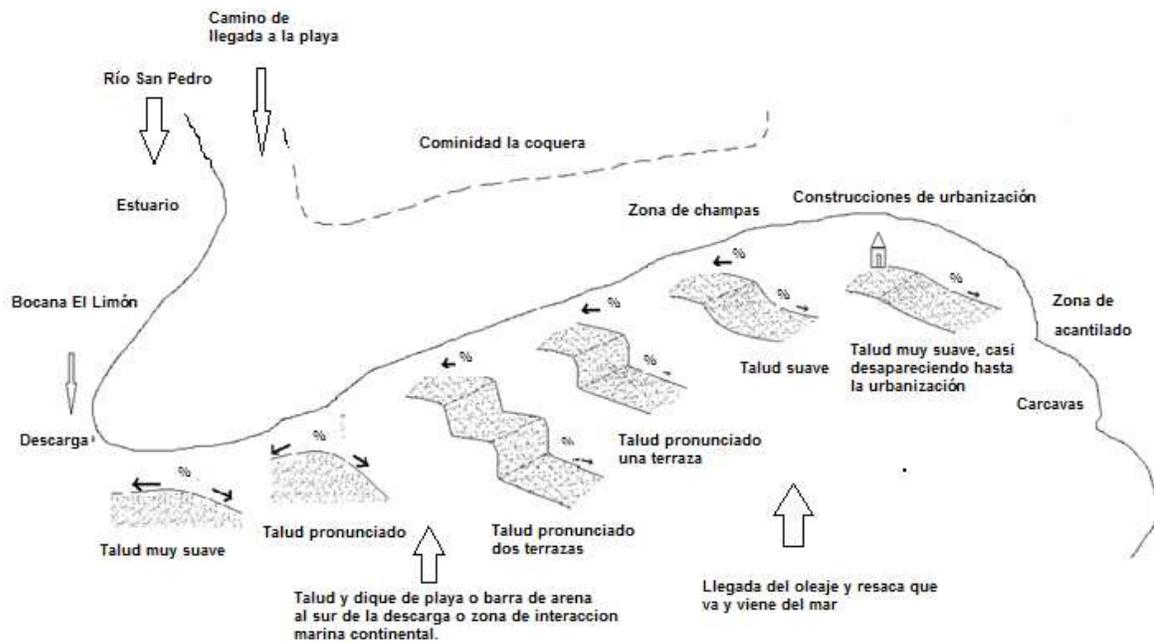


Figura 47. Cambios en la cresta del talud en el cordón litoral. Arenas relativamente sueltas. Tramo al sur de la descarga, transinteractiva marina continental en la Bocana El Limón.

El dique de arena, es el resultado de los aportes de los ríos tributarios y de la dinámica marina, de aporte y desaporte de arenas en suspensión, cuya condición aparentemente es de estabilidad por la conformación de arenas uniformemente compactas, pero en la realidad, sus arenas están en un estado estacionario y transactivo, cambiando de posición de un lugar a otro según la estación del año y el régimen de lluvia en la zona, sobre todo, en los eventos extremos que modifican drásticamente la morfología de la zona, en verano se acumula y deposita el material que baja desde aguas arriba por la reducción de las velocidades de flujo, en invierno las velocidades son mayores, disminuye la sedimentación, y al haber eventos extremos los ríos crecen y la desembocadura se ensancha arrasando con todas estas barreras de playa que se han conformado en el verano, las morfologías muy bajas de la zona, favorecen a la acción del agua sobre la superficie, facilitando la erosión, la sedimentación y el remoldeo de la zona.

Zona de acantilado. Es una estructura terro-rocosa muy consistente y estable en un ambiente dinámico y abrasivo adyacente al sur este de la Bocana El Limón, con altura de unos 18 a 25 m, ubicado a unos 1400m de la Bocana El Limón. Constituido por productos piroclásticos en proceso avanzado de litificación, muy

consistentes, con incrustaciones de clastos rocosos volcánicos brechosos, basaltos y andesitas. Con alto grado de erosión al estar en un ambiente dinámico marino-costero, ver Figura 48, describe el desarrollo del acantilado y productos volcánicos constituyentes), del pie del talud hasta altura de 3 ó 4 metros, predominan los piroclastos conglomeráticos con incrustaciones rocosas, y arriba de esos 3 metros hasta llegar a unos 25 metros desde el pie del talud, predominan piroclastos líticos, conglomeráticos en matriz areno arcillosa, de coloración rojiza; y areniscas conglomeráticas con incrustaciones rocosas.

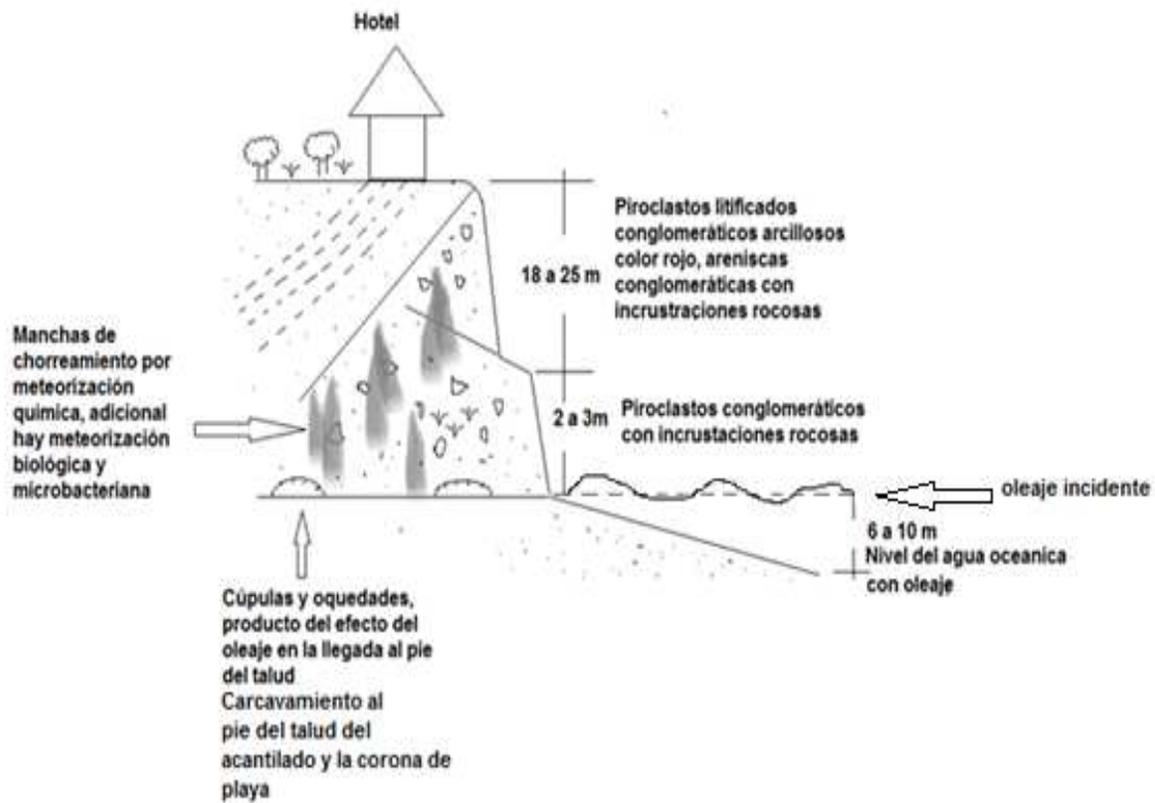


Figura 48. Desarrollo del acantilado y materiales volcánicos constituyentes. Forma del testigo que quedó del talud después de los deslizamientos, producto del choque del oleaje con la zona bordera.

Esta zona recibe el efecto de abrasividad con mejor exposición de choque directo con las olas que se producen en la zona, generado, después de los impactos, una serie de deslizamientos (ver Figura 49) y cárcavas. Es notorio un esquema de

trazas de fallamiento por tectonismo e intemperismo dentro de la masa de suelo litificada en la zona de exposición directa que interactúa con el choque de las aguas oceánicas, entre 6 m a 10 m de profundidad (según mapa batimétrico existente del año 2005).



Figura 49. Fotografía que muestra los materiales que han sido socavados producto de la abrasión en la zona y posteriormente sedimentados.

El proceso de meteorización está muy acentuado en esta zona de acantilado, meteorización mecánica desarrollada a través del choque del oleaje y la erosión, al pie del talud se observa el testigo de este proceso (ver Figura 49), materiales terrosos dispersos en porciones de masa aislada que fue arrancada del acantilado por la intensa abrasión marina y posteriormente se han ido sedimentando hasta llegar a un estado de litificación (ver Figura 50) con apariencia de arenisca. Esta zona también está afectada por meteorización química, producto de la disolución y lavado de minerales constituyentes del borde continental y en la estructura terro-

areno-rocosos del talud, contribuye al estado actual de buena consistencia y litificación histórica y buena estabilidad del talud, manteniendo condiciones estables de la posición de la borda oceánica actual, por la incidencia y choque del oleaje; pero a largo plazo, esta interacción se manifiesta en erosión regresiva bordera del talud continental. Meteorización biológica, es muy poca la vegetación, principalmente especies de musgos que se desarrollan en ambiente salino imperante, propio de la zona de estudio y a lo largo del borde continental salvadoreño.

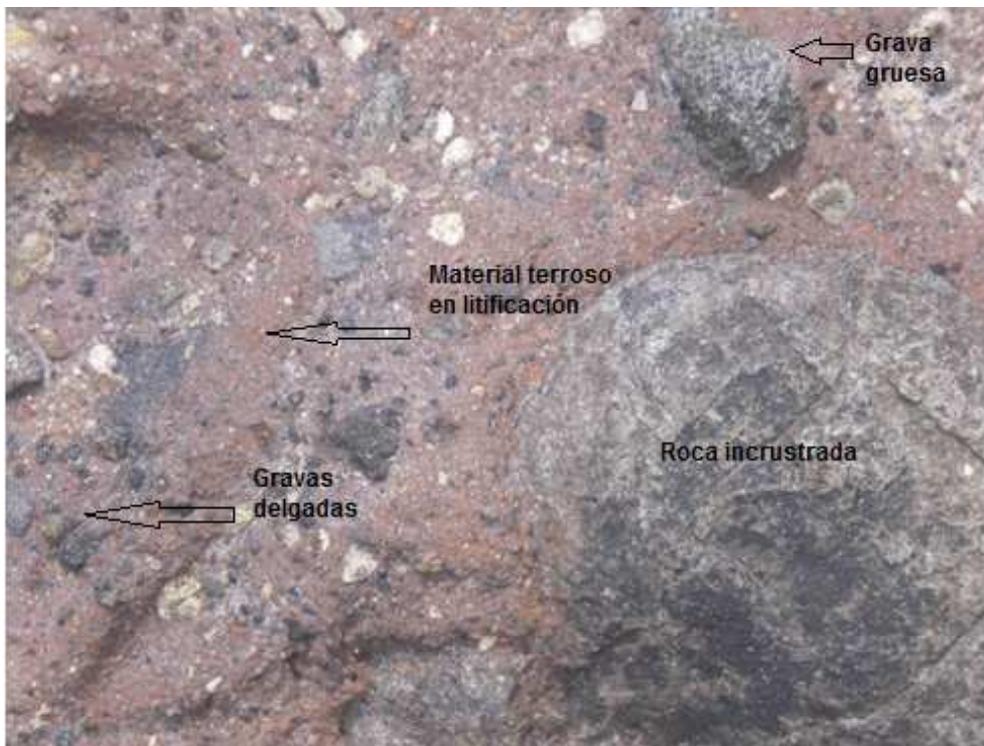


Figura 50. Materiales volcánicos que conforman el acantilado, principalmente piroclastos conglomeráticos con incrustaciones rocosas. Vista natural de frente ampliada.

Zona arqueada de playa. Está ubicada entre la Bocana El Limón y la zona del talud del acantilado, en la zona de desarrollo de la ciudad, con efecto de avance de la población hacia el margen de playa. Se muestra la complejidad de llegada del oleaje y su acción en el modelado costero, ver Figura 51. Dentro de esta franja de playa, está la antigua posición del Puerto de Acajutla, generando disipaciones de energía en épocas pasadas, el ángulo de llegada de las olas a esta zona es de $\Phi \approx 10^\circ$ deflectante respecto a la línea de playa.

El efecto dinámico marino, la energía descargada a lo largo de la trayectoria de las masas del agua y el choque del oleaje degradan sistemáticamente la zona, provocando un mayor grado de deterioro, transportado el material erosionado hacia las profundidades del océano y formando la zona arqueada que evidencia el fenómeno de erosión regresiva con el avance del mar sobre el terreno continental.



Figura 51. Fotografía que muestra la zona arqueada de playa ubicada entre la Bocana El Limón y la zona del acantilado.

Zonas altas o cabeceras de las cuencas de los ríos Sunza, San Pedro y Sensunapán.

Los puntos de estudio inician en la Bocana el limón hasta llegar a la zona de Apaneca, donde inicia la cuenca hidrográfica de los ríos San Pedro, Grande de Sonsonate y Sunza con elevaciones de 1200 a 1000 m, donde inicia la cordillera de cerros que cruza la cuenca de oriente a occidente. Los suelos predominantes en esta zona son de origen propiamente volcánicos y grano muy fino, color pardo claro casi amarillo (ver Figura 52), suelos granulares fricciantes de baja compacidad, plasticidad casi nula. Hay lavas antiguas, grandes rocas volcánicas de hasta 3 metros de diámetro, basaltos y limos arenosos.



Figura 52. Limos arenosos de coloración amarilla, matriz con incrustaciones de roca, estructura conglomerada.

En los lechos de los ríos hay abundantes rocas de grandes diámetros hasta 10 metros en pendiente de bajada de flujos de lava basáltica (ver Figura 53a), básicas a ácidas, fracturadas, y que acumulan sedimentos muy finos en las

concavidades de rotura o las formadas por el intemperismo (ver Figura 53b) y el efecto del desarrollo mecánico de las rocas.



Figura 53a.



Figura 53b.

Figura 53: a) Lecho de roca (flujo de lava) del río San Pedro, Cantón La Joya.

b) Acumulación de sedimentos en las fracturas de roca.

2.1.2.2 Granulometrías y análisis granulométrico.

La erosión y sedimentación producida por el agua superficial o escorrentía en las cuencas, comprende procesos de disgregación, transporte y depositación de las partículas de suelo superficial según su disposición morfológica plana, curvatura o concavidad, domo o ladera, etc. La lluvia produce impactos con las gotas sobre el suelo y dependiendo de las condiciones que este tenga, se produce infiltración o se va como escorrentía superficial, o una combinación de ambas. A través de los ríos se transporta suelos en suspensión o roca en arrastre, que llevan las corrientes de flujo, estos se depositan al azar en diversos puntos, condicionados por factores como la topografía, forma del cauce, velocidad del flujo, y tipos de suelo. Dentro de este sistema dinámico de flujo, las partículas desprendidas se someten a los

procesos mecánicos, por ejemplo: desplazamiento de un punto a otro, desgaste y transformación, transporte, o sedimentación, y continuarán otros procesos de bajamiento que sólo serán más lentos o casi estacionarios en la época seca del estiaje o no lluvia.

Dentro de los procesos sedimentarios en los cauces de los ríos, influye de manera directa la forma, tamaño, dureza o compacidad de los materiales, densidad y tipo material y los factores morfológicos como topografía y forma del cauce, ya que de la combinación de estos factores, una partícula tiene o no la posibilidad de sedimentarse en un punto o simplemente ser transportada como sólido en suspensión, especialmente en ambientes dinámicos como las bocanas que poseen descargas directas al mar.

Los resultados de las granulometrías realizadas a las muestras extraídas en los puntos antes mencionados se resumen en las Tablas 16, 17 y 18.

Granulometría

Equipo: Posteadora Manual

Profundidad de sondeo: 0 m – 0.2 m.

Tabla 16: Granulometrías a lo largo del eje central del río San Pedro.

Punto	Playa	Talud de playa	Pto. Ribera RSP	Pto. La Atalaya	Pto. Los Santos	Pto. Santo Domingo de Guzmán	Pto. San Pedro Puxtla	Visita 6 Barreno
Longitud (km)	0	0.08	1.3	4.04	6.6	15.76	19.13	23.5
Elevación (msnm)	0	2	17	38	53	340	487	985
Malla	Tamaño (mm)	% Retenido	% Retenido	% Retenido	% Retenido	% Retenido	% Retenido	% Retenido
1"	25.400	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3/4"	19.100	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1/2"	12.700	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.52	0.00
3/8"	9.500	0.00	0.00	0.00	0.00	4.90	3.29	3.88
No 4	4.750	0.00	0.00	1.40	1.20	19.90	18.30	23.50
No 8	2.360	0.00	0.00	3.00	0.60	18.60	18.94	23.96
No 10	2.000	0.10	0.00	1.20	0.10	2.80	12.60	2.46
No 16	1.180	0.10	0.20	7.70	1.60	5.90	10.73	8.20
No 20	0.850	0.50	0.50	8.30	1.80	6.00	6.34	6.87
No 30	0.600	2.20	3.40	10.70	0.80	8.10	5.16	4.80
No 40	0.420	7.60	5.10	12.10	3.90	6.00	6.89	5.90
No 60	0.250	31.80	28.90	25.40	13.90	9.80	5.51	6.34
No 80	0.200	33.00	27.60	14.50	17.20	4.30	2.50	1.98
No 100	0.150	12.10	14.80	5.70	13.10	2.30	1.87	4.42
No 200	0.075	12.20	18.40	8.40	30.00	5.20	1.80	4.50
Fondo		0.30	1.10	1.50	15.60	6.10	1.55	3.19
TOTAL		100	100	100	100	100	100	100

Granulometría

Equipo: Posteadora Manual

Profundidad de sondeo: 0.2 m – 0.4 m.

Tabla 17: Granulometrías a lo largo del eje central del río San Pedro.

Punto		Talud de playa	Pto. La Atalaya	Pto. Los Santos	Pto. Santo Domingo de Guzmán	Pto. San Pedro Puxtla	Visita 6 Barreno
Longitud (km)		0.08	4.04	6.6	15.76	19.13	23.5
Elevación (msnm)		1.5	38	53	340	487	985
Malla	Tamaño (mm)	% Retenido	% Retenido	% Retenido	% Retenido	% Retenido	% Retenido
1"	25.400	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3/4"	19.100	0.00	0.00	0.00	3.68	0.00	0.00
1/2"	12.700	0.00	0.00	0.00	14.04	4.30	0.00
3/8"	9.500	0.00	0.00	11.20	4.85	7.05	3.80
No 4	4.750	0.10	0.00	8.60	15.20	19.59	15.90
No 8	2.360	0.40	0.60	21.60	21.25	26.30	23.50
No 10	2.000	0.60	0.40	4.60	5.19	1.34	2.80
No 16	1.180	2.40	2.00	15.40	12.14	7.80	10.80
No 20	0.850	3.30	4.00	7.90	5.78	7.68	6.70
No 30	0.600	7.52	1.20	5.70	4.57	5.50	5.40
No 40	0.420	11.30	7.60	5.50	3.76	4.48	5.50
No 60	0.250	35.50	17.00	8.70	4.39	4.81	7.50
No 80	0.200	22.40	10.80	4.20	1.97	2.02	4.10
No 100	0.150	8.00	11.20	2.00	0.90	4.41	2.30
No 200	0.075	8.20	28.80	2.60	1.40	2.26	6.30
Fondo		0.30	16.40	2.20	0.88	2.46	5.40
TOTAL		100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

Granulometría

Equipo: Posteadora Manual

Profundidad de sondeo: 0.4 m – 0.6 m.

Tabla 18: Granulometrías a lo largo del eje central del río San Pedro.

Punto		Talud de playa	Pto. La Atalaya	Pto. Los Santos	Pto. Santo Domingo de Guzmán	Pto. San Pedro Puxtla	Visita 6 Barreno
Longitud (km)		0.08	4.04	6.6	15.76	19.13	23.5
Elevación (msnm)		1	38	53	340	487	985
Malla	Tamaño (mm)	% Retenido	% Retenido	% Retenido	% Retenido	% Retenido	% Retenido
1"	25.400	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3/4"	19.100	0.00	0.00	0.00	4.80	0.00	0.00
1/2"	12.700	0.00	0.00	0.00	16.40	0.00	0.00
3/8"	9.500	0.00	0.00	13.70	3.21	6.80	0.00
No 4	4.750	0.50	2.20	9.50	17.30	25.70	13.80
No 8	2.360	2.00	8.80	17.90	19.67	24.50	21.70
No 10	2.000	1.50	0.80	4.20	7.90	0.98	1.70
No 16	1.180	4.00	4.90	12.40	10.44	5.50	9.20
No 20	0.850	6.20	3.30	7.30	3.56	4.87	9.50
No 30	0.600	10.00	2.50	6.60	4.10	2.30	8.80
No 40	0.420	11.00	13.00	7.50	3.13	6.10	6.20
No 60	0.250	30.20	16.70	11.20	5.80	6.50	7.30
No 80	0.200	19.60	10.90	4.80	0.98	4.33	4.40
No 100	0.150	7.80	11.50	1.80	0.70	5.90	3.00
No 200	0.075	6.70	17.90	2.10	1.36	2.40	6.80
Fondo		0.50	7.50	1.00	0.65	4.12	7.70
TOTAL		100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

Para el caso de las granulometrías obtenidas de muestras alteradas recolectadas en el eje central del río San Pedro, se tabularon los datos y se resumieron en las Tablas 16, 17 Y 18. Tomando como referencia de análisis la capa más superficial (0m-0.2m) se puede identificar lo siguiente:

- En la zona baja, ubicada entre las cotas 0 y 100 msnm, cercana a la Bocana El Limón, predominan arenas finas con tamaños entre 0.075 mm a 0.25mm, debido al proceso de desgaste, al que se someten las partículas de roca o suelo a lo largo de los cauces de los ríos y quebradas. A nivel de playa y en el punto de desembocadura las arenas finas representan el 99.7%, el restante 0.3% lo conforman finos que pasan la malla No 200, esto es debido a que los sedimentos menos densos o arenas transactivas de erosión, son transportadas como sólidos en suspensión, que se descargan directamente al mar, esto se comprobó visualmente en varios puntos, al ver la turbidez y color que lleva el agua hasta el punto de descarga masiva con los productos de sólidos sedimentados en suspensión. En esta zona baja no se encontraron partículas del tamaño de las gravas,
- En la parte media-baja, entre las cotas 100 a 800, el 50%, de las partículas son predominantemente arenas gruesas con diámetros entre 4.75mm a 2mm, las arenas finas menores que 2 mm de diámetro (malla No10), representan el 40%,8% de gravas con diámetros entre 12.7 mm a 4.75 mm, y el 2% son arenas finas que pasan la malla No 200. Esta es una zona de acción mecánica en donde las gravas y arenas están sometidas a un desgaste intenso, ya que si se comparan los porcentajes de arenas gruesas y gravas que se acumulan en esta zona con los que se acumulan en la Bocana, el 100% de estas arenas gruesas y gravas, pasan a ser arenas finas, debido a la acción dinámica constante del flujo y las pendientes en los cauces de los ríos de la zona que van de 1% a 5%.
- En las zonas más altas, por la cota 900, hay granulometrías más finas y uniformes, arenas gruesas, mezcladas con suelos arcillosos, o limos arenosos, del ambiente volcano-sedimentario, predominando suelos de baja compacidad, como matriz de las incrustaciones de rocas, que por ejemplo, cuando los taludes

se saturan de agua, las masas de suelo se sueltan con facilidad, y continúan los procesos continuos de erosión hasta llegar a la Bocana el Limón y el mar.

2.1.3 Evaluación de la erosión.

Las pérdidas relativas de suelos superficiales, en este caso de estudio se calcula con la Ecuación 2.1 ⁶⁶ la cual se basa en el potencial erosivo de las lluvias y la susceptibilidad de los suelos a ser erosionados, relaciona valores de esorrentía superficial con las condiciones del suelo superficial (cobertura vegetal y uso de suelos), permeabilidad, dentro del sistema de cuencas y sus correspondientes ríos, Sensunapán, San Pedro y Sunza. Así, la tasa potencial de pérdida de suelo o erosión ante los efectos de un evento lluvioso en particular, es:

$$A = 11.8(V * Qp)^{0.56} KCPLS \quad \text{(Ecuación 2.1)}$$

donde:

A: es la cantidad de sedimentos que se producen durante una tormenta singular (en toneladas métricas, t).

V: es el volumen de esorrentía (m³).

Qp: es el caudal instantáneo máximo (m³ / s).

K: es el factor erosionabilidad del suelo.

L : es el factor longitud de la pendiente.

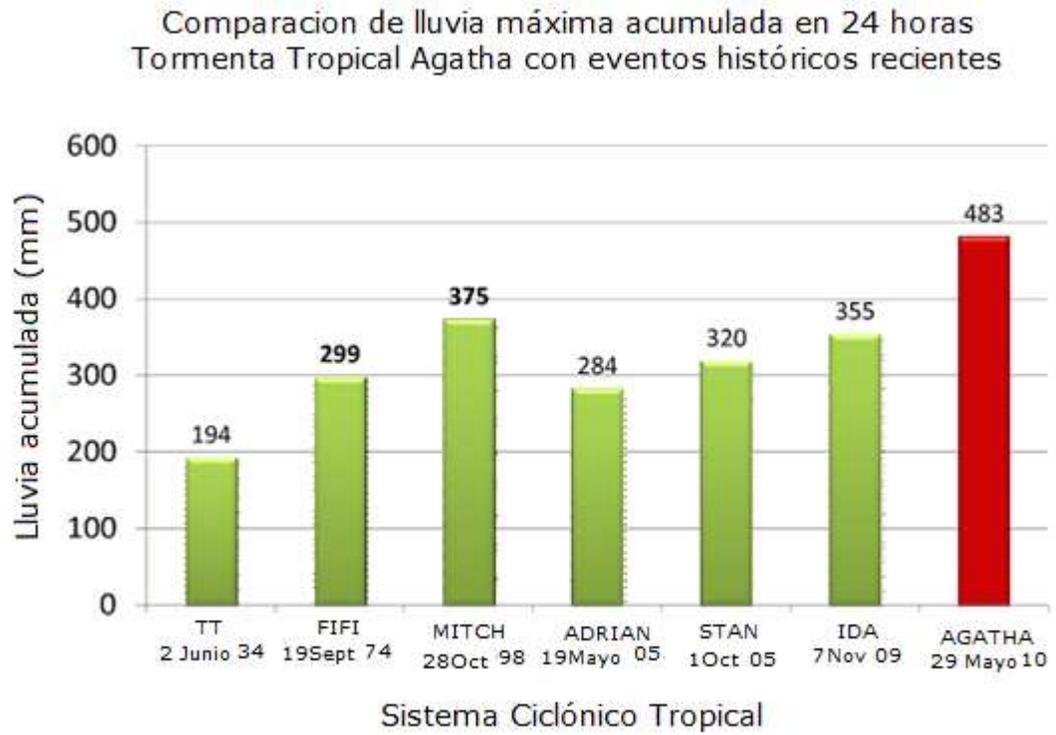
S : es el factor gradiente de la pendiente.

C : representa el uso y gestión de suelos.

P : es el factor práctica mecánica de apoyo.

66 MUSLE modificada, acrónimo de Modificate Universal Soil Loss Equation.

sistema ante las influencias de sucesos extremos. Para el caso, de la tormenta tropical Agatha, generada los días 29 y 30 de Mayo del 2010, comparando los registros meteorológicos desde 1934 hasta la fecha, se considerada como uno de los eventos con mayor cantidad de milímetros de lluvia acumulada en 24 horas (483 mm), como se muestra en la Figura 54.⁶⁷



Fuente: Informe Tormenta Tropical Agatha SNET Junio 2010

Figura 54. Comparación de lluvia máxima para eventos extremos desde 1934 hasta Mayo 2010.

⁶⁷ Un caso extremo que se puede ejemplificar en este período es el de 17, 18 y 19 de Septiembre de 1982, la estación del Picacho 1950 msnm, volcán San Salvador, registró lluvia en estos tres días mayor que 350 mm acumulados y el día 19 provocó el desastre de la Colonia Monte Bello poniendo con flujos de lodo (lahar). 40,000 personas perdieron su hogar y más de 500 personas murieron. Se estima que bajaron 400,000 m³ de lodos misceláneos de materiales superficiales arrastrados de arriba hacia abajo. GOES/MOP/ONU. JOSEPH HOPF. JULIO 1983. DOCUMENTO DE CAMPO. FO: ELS/78/004. Deslizamiento de la quebrada El Níspero.

Para el análisis de precipitación de la tormenta Agatha, se consideraron los datos de intensidades de lluvia horarias para las estaciones pluviométricas Los Naranjos, Ataco y Acajutla, debido a su ubicación geográfica con respecto al sistema tributario de las cuencas Sensunapán, San Pedro y Sunza, ver Figura 55.

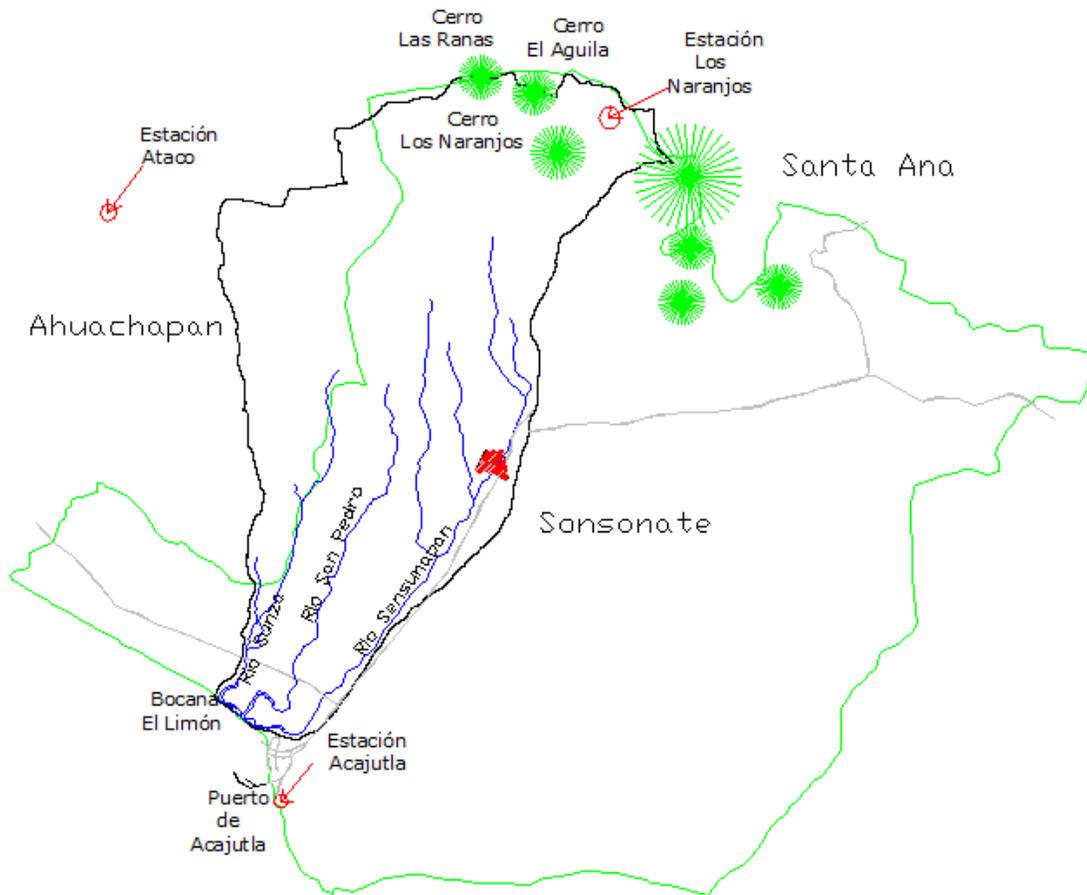


Figura 55. Ubicación de las estaciones hidrotelemétricas Los Naranjos, Ataco y Acajutla, dentro del sistema tributario de las cuencas Sensunapán San Pedro y Sunza. Montaje por el Grupo de Tesis, Noviembre 2010.

Caudal Pico (máximo) o escorrentía máxima Q_p :

a) Tiempo de concentración de la lluvia para cada cuenca:

$$T_c = \frac{\sqrt{A} + 1.5 L_c}{0.85 \sqrt{H_m}} \quad (\text{Ecuación 2.2})$$

donde:

A: área de la cuenca (km²)

Lc: Longitud del cauce principal (km)

Hm: Elevación media (msnm)

b) Cuando los tiempos de concentración calculados para cada cuenca son menores que 4 horas, Qpse calcula como sigue:

$$Q_p = \frac{0.114V * A}{T_c'} \quad \text{(Ecuación 2.3)}$$

donde:

V: Volumen de esorrentía (mm)

A: Area de la cuenca (km²)

Tc': 0.6 (Tiempo de concentración) hr

c) El Volumen de esorrentía se calcula con la siguiente expresión:

$$V = \frac{(P_b - 0.2S)^2}{(P_b + 0.8S)} \quad \text{(Ecuación 2.4)}$$

donde:

Pb: valor de lámina precipitada (mm)

$$S : \left(\frac{1000}{CN} - 10 \right) * 25.4$$

CN: es el número de curva de esorrentía

d) El cálculo de Pb se hace a través de la gráfica Área - Profundidad de precipitación - Duración (Hp-A-D). La cual se obtuvo de la siguiente manera:

- a) Se ubicaron las estaciones hidrotelemétricas Los Naranjos, Ataco y Apaneca, con respecto al sistema tributario en estudio, ver Figura 56.
- b) Con los registros horarios de cada estación para los días 29 y 30 de Mayo 2010, se trazó la curva-masa y se definió el inicio y el fin de la tormenta en la zona, así: inicio: Sábado 29 Mayo 2010, 10 am, Fin: Domingo 30 Mayo 2010 8am. Ver Anexos 5,6 y 7.
- c) Se trazaron los polígonos de Thiessen y las curvas Isoyetas y se calcularon las diferentes áreas de influencia, ver Anexo 8.
- d) Se hicieron los cálculos de la hpaj (altura de precipitación ajustada) en las Hojas de cálculo, ver Anexos 9,10 Y 11 tomando como base para este cálculo el procedimiento establecido por Aparicio Mijares⁶⁸.
- e) Se trazaron las gráficas Hp-A-D, ploteando en el eje de las abscisas las alturas de precipitación y en el eje de las ordenadas el área, para cada una de las horas que duró la tormenta, ver Anexo 12. Para el caso, se trazaron las gráficas para las horas impares desde que inició la tormenta. Ver en la Gráfica HP-A-D, Anexo13.
- f) Lectura del valor de Pb para cada cuenca: se entra con el valor del área de la cuenca, hasta interceptar la curva que más se aproxime al valor del tiempo de concentración y se baja una perpendicular, hasta leer el valor de Pb en mm, en el eje de las abscisas.

USO DE SUELO. Los factores que dependen del uso del suelo dentro de la MUSLE son, el Número de curva CN, el factor de manejo de cultivos C y el tipo de práctica agrícola para el cultivo P. En el proceso de cálculo, se sacaron valores promedios para cada valor de acuerdo con el porcentaje que representaba cada uso de suelo dentro del área de cada cuenca. Para este proceso, fue necesario usar las Tablas de los Anexos 14 y 15. Ver las hojas de cálculo, Anexo 17,18 y 19. El procedimiento utilizado fue el siguiente:

- a) Disponer de los usos de suelos de cada cuenca y sus respectivas áreas
- b) Se calculó el % de área que representa cada uso de suelo
- c) Se sacaron los valores de C y CN para cada uso de suelo

⁶⁸Fundamentos de Hidrología de superficie. Aparicio Mijares. Páginas 153-160.

- d) Se multiplicó cada valor de C y CN por el % de área y se dividió entre 100
- e) Se suman todos los valores para sacar un Cprom y CNprom

Obtención del valor K o coeficiente de erosionabilidad, utilizando los datos de las granulometrías de la Tabla 16, y el uso del Nomograma del Anexo 20 de la siguiente forma:

- a) De la granulometría de la Tabla 16, se sacaron los porcentajes de limos más los de arena muy fina, es decir, partículas que van entre 0.075mm a 2mm. Para el caso, este valor es de 73.6%, se hace un promedio de todas las granulometrías dentro de este intervalo, y que se encuentran a lo largo del eje central del sistema de cuencas. El porcentaje de materia orgánica que se obtuvo fue 0%.
- b) Se analiza el tipo de estructura del suelo, para el caso y por la tendencia que presentan las granulometrías, el suelo es granular muy fino, y de permeabilidad secundaria o moderada, de acuerdo con el mapa de permeabilidad de la zona. Ver Anexo Mapa 7.
- c) Definidos estos valores, se utilizan para aplicarlos en el procedimiento descrito en el Nomograma del Anexo 20.

RELIEVE TOPOGRAFICO. La inclinación del terreno, es uno de los factores más importantes de la erosión del suelo. En tierras llanas, la erosión por el agua es menor o poco tasable, y puede haber más sedimentación. Si la pendiente de los terrenos aumenta, habrá más erosión. Los suelos arenosos, son poco erosionables cuando el declive es pequeño, y la erosión es intensa cuando el declive es grande. El factor LS o longitud de pendiente, se obtiene introduciendo en el nomograma, (Anexo 21) la longitud de la pendiente en el eje de las abscisas, hasta interceptar la gráfica que corresponde al valor más cercano de pendiente media, en el punto de intercepción se traza una horizontal hasta leer un valor en el eje de las ordenadas del factor LS. Ver Nomograma del Anexo 21.

RESULTADOS.

Los resultados aplicando la ecuación MUSLE, de la cantidad de arenas finas que aportan los ríos Sensunapán, San Pedro y Sunza a través de sus cauces y que desembocan en la Bocana El Limón para un evento lluvioso con tiempo de concentración promedio 3.4

horas es de 11,338.11 ton de arena fina. Ver hojas de cálculo, Anexos 22,23 y 24, y Figura 56.



Figura 56. Cantidad de arenas finas que desembocan en la Bocana El Limón, producto de los procesos erosivos en los ríos Sensunapán, San Pedro y Sunza.

GRAFICA DE HJULSTRÖM⁶⁹ PARA EVALUACION CUALITATIVA INDICADORA DE LA SEDIMENTACION.

Esta curva es utilizada por los hidrólogos para determinar si un río erosiona, transporta o deposita sedimentos. Hjulström, en 1944 estableció experimentalmente las curvas que relacionan la velocidad V_f del fluido en un canal de flujo y el tamaño de las partículas dentro del canal, ver Figura 58, o diagrama de equilibrio. La Figura 57, explica condiciones para las variables anteriores, de acuerdo con el gráfico de Hjulström:

- Partículas de tamaño constante (3mm), en función de velocidades variables:

⁶⁹ Filip Hjulström (1902-1982).

-en A, el agua circula 300 cm/seg, separando las partículas unas de otras y las elimina del recipiente de experimentación: se produce erosión;

-en B, la corriente es capaz de desplazar las partículas que se transporten en el agua; sin embargo, no podrá vencer las fuerzas que las mantienen en el fondo: hay exclusivamente transporte;

-en C, el agua circula sin arrancar ninguna partícula y sin transportar ninguna de las que se arrojen: se produce sedimentación.

- Partículas de tamaños variables en función de una velocidad constante (50 cm/seg):

-de L a M, el agua es incapaz de arrancar partículas inmóviles del canal de experimentación; pero si se arrojan, podrá transportarlas;

-de M a N, las partículas serán arrancadas y evacuadas del canal;

-de N a O, la misma observación que de L a M, aunque aquí las partículas son de mayor tamaño;

-de O a P, incluso al arrojarlas a la corriente, las partículas se depositan inmediatamente en el fondo.

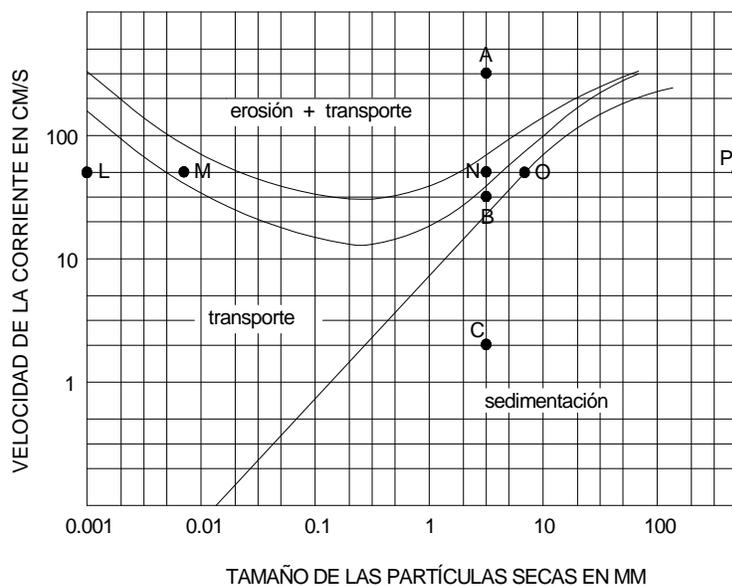


Figura 57. Ejemplo de uso de diagrama de Hjulström.

EVALUACION CUALITATIVA INDICADORA DE LA EROSION EN LA BOCANA EL LIMON USANDO EL DIAGRAMA DE EQUILIBRIO DE HJUSLTRÖM Y EL PROMEDIO GRAFICO DE FÖLK AND WARD.

Basado en el registro de 20 años de 1990 a 2010, de la velocidad media del cauce del Río San Pedro, proporcionados por el Servicio Nacional de Estudios Territoriales SNET, para la estación de aforo La Atalaya (ver Tabla 19), ubicada a 1km de distancia de la Bocana El Limón, tal como se muestra en la Figura 58, se procede de la siguiente de la siguiente forma:

Tabla 19: Ubicación de Estación hidrométrica La Atalaya

ESTACION	No.	CODIGO	RIO	UBICACION		TIPO DE ESTACION
				Lat. N.	Long. O.	
Atalaya	3	24-01-01	San Pedro	13° 36 ' 24.6"	89° 49 ' 47.1"	Convencional

Fuente: Sección de Hidrología del SNET, Tabla N°1: Red de estaciones de cantidad de agua. <http://www.snet.gob.sv/ver/hidrologia/monitoreo+hidrologico/>



Figura 58. Ubicación Estación La Atalaya de tipo convencional. Adaptación propia del cuadrante Acajutla.

El cálculo del promedio de velocidades, para los registros del anexo 25 es de 0.25 m/s, desviación normal estándar de 0.11 m/s. El intervalo de valores es 0.14 m/seg a 0.36 m/seg al 67.45% de fiabilidad normal. Para determinar el diámetro promedio de partículas de suelo en la Bocana El Limón, en el gráfico de Hjulstrom, se discriminarán las partículas de tamaños mayores que 4.75 mm correspondientes al tamiz N°4 para promediar tamaños de la arena entre 4.75 mm a 0.075 mm.

Se aplica el criterio de promedio gráfico (Mz) de Folk and Ward (1957) y Folk (1966 y 1969)⁷⁰, dado por la siguiente expresión:

$$Mz = (\Phi_{16} + \Phi_{50} + \Phi_{84})/3 \quad \text{(Ecuación 2.5)}$$

donde:

Φ_{16} , corresponde al tamaño de grano en mm para el 16% de arena que pasa en la gráfica granulométrica.

Φ_{50} , corresponde al tamaño de grano en mm para el 50% de arena que pasa en la gráfica granulométrica.

Φ_{84} , corresponde al tamaño de grano en mm para el 84% de arena que pasa en la gráfica granulométrica.

La Curva Granulométrica de la Figura 59, generada por los porcentajes de arena retenida en la prueba de cribado, para la muestra recogida en el punto Talud de Playa a la profundidad de 0 m a 0.2 m, tomada en la Bocana El Limón, (ver Tabla 16) se obtuvieron los datos resumidos en la Tabla 20:

⁷⁰ Folk, R.L., Ward, W., 1957, Brazos River bar: a study in the significance of grain size parameters: Journal of Sedimentary Petrology, 27, 3-26.

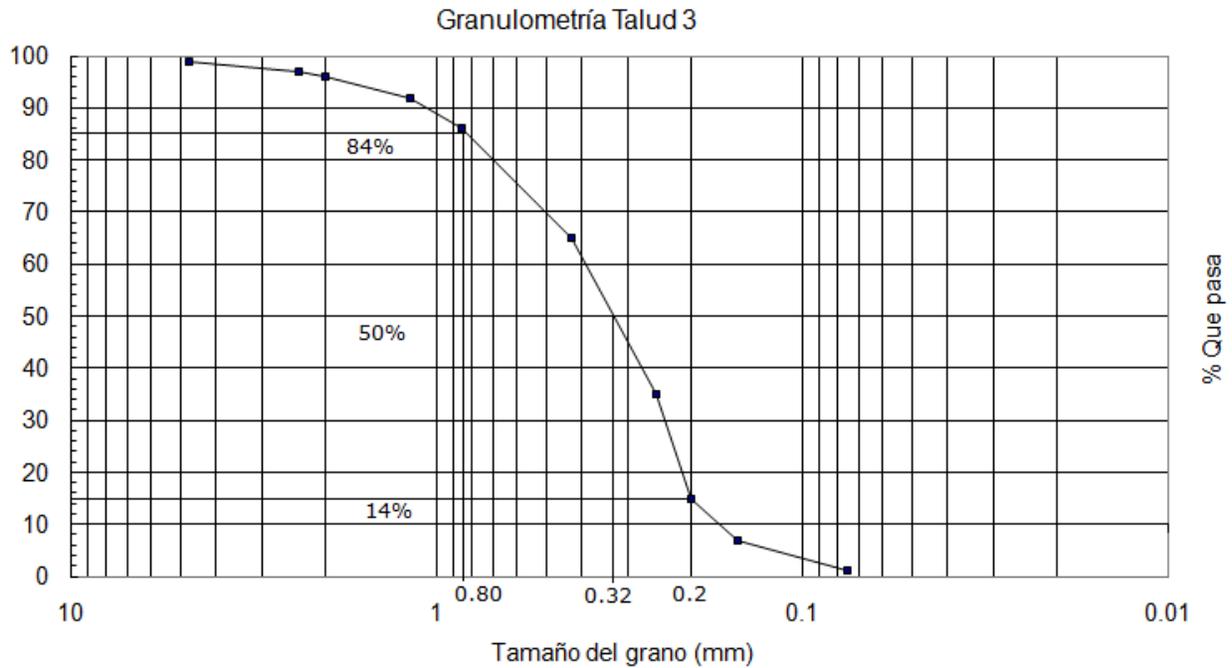


Figura 59. Curva Granulométrica para las muestras recogidas en el punto Talud 3. Bocana El Limón.

Para $\Phi_{16}=0.2\text{mm}$; $\Phi_{50}=0.32\text{mm}$ y $\Phi_{84}=0.80\text{mm}$, $M_z= 0.44\text{mm}$

Tabla 20: Tamaño de grano para la obtención del promedio gráfico utilizando el promedio gráfico de Folk and Ward.

% Que Pasa	Φ (mm)
16	0.20
50	0.32
84	0.80

Fuente: Elaboración propia.

Para la aplicación de esta ecuación se considera la precipitación para un evento lluvioso en particular, correspondiente a eventos extremos, estimando la respuesta que tiene el sistema ante las influencias de sucesos extremos. Para el caso, de la tormenta tropical

Se aproximan los valores de tamaño de partículas en mm y velocidad de flujo (cm/seg) obtenidos, en el Diagrama de Hjulström, así:

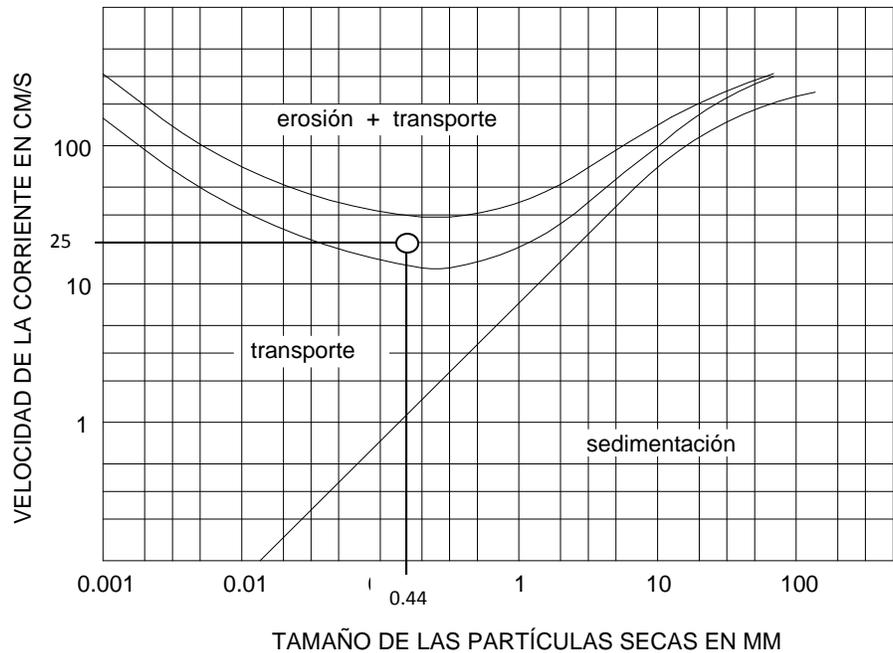


Figura 60. Evaluación de la erosión en la Bocana El Limón, usando el diagrama de Hjulström.

La evaluación indica erosión y transporte de sedimentos y los valores caen en la concavidad de la gráfica, ver Figura 60. Significando esto que la Bocana El Limón es una zona trans-erosiva, con arenas transactivas en desarrollo de sedimentación o sedimentando, que comprende el movimiento de partículas de las aguas pluviales y de aguas marítimas. El mar ejerce influencia en el desarrollo de las geoformas de la bocana, empujando permanentemente hacia el cauce final de los ríos Sensunapán, San Pedro y Sunza mediante el oleaje, mareas y corrientes marinas. Es una zona dinámica en equilibrio desarrollándose como depósito de sedimentación y aliviamiento marino continental, como otra modalidad en la borda costera o cordón marino continental, que controla el efecto del oleaje y las corrientes marinas expulsados con la resaca grandes volúmenes de arena que sedimenta en esta borda y la Bocana.

2.2 COMPARACION DE FOTOS AEREAS DE LA BOCANA EL LIMON AÑOS 1949 Y 1996.

Las fotografías aéreas de comparación en la evaluación costera de la Bocana El Limón, corresponden a los años 1949 (Figura 61) y 1996 (Figura 62), en escala 1:40000 y 1:20000, respectivamente. Se uniformizaron las escalas, mediante la elección de los mismos puntos fijos para cada fotografía citada, carreteras y edificios para los dos años utilizando el software Autocad 2009. El indicador más empleado para la línea de costa es la línea de pleamares, considerada como equivalente al alcance medio de la pleamar sobre la playa e identificable por el cambio de tono de grises en la fotografía aérea, ésta corresponde a la huella dejada en sedimento por la pleamar en cada toma de la fotografía, llamada marca de agua⁷¹. Se tomaran puntos de referencia de avance o retroceso de línea costa, por ejemplo el dique de arena ubicado en la Bocana, la intersección del acantilado con el cordón costero, y la zona arqueada de la costa.

⁷¹ http://cgat.webs.upv.es/bigfiles/costas/Ponencias_actas/02.L.Rodriguez,F.J.Gracia.pdf



Figura 61. Fotografía aérea de 1949 sobre el litoral de Acajutla comprada al Centro Nacional de Registro en formato digital. Escala 1:40000.



Figura 62. Fotografía aérea de 1996 sobre el litoral de Acajutla comprada al Centro Nacional de Registro en formato digital. Escala 1:20000.

La descripción de los puntos fijos es la siguiente:

- 1) Calle de acceso 1 (ver Figura 63). Parte de la carretera CA-12, rodea la Colonia La Fortaleza y El Barrio La Playa de Acajutla, y termina a la mitad de la zona arqueada de la Bahía de Acajutla, intersectando la Calle de Acceso 2.
- 2) Calle de acceso 2 (ver Figura 63). Parte de la carretera CA-12, tomando el litoral de la zona arqueada e interseca la calle de acceso 1.
- 3) Camino rural (Ver Figura 63). Parte de la carretera El Litoral después de la Colonia Atalaya, en dirección al río El Coyol.

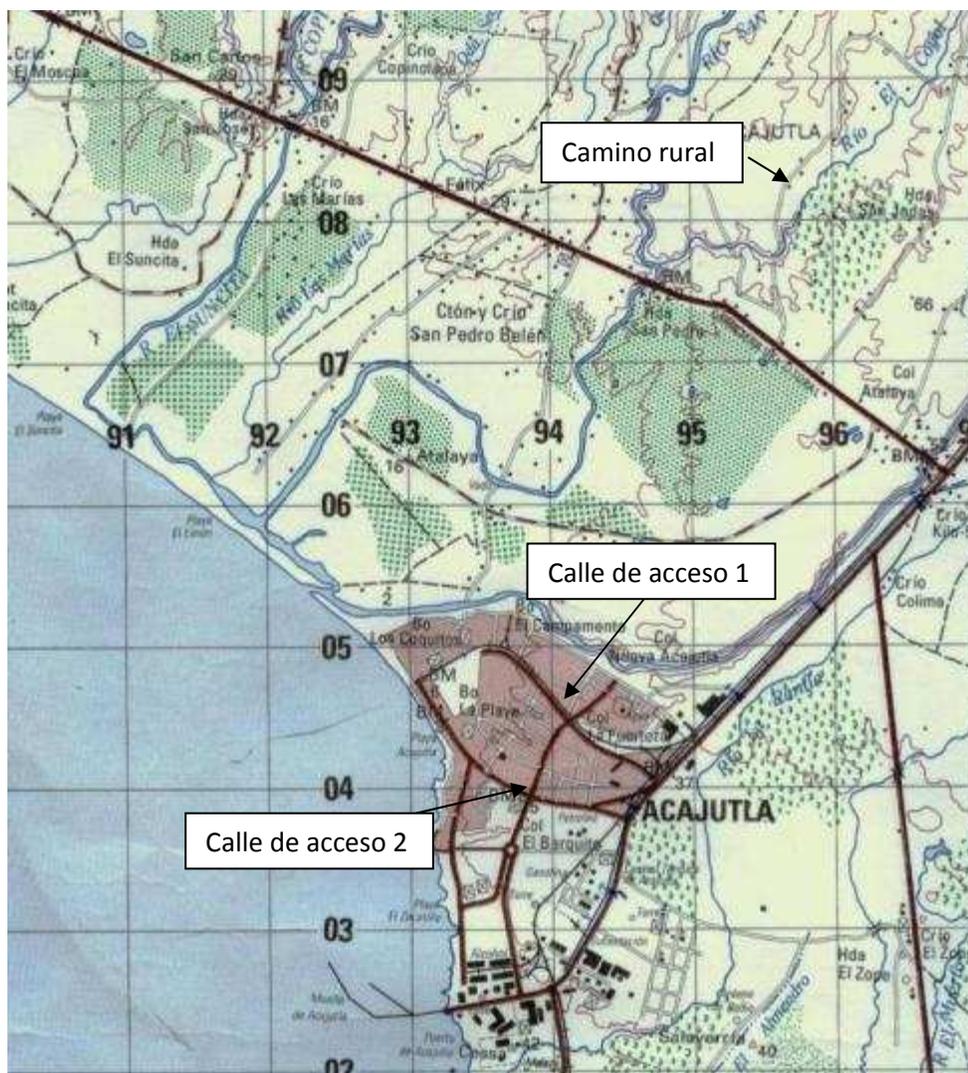


Figura 63. Puntos fijos seleccionados para el montaje de las fotografías aéreas.

Las calles de acceso identificadas y el camino rural, conservan el trazo en ambas fotografías. De acuerdo con esto, se uniformizaron las escalas de las fotografías a 1:20000, con la línea de costa y las desembocaduras de los cauces de los ríos afluentes a la Bocana El Limón, se definieron seis puntos de análisis para estimar un valor promedio de los cambios en el arco de playa sobre el cordón litoral rumbo sureste hacia el Puerto de Acajutla. Sobreponiendo las líneas de la fotografía de 1996 en la de 1949 se determinaron las variaciones en posición de la línea de costa (ver anexo 26).

Los cambios más notables fueron los siguientes:

En 1949 existió una área de manglar que el Río Sensunapán rodeó antes de llegar a la desembocadura, en la fotografía de 1996 ésta no apareció y en vez, apareció un cordón de playa prominente. La distancia entre los cauces del río en esa zona es 100 m.

Las diferencias de desplazamiento de la línea de costa en la faja costera son 20m, 30m, 30m, 40m, 50m y 60 m. Ver Figura 63. El promedio de estos valores (38.33m) es el ancho de faja entre ambas líneas costeras, en los años 1949 y 1996. Considerando una proyección lineal, para los 47 años transcurridos entre las fotografías, existe una razón de desplazamiento horizontal igual a 0.41m/semestre (0.82 m/año) considerando el período de estaciones del país.

Otra proyección lineal tomando como referencia la tasa de desplazamiento horizontal de 0.82 m/año, a partir del año 1996 al año 2010, el desplazamiento promedio en la faja costera sería 49.51m hacia dentro del continente, Ver Figura 64. Ha habido procesos erosivos por la dinámica marina y de sedimentación, principalmente en las zonas aledañas a la Bocana El Limón, debido a la combinación de las aguas marinas oceánicas, con las aguas dulces.

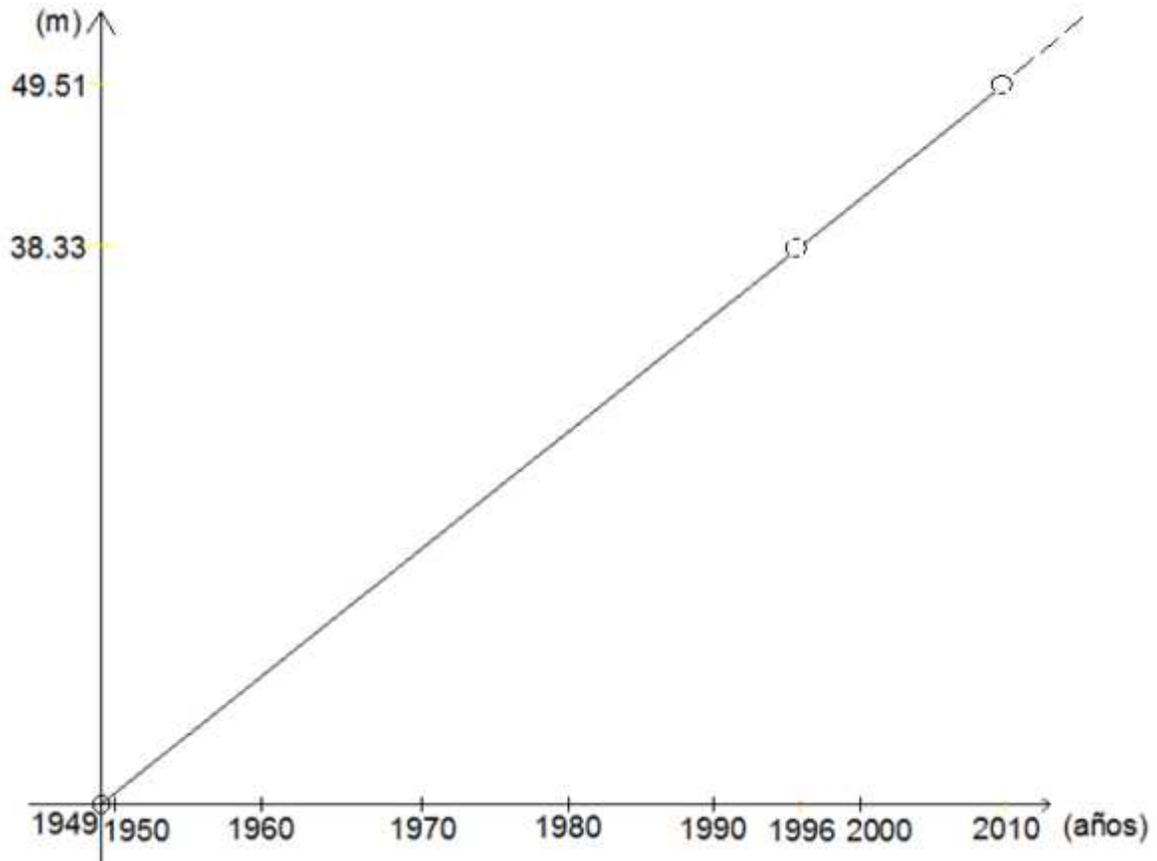


Figura 64. Proyección lineal de la tasa de erosión a nivel de playa, comparando fotografías aéreas de 1949 y 1996.

FOTOGRAFÍAS SATELITALES DE GOOGLE EARTH, AÑOS 2005, 2006, 2010:

Complementario a las fotografías aéreas, se eligieron escenas satelitales de 25 de febrero de 2005, 09 de enero de 2006 y 21 de febrero de 2010, disponibles en el software Google Earth (ver Figura 65, 66 y 67) para la zona Bocana El Limón y Puerto de Acajutla. La diferencia de desplazamiento horizontal de las líneas de costa se estableció en los puntos P1, P2, P3 y P4 (ver Figura 68), sobre la línea litoral, en la orientación del tren de olas. Las olas en la zona de la costa, conforman arcos bien definidos que se proyectaron para establecer esta orientación de acuerdo con sus radios, ver Figura 68.



Figura 65. Fotografía de satélite sobre Bocana El Limón, 25 de febrero de 2005.

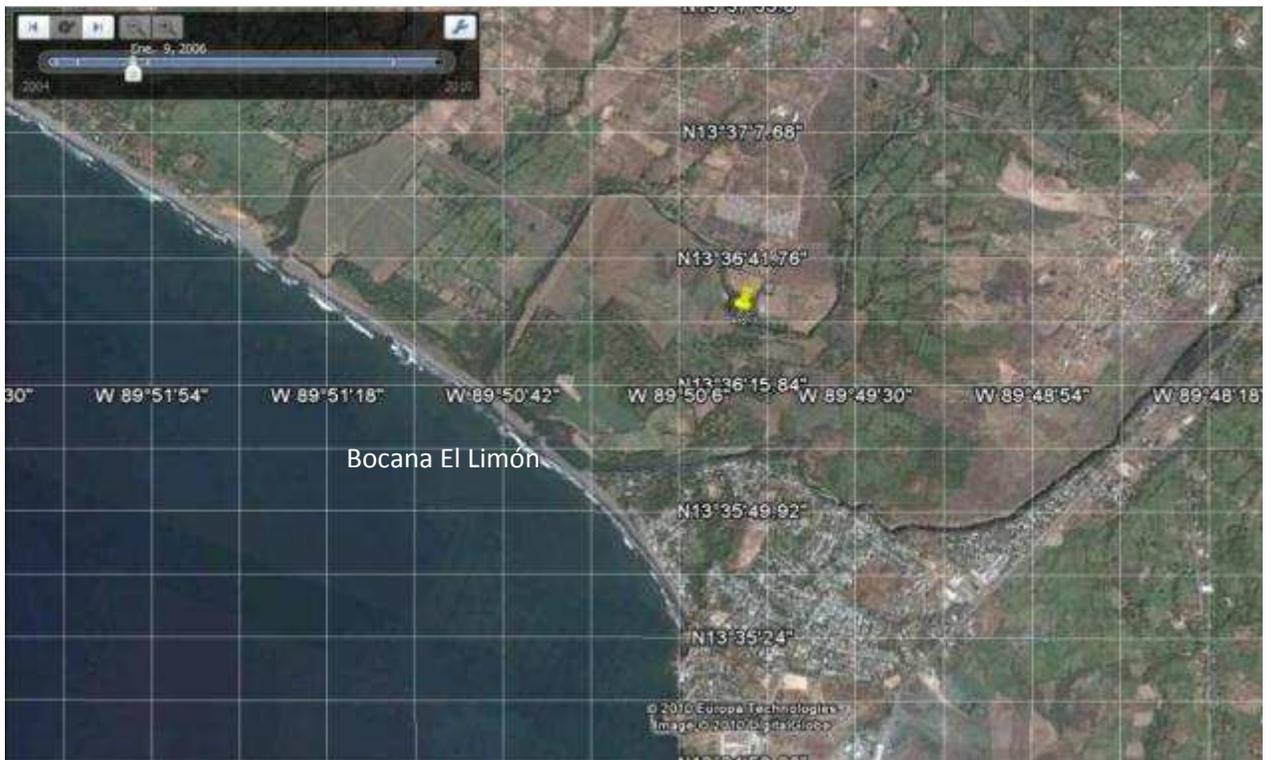


Figura 66. Fotografía de satélite sobre Bocana El Limón, 09 de enero de 2006.

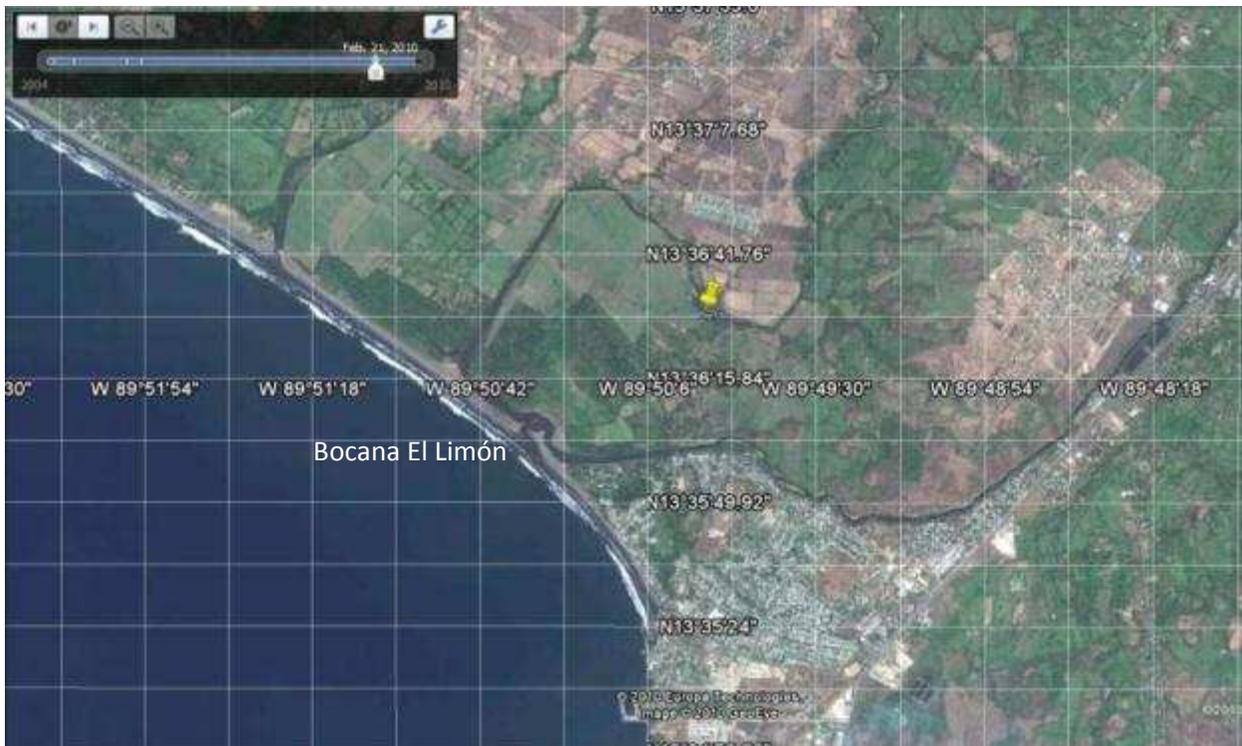


Figura 67. Fotografía de satélite sobre Bocana El Limón, 21 de febrero de 2010.

Tomando de base, la escena de 2005, para detectar (ver Figura 67) la variación en la línea de interés, se superpusieron estas.



- 25 de febrero 2005
- 09 de enero 2006
- 21 de febrero 2010

Figura 68. Arco de tren de olas y establecimiento de puntos P1, P2, P3 y P4 de control de corrimiento horizontal de línea de playa.

Se indica el desplazamiento horizontal (Δ) de los cuatro puntos establecidos en la línea de playa, entre las fechas 25 de febrero de 2005 y 09 de enero de 2006; y 09 de enero de 2006 y 21 de febrero de 2010 (ver Figura 69). Los valores se resumen en la Tabla 21.



Figura 69. Desplazamientos de línea de costas representados por Δ .

Tabla 21: Desplazamientos de línea de costa en puntos P1, P2, P3 y P4.

PUNTO	$\Delta_{2005-2006}$ (m)	$\Delta_{2006-2010}$ (m)
P1	6.20	19.20
P2	14.40	11.40
P3	5.80	7.00
P4	7.50	1.70
PROMEDIO	8.48	9.83

Fuente: Elaboración propia.

La gráfica siguiente Figura 70, muestra los valores históricos de desplazamiento por erosión en la zona arqueada adyacente a la Bocana El Limón en los últimos 5 años, de acuerdo con las escenas analizadas:

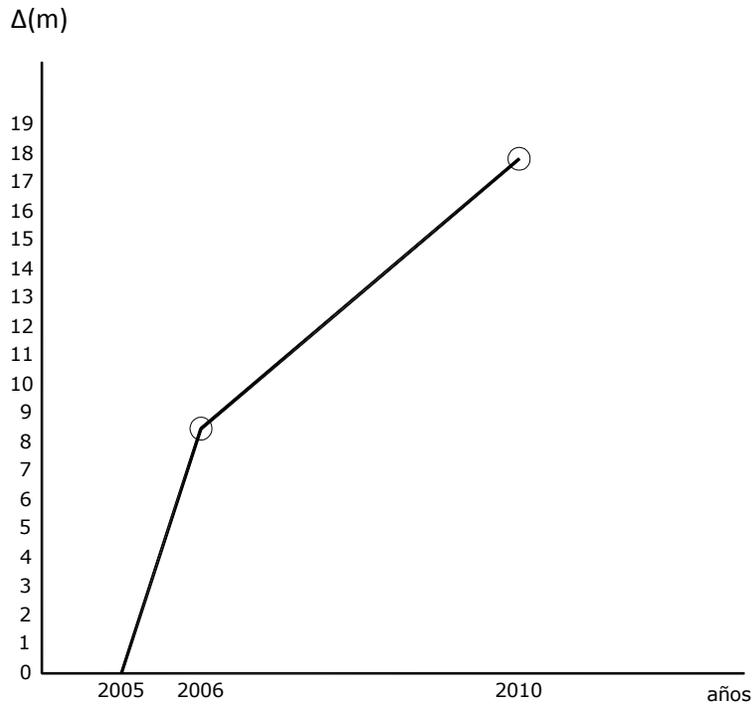


Figura 70. Historial gráfico de erosión regresiva en la zona de la Bocana El Limón.

Valores de desplazamiento en 5 años. Se obtiene la tasa de desplazamiento por erosión horizontal entre los años 2005 y 2006, esta es 0.71m/mes; y entre los años 2006 y 2010 es 0.20m/mes. Se detecta retroceso de la línea de playa en dirección al continente.

2.3 CONTROL VERTICAL DEL LECHO MARINO.

2.3.1 Batimetría marina frente a la Bocana El Limón 60 años.

Batimetrías: año 1957, realizada por la misión alemana y la del año 2005 hecha por la Fuerza Naval de El Salvador, con formato no oficial (ver Figura 71, Mapa 8 y Mapa 9), para obtener acumulación de sedimentos, en 48 años, dentro de la zona cercana a la playa de la Bocana El Limón, se usan las curvas batimétricas a partir de los datos de los sondeos de cada batimetría, para la formación de la superficie del fondo marino.

A partir de las superficies generadas, se obtuvieron los perfiles para las dos fechas A, B, C y D (Ver anexo Mapa 10), con los alineamientos representados en el Mapa 10. En los perfiles la tendencia es de cuña de dragado, entre las distancias 100 y 500 metros desde la costa a mar adentro, donde el promedio de la diferencia de niveles de las superficies obtenido es 3.83m. La razón de erosión para los 47 años transcurridos entre 1957 y 2005 es entonces 0.08m/año.

2.4 VELOCIDADES DE LAS OLAS MARINO-COSTERAS EN LA BOCANA EL LIMON.

Acosta Herrera y otros, 2009⁷², obtuvieron los valores de la Tabla 22, para aguas profundas, alejados 60 km frente a la línea de costa, en el punto mostrado en la Figura 72.



Figura 72. Fotografía satelital obtenida a través del programa Google Earth 2010, donde se muestra las coordenadas del punto analizado con el programa Wave Watch III⁷².

⁷² Acosta Herrera y otros. 2009, Descripción del oleaje en El Salvador, Universidad Centroamericana "José Simeón Cañas", Antiguo Cuscatlán, El Salvador, C.A., Tesis.

Tabla 22: Datos obtenidos mediante el modelo numérico llamado Wave Watch III para un periodo de 11 años (1997-2007).

	Promedio	Máximo	Mínimo	Moda	Desviación
Altura Significativa del Oleaje (m)	1.4	3.7	0.3	1.3	0.4
Velocidad del viento (m/s)	4.6	17.1	0	4.2	2.6
Dirección del oleaje (Grados)	192	360	0	212	53
Dirección del viento (Grados)	142	360	0	90	107
Periodo del oleaje (segundos)	12.2	20.1	2.8	13.4	3.3

Fuente: Adaptada de Acosta Herrera y otros, año 2009, Descripción del oleaje en El Salvador, Universidad Centroamericana "José Simeón Cañas", Antiguo Cuscatlán, El Salvador, C.A., Tesis.

Tomando el valor promedio de periodo del oleaje de la Tabla 22. El período de las olas T , es constante. La longitud (L) y la altura (H) son variables a medida que la ola se desplaza desde el mar hacia la costa⁷³.

2.4.1 Velocidades de las olas en la costa frente a Bocana El Limón.

Velocidad o celeridad de la ola, es la velocidad a la que una ola se desplaza por el agua. La velocidad de una ola para cualquier longitud de onda y profundidades:

$$C = \sqrt{\frac{gI}{2\pi} \tanh\left(\frac{2\pi h}{L}\right)} \quad (\text{Ecuación 2.6})$$

donde:

C : velocidad de la ola (m/s)

g : aceleración debido a la gravedad (9,8 m/s²)

L : longitud de onda (m)

π : 3,14159

⁷³ Introducción a la hidráulica marítima, Gustavo A. Silva Medina, Colombia
<http://gsilvam.com/maritima.htm>

tanh : tangente hiperbólica

h : profundidad del agua (m)

Esta ecuación es para aguas profundas y aguas someras.

En aguas profundas, la tangente hiperbólica de $2h/L$ se aproxima a 1, sustituimos este valor en la ecuación 1.1, la velocidad de una ola en aguas profundas se simplifica de la siguiente manera:

$$C_p = \sqrt{\frac{gl}{2\pi} \tanh\left(\frac{2\pi h}{L}\right)}$$

$$C_p = \sqrt{\frac{gL}{2\pi}} (1)$$

$$C_p = \sqrt{\frac{gL}{2\pi}} \quad \text{(Ecuación 2.7)}$$

donde:

C_p : velocidad de la ola en aguas profundas (m/s)

g : gravedad ($9,8 \text{ m/s}^2$)

L : longitud de onda (m)

π : 3,14159

En aguas someras, cuando la profundidad (h) del agua es menor que $1/20$ de la longitud de onda (L) de la ola, la tangente hiperbólica de $2h/L$ se aproxima a $2h/L$. sustituyendo el valor en la ecuación 1.1:

$$C_s = \sqrt{\frac{gl}{2\pi} \tanh\left(\frac{2\pi h}{L}\right)}$$

$$C_s = \sqrt{\frac{gl}{2\pi} \left(\frac{2\pi h}{L}\right)}$$

$$C_s = \sqrt{gh} \quad \text{(Ecuación 2.8)}$$

donde:

Cs: velocidad de la ola en aguas someras (m/s)

g : gravedad (9,8 m/s²)

h : profundidad del agua (m)

La ecuación simplificada de la velocidad de las olas en aguas profundas depende únicamente de la longitud de onda (L), así:

$$C_p = 1.56 T \quad \text{(Ecuación 2.9)}$$

donde:

C_p: velocidad de la ola en aguas profundas (m/s)

T: periodo de la ola (S)

Si se conoce el período o la longitud de onda, se puede determinar la velocidad de una ola en aguas profundas, por la relación:

$$L_p = 1.56 T^2 v \quad \text{(Ecuación 2.10)}$$

donde:

L_p: longitud de onda en aguas profundas (m)

T : periodo de la ola (S)

En aguas someras la velocidad de las olas depende de la profundidad (h) del agua, al igual que longitud de onda:

$$L_s = \sqrt{(gh)T} \quad \text{(Ecuación 2.11)}$$

donde:

L_s: longitud de onda en someras (m)

T : periodo de la ola (s)

h : profundidad del agua (m)

Con los valores de periodo de ola para la boya frente a las costas de Acajutla ubicada en aguas profundas en las ecuaciones 1.2 y 2.10 se obtienen los valores de la tabla 23.

Tabla 23: Velocidad de ola en aguas profundas, en el punto de la boya Acajutla 13.00N-90.00W.

Longitud de onda L (m)	232.19
Velocidad de la ola C (m/s)	19.03

Fuente: Elaboración propia.

Velocidades en aguas someras: se proyectó un punto en la costa frente de la Bocana El Limón, ver Figura 73, al proyectarlo en línea recta, considerar que todas las olas del océano se mueven a lo largo de trayectorias de círculo máximo. Una trayectoria circular es la distancia más corta entre dos puntos sobre una esfera, cualquier rumbo que siga el oleaje tendrá cierta curvatura cuando se trace sobre un mapa en dos dimensiones. Cuando las distancias son relativamente cortas (menores que 1800km), las trayectorias de círculo máximo se pueden aproximar con líneas rectas. Cuando la distancia excede los 1800 km (1000 millas náuticas), una trayectoria de círculo máximo sobre un mapa en bidimensional difiere notablemente de la misma trayectoria trazada con una línea recta.⁷⁴ En la proyección de la boya a la costa la distancia es de 68.84 km, menor que el umbral 1800km, por lo tanto, se proyecta como una línea recta.

⁷⁴ Documento en línea, Ciclo de vida de las olas II: propagación y dispersión.
http://www.meted.ucar.edu/marine/mod3_wlc_propdis_es/print.htm#z21

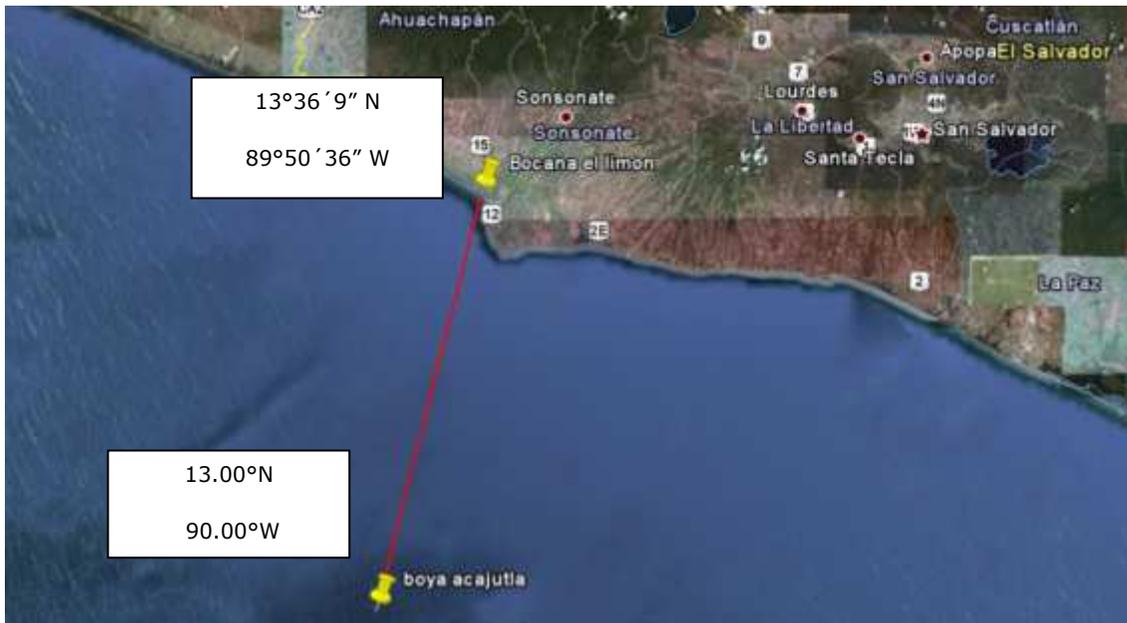


Figura 73. Fotografía satelital que muestra la ubicación de los puntos utilizados para estimar las velocidades de ola en La Bocana El Limón, Acajutla, adaptada del programa Google Earth 2010.

La velocidad en aguas someras está en función de las profundidades bajo el nivel de mar, la longitud de onda (m) según la ecuación 2.6 y del periodo de ola según la ecuación 1.3. Para obtener las profundidades, se sobreponen los puntos mostrados en la Figura 73, sobre la batimetría de Acajutla del año 2005 y se obtuvo el perfil batimétrico del Mapa 11, con el valor de las profundidades a cada 10 metros, mar adentro, hasta la distancia horizontal de 2700 m, con estos valores en la ecuación 1.1 y 2.10 se obtiene los valores de la tabla 24, de longitud de onda (m) y velocidad (Cs).

Tabla 24: Velocidades en aguas someras.

Distancia(m)	Profundidad(m)	Longitud de onda (m)	Velocidad (m/s)
50	0.05	2.44	0.70
60	0.51	7.81	2.18
70	0.99	10.88	2.96
80	1.47	13.26	3.53
90	1.93	15.19	3.96
100	2.38	16.87	4.32
110	2.88	18.56	4.66
120	3.27	19.77	4.90
130	3.66	20.92	5.11
140	4.02	21.92	5.29
150	4.35	22.81	5.44
160	4.69	23.68	5.59
170	4.99	24.43	5.72
180	5.34	25.27	5.85
190	5.63	25.94	5.96
200	5.90	26.56	6.05
300	19.22	47.94	8.59
300	8.51	31.90	6.81
400	9.76	34.16	7.10
500	10.62	35.63	7.28
600	11.63	37.29	7.48
700	12.12	38.07	7.57
800	13.06	39.52	7.73
900	14.14	41.12	7.90
1000	14.93	42.25	8.02
1100	15.74	43.38	8.14
1200	16.50	44.42	8.25
1300	16.99	45.07	8.31
1400	17.80	46.13	8.42
1500	18.65	47.22	8.52

1600	19.22	47.94	8.59
1700	19.87	48.74	8.67
1800	20.05	48.96	8.69
1900	20.70	49.75	8.76
2000	21.28	50.44	8.83
2100	21.79	51.04	8.88
2200	19.22	47.94	8.59
2300	19.87	48.74	8.67
2400	20.05	48.96	8.69
2500	20.70	49.75	8.76
2600	21.28	50.44	8.83
2700	21.79	51.04	8.88

Fuente: Elaboración propia.

Para estimar la influencia de la velocidad de las olas en la costa, se calculó el promedio de las velocidades hasta una distancia horizontal de 100 m desde la costa hacia mar adentro, el valor representativo del oleaje frente a la costa en la zona de la Bocana El Limón es el de la Tabla 25:

Tabla 25: Velocidades a 100 m mar adentro de las costas frente a la Bocana El Limón, Acajutla, Sonsonate.

Distancia(m)	Profundidad(m)	Longitud de onda (m)	Velocidad (m/s)
50	0.05	2.44	0.70
60	0.51	7.81	2.18
70	0.99	10.88	2.96
80	1.47	13.26	3.53
90	1.93	15.19	3.96
100	2.38	16.87	4.32
PROMEDIO			2.94

Fuente: Elaboración propia.

2.4.2 Velocidades de flujo en la descarga de los ríos, Bocana El Limón.

Para determinar la velocidad de descarga de los ríos Grande de Sonsonate, San Pedro y Sunza en La Bocana El Limón, se realizó un aforo de campo, estableciendo dos puntos de control (ver Figura 74) en la zona de descarga, se lanzó once corchos de similares características (dimensión, peso), y se estimó el tiempo en que llega el corcho de un punto a otro. Los datos se resumen en la Tabla 26.

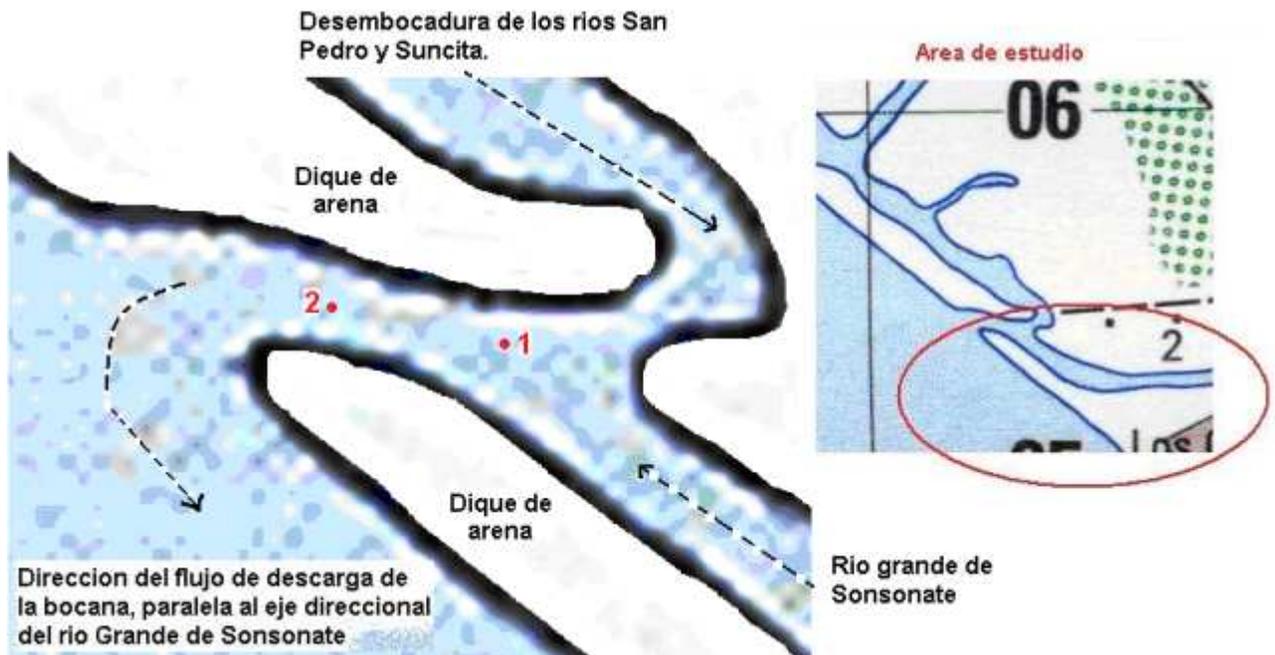


Figura 74. Esquema en planta de aforo en la Bocana El Limón.

Tabla 26: Velocidad de flujo promedio de la descarga de los ríos en la Bocana El Limón.

Prueba No	Tiempo(S)	Distancia (m)	Velocidad (m/s)
1	12	20	1.67
2	15	20	1.33
3	13	20	1.54
4	14	20	1.43
5	12	20	1.67
6	14	20	1.43
7	13	20	1.54
8	13	20	1.54
9	12	20	1.67
10	13	20	1.54
11	14	20	1.43
PROMEDIO	13.18		1.52

Fuente: Elaboración propia.

CONCLUSIONES

- Los sedimentos en la Bocana El Limón, son piroclastos retrabajados, trasportados en aguas fluviales que descargan en este estuario, así mismo, las arenas provenientes del lecho oceánico, que con la resaca marina del oleaje llegan en suspensión, transgreden la playa y sedimentan localmente hasta producir las acumulaciones o geoformas de playa. Los eventos meteorológicos extremos y los extraordinarios modifican las condiciones físicas de esta zona de playa y de estuario. Así, el dique de arena es resultado de los ríos tributarios y de la dinámica marina del aporte y desaporte de arenas en suspensión.
- En la Bocana El Limón las arenas predominantes son muy finas, diámetros entre 0.25mm a 0.075mm, debido a los procesos erosivos que experimentan los suelos a lo largo de los cauces de los ríos y el lecho del océano. Significando esto que hay erosión superficial; de acuerdo con las velocidad media de flujo obtenidas en el río San Pedro (0.25 m/seg) y el tamaño de partículas de suelo predominantes en la zona ($Mz=0.44mm$).
- En el proceso de sedimentación, las arenas menos densas en los ríos (las que pasan la Malla No 200) viajan en suspensión, descargando directamente en el mar. La erosión en las cuencas de los ríos Sensunapán, San Pedro y Sunza, es erosión moderada. Un evento extraordinario dentro del régimen de lluvia del país, como la tormenta Aghata, 483 mm de lluvia (mayo 2010) en 24 horas, genera grandes volúmenes de erosión o carga de sedimento, en este caso 11,338.11 ton de arenas finas, lo cual genera grandes distorsiones o modificaciones locales morfológica o geomorfológicamente en esta cuenca, en la Bocana El Limón, y en la borda marina continental, influyendo esto en asentamientos humanos, infraestructura, y urbanismo, turismo y particularmente el Puerto de Acajutla.

BIBLIOGRAFIA

Literatura:

- Rauda Marco. Escobar Edwin. Robles Francisco. 1994. ESTUDIO SOBRE LA SEDIMENTACION DEL EMBALSE CERRON GRANDE. Trabajo de Graduación FIA.UES. San Salvador. Páginas 91 a 201.
- Hernández, Sandra y otros. 1997. GUIA PARA REALIZAR ESTUDIOS HIDROLOGICOS EN EL SALVADOR. Trabajo de Graduación FIA.UES. San Salvador. Páginas 19 a 56.
- J. Dercourt y J. Paquet. 1978. Geología. Editorial Reverté.
- Acosta Herrera y otros. 2009. Descripción del oleaje en El Salvador. Tesis Universidad Centroamericana "José Simeón Cañas".

Páginas web visitadas:

- <http://www.snet.gob.sv/ver/meteorologia/monitoreo/huracanes/tormenta+agatha/>
- <http://www.scribd.com/doc/19478256/Fundamentos-de-Hidrologia-de-Superficie-Aparicio-Francisco>
- Documento en línea, Tipos de olas y sus características.
http://www.meted.ucar.edu/marine/mod1_wv_type_char_es/p_04_02.htm
- Documento en línea, Ciclo de vida de las olas I: Generación.
http://www.meted.ucar.edu/marine/mod2_wlc_gen_es/print.htm
- Documento en línea, Ciclo de vida de las olas II: Propagación y Dispersión.
http://www.meted.ucar.edu/marine/mod3_wlc_propdis_es/print.htm#z21

CAPITULO III
RESULTADOS, ANALISIS E INTERPRETACION

CAPITULO III: RESULTADOS, ANALISIS E INTERPRETACION.

3.1 MAPEO DELIMITANDO AREAS DE SEDIMENTACION Y GEOFORMAS DE ACUMULACION DE SEDIMENTOS.

La costa plana, llanura litoral, donde se ubica la Bocana El Limón está cubierta por depósitos sedimentarios del Período Cuaternario. En la Bocana y sus alrededores se identifican cuatro unidades sedimentarias (ver Mapa 11). Las unidades de sedimentación son las que interactúan directamente con el mar, y las subunidades cubren el resto de la cuenca de los ríos Sensunapán, San Pedro y Sunza, que no están en contacto directo con el océano.

En la Bocana El Limón, la unidad sedimentaria está compuesta por los depósitos pluviales llevados por los ríos efluentes a ésta, más los que el mar lleva a la orilla de playa y los productos de la transgresión provocada por los factores marinos. El límite de esta área es el cordón de playa que llega hasta 1 km tierra adentro. La unidad sedimentaria, en el recodo donde termina el cordón litoral de arena y comienza el acantilado compuesto por epiclastitas volcánicas y piroclastitas volcánicas efusivas básicas (ver Figura 14, de capítulo I), es una unidad geomorfológica de transición, donde hay un límite de contacto diferenciado entre el cordón litoral de playa y la cabeza de acantilado, hay unos 20 m elevados, que disminuye tierra adentro. El acantilado está expuesto al golpe de las olas y esto genera excavación que forma huecos al pie del talud, de esto, hay testigos del arranque de masas del acantilado, ver Figuras 49 y 50, ocurrida en 19/08/1978 el oleaje derrumbó la punta del antiguo muelle de Acajutla, e inundó el Barrio La Playa y la Atarraya⁷⁵. En la Figura 75 se demarca el área que representa la franja de transgresión del mar en el continente, produciendo erosión regresiva, de acuerdo con lo analizado de las fotografías aéreas de la zona, correspondiente a los años 1949 y 1996, y las batimetrías de los años 1957 y 2005.

⁷⁵ Luis Ernesto Romano 1997. Catalogo de Desastres, Accidentes y Ecología (1915-1990). Centro de Protección para Desastres Naturales (CEPRODEN). San Salvador. Página 50.

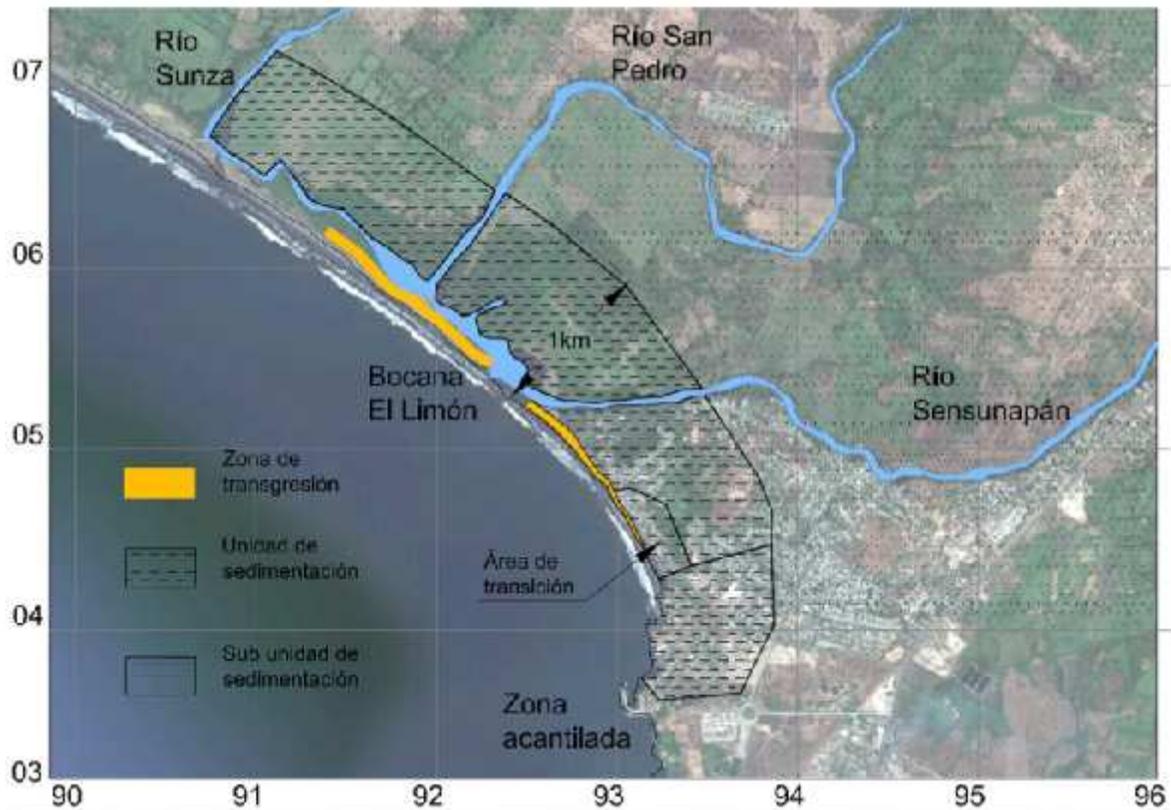


Figura 75. Delimitación de unidades y subunidades de sedimentación.

3.2 EROSION EXISTENTE EN LA BOCANA EL LIMON.

Comparando fotografías aéreas y escenas satelitales, de los últimos sesenta años, y comparando los perfiles batimétricos entre los años 1957 y 2005, se detecta descenso del fondo marino en la zona de rompiente de las olas. Horizontalmente, las acumulaciones de arena en la zona más cercana a la Bocana El Limón, se caracterizan por las terrazas de acumulación con pendientes pronunciadas (entre 10% y 15%), las pendientes del cordón decrecen (hasta 1% y 2%) llegando al acantilado (ver Figura 76), las acciones del oleaje y mareas deforman la playa generando desprendimientos de masas de arenas que se alejan de la playa. Así, el empuje marino contra la costa, provoca excavación en esta zona más activa, la cual, no se equilibra con la descarga de sedimentos continentales en la Bocana El Limón, produciendo un efecto de autodragado, generado por los mecanismos marinos-costeros prevaletes en el lugar.

En el análisis de fotografías aéreas de los años 1949 y 1996, por sobreposición a la misma escala, se detectó erosión regresiva en estos 47 años transcurridos, su cálculo fue 0.41m/semestre que representa la razón de erosión por estación lluviosa, de los meses de mayo a septiembre de cada año. Con esta tendencia en los próximos 20 años, la línea de playa continuará avanzando hacia el continente, sobre la urbanización contigua a la Bocana El Limón. Así, la erosión regresiva continuará y permanecerá el cordón litoral de arena en las zonas adyacentes a este sitio.

Del lado continental, por la dinámica en la producción de sedimentos las depositaciones continuarán con las avenidas máximas, por ejemplo del Río Sensunapán (71%), San Pedro (21%) y Sunza (8%) descargando en la Bocana El Limón. Los procesos de erosión-sedimentación se intensifican durante la época lluviosa, debido a que las mareas son más altas, y la descarga de los ríos aumenta, las olas invaden la playa, el talud de playa se satura rápidamente, disminuye la percolación del agua que llega desde el mar; durante este proceso una gran cantidad de arena es removida de la superficie de la playa y es transportada mar adentro. En la zona del acantilado, al sur-este de La Bocana El Limón, hay acción erosiva constante al pie del talud. Se estima que continuará erosionando y formando en su base una superficie más o menos plana, convirtiéndose en plataforma litoral o de abrasión (ver Figura 49), generando un retroceso del acantilado y testigos de éste al pie del talud por la intensa actividad de las olas.

La depositación de sedimentos en la Bocana El Limón, es variable en cantidad y permanencia en los lechos, debido al ambiente dinámico de interacción entre el flujo del río y la incidencia de las olas en la costa (ver Figura 77), dificultando la sedimentación permanente al reiniciar su transporte con los cambios estacionales y eventos extraordinarios, haciendo que las arenas de la Bocana El Limón pasen por varios depósitos y procesos de degradación y sedimentación antes de alcanzar un lugar final de depositación. Las acumulaciones de arenas finas en la Bocana El Limón y en la faja de playa a 130 metros rumbo sureste partiendo de la Bocana (Ver Figura 76), las generan aportes de arenas en suspensión provenientes de los procesos erosivos del sistema de cuencas que desembocan en la Bocana, y los aportes de arenas de grano fino a muy fino que llegan a la costa por la dinámica marina, y que sedimentan en el mar, por lo que se generan procesos de

floculación de partículas finas, como limos y arcillas, por el contacto entre el agua dulce y el agua salada. En el cordón de playa al alejarse de la zona estuaria, las acumulaciones desaparecen al estar afectadas sólo por la dinámica marina y sus aportes de agua salada.

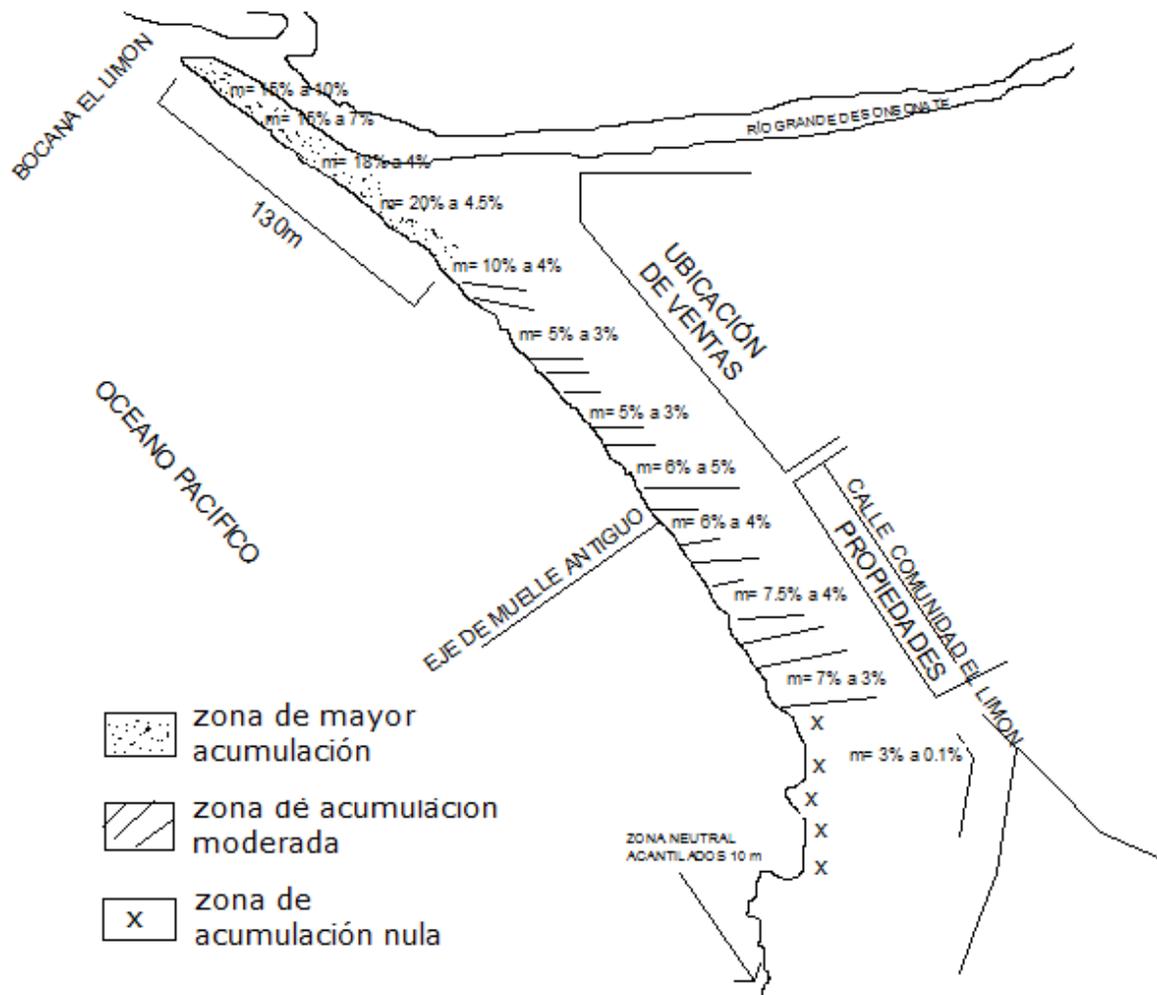


Figura 76. Pendientes de playa en época de verano a lo largo del cordón litoral sureste hacia el puerto de Acajutla.



Figura 77. Dirección de incidencia de las olas frente a la Playa El Limón.

3.3 ANALISIS DE VELOCIDADES EN LA BOCANA EL LIMON.

Las velocidades de descarga de los ríos Sensunapán, San Pedro y Sunza en la zona de descarga al mar de la Bocana El Limón, y las velocidades promedio de las olas en aguas someras y profundas son los de la Tabla 27.

Tabla 27: Velocidades promedio en los puntos de estudio.

Velocidad promedio		
Aguas Profundas (océano)	Aguas someras (frente a la costa)	Descarga de los ríos en la Bocana El Limón.
$C_p = 19.03 \text{ m/s}$	$C_s = 4.61 \text{ m/s}$	$C_r = 1.52 \text{ m/s}$

Fuente: Elaboración propia.

La interacción marina costera explica, que la predominancia de la fuerza del mar (impulso) sobre el borde del continente hace retroceder al cordón litoral, y genera oposición del empuje de los ríos, y es capaz de remover los sedimentos en la orilla de playa y generar la excavación, esto en la zona frontal al estuario, así como las barras arenosas que se forman a su costado sur-este (dique de arena mostrado en la Figura 45, del capítulo 2, página 130), ya que estas son las zonas costeras donde el oleaje y las corrientes litorales actúan con más eficiencia en la erosión, transporte y sedimentación arenosa, por estar sometida a las fuerzas del mar y a las descargas de los ríos como la esquematiza la Figura 78.

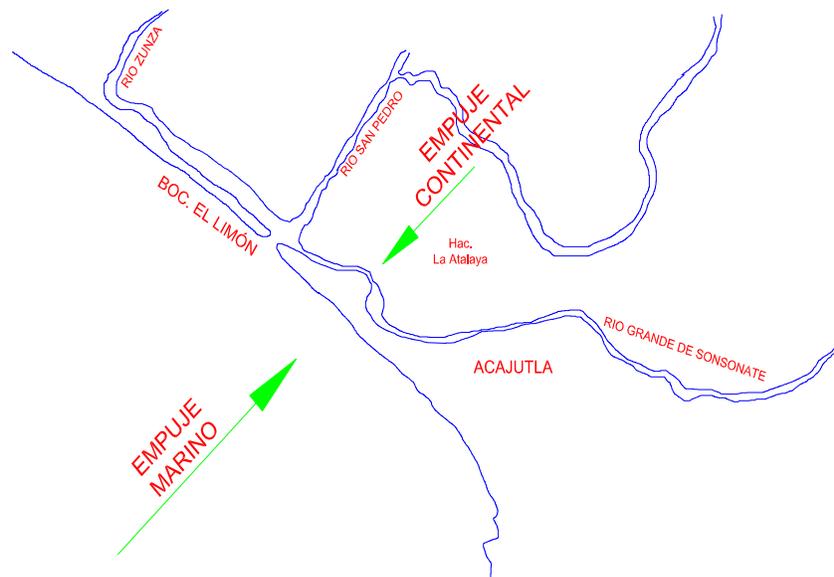


Figura 78. Ilustración del empuje al que se encuentra sometida Bocana El Limón, por los factores marinos y continentales.

CAPITULO IV

PLAN DE MONITOREO PARA LA
SEDIMENTACION Y EROSION
EN LA BOCANA EL LIMON

CAPITULO IV: PLAN DE MONITOREO DE SEDIMENTACION Y EROSION, EN LA BOCANA EL LIMON.

La finalidad principal de este Plan para el monitoreo de la sedimentación y erosión en la Bocana El Limón, es controlar y dar seguimiento, a través de registros continuos de datos y las variables hidrodinámicas que actúan en la Bocana El Limón y los ríos tributarios, Grande de Sonsonate, San Pedro y Sunza. Así mismo, a lo largo del cordón litoral rumbo sureste hacia el puerto de Acajutla, que incluye un tramo de uno a uno y medio kilómetros a lo largo de la playa.

4.1 OBJETIVOS.

4.1.1 OBJETIVO GENERAL.

Extraer muestras y monitorear periódicamente las variables hidrodinámicas que tienen lugar en la Bocana El Limón, basados en los resultados de esta investigación, generando registros que se utilizarán para la prevención de efectos negativos provocados por los fenómenos de erosión y sedimentación imperantes en el sitio.

4.1.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS.

- Disponer información para desarrollar y apoyar programas de monitoreo hidrológico y control de playas del SNET, a través de mediciones por ejemplo velocidad, aforo de sedimentos suspendidos, etc.
- Registrar datos y disponer información de base para desarrollar y ejecutar obras civiles de mitigación en la zona.

4.2 FRECUENCIA DE LOS MUESTREOS.

La frecuencia mínima recomendada para muestreos es tres veces en invierno y tres en verano, procurando realizarlos en la misma fecha calendario cada mes, ver Tabla 28.

Tabla 28: Frecuencia de muestreos en el plan de monitoreo de sedimentación.

EPOCA SECA			EPOCA LLUVIOSA		
Noviembre	Enero	Marzo	Mayo	julio	Septiembre

Fuente: Propuesta propia.

4.3 PUNTOS Y ESTACIONES DE MUESTREO.

Por ejemplo, hacer cuatro puntos de muestreo aguas arriba de la Bocana El Limón, sobre los ríos Grande de Sonsonate, San Pedro y Sunza, la zona de confluencia de los ríos, la zona de descarga al océano y en la zona costera donde se encuentren las principales acumulaciones de sedimentos. Los puntos de muestreo recomendados, están georeferenciadas en la Tabla 29 propuesta, quedando a criterio del que realice los ensayos la posición exacta del punto a muestrear, por condiciones del lugar como accesibilidad, representatividad, etc..

Tabla 29: Puntos de monitoreo recomendados.

Punto	Latitud	longitud	Observación
Bocana El limón	13°36'6.17"N	89°50'30.24"O	Confluencia de los ríos efluentes.
Zona descarga	13°36'4.25"N	89°50'32.41"O	Descarga al océano de la Bocana El Limón.
Río grande de Sonsonate	13°35'58.93"N	89°50'12.55"O	Distancia aproximada de 600 m de la bocana.
Río San Pedro y Sunza	13°36'12.02"N	89°50'40.09"O	Distancia aproximada de 350 m de la bocana.
Río San Pedro	13°36'27.48"N	89°50'40.77"O	Distancia aproximada de 750 m de la bocana.
Río Sunza	13°36'49.52"N	89°51'24.27"O	Distancia aproximada de 2 km de la bocana.
1° Cordón litoral	13°35'59.03"N	89°50'27.49"O	Zona de mayores acumulaciones de sedimentos.
2° Cordón litoral	13°35'52.37"N	89°50'21.82"O	Zona de disminución de acumulaciones de playa.
3° Cordón litoral	13°35'43.84"N	89°50'14.17"O	Inicio de la zona turística, champas.
4° Cordón litoral	13°35'36.01"N	89°50'8.61"O	Zona con el arco de playa más pronunciado.
5° Cordón litoral	13°35'30.07"N	89°50'5.35"O	Zona de inicio de acantilado.

Fuente: Elaboración propia.

Las Figuras 79 y 80 indican la propuesta de ubicación geográfica de cada punto de muestreo, en Bocana El Limon, los ríos Grande de Sonsonate, San Pedro y Sunza y el cordón litoral contiguo a esta zona en los que se realizarían los ensayos siguientes:

- a) Puntos de control en cada rio efluente a la bocana, medir velocidad de flujo, aforo; seccion transversal del rio, sedimentos suspendidos, extraer muestras para granulometría.
- b) Puntos de control en la zona de confluencia de los rios, antes de la zona de descarga de la bocana, por la turbulencia en ese punto, sólo realizar ensayo de sedimentos suspendidos.
- c) Puntos en la zona de descarga de la bocana, realizar medicion de velocidad de flujo, aforo; seccion transversal del rio y sedimentos suspendidos.
- d) Puntos sobre el cordón litoral aledaño a la Bocana El Limón, realizar ensayos de acumulacion de sedimentos de playa, medicion de las pendientes de playa y extracción de muestras para granulometría.

Para los puntos de control ubicados en la zona de los rios y la descarga en la Bocana, realizar las pruebas de granulometría, ambos lados del lecho del rio, y en los puntos en donde se identifique visualmente sedimentacion (Ver Figura 81). Las pruebas de control en el cordón litoral, extraer de muestras en puntos donde se observe mayor acumulación de sedimentos, por ejemplo el mostrado en la Figura 82.



Figura 79. Puntos de control en la Bocana El Limón y los ríos Grande de Sonsonate, San Pedro y Sunza.



Figura 80. Puntos de control sobre el cordón litoral contiguo a la Bocana El Limón.



Figura 81. Punto de control propuesto en la Figura 79 para el rio Grande de Sonsonate. Ejemplo de los puntos a evaluar en ensayos y muestreos.



Figura 82. Punto de control propuesto para el cordón litoral en la Figura 80, ubicado en la parte más alta del talud de playa.

ACCESOS A LOS PUNTOS DE MUESTREO.

Para llegar a los puntos de muestreo establecidos en la Bocana El Limón, confluencia de los ríos Río Grande de Sonsonate, San Pedro y Sunza y la zona de descarga al Océano Pacífico, así como a los puntos establecidos en el cordón litoral de la zona (ver figura 79 y 80), se puede ingresar sobre la carretera que conduce de San Salvador a Acajutla (carretera CA-12S), se llega de la avenida Obando al Barrio la Coquera, en este punto se llega directamente a la zona de la Bocana (ver Figura 83). También, el acceso por el Boulevard 25 de Febrero hasta finalizar la calle y en este punto en la zona turística de la playa aledaña a la Bocana El Limón, (ver Figura 84).

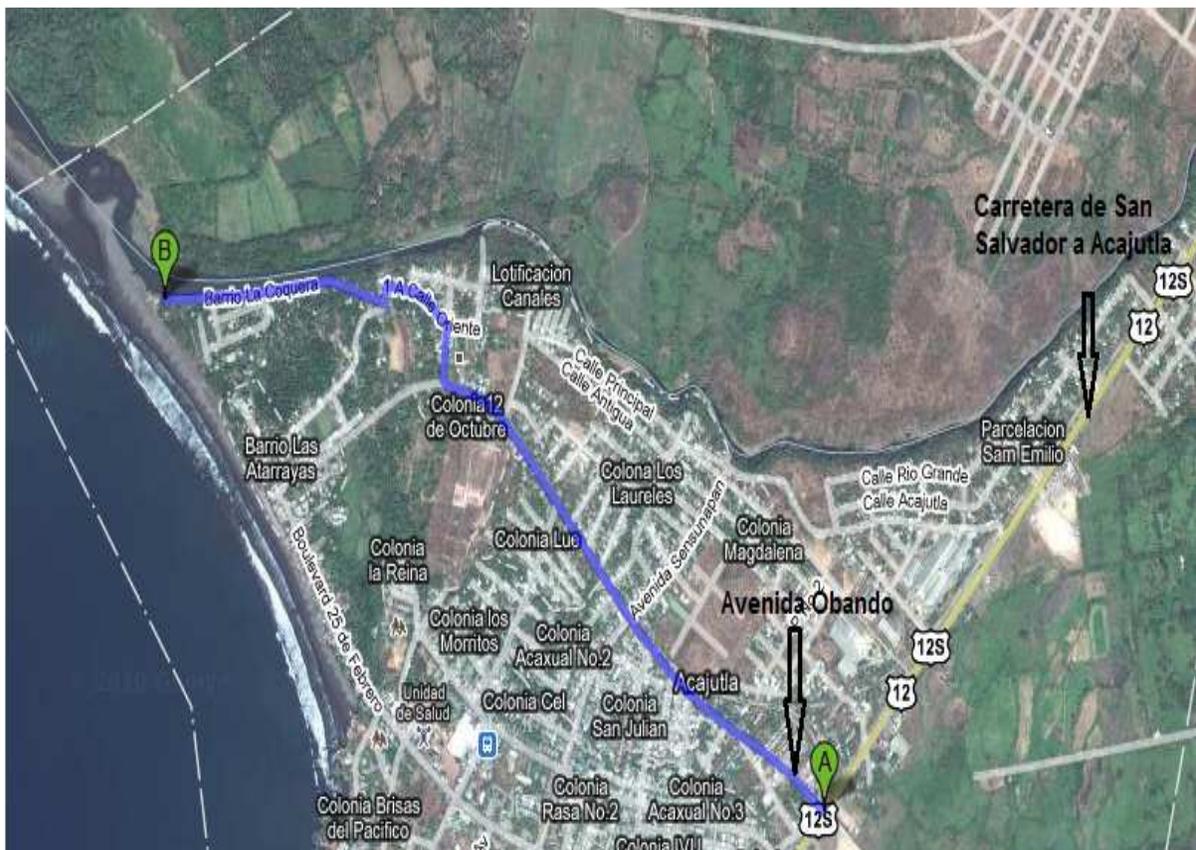


Figura 83. Ruta 1, propuesta para acceso a los muestreos en Bocana El Limón. El punto A indica el punto de entrada, el punto B, es el punto final de la carretera, donde se llega a los puntos de muestreo.

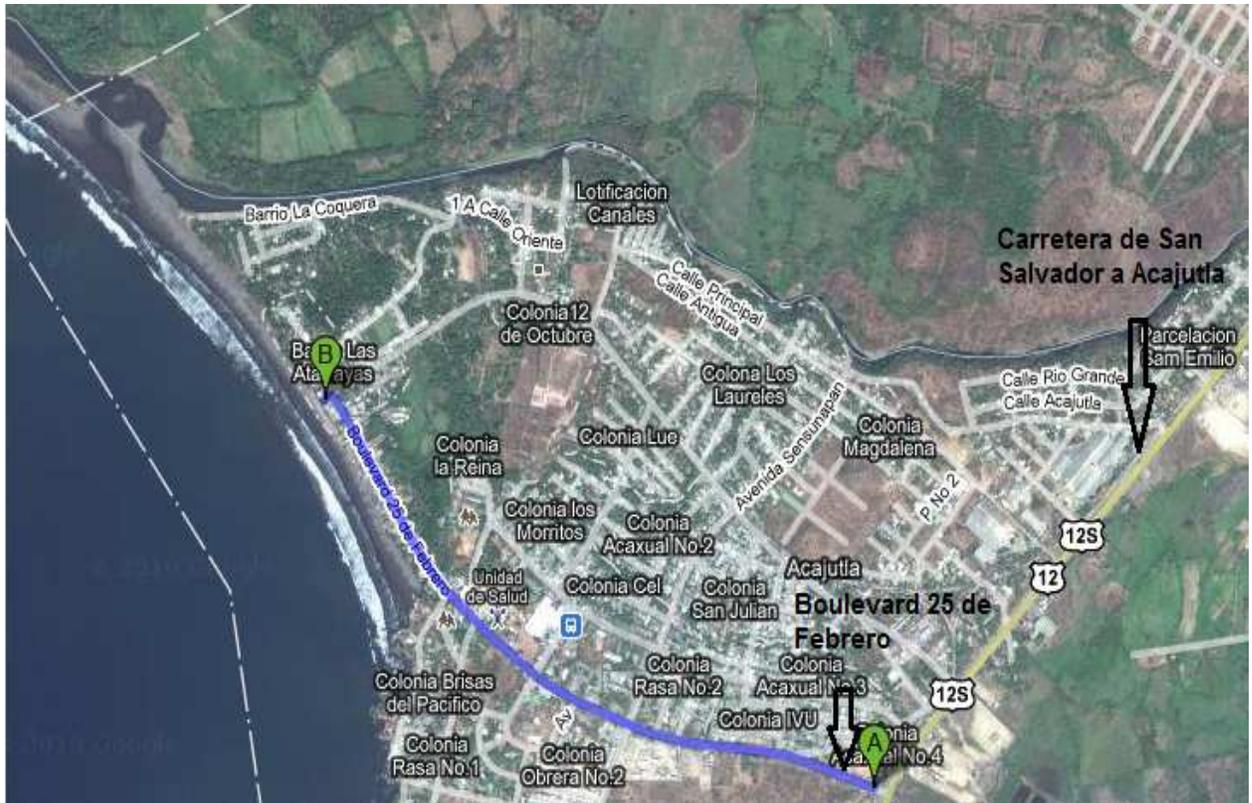


Figura 84. Ruta 2, propuesta para acceso a la Bocana El Limón, A indica el punto de entrada, el punto B, es el punto final de la carretera, donde se llega a los puntos de muestreo.

Para llegar a los ríos San Pedro y Sunza (ver Figura 79), se accesa por la carretera CA2, que conduce de Acajutla a la frontera La Hachadura, y posteriormente por la calle de tierra que se muestra en la Figura 85. Las rutas de acceso son una propuesta, pero queda a criterio de las posibilidades del ejecutor del monitoreo la forma de ingreso a los puntos de estudio.

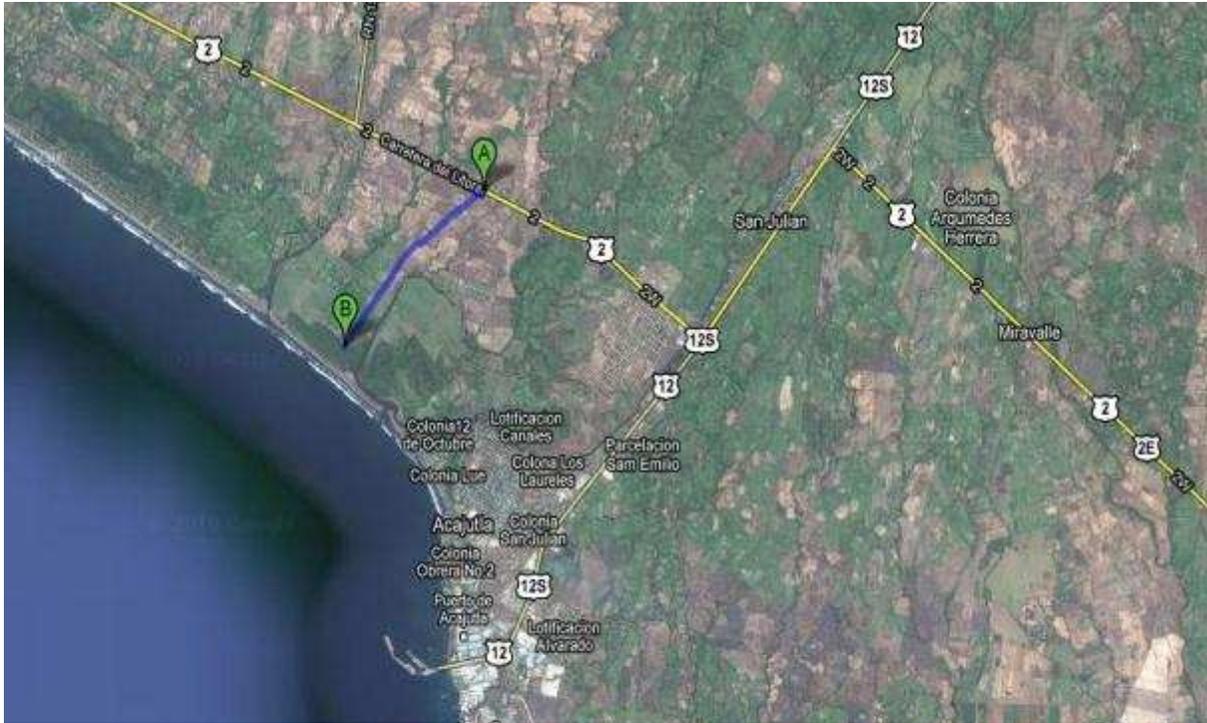


Figura 85. Ruta de acceso a los puntos de muestreo de los ríos San Pedro y Sunza, mostrados en la Figura 79. A indica el punto de entrada, el punto B, es el punto final de la carretera luego se procede a pie los puntos de muestreo.

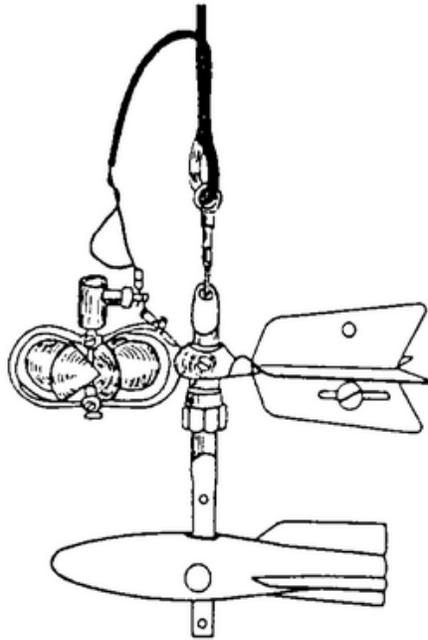
4.4 MUESTREOS.

Describir completamente el sitio, incluyendo accesos, posición geográfica (latitud-longitud), día, fecha y hora del muestreo, tipo de muestra, método de muestreo utilizado, quién realizó la toma de muestra y cualquier otra información que se considere pertinente por ejemplo geología, morfología de la zona, etc. Apoyarse con un formato diseñado apropiadamente para este propósito y fines proyectados.

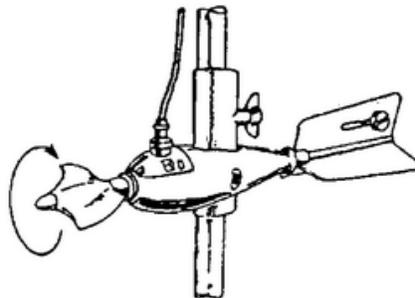
Los muestreos están orientados con dos tipos de procedimientos, primero convencionales o básicos para el caso en que los realice entidades que no cuentan con equipo especializado como las alcaldías, segundo, procedimientos con equipo especializado y técnico, orientado para entidades como el SNET.

4.5 MEDICION DE VELOCIDADES DE FLUJO EN LA DESCARGA DE LOS RIOS.

4.5.1 Medición de velocidad con molinete o correntómetro. Existen dos tipos principales de molinetes (ver Figura 86). El tipo de taza cónica que gira sobre un eje vertical y el tipo hélice que gira sobre un eje horizontal. En ambos casos, la velocidad de rotación es proporcional a la velocidad de la corriente; se cuenta el número de revoluciones en un tiempo dado, ya sea con un contador digital o como golpes oídos en los auriculares que lleva el operador.



Tipo de taza cónica



Tipo hélice

Figura 86. Principales tipos de molinetes.

Para un molinete puesto en un punto de una corriente que tiene una velocidad V , la longitud S , es el recorrido de una partícula fluida moviéndose a lo largo del contorno completo de la línea que determina una vuelta de la hélice. La situación es análoga al suponer quieta el agua y el molinete desplazándose a través de ésta con velocidad V . Para un desplazamiento S , la hélice también dará una vuelta. Para un movimiento uniforme:

$$V = \frac{S}{t} \quad \text{(Ecuación 4.1)}$$

donde:

V : Velocidad.

S : El espacio recorrido por la hélice, o por la partícula líquida a través de ésta.

t : Tiempo.

También,

$$\text{Luego } V = \frac{N}{t} \quad \text{(Ecuación 4.2)}$$

donde:

N : el número de rotaciones que da el molinete en t segundos.

t : Tiempo en el que da las rotaciones el molinete en segundos.

Como existen fricciones en las partes mecánicas del aparato, es necesario introducir un coeficiente de corrección, b .

$$\text{Entonces, } V = b * \frac{N}{t} \quad \text{(Ecuación 4.3)}$$

$$\text{Y haciendo } n = \frac{N}{t} \quad \text{(Ecuación 4.4)}$$

donde:

n: Frecuencia de giro.

Se tiene:

$$V = b * n \quad (\text{Ecuación 4.5})$$

La sensibilidad del aparato a determinada velocidad mínima:

$$V = a + b * n \quad (\text{Ecuación 4.6})$$

donde:

a: Velocidad por debajo de la cual el aparato no se mueve, en general, es del orden de 1 cm/s.

b: Factor de corrección dado por el fabricante para el aparato.

n: frecuencia de giro

La ecuación corresponde a una línea recta. Los aparatos vienen con su respectiva ecuación de calibración, dependiendo del tipo de molinete y de la casa fabricante, o las velocidades tabuladas en función del número de revoluciones por minuto.

Por ejemplo, para el correntómetro Prince's Electric Currentmeter No 17110B, Serial No 101-A, la ecuación de calibración para la velocidad, en m/s, es:

$$V = 0.019 + 0.702 * n \quad (\text{Ecuación 4.7})$$

Obtención de velocidades de acuerdo con profundidad de lámina de agua y características del flujo:

La velocidad media del agua en cada inmersión, se determinan mediante métodos que se aplican con dependencia de la profundidad de la lámina de agua, de las condiciones del lecho, de la distribución de la velocidad en profundidad, del grado de precisión que se quiere y del tiempo disponible.

Los métodos se establecen teniendo en cuenta el porcentaje de profundidad, en los cuales se posiciona la hélice del molinete para la tomar velocidades puntuales en función del número de revoluciones y el tiempo de muestreo.

Método de un punto (60%).

Se realiza la observación de velocidad en cada vertical colocando el molinete al 60% de la profundidad total por debajo de la superficie. El valor obtenido se considerará como la velocidad media de la vertical.

Este método se emplea en secciones de poca profundidad, pero no menores a 40 centímetros alejados del lecho, para evitar que la hélice del molinete roce con el fondo del cauce o con cualquier elemento que se encuentre en él. Para profundidades menores, la velocidad obtenida al 50% es representativa para utilizarla en el cálculo del aforo.

Método de dos puntos (20% - 80%).

Las observaciones de velocidad se hacen en cada vertical colocando el molinete al 20% y 80% de la profundidad total por debajo de la superficie. El promedio de los dos valores puede considerarse como velocidad media en la vertical. Este método es el más empleado y se usa cuando previamente se conoce el régimen que tiene la velocidad en la sección del río, obtenido mediante mediciones detalladas en los primeros aforos.

$$V \text{ media}=(V_{0.2}+V_{0.8})/2 \quad (\text{Ecuación 4.8})$$

Método 3 puntos.

Este método se utiliza cuando la velocidad del 80% es insegura, a causa de la turbulencia, y no se ajusta a la tendencia normal de la velocidad en la vertical, entonces se incluye una medición al 60 % para obtener más detalle y ajustar el promedio de la abscisa. Se observa que a la velocidad del 60% se le da un factor de ponderación doble con respecto al 20% y 80%, por la mayor representatividad que tiene esta velocidad en la distribución vertical

Método de 5 puntos.

Método de cinco puntos (superficie - 20% - 60% - 80% - fondo) Cuando el cauce está libre de vegetación acuática y se quiere conocer la velocidad media exacta en la vertical, se utiliza el método de los cinco puntos.

Este se aplica ubicando el molinete en la superficie, al 20%, 60% y 80% y fondo, dando diferentes pesos a cada uno de los porcentajes referidos.

Cuando se sitúa el correntómetro en superficie y fondo este no debe quedar ni por fuera de la superficie del agua ni rozando el fondo del cauce.

Método puntual (once puntos).

Es recomendable utilizar este método cuando se afora por primera vez en una corriente, para conocer en detalle la distribución vertical de la velocidad y verificar su evolución en cada abscisa. En grandes ríos que mantienen láminas de agua de gran magnitud, es recomendable tomar este detalle para monitorear con precisión la evolución de la velocidad en función de la profundidad y así lograr buena precisión en el resultado del caudal.

La velocidad media en la vertical se obtiene promediando los once valores de velocidad puntual.

Siempre que se realice un aforo líquido debe tomarse las velocidades superficiales, con el fin de conocer el régimen de la velocidad media total de la sección con respecto de la velocidad superficial, es decir la relación:

$$K = V_m/V_s \quad \text{(Ecuación 4.9)}$$

donde

K: adimensional

V_m : Velocidad media (m/s)

V_s : Velocidad superficial (m/s)

4.5.2 Método convencional para la medición de velocidad.

Para el cálculo de la velocidad de flujo, se utilizando un corcho o un material menos denso que el agua.⁷⁶

Materiales: Corchos o materiales de igual forma y tamaño como el durapax, cinta métrica, dos postes, un cronometro.

Metodología:

1. Se colocan dos puntos fijos al centro de la sección del río, siguiendo una línea paralela a la dirección del flujo y a una distancia conocida.
2. Se suelta un corcho y se toma el tiempo que este tarda en llegar desde el punto aguas arriba hasta el punto aguas abajo, teniendo el cuidado de escoger puntos en donde el material se desplace libremente.
3. Se repite este procedimiento 6 a 12 veces para poder calcular un promedio de estos datos.
4. Calcular la velocidad promedio y anotarla en la casilla que corresponde en la Tabla de la Figura 87.

Hora inicio			Hora de fin:			Fecha:					
Punto		Coordenadas	Latitud:			Velocidad promedio (m/s)					
			Longitud:								
Descripción:											
Prueba No	Distancia (m)	Tiempo (segundos)									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1											
	Velocidad										
Hora inicio			Hora de fin:			Fecha:					
Punto		Coordenadas	Latitud:			Velocidad promedio (m/s)					
			Longitud:								
Descripción:											
Prueba No	Distancia (m)	Tiempo (segundos)									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2											

Figura 87. Formato para recolección de datos para medir velocidades de flujo en ríos. Elaboración propia.

⁷⁶Dentro de este plan de monitoreo, se presenta la metodología para la determinación de velocidades de forma manual, aplicando el concepto de que la velocidad de flujo es igual a la distancia recorrida de un punto a otro por un objeto en un tiempo determinado.

4.5.3 Medición del caudal de los ríos.

Monitorear el caudal del río en diversos puntos ayuda a detectar puntos críticos de desbordamiento o estimar la cantidad de agua que baja en un tiempo determinado. El caudal de un río se puede obtener multiplicando el área de la sección transversal por la velocidad del fluido en ese punto de la siguiente manera: Materiales: dos postes, una cinta métrica, un cordel, nivel de pita, una vara o escantillón, graduada.

Metodología:

1. Se empotran los postes uno a cada extremo de la sección del río a medir.
2. Se amarra y se nivela una pita entre los postes tal como se muestra en la Figura 88. Y se anota la distancia vertical entre la pita y nivel del suelo del poste.
3. Se divide la pita en tramos, y se marcan estos puntos.
4. Se Baja la vara en cada punto hasta tocar el fondo.
5. Tomando como punto de referencia fijo la pita, se mide la distancia entre la pita y la lámina de agua y entre la lámina de agua y el fondo.
6. Se anotan los resultados (ver Figura 89).

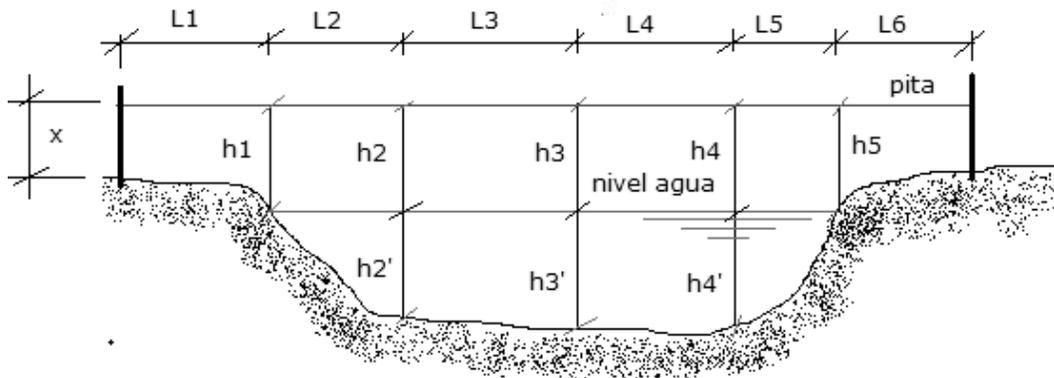


Figura 88. Sistema para medir la sección transversal del río. Elaboración propia.

Hora inicio			Hora de fin:			Fecha:	
Punto		Coordenadas	Latitud:			Velocidad promedio	
			Longitud:				
Descripcion:							
Prueba No	Distancia (m)	Longitud					
		L1	L2	L3	L4	L5	L6
		Alturas					
H pita:		h1	h2	h3	h4	h5	
			h2'	h3'	h4'		

Figura 89. Formato para registro de datos para aforo de ríos.

4.6 ACUMULACION DE SEDIMENTOS EN EL CORDON LITORAL.

Tomar datos de acumulación de arenas en el cordón litoral a nivel de playa, en los períodos de llena, producidos por el arrastre y depositación de sedimentos por la resaca marina. El procedimiento a seguir es el siguiente.

Materiales: dos postes verticales graduados de 1.5 m a 2 m de altura, un rollo de pita (cordel), un nivel de pita, una cinta métrica, un crayón.

Metodología:

1. Empotrar bien dos postes verticales sobre el talud de arena en la playa (ver Figura 91), hasta que queden bien fijos, y separarlos entre sí, una distancia conocida. (2.0 a 2.5 metros). Se busca un punto hasta donde la faja de llegada de la resaca sea constante, durante el período de máxima llena.
2. Colocar un cordel de referencia entre los postes y nivelar hasta dejarlo a una altura conocida, que se irá regulando, subiendo o bajando cada vez que se considere. Se anota la hora de inicio y las alturas del cordel y del piso de arena de inicio.
3. Se divide la pita por ejemplo, en 6 partes iguales y se mide con la cinta la distancia vertical entre el nivel de pita y el nivel de la arena que deja la resaca en ese punto.

4. Se repite este procedimiento en intervalos de tiempo definidos, para cada periodo de llena y no llena y se anotan los resultados como se muestra en la Figura 90.

Hora inicio		Hora de fin:		Fecha:			
Punto	Coordenadas	Latitud:					
		Longitud:					
Descripcion:							
Hora	Nivel de pita	Punto de acumulaci3n					
		1	2	3	4	5	6

Figura 90. Formato de recolecci3n de datos para prueba de acumulaci3n de sedimentos. Elaboraci3n propia.



Figura 91. Muestreo de acumulaci3n de sedimentos de playa producidos por resaca marina. Punto ubicado en las cercanías del punto de descarga de sedimentos de la Bocana El Lim3n.

4.7 RECOLECCION DE MUESTRAS GRANULOMETRIAS.

La recolección de muestras para su posterior análisis granulométrico por tamizado, permite identificar y clasificar los suelos de la zona por medio del tamaño de sus granos, y establecer comparaciones de materiales que son erosionados, transportados y sedimentados en las riberas y lechos de los ríos. Obtener muestras alteradas e inalteradas de arenas y suelos proporciona información de las capas de materiales que se acumulan a lo largo de las cuencas o a nivel de playa. El procedimiento para obtener muestras es el siguiente:

Materiales: bolsas plásticas, viñetas, marcadores, posteadora manual, chuzo o barra lineal.

Metodología:

1. Seleccionar el punto de muestreo.
2. Con la posteadora manual excavar y extraer el material y depositarlo en la bolsa.
3. Identificar con la viñeta la muestra, estableciendo un código, lugar, fecha y hora de la extracción de la muestra.

CUADRO RECOLECTOR DE DATOS DE CAMPO						
PUNTO:		EXPLORACIÓN DE CAMPO:			MAPA:	
UBICACIÓN Y LOCALIZACIÓN:		HORA:	FECHA:	LEVANTÓ:		
		POSICIÓN:	LATITUD:	LONGITUD:	ELEVACIÓN:	
	1	ESQUEMA		3	DESCRIPCIÓN	
NR						
	2					
OBSERVACIONES: Existe paso de vehículos de doble tracción a través del río, y se puede pasar a pie también. Se tomó 3 muestras M1, M2, M3.						
1: Trinchera 2: Pala dúplex 3: Visual Fotografía 4: GPS 5: Referencia Nivel de piso natural						

Figura 92. Formato de campo para recolección de muestras y ubicación de puntos para análisis granulométrico. Elaboración propia.

4.8 PENDIENTES DE PLAYA.

Para monitorear en altura, la acumulación o desacumulación de arenas en la faja de playa, es necesario obtener los perfiles de playa en diversos puntos sobre el cordón litoral, rumbo sureste hacia el actual puerto de Acajutla, a la mayor profundidad posible de la rampa de playa y la cabeza del borde continental o llanura costea.

Materiales: dos postes, una cinta métrica, cordel, nivel de pita, crayón.

Metodología.

Fijar postes en la arena, en línea recta, con rumbo norte-sur, colocando uno desde donde comienza la faja del cordón litoral hasta el punto en donde deja la huella de la resaca, como se muestra en la Figura 93.

1. Nivelar el cordel entre los postes y tomar este como punto de referencia.
2. Dividir la separación entre los postes en partes iguales, y marcar los puntos en el cordel.
3. Con la cinta y colocándose en los puntos antes marcados, medir el nivel desde el cordel hasta tocar el suelo y anotar las distancias verticales, ver Figura 94.

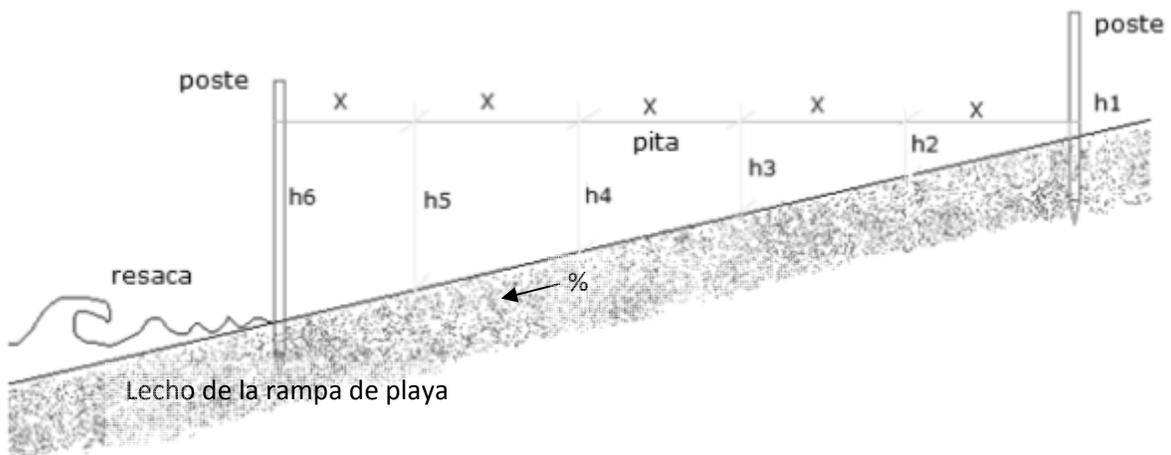


Figura 93. Sistema para la obtención de perfiles a nivel de playa.

Hora inicio			Hora de fin:			Fecha:	
Punto		Coordenadas	Latitud:				
			Longitud:				
Descripción:							
Perfil No	x	Elevación					
		h1	h2	h3	h4	h5	h6
H pita							

Figura 94. Formato de trabajo de campo para recolección de datos para perfiles de playa.

4.9 DETERMINACION DE SEDIMENTOS SUSPENDIDOS.

El muestreo de sedimentos en suspensión utilizando botella de tipo Van Dorn.

La botella Van Dorn fue diseñada para muestrear a profundidades mayores o iguales que 2 m. La botella posee una válvula de drenaje para la toma de muestras y capacidad, de acuerdo con el modelo a usar, entre 1 y 20 litros (Figura 95). Las botellas Van Dorn están disponibles en configuración vertical y horizontal. En la configuración vertical, el agua fluye a través de la botella, a medida que esta va descendiendo, y de esta manera se garantiza que el agua obtenida corresponda a la profundidad deseada, este artefacto se usa en ambientes marinos, ríos y lagos grandes y profundos. En la configuración horizontal, la muestra corresponde a un rango vertical muy estrecho, se usan en lagunas, las muestras deben ser colectadas en el medio de la corriente, debido a que se reduce la probabilidad de contaminación.

Materiales y Equipos: Botella Van Dorn, frascos de polietileno con tapa.

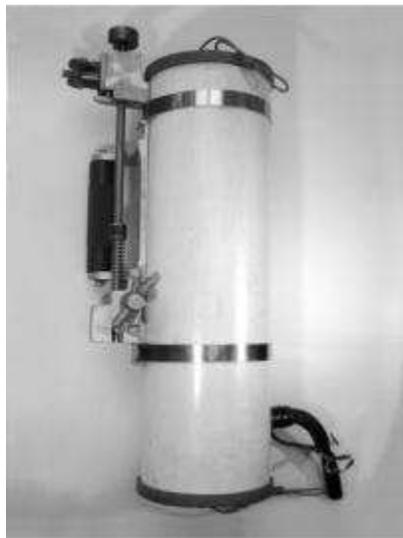


Figura 95. Botella Van Dorn. Modelo vertical en plástico opaco.

Metodología:

1. Amarrar la botella a la soga con la que será descendida. La soga deberá estar graduada.
2. Armar el mecanismo de disparo como muestra la Figura 96.

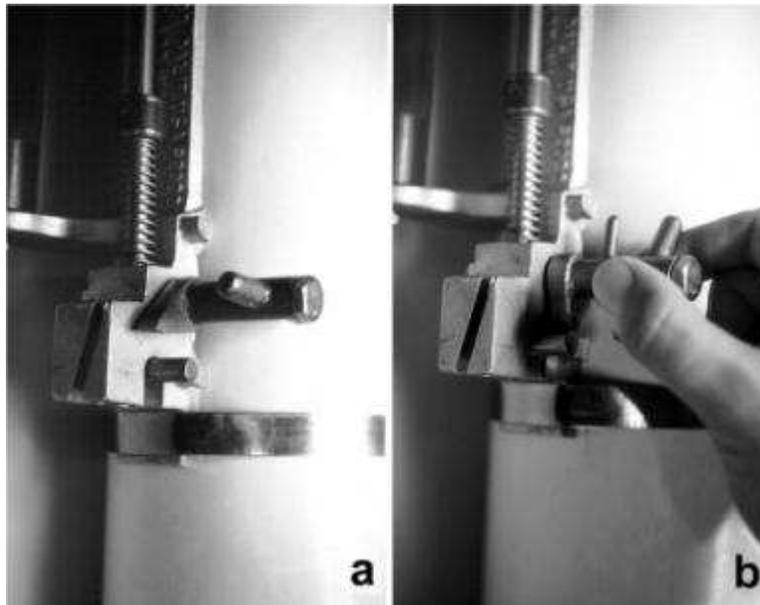


Figura 96. Armado del mecanismo de disparo.

3. Abrir la botella Van Dorn tirando de los cierres de goma de los extremos y colocándolos como muestra la Figura 97.
4. Bajar la botella a la profundidad deseada, asegurarse que el extremo de la soga esté atado al bote.

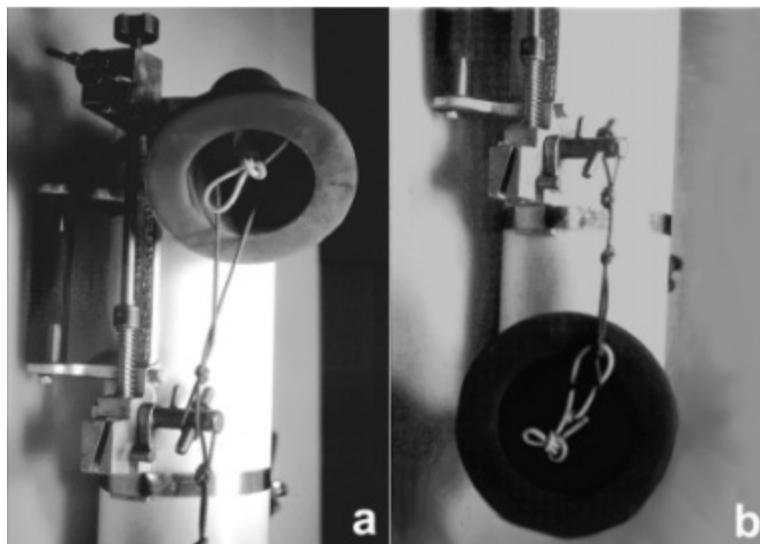


Figura 97. Armado de la botella. a) Trabado del cierre superior; b) trabado del cierre inferior.

5. Colocar el mensajero (Figura 98a) en la soga y enviarlo para que suelte el mecanismo de disparo y la botella se cierre (Figura 98b).
6. Recuperar la botella.
7. Abrir la válvula de drenaje y dejar que fluya algo del agua contenida. De esta manera, se reduce la posibilidad de que muestras anteriores contaminen la muestra actual.
8. Lavar la botella tres veces (si ésta no ha fue prelavada) y colectar la muestra. Transferir usando la válvula de drenaje, la muestra de agua de la botella Van Dorn a una botella de muestreo. Procurar no tocar el extremo de la válvula de drenaje, el interior del tapón de la botella o el agua que sale por la válvula.
9. Tapar la botella, completar la etiqueta externa, rotular en forma abreviada, especificar la profundidad a la que fue tomada la muestra.

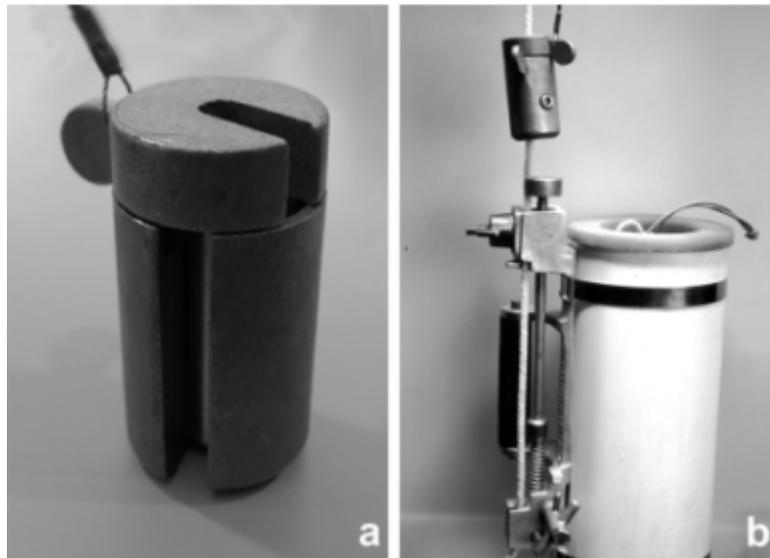


Figura 98. a) Mensajero; b) Botella con disparador armado y soga de sostén en posición. Los cierres aún no están abiertos. Se muestra el mensajero colocado en la soga.

4.10 MUESTREO DE SEDIMENTOS EN SUSPENSION UTILIZANDO UN DISCO SECCHI. METODO CONVENCIONAL.

El disco Secchi se usa para determinar la transparencia del agua, en mantos quietos o profundos y en movimiento. Su principio se basa en medir la transparencia del agua por el paso de luz, porque tal paso depende de la cantidad de sedimentos en suspensión.

Materiales y Herramientas:

- Disco Secchi.
- Soga de 5 metros de longitud (puede ser mayor o menor, según la profundidad del agua del sitio de estudio).
- Pintura en spray de esmalte en látex: negra y blanca.
- Un tubo de acero de 2,5 - 3 cm de diámetro por 15 cm de largo.
- Taladro.
- Un trozo de madera circular (disco) de 2,5 cm de espesor por 20 cm de diámetro.
- 2 tornillos con gancho.
- Hilo de 15 cm de longitud.
- Un frasco pequeño de cola o pegamento.
- Marcadores a prueba de agua (rojo, azul y negro).
- Un metro de madera.
- Libreta de campo.

Si no se dispone de un disco Secchi, entonces será preciso fabricar uno y para hacerlo debe seguir las instrucciones siguientes:

Para fabricar un disco Secchi:

- Divida la parte superior del disco de madera en cuatro cuadrantes, dibujándolos apenas con un lápiz (dibuje dos líneas entrecruzadas en un ángulo de 90 grados).
- Pinte dos cuadrantes opuestos de color negro y los otros dos en blanco.
- Introduzca uno de los tornillos con gancho en el centro de la parte superior y otro en el centro de la parte inferior. A continuación amarre la soga de 5 m (o más) al gancho de la parte superior del disco.

- Ate un trozo de soga en el gancho de la parte inferior del disco e introdúzcalo por el tubo. Luego haga un nudo grande en el extremo del tubo para que no se caiga cuando lo cuelgue en sentido vertical por debajo del disco.
- Sujete la soga atada a la parte superior del disco y utilice el metro de madera para medir la distancia desde el disco. Haga una señal en la soga usando un marcador negro a prueba de agua cada 10 cm. Marque cada 50 cm desde el disco hacia arriba con el marcador azul y cada metro con el de color rojo. Ahora ya puede proceder a realizar la medición.

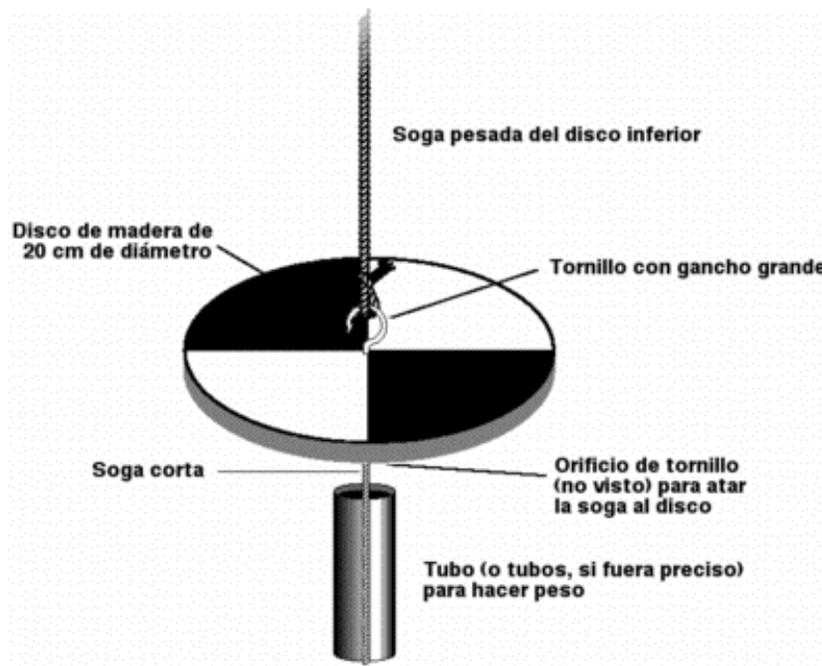


Figura 99. Fabricación de un disco Secchi.

Metodología:

- Seleccionar el lugar de estudio.
- Las mediciones realizadas con el disco Secchi se toman en la sombra con las espaldas hacia el sol, para que el resultado sea preciso. Si no puede encontrar un lugar con sombra, utilice una sombrilla o algún objeto para hacer sombra en el punto donde desea realizar la medición.
- Para mantener la coherencia, el mismo observador tiene que tomar la lectura cada vez, porque diferentes personas tienen diferentes niveles de agudeza visual.

- Para la medición de los sedimentos se colocarán los discos a medio metro de profundidad de los caudales de los ríos.
- Haga descender el disco suavemente en el agua hasta que desaparezca. Si le es posible, sujete la soga en la superficie del agua y marque este punto en la soga.
- Elevar el disco Secchi hasta que pueda volver a verlo. Sujete la cuerda en la superficie del agua cuando el disco vuelva a aparecer y marque este punto.
- El promedio de estas dos profundidades es la visibilidad del disco Secchi.
- Si las dos profundidades difieren en más de 10 cm repita la medición, registre las nuevas profundidades en la libreta de campo.

4.11 RECOMENDACIONES PARA LA APLICACION DEL PLAN DE MONITOREO.

1. Tomar los datos en intervalos de tiempo constantes, con el objetivo de mantener las mismas condiciones en la toma de muestras.
2. Monitorear la zona inmediatamente después de un evento extremo o extraordinario para la evaluación correspondiente.
3. Todo el equipo y los recipientes que entren en contacto con las muestras deben estar bien limpios para evitar contaminación. Preferiblemente estériles.
4. Con los valores obtenidos a través del plan de monitoreo, por ejemplo velocidades de descarga de ríos, caudales, sedimentos suspendidos, etc., producir gráficos, para mostrar cambios espaciales, temporales y estadísticas para una mayor evaluación y faciliten a los analistas mejor uso y manejo de los datos.
5. Capacitar a todo el personal que realice las pruebas de campo, para garantizar que los procedimientos sean bien hechos, en la toma de datos y extracción de muestras.

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CAPITULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

CONCLUSIONES

Los factores marinos continentales en la Bocana El Limón, han generado erosión y sedimentación en el cordón litoral de Acajutla en 47 años, entre 1949 y 1996, a una tasa de desplazamiento horizontal de 0.82m/año con un sistema dinámico, en la zona, donde las olas, mareas y corrientes marinas predominantes, obligan al talud de playa a retroceder hacia el continente. La erosión regresiva que se da en la zona arqueada hacia el sur de la Bocana El Limón, en dirección al Puerto de Acajutla, es producto de la erosión provocada por la fuerza del oleaje, y las corrientes marinas de esta provincia, de playa o llanura costera, que se genera a partir de la zona de rompiente hasta la llegada al talud de playa, invadiendo y transgrediendo sobre esta llanura marina continental.

Las geoformas de acumulación de arena fina a muy fina en esta zona, difieren en el talud de playa en forma de dique o barra, pendientes van de empinadas en la parte cercana a la Bocana, a suaves, al pie, en la franja próxima a la zona acantilada, debido al cambio de dirección del oleaje y por tanto al cambio de velocidad de ellas.

Las corrientes fluviales descargan sedimentos (11338.11 toneladas) de los ríos Sensunapán, San Pedro y Sunza, en la Bocana El Limón, osea, del orden de 10^4 toneladas de erosión o sedimentos, afectando el equilibrio entre los factores marinos y fluviales locales, cuando se dan eventos extremos, o extraordinarios como la Tormenta Aghata (483 mm en 24 horas), modificando el ambiente estuario y la borda marina costera continental.

RECOMENDACIONES

Al SNET, Departamento de Oceanografía, realizar evaluación de erosión y pérdida de suelo, y sedimentación marina costera, con registros anuales y para eventos extremos, por ejemplo la Tormenta Aghata, para todos los ríos y cuencas de la zona occidental y de todo el país que desembocan en el océano Pacífico. A la vez, hacer monitoreo hidrológico continuo de las regiones en cuencas y microcuencas que descargan hacia el mar del Océano Pacífico, en el país.

Ejecutar el plan de monitoreo propuesto, de acuerdo con los recursos disponibles y condiciones locales predominantes, así como adaptar lo técnicamente apropiado, producto de la observación durante el monitoreo y control en campo. Además, lograr establecer una relación de cooperación con los habitantes de las comunidades cercanas a la Bocana El Limón, cuando se efectúen los trabajos que comprende este plan.

Usar software de apoyo HEC RAS, HDM, para realizar modelos de flujo de canales naturales; Arc Gis, como recursos de apoyo técnico en la elaboración de bases de datos geográfica; Autocad, para dibujo. Así, se sistematizaría el manejo de las variables que intervienen en evaluaciones como la de La Bocana El Limón.

ANEXOS

**ANEXO 1: HOJA DE CALCULO PARA ELEVACION MEDIA Y PENDIENTE MEDIA
CUENCA SENSUNAPAN**

Intervalo curva	Area entre curvas	Elev. Media	Em*A	Longitud curva	
0-100	8.43	50	421.5	6.77	c-100
100-200	20.78	150	3117.0	25.77	c-200
200-300	17.46	250	4365.0	24.08	c-300
300-400	11.15	350	3902.5	33.54	c-400
400-500	10.92	450	4914.0	27.14	c-500
500-600	12.7	550	6985.0	29.80	c-600
600-700	9.03	650	5869.5	25.56	c-700
700-800	9.57	750	7177.5	28.25	c-800
800-900	9.79	850	8321.5	35.53	c-900
900-1000	10.5	950	9975.0	41.39	c-1000
1000-1100	20.26	1050	21273.0	35.44	c-1100
1100-1200	13.9	1150	15985.0	37.42	c-1200
1200-1300	11.47	1250	14337.5	37.94	c-1300
1300-1400	11.69	1350	15781.5	36.03	c-1400
1400-1500	15.45	1450	22402.5	34.96	c-1500
1500-1600	8.39	1550	13004.5	36.17	c-1600
1600-1700	6.76	1650	11154.0	34.33	c-1700
1700-1800	2.09	1750	3657.5	17.87	c-1800
1800-1900	2.01	1850	3718.5	10.54	c-1900
1900-1961	0.2	1930.5	386.1		
1900-2000	2.73	1950	5323.5	1.67	c-2000
			182072.1	560.201	
Area de la cuenca	215.28	Fórmulas:			
Elevación media	845.75	Elevación media = $(\sum Em*Ac)/At$			
Pendiente media	26.02	Pendiente media = $((\sum Lc*d)/At)*100$			

Fuente: Elaboración propia.

En donde:

Em : Elevación media entre curvas consecutivas (msnm).

Ac : Area entre dos curvas consecutivas (km²).

At : Area total de la cuenca (km²).

Lc : Longitud de cada curva de nivel dentro de la cuenca. (km)

D : intervalo de separación entre cuencas (km).

**ANEXO 2: HOJA DE CALCULO PARA ELEVACION MEDIA Y PENDIENTE MEDIA
CUENCA SAN PEDRO**

Intervalo curva	Area entre curvas	Elev. Media	Em*A	Longitud curva	
0-100	30.16	50	1508.00	57.98	c-100
100-200	21.85	150	3277.50	32.82	c-200
200-300	11.17	250	2792.50	29.78	c-300
300-400	9.41	350	3293.50	27.39	c-400
400-500	7.17	450	3226.50	25.92	c-500
500-600	5.18	550	2849.00	19.37	c-600
600-700	3.77	650	2450.50	9.75	c-700
700-800	2.24	750	1680.00	7.50	c-800
800-900	2.29	850	1946.50	9.44	c-900
900-1000	2.44	950	2318.00	7.25	c-1000
1000-1100	1.85	1050	1942.50	5.88	c-1100
1100-1200	2.00	1150	2300.00	5.21	c-1200
1200-1300	2.04	1250	2550.00	5.39	c-1300
1300-1400	2.16	1350	2916.00	4.11	c-1400
1400-1500	1.14	1450	1653.00	3.67	c-1500
1500-1600	0.62	1550	961.00	2.94	c-1600
1600-1700	0.38	1650	627.00	2.30	c-1700
1700-1841	0.71	1770.5	1257.05	1.16	c-1800
			39548.56	257.86	
Area de la cuenca	106.58	Fórmulas:			
Elevación media	371.07	Elevación media = $(\sum Em*Ac)/At$			
Pendiente media	24.19	Pendiente media = $((\sum Lc*d)/At)*100$			

Fuente: Elaboración propia.

En donde:

Em : Elevación media entre curvas consecutivas (msnm).

Ac : Area entre dos curvas consecutivas (km²).

At : Area total de la cuenca (km²).

Lc : Longitud de cada curva de nivel dentro de la cuenca. (km)

D : intervalo de separación entre cuencas (km).

**ANEXO 3: HOJA DE CALCULO PARA ELEVACION MEDIA Y PENDIENTE MEDIA
CUENCA SUNZA**

Intervalo curva	Area entre curvas	Elev. Media	Em*A	Longitud curva	
0-100	15.47	50	773.5	21.51	c-100
100-200	9.66	150	1449.0	16.76	c-200
200-300	10.49	250	2622.5	29.99	c-300
300-400	10.30	350	3605.0	35.44	c-400
400-500	10.63	450	4783.5	35.31	c-500
500-600	8.83	550	4856.5	32.15	c-600
600-700	7.03	650	4569.5	23.33	c-700
700-800	6.67	750	5002.5	24.21	c-800
800-900	5.14	850	4369.0	24.35	c-900
900-1000	4.29	950	4075.5	21.09	c-1000
1000-1100	3.45	1050	3622.5	18.02	c-1100
1100-1200	3.14	1150	3611.0	11.65	c-1200
1200-1300	2.65	1250	3312.5	13.02	c-1300
1300-1400	4.30	1350	5805.0	8.03	c-1400
1400-1500	2.55	1450	3697.5	4.30	c-1500
1500-1600	0.72	1550	1116.0	3.70	c-1600
1600-1700	0.40	1650	660.0	2.93	c-1700
1700-1841	0.38	1770.5	672.79	1.21	c-1800
			58603.79	327	
Area de la cuenca	106.1	Fórmulas:			
Elevación media	552.34	Elevación media = $(\sum Em*Ac)/At$			
Pendiente media	30.82	Pendiente media = $((\sum Lc*d)/At)*100$			

Fuente: Elaboración propia.

En donde:

Em: Elevación media entre curvas consecutivas (msnm).

Ac : Area entre dos curvas consecutivas (km²).

At :Area total de la cuenca (km²).

Lc : Longitud de cada curva de nivel dentro de la cuenca. (km)

D : intervalo de separación entre cuencas (km).

**ANEXO 4: REGISTRO HISTÓRICO DE EVENTOS EXTREMOS Y EXTRAORDINARIOS
EN EL DEPARTAMENTO DE SONSONATE**

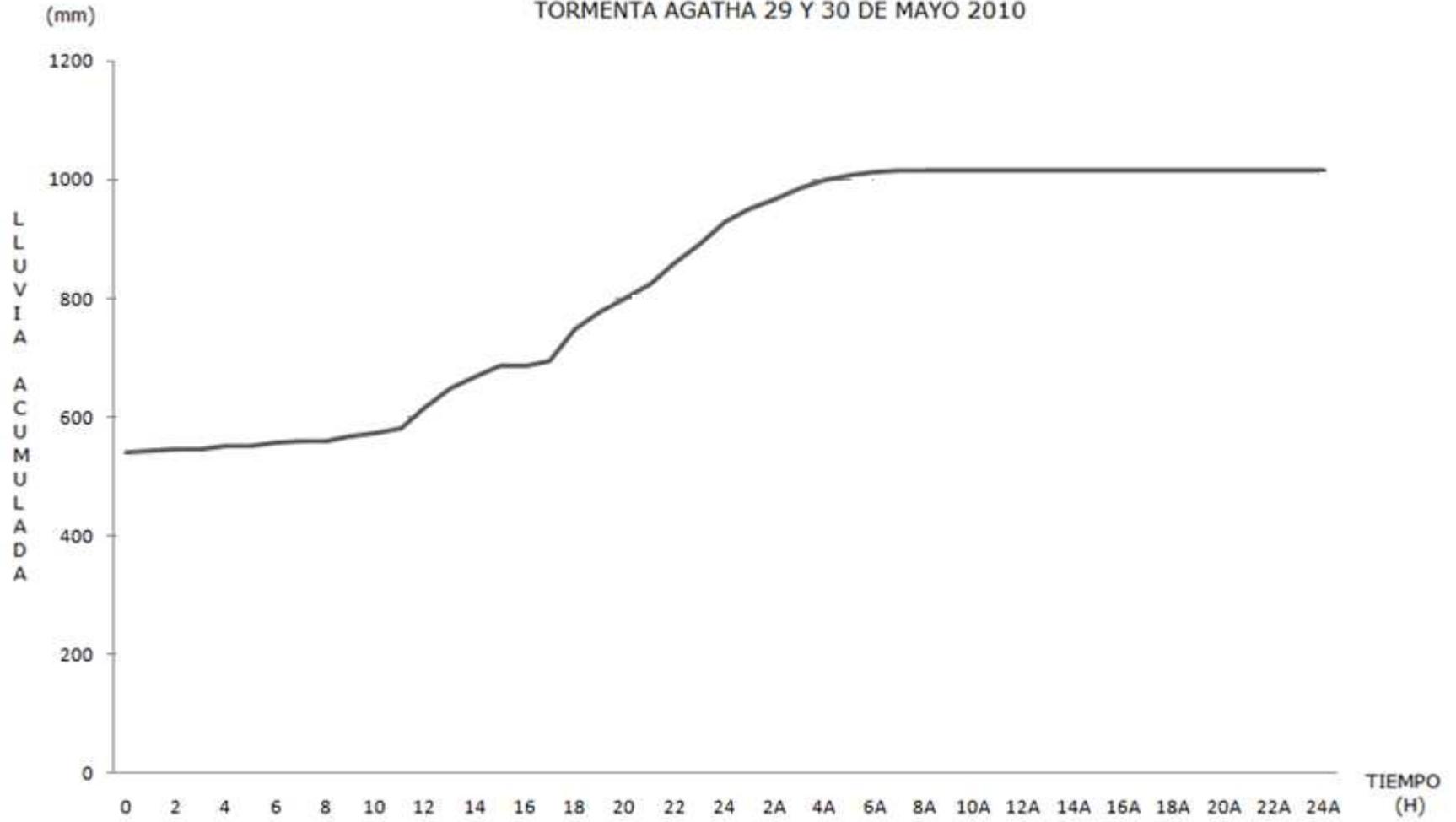
Fecha de inundación	Sitio afectado	Estación	Fecha de lectura	Lectura (mm)
04/09/1969	Inundaciones causadas por el Huracán Francelia, en el departamento de Sonsonate, zona de Acajutla	SONSONATE, FENADESAL	04/09/1969	164.6 mm
			03/09/1969	71.9 mm
20/09/1974	Inundaciones en el departamento de Sonsonate por huracán FIFI, zona de Acajutla	SONSONATE, FENADESAL	20/09/1974	124.3 mm
26/06/1991	Inundaciones en el departamento de Sonsonate	SONSONATE, CLESS	25/06/1991	4.7 mm
			24/06/1991	17 mm
			23/06/1991	39.5 mm
12/04/1993	Inundaciones en el departamento de Sonsonate, zona de juayua	LOS NARANJOS	08/04/1993	111 mm
20/09/1993	Inundaciones en el departamento de Sonsonate, zona de Acajutla	ACAJUTLA, PTO NUEVO	19/09/1993	100.4 mm
			18/09/1993	243 mm
29/09/1995	Inundaciones en el departamento de Sonsonate, zona Santa Isabel	SONSONATE, FENADESAL	27/09/1995	18.3 mm
			26/09/1995	56.1 mm
04/07/1996	Inundaciones en el departamento de Sonsonate, zona de Acajutla	ACAJUTLA, PTO NUEVO	05/07/1996	192.7 mm
			04/07/1996	132.1 mm
			03/07/1996	124.1 mm
09/06/1997	Inundaciones en el departamento de Sonsonate, zona de Nahuizalco-El Cerrito	SONSONATE, FENADESAL	09/06/1997	34.2 mm
			07/06/1997	71.4 mm
01/11/1998	Inundaciones en el departamento de Sonsonate causadas por el huracán MITCH	IZALCO CEGA	01/11/1998	304 mm
Desde 4/Octubre/2003 hasta 6/Octubre/2003	Derrumbes causados por las lluvias intensas. Soterramiento de la Captación de Agua que abastece Juayúa, Salcoatitán y parte de Nahuizalco, en Sonsonate.	SALCOATITAN	08/10/2003	62.9 mm
			07/10/2003	50 mm
			06/10/2003	50 mm
08/10/2003	212 familias fueron evacuadas de las colonias Santa Rita, Santa Anita, Las Flores y Cantón Santa Rosa, por el riesgo de derrumbes en la zona. Un muerto, en el río Chicataco, en la jurisdicción de Santa	SALCOATITAN	08/10/2003	62.9 mm
			07/10/2003	50 mm

	Catarina Masahuat, departamento de Sonsonate. La calle que conduce de Santa Catarina Masahuat a Salcoatitán quedó obstruida por un derrumbe.		06/10/2003	50 mm
24/05/2004	Desbordamiento de dos quebradas en Barra Salada, Sonsonate, salida del agua de la bocana obstruida por arena. Lluvias generadas por un sistema de baja presión que se ubicó entre las costas nicaragüenses y salvadoreñas manteniéndose semiestacionario, junto con vaguada en niveles superiores.	ACAJUTLA, PTO NUEVO	24/05/2004	31.6 mm
			23/05/2004	43.4 mm
24/08/2004	Inundación en Barra Salada debido a obstrucción de bocana.	ACAJUTLA, PTO NUEVO	24/08/2004	27.6 mm
Desde 24/Junio/2005 hasta 24/Junio/2005	En Sonsonate, en la 24 Avenida Norte, en la lotificación Villa Lilian, las zanjas, deslaves y grandes piedras existentes, fueron cubiertas por el agua lo que convirtió la vía en un paso imposible. La Colonia Brisas del Mar de la misma ciudad también se vio afectada por la tormenta.	ACAJUTLA, PTO NUEVO	24/06/2005	34 mm
Desde 26/Septiembre/2005 hasta 26/Septiembre/2005	Lluvias generalizadas ocasionadas por una depresión Tropical, provocaron inundaciones en los departamentos de San Salvador, Sonsonate. En Acajutla sobre el KM 7. Evacuados: urb. Sensunapán 64, zona del playón 27, san Antonio del monte 12	ACAJUTLA, PTO NUEVO	27/09/2005	26.4 mm
Desde 28/Septiembre/2005 hasta 28/Septiembre	En Sonsonate, Lluvias intensas provocaron que el nivel del agua aumentara 50 cm, colonia Montevideo.	LOS NARANJOS	29/09/2005	49.5 mm
		ACAJUTLA, PTO NUEVO	28/09/2005	26.3 mm
5/Octubre/2005	Lluvias generalizadas sobre todo el territorio nacional provocaron inundaciones, en diferentes departamentos y en las ciudades principales, con un promedio de 63.8 mm, registrándose un máximo de 109. mm en la Estación Los Naranjos departamento de Sonsonate. Comunidades ubicadas en las riberas del río Grande de Sonsonate, se vieron afectadas por el desbordamiento del mismo.	LOS NARANJOS	05/10/2005	109.0 mm
10/08/2007	Inundaciones en el departamento de Sonsonate. Finca y cantón Buenos Aires, Juyua.	LOS NARANJOS	09/08/2007	46.5 mm
12/08/2007	Inundaciones en el departamento de Sonsonate. Acajutla, Metalío	LOS NARANJOS	09/08/2007	46.5 mm
		ACAJUTLA	09/08/2007	3.4 mm

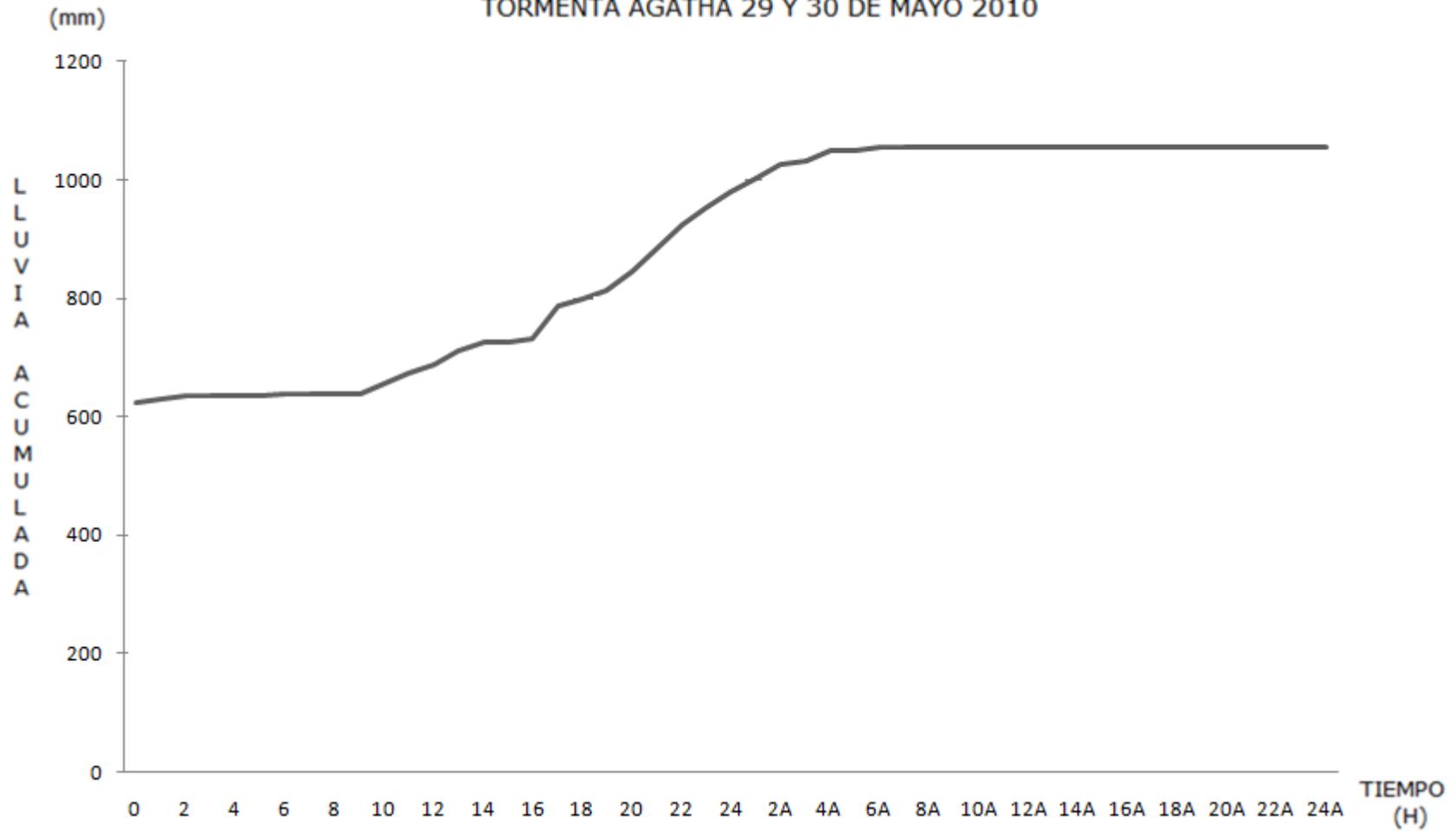
21/09/2008	Se registraron inundaciones en el departamento de Sonsonate. Cantón Nuevo México	SANTA BEATRIZ	21/09/2008	50.2 mm
		ACAJUTLA, PTO NUEVO	21/09/2008	26.2 mm
Desde 29/Mayo/2010 hasta 31/Mayo/2010	El país se vio afectado por la Tormenta Tropical Agatha, el primer fenómeno ciclónico del pacífico. Las mayores precipitaciones se registraron entre el día 29 y 30 de mayo, con un registro máximo acumulado de 483 mm en 24 horas. Todo el territorio nacional se vio afectado por condiciones atemporales registrándose acumulados que sobrepasaban los 100 mm en casi todas las estaciones meteorológicas. Estas lluvias ocasionaron el desbordamiento de la mayor parte de los ríos del país, ocasionando serios problemas en todo el territorio nacional, con mayor afectación en las desembocaduras de los principales ríos. Zona afectada de Sonsonate: Caserío El Amatal, municipio de Metalío (desborde de río Cauca), comunidad La Coquera y comunidades aledañas.	AHUACHAPAN SM	30/05/2010	152.9 mm
		LOS NARANJOS	30/05/2010	454.4 mm
		ACAJUTLA, PTO NUEVO	30/05/2010	144.9 mm
Desde 26/Junio/2010 hasta 29/Junio/2010	La Tormenta Tropical Alex y posterior huracán Alex, primer sistema ciclónico del Atlántico tuvo su influencia en territorio nacional desde el sábado 26 de junio con acumulados máximos de hasta 163 mm. Zona de Sonsonate afectada: Colonia El Paraíso I, col. La Vega, comunidad El Jute, barrio El Cruz (desborde río Sensunapán); comunidad La Cocotera; comunidad Sihupilapa, El Corozal, Playa Dorada.	LOS NARANJOS	26/06/2010	124.5 mm
		ACAJUTLA, PTO NUEVO	26/06/2010	118.4 mm

Fuente: SNET (Servicio Nacional de Estudios Territoriales).

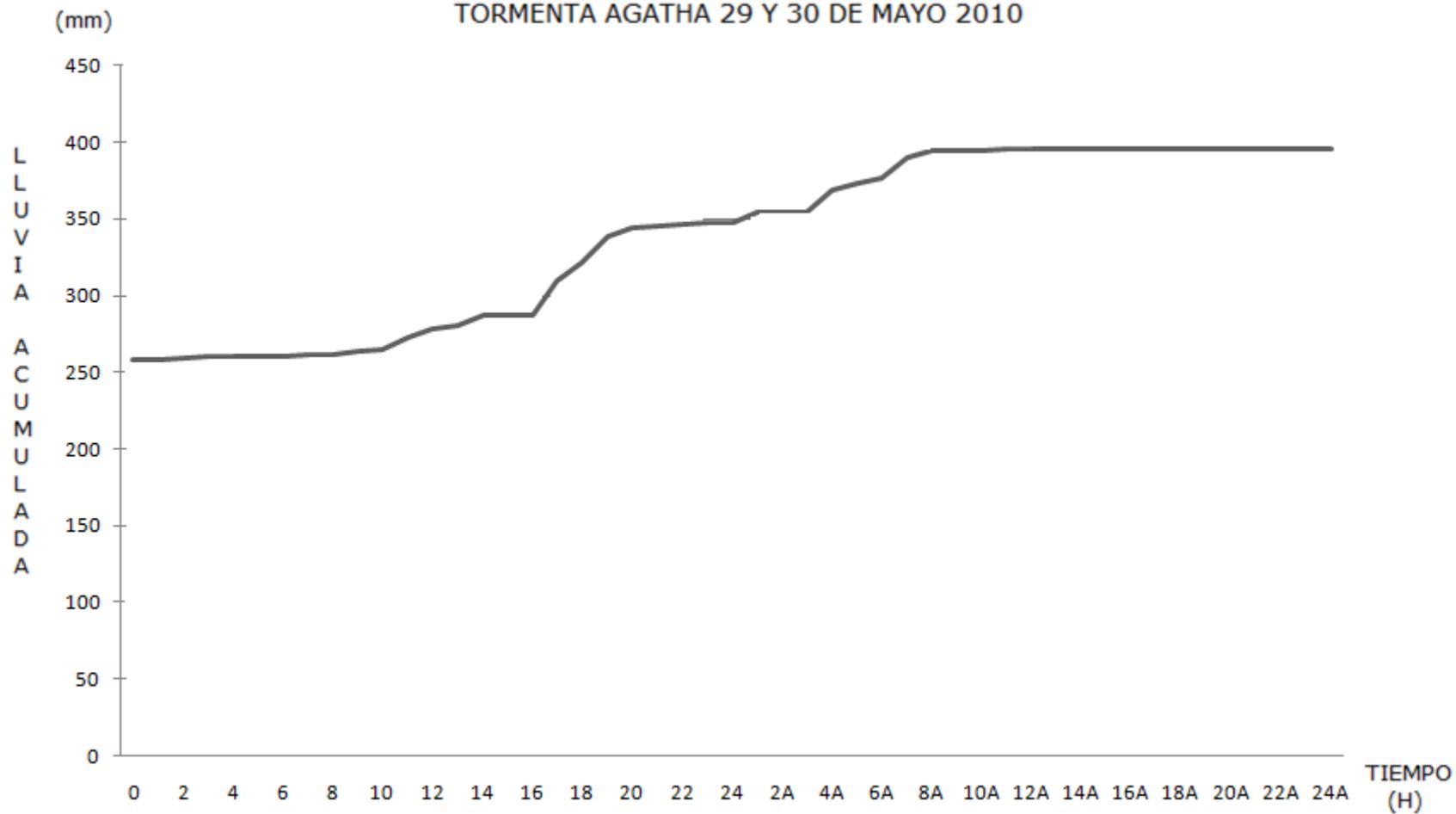
**ANEXO 5: CURVA-MASA PARA DATOS DE LLUVIA ACUMULADA, ESTACION LOS NARANJOS.
TORMENTA AGATHA 29 Y 30 DE MAYO 2010**



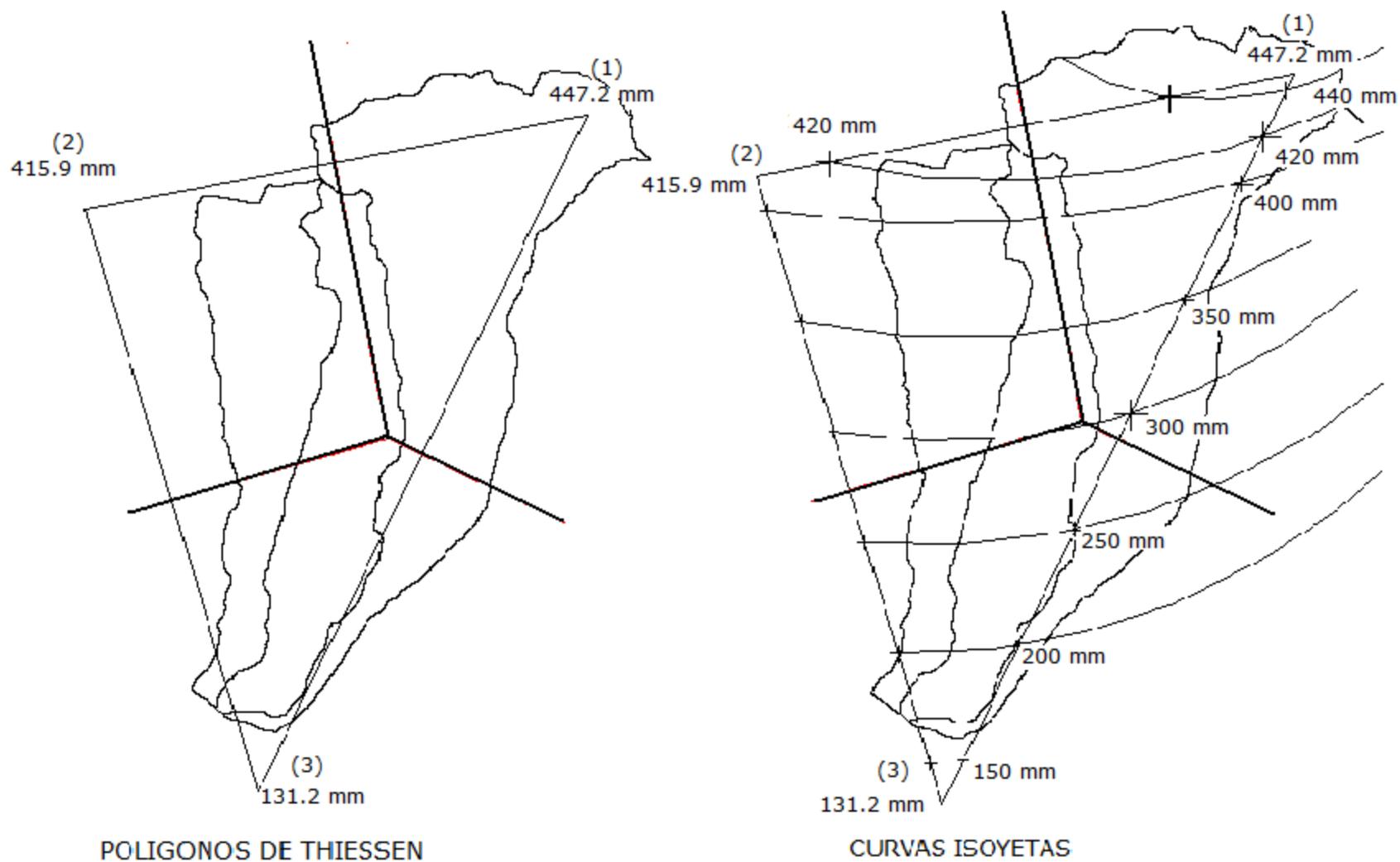
**ANEXO 6: CURVA-MASA PARA DATOS DE LLUVIA ACUMULADA, ESTACION ATACO
TORMENTA AGATHA 29 Y 30 DE MAYO 2010**



**ANEXO 7: CURVA-MASA PARA DATOS DE LLUVIA ACUMULADA, ESTACION ACAJUTLA
TORMENTA AGATHA 29 Y 30 DE MAYO 2010**



ANEXO 8: POLIGONOS DE THIESSEN Y CURVAS ISOYETAS DEL SISTEMA TRIBUTARIO QUE DESEMBOCA EN LA BOCANA EL LIMON, UTILIZANDO ESTACIONES TELEHIDROMETRICAS LOS NARANJOS, ATACO Y ACAJUTLA



ANEXO 9: HOJA DE CALCULO PARA ALTURA DE PRECIPITACION AJUSTADA, Hpaj

ZONA I									
hp3 (mm)	Areas	A1=	23.26			At1=	23.26	hp3=	Estacion Acajutla
						At I=	23.26		
HORA	hp3	At1*hp1	hp(mm)	hpaj(mm)					
10	2	46.52	2.00	2.52					
11	9.4	218.64	9.40	11.82				Precipitacion media	
12	14.8	344.25	14.80	18.61				Thiessen	131.2 mm
13	16.8	390.77	16.80	21.13				Isoyetas	165 mm
14	23.6	548.94	23.60	29.68					
15	24.4	567.54	24.40	30.69				Fc=	1.25762195
16	24.4	567.54	24.40	30.69					
17	46.8	1088.57	46.80	58.86					
18	58.2	1353.73	58.20	73.19					
19	75.2	1749.15	75.20	94.57					
20	80.6	1874.76	80.60	101.36					
21	82.4	1916.62	82.40	103.63					
22	83.2	1935.23	83.20	104.63					
23	84.4	1963.14	84.40	106.14					
24	84.4	1963.14	84.40	106.14					
1A	90.8	2112.01	90.80	114.19					
2A	90.8	2112.01	90.80	114.19					
3A	90.8	2112.01	90.80	114.19					
4A	105.8	2460.91	105.80	133.06					
5A	110	2558.60	110.00	138.34					
6A	113.4	2637.68	113.40	142.61					
7A	127	2954.02	127.00	159.72					
8A	131.2	3051.71	131.20	165.00					

Fuente: Elaboración propia.

ZONA II									
hp3 (mm)	Areas	A1=	23.26	A2=	51	At2=	74.26	hp3=	Estacion Acajutla
						At I=	74.26		
HORA	hp3	At2*hp3	hp(mm)	hpaj(mm)					
10	2	148.52	2.00	2.36					
11	9.4	698.04	9.40	11.07				Precipitacion media	
12	14.8	1099.05	14.80	17.43				Thiessen	131.2 mm
13	16.8	1247.57	16.80	19.79				Isoyetas	154.52 mm
14	23.6	1752.54	23.60	27.79					
15	24.4	1811.94	24.40	28.74				Fc=	1.1777439
16	24.4	1811.94	24.40	28.74					
17	46.8	3475.37	46.80	55.12					
18	58.2	4321.93	58.20	68.54					
19	75.2	5584.35	75.20	88.57					
20	80.6	5985.36	80.60	94.93					
21	82.4	6119.02	82.40	97.05					
22	83.2	6178.43	83.20	97.99					
23	84.4	6267.54	84.40	99.40					
24	84.4	6267.54	84.40	99.40					
1A	90.8	6742.81	90.80	106.94					
2A	90.8	6742.81	90.80	106.94					
3A	90.8	6742.81	90.80	106.94					
4A	105.8	7856.71	105.80	124.61					
5A	110	8168.60	110.00	129.55					
6A	113.4	8421.08	113.40	133.56					
7A	127	9431.02	127.00	149.57					
8A	131.2	9742.91	131.20	154.52					

Fuente: Elaboración propia.

ANEXO 10: HOJAS DE CALCULO PARA ALTURA DE PRECIPITACION, Hpaj

ZONA III											
hp1 (mm)	Areas	A3=	11.36					At5=	11.36	hp1=	Estacion Los Naranjos
Hp2 (mm)	Areas	A4=	3.51					At6=	3.51	hp2=	Estacion Ataco
hp3 (mm)	Areas	A5=	125.66					AT III=	140.53	hp3=	Estacion Acajutla
HORA	hp1	hp2	hp3	At5*hp1	At6*hp2	A5*hp3	hp(mm)	hpaj (mm)			
10	4	15.5	2	45.44	54.41	251.32	2.50	3.64			
11	11.4	34	9.4	129.50	119.34	1181.204	10.18	14.82			Precipitacion media
12	48.4	47.3	14.8	549.82	166.02	1859.768	18.33	26.69		Thiessen	163.85355 mm
13	79.4	70.3	16.8	901.98	246.75	2111.088	23.20	33.79		Isoyetas	238.65 mm
14	100	85	23.6	1136.00	298.35	2965.576	31.31	45.60			
15	116.8	86.9	24.4	1326.85	305.02	3066.104	33.43	48.69		Fc=	1.45646751
16	117.8	90.8	24.4	1338.21	318.71	3066.104	33.61	48.95			
17	126	146.3	46.8	1431.36	513.51	5880.888	55.69	81.11			
18	179.2	159.4	58.2	2035.71	559.49	7313.412	70.51	102.69			
19	210.4	174	75.2	2390.14	610.74	9449.632	88.60	129.04			
20	232	204.6	80.6	2635.52	718.15	10128.196	95.94	139.73			
21	254.4	245	82.4	2889.98	859.95	10354.384	100.37	146.18			
22	290.8	285.8	83.2	3303.49	1003.16	10454.912	105.04	152.99			
23	322.2	313	84.4	3660.19	1098.63	10605.704	109.33	159.24			
24	359.6	340	84.4	4085.06	1193.40	10605.704	113.03	164.63			
1A	381.4	362	90.8	4332.70	1270.62	11409.928	121.06	176.33			
2A	397	385.9	90.8	4509.92	1354.51	11409.928	122.92	179.03			
3A	417.8	392	90.8	4746.21	1375.92	11409.928	124.76	181.70			
4A	432	409	105.8	4907.52	1435.59	13294.828	139.74	203.53			
5A	439.6	410.7	110	4993.86	1441.56	13822.6	144.15	209.96			
6A	443	414.9	113.4	5032.48	1456.30	14249.844	147.57	214.94			
7A	446	415.6	127	5066.56	1458.76	15958.82	160.00	233.03			
8A	447.2	415.9	131.2	5080.19	1459.81	16486.592	163.86	238.65			

Fuente: Elaboración propia.

ZONA IV											
hp1 (mm)	Areas	A3=	11.36	A	31.48			At5=	42.84	hp1=	Estacion Los Naranjos
Hp2 (mm)	Areas	A4=	3.51	A	39.27			At6=	42.78	hp2=	Estacion Ataco
hp3 (mm)	Areas	A5=	125.95					AT III=	211.57	hp3=	Estacion Acajutla
HORA	hp1	hp2	hp3	At1*hp1	At2*hp2	A9*hp3	hp(mm)	hpaj (mm)			
10	4	15.5	2	171.36	663.09	251.9	5.13	5.44			
11	11.4	34	9.4	488.38	1454.52	1183.93	14.78	15.65			Precipitacion media
12	48.4	47.3	14.8	2073.46	2023.49	1864.06	28.18	29.83		Thiessen	252.752706 mm
13	79.4	70.3	16.8	3401.50	3007.43	2115.96	40.29	42.67		Isoyetas	267.64 mm
14	100	85	23.6	4284.00	3636.30	2972.42	51.49	54.52			
15	116.8	86.9	24.4	5003.71	3717.58	3073.18	55.75	59.03		Fc=	1.05890063
16	117.8	90.8	24.4	5046.55	3884.42	3073.18	56.74	60.08			
17	126	146.3	46.8	5397.84	6258.71	5894.46	82.96	87.84			
18	179.2	159.4	58.2	7676.93	6819.13	7330.29	103.16	109.24			
19	210.4	174	75.2	9013.54	7443.72	9471.44	122.55	129.77			
20	232	204.6	80.6	9938.88	8752.79	10151.57	136.33	144.36			
21	254.4	245	82.4	10898.50	10481.10	10378.28	150.11	158.95			
22	290.8	285.8	83.2	12457.87	12226.52	10479.04	166.20	175.99			
23	322.2	313	84.4	13803.05	13390.14	10630.18	178.77	189.30			
24	359.6	340	84.4	15405.26	14545.20	10630.18	191.81	203.10			
1A	381.4	362	90.8	16339.18	15486.36	11436.26	204.48	216.52			
2A	397	385.9	90.8	17007.48	16508.80	11436.26	212.47	224.99			
3A	417.8	392	90.8	17898.55	16769.76	11436.26	217.92	230.75			
4A	432	409	105.8	18506.88	17497.02	13325.51	233.16	246.89			
5A	439.6	410.7	110	18832.46	17569.75	13854.5	237.54	251.53			
6A	443	414.9	113.4	18978.12	17749.42	14282.73	241.10	255.30			
7A	446	415.6	127	19106.64	17779.37	15995.65	249.95	264.67			
8A	447.2	415.9	131.2	19158.05	17792.20	16524.64	252.75	267.64			

Fuente: Elaboración propia.

ANEXO 11: HOJAS DE CALCULO PARA ALTURA DE PRECIPITACION, Hpaj

ZONA V											
hp1 (mm)	Areas	A3=	42.84	A	43.84			At5=	86.68	hp1=	Estacion Los Naranjos
Hp2 (mm)	Areas	A4=	42.78	A	43			At6=	85.78	hp2=	Estacion Ataco
hp3 (mm)	Areas	A5=	125.95					AT III=	298.41	hp3=	Estacion Acajutla
HORA	hp1	hp2	hp3	At1*hp1	At2*hp2	A9*hp3	hp(mm)	hpaj (mm)			
10	4	15.5	2	346.72	1329.59	251.9	6.46	6.34			
11	11.4	34	9.4	988.15	2916.52	1183.93	17.05	16.72			Precipitacion media
12	48.4	47.3	14.8	4195.31	4057.39	1864.06	33.90	33.24		Thiessen	304.828384 mm
13	79.4	70.3	16.8	6882.39	6030.33	2115.96	50.36	49.38		Isoyetas	298.88 mm
14	100	85	23.6	8668.00	7291.30	2972.42	63.44	62.20			
15	116.8	86.9	24.4	10124.22	7454.28	3073.18	69.21	67.86		Fc=	0.98048612
16	117.8	90.8	24.4	10210.90	7788.82	3073.18	70.62	69.24			
17	126	146.3	46.8	10921.68	12549.61	5894.46	98.41	96.49			
18	179.2	159.4	58.2	15533.06	13673.33	7330.29	122.44	120.05			
19	210.4	174	75.2	18237.47	14925.72	9471.44	142.87	140.08			
20	232	204.6	80.6	20109.76	17550.59	10151.57	160.22	157.10			
21	254.4	245	82.4	22051.39	21016.10	10378.28	179.10	175.61			
22	290.8	285.8	83.2	25206.54	24515.92	10479.04	201.74	197.80			
23	322.2	313	84.4	27928.30	26849.14	10630.18	219.19	214.91			
24	359.6	340	84.4	31170.13	29165.20	10630.18	237.81	233.17			
1A	381.4	362	90.8	33059.75	31052.36	11436.26	253.17	248.23			
2A	397	385.9	90.8	34411.96	33102.50	11436.26	264.57	259.41			
3A	417.8	392	90.8	36214.90	33625.76	11436.26	272.37	267.05			
4A	432	409	105.8	37445.76	35084.02	13325.51	287.71	282.09			
5A	439.6	410.7	110	38104.53	35229.85	13854.5	292.18	286.48			
6A	443	414.9	113.4	38399.24	35590.12	14282.73	295.81	290.04			
7A	446	415.6	127	38659.28	35650.17	15995.65	302.62	296.72			
8A	447.2	415.9	131.2	38763.30	35675.90	16524.64	304.83	298.88			

Fuente: Elaboración propia.

ZONA VI											
hp1 (mm)	Areas	A3=	86.68	A	102.12			At5=	188.8	hp1=	Estacion Los Naranjos
Hp2 (mm)	Areas	A4=	85.78	A	27.43			At6=	113.21	hp2=	Estacion Ataco
hp3 (mm)	Areas	A5=	125.95					AT III=	427.96	hp3=	Estacion Acajutla
HORA	hp1	hp2	hp3	At1*hp1	At2*hp2	A9*hp3	hp(mm)	hpaj (mm)			
10	4	15.5	2	755.20	1754.76	251.9	6.45	6.21			
11	11.4	34	9.4	2152.32	3849.14	1183.93	16.79	16.17			Precipitacion media
12	48.4	47.3	14.8	9137.92	5354.83	1864.06	38.22	36.80		Thiessen	345.920271
13	79.4	70.3	16.8	14990.72	7958.66	2115.96	58.57	56.40		Isoyetas	333.09
14	100	85	23.6	18880.00	9622.85	2972.42	73.55	70.82			
15	116.8	86.9	24.4	22051.84	9837.95	3073.18	81.70	78.67		Fc=	0.96290975
16	117.8	90.8	24.4	22240.64	10279.47	3073.18	83.17	80.08			
17	126	146.3	46.8	23788.80	16562.62	5894.46	108.06	104.05			
18	179.2	159.4	58.2	33832.96	18045.67	7330.29	138.35	133.22			
19	210.4	174	75.2	39723.52	19698.54	9471.44	160.98	155.01			
20	232	204.6	80.6	43801.60	23162.77	10151.57	180.19	173.51			
21	254.4	245	82.4	48030.72	27736.45	10378.28	201.29	193.83			
22	290.8	285.8	83.2	54903.04	32355.42	10479.04	228.38	219.91			
23	322.2	313	84.4	60831.36	35434.73	10630.18	249.78	240.52			
24	359.6	340	84.4	67892.48	38491.40	10630.18	273.42	263.28			
1A	381.4	362	90.8	72008.32	40982.02	11436.26	290.74	279.96			
2A	397	385.9	90.8	74953.60	43687.74	11436.26	303.95	292.67			
3A	417.8	392	90.8	78880.64	44378.32	11436.26	314.74	303.06			
4A	432	409	105.8	81561.60	46302.89	13325.51	329.91	317.68			
5A	439.6	410.7	110	82996.48	46495.35	13854.5	334.95	322.53			
6A	443	414.9	113.4	83638.40	46970.83	14282.73	338.56	326.01			
7A	446	415.6	127	84204.80	47050.08	15995.65	344.08	331.31			
8A	447.2	415.9	131.2	84431.36	47084.04	16524.64	345.92	333.09			

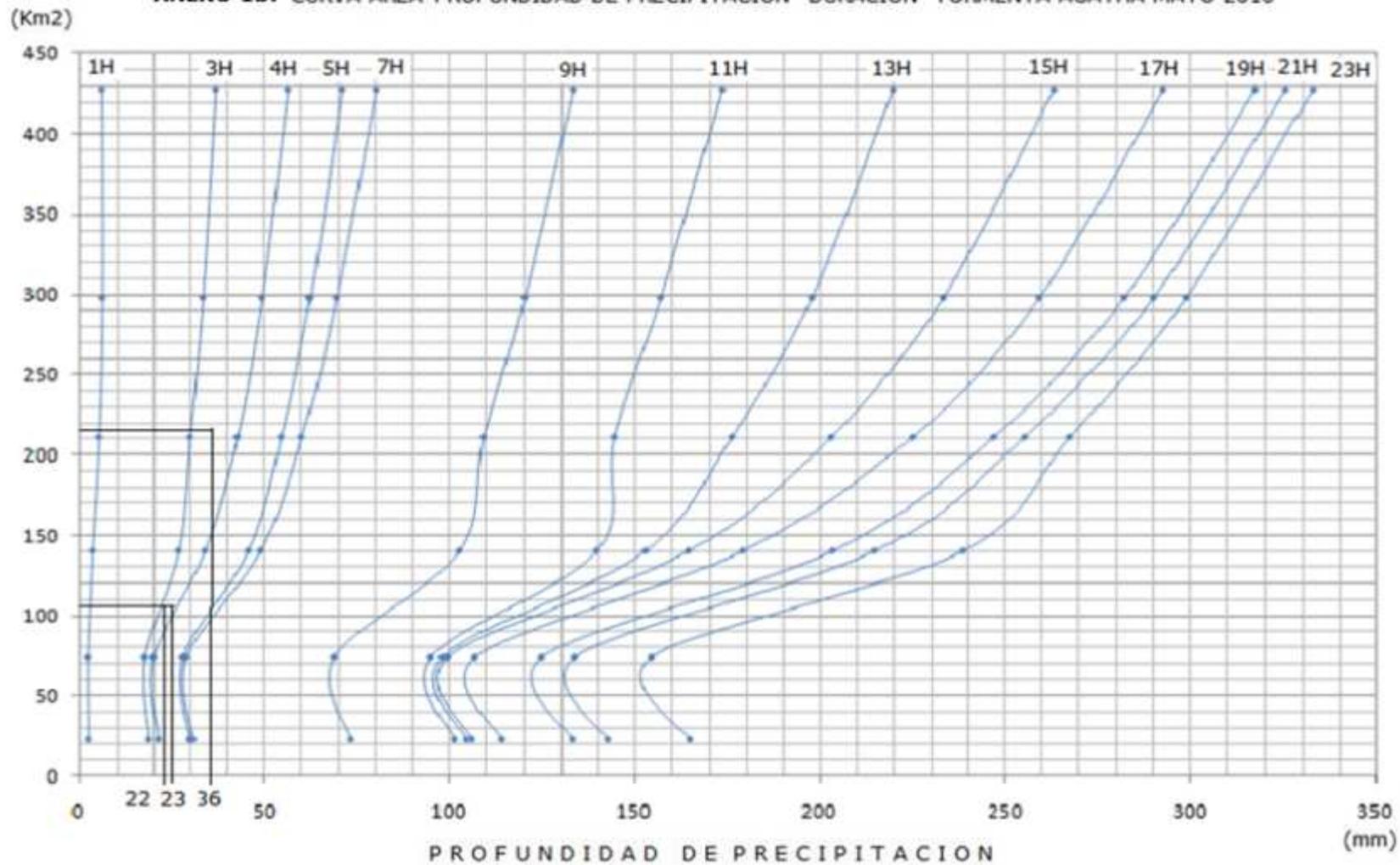
Fuente: Elaboración propia.

ANEXO 12: DATOS DE ALTURA DE PRECIPITACION AJUSTADA, (Hpaj), POR CADA HORA QUE DURO LA TORMENTA AGATHA

ZONA	AREA (Km ²)	hpaj (mm)																							
		10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	1A	2A	3A	4A	5A	6A	7A	8A	
I	23.26	2.51	11.82	18.61	21.13	29.68	30.69	30.69	58.86	73.19	94.57	101.36	103.63	104.63	106.14	106.14	114.19	114.19	114.19	133.06	138.34	142.61	159.72	165.00	
II	74.26	2.36	11.07	17.43	19.79	27.79	28.74	28.74	55.12	68.54	88.57	94.93	97.05	97.99	99.40	99.40	106.94	106.94	106.94	124.61	129.55	133.56	149.57	154.52	
III	140.53	3.64	14.82	26.69	33.79	45.60	48.69	48.95	81.11	102.69	129.04	139.73	146.18	152.99	159.24	164.63	176.33	179.03	181.70	203.53	209.96	214.94	233.03	238.65	
IV	211.57	5.44	15.65	29.83	42.67	54.52	59.03	60.08	87.84	109.24	129.77	144.36	158.95	175.99	189.30	203.10	216.52	224.99	230.75	246.89	251.53	255.30	264.67	267.64	
V	298.41	6.34	16.72	33.24	49.38	62.20	67.86	69.24	96.49	120.05	140.08	157.10	175.61	197.80	214.91	233.17	248.23	259.41	267.05	282.09	286.48	290.04	296.72	298.88	
VI	427.96	6.21	16.17	36.80	56.40	70.82	78.67	80.08	104.05	133.22	155.01	173.51	193.83	219.91	240.52	263.28	279.96	292.67	303.06	317.68	322.53	326.01	331.31	333.09	

Fuente: Elaboración propia.

ANEXO 13: CURVA AREA-PROFUNDIDAD DE PRECIPITACION- DURACION TORMENTA AGATHA MAYO 2010



Cuenca	Area (Km ²)	Tc (h)
Sensunapan	215.28	3.3
San Pedro	106.58	3.5
Sunza	106.1	3.1

ANEXO 14: FACTORES PARA EL CALCULO DEL NUMERO DE CURVA CN

DESCRIPCION DEL USO DE LA TIERRA, TRATAMIENTO, CONDICION HIDROLOGICA		GRUPO HIDROLOGICO DEL SUELO			
TAMAÑOS PROMEDIOS	%PROMEDIO IMPERMEABILIDAD	A	B	C	D
1/8 acre o menor	65	77	85	90	92
1/4 acre	38	61	75	83	87
1/3 acre	30	57	72	81	86
1/2 acre	25	54	70	80	85
1 acre	20	51	68	79	84
PARQUEOS PAVIMENTADOS, TECHOS Y CAMINOS DE ACCESO		98	98	98	98
CARRETERAS Y CAMINOS					
	PAVIMENTADOS	98	98	98	98
	BALASTRADOS	76	85	89	91
	DE TIERRA	72	82	87	89
AREAS COMERCIALES (85% DE IMPERMEABILIDAD)		89	92	94	95
DISTRITOS INDUSTRIALES (72% DE IMPERMEABILIDAD)		81	88	91	93
ESPACIOS ABIERTOS, ENGRAMADOS, PARQUES, CEMENTERIOS, ETC					
CONDICION BUENA: HIERVA CUBRE EL 75% O MAS DEL AREA		39	61	74	80
CONDICION REGULAR: HIERVA CUBRE EL 50% O MAS DEL AREA		49	69	79	84
BARBECHO	LINEAS NIVELADAS	77	86	91	94
LINEAS DE CULTIVOS	LINEAS NIVELADAS POBRES	72	81	88	91
	LINEAS NIVELADAS BUENAS	67	78	85	89
	CONTORNOS POBRES	70	79	84	88
	CONTORNOS BUENAS	65	75	82	86
	CONTORNOS Y TERRAZAS POBRES	66	74	80	82
	CONTORNOS Y TERRAZAS BUENAS	62	71	78	81
GRANOS PEQUEÑOS	LINEAS NIVELADAS POBRES	65	76	84	88
	LINEAS NIVELADAS BUENAS	63	75	83	87
	CONTORNOS POBRES	63	74	82	85
	CONTORNOS BUENAS	61	73	81	84
	CONTORNOS Y TERRAZAS POBRES	61	72	79	82
	CONTORNOS Y TERRAZAS BUENAS	59	70	78	81
SEMBRADO CERRADOS LEGUMBRES O	LINEAS NIVELADAS POBRES	66	77	85	89
	LINEAS NIVELADAS BUENAS	58	72	81	85
ROTACION DE SEMBRADOS	CONTORNOS POBRES	64	75	83	85
	CONTORNOS BUENAS	55	69	78	83
PRADOS	CONTORNOS Y TERRAZAS POBRES	63	73	80	83
	CONTORNOS Y TERRAZAS BUENAS	51	67	76	80
PASTOS EXTENSOS	POBRE	68	79	86	89
	REGULAR	49	69	79	84
	BUENO	39	61	74	80
	CONTORNOS POBRES	47	67	81	88
	CONTORNOS REGULARES	25	59	75	83
	CONTORNOS BUENOS	6	35	70	79
PRADOS	BUENOS	30	58	71	78
BOSQUES O TIERRA FORESTAL	POBRE	45	66	77	83
	REGULAR	36	60	73	79
	BUENO	25	55	70	77
GRANJAS O HACIENDAS		59	74	82	86

Fuente: Rauda Marco y otros. 1994. ESTUDIO SOBRE LA SEDIMENTACION DEL EMBALSE CERRON GRANDE. Trabajo de Graduación FIA.UES.

ANEXO 15: FACTOR DE COBERTURA VEGETAL Y TECNICAS DE CULTIVO (C)

PRACTICA	FACTOR C PROMEDIO ANUAL
SUELO DESNUDO	1
BOSQUE O MATORRAL DENSO, CULTIVOS CON CAPA GRUESA DE MATERIA ORGANICA	0.001
SABANA, PRADERA EN BUENAS CONDICIONES	0.01
SABANA O PRADERA SOBRE PASTOREADA	0.1
CUBIERTA DE CULTIVO DE DESARROLLO LENTO O SIEMBRA TARDIA: PRIMER AÑO	0.3 a 0.8
CUBIERTA DE CULTIVO DE DESARROLLO RAPIDO O SIEMBRA TEMPRANA: PRIMER AÑO	0.01 a 0.1
CUBIERTA DE CULTIVO DE DESARROLLO LENTO O SIEMBRA TARDIA: SEGUNDO AÑO	0.01 a 0.1
MAIZ, SORGO, MIJO (EN FUNCION DE PRODUCCION)	0.4 a 0.9
ARROZ (FERTILIZACION INTENSIVA)	0.1 a 0.2
ALGODÓN, TABACO, (SEGUNDO CICLO)	0.5 a 0.7
CACAHUATE (EN FUNCION DE PRODUCCION Y DE FECHA DE PLANTACION)	0.4 a 0.8
PRIMER AÑO DE CASEVE Y ÑAME (EN FUNCION DE LA FECHA DE PLANTACION)	0.01
PALMA, CAFÉ, CACAO CON CUBIERTA DE CULTIVO	0.1 a 0.3
PIÑA EN CONTORNO (EN FUNCION DE PENDIENTE):	
RESIDUO QUEMADO	0.2 a 0.5
RESIDUO ENTERRADO	0.1 a 0.3
RESIDUO SUPERFICIAL	0.2 a 0.8
PIÑA Y SIEMBRA DE RELLENO (PENDIENTE DEL 7 %)	0.1

Fuente: Rauda Marco y otros. 1994. ESTUDIO SOBRE LA SEDIMENTACION DEL EMBALSE CERRON GRANDE. Trabajo de Graduación FIA.UES.

ANEXO 16: FACTOR DE METODO DE CONTROL DE LA EROSION (P)

PENDIENTE DEL TERRENO %	CULTIVO EN CONTORNO	CULTIVO EN FAJAS DE CONTORNO Y SURCOS IRRIGADOS	TERRACEO
1% a 2 %	0.6	0.3	0.12
3% a 8 %	0.5	0.25	0.1
9% a 12 %	0.6	0.3	0.12
13 % a 16 %	0.7	0.35	0.14
17% a 20%	0.8	0.4	0.16
21% a 25%	0.9	0.45	0.18

Fuente: Rauda Marco y otros. 1994. ESTUDIO SOBRE LA SEDIMENTACION DEL EMBALSE CERRON GRANDE. Trabajo de Graduación FIA.UES.

ANEXO 17: HOJA DE CALCULO DEL NUMERO DE CURVA CN y FACTOR COBERTURA VEGETAL C PARA LA CUENCA SENSUNAPAN

Uso	Area	%	C	CN	Cprom	CNprom
Café	126.2	58.62	0.30	87	0.17586	51.00
Granos Básicos	24.5	11.38	0.90	97	0.10242	11.04
Tejido Urbano discontinuo	3.39	1.57	0.90	98	0.01417	1.54
Arboles frutales	15.32	7.12	0.80	83	0.05693	5.91
Pastos Naturales	11.88	5.52	0.10	89	0.00552	4.91
Tejido Urbano continuo	8.37	3.89	0.90	98	0.03499	3.81
Tejido Urbano precario	0.39	0.18	0.90	98	0.00163	0.18
Vegetacion arbustiva baja	0.56	0.26	0.30	89	0.00078	0.23
Pastos Cultivados	4.13	1.92	0.10	74	0.00192	1.42
Caña de azucar	3.64	1.69	0.10	97	0.00169	1.64
Hortalizas	10.03	4.66	0.30	85	0.01398	3.96
Praderas montañosas	0.68	0.32	0.01	78	0.00003	0.25
Marismas interiores	0.69	0.32	0.00	0	0.00000	0.00
Cultivos anuales	4.91	2.28	0.80	97	0.01825	2.21
Vegetacion arbustiva de playa	0.59	0.27	0.30	89	0.00082	0.24
Mosaico de cultivos y pastos						
Perímetro acuicola						
Palmeras Oleíferas						
Area de la Cuenca	215.28	100.00			0.429	88.34
Area Total	427.96					

Fuente: Elaboración propia.

NEXO 18: HOJA DE CALCULO DEL NÚMERO DE CURVA CN y FACTOR DECOBERTURA VEGETAL C PARA LA CUENCA SAN PEDRO

Uso de suelo	Area	%	C	CN	Cprom	CNprom
Café	22	20.64	0.3	87	0.0619	17.9583
Granos Básicos	55.28	51.87	0.9	97	0.4668	50.3111
Tejido Urbano discontinuo	0.62	0.58	0.9	98	0.0052	0.5701
Arboles frutales						
Pastos Naturales	4.69	4.40	0.1	89	0.0044	3.9164
Tejido Urbano continuo						
Tejido Urbano precario	0.19	0.18	0.9	98	0.0016	0.1747
Vegetacion arbustiva baja						
Pastos Cultivados						
Caña de azucar						
Hortalizas	8.13	7.63	0.3	85	0.0229	6.4839
Praderas montañosas						
Marismas interiores						
Cultivos anuales	9.73	9.13	0.80	97	0.0730	8.8554
Vegetacion arbustiva de play	0.14	0.13	0.3	89	0.0004	0.1169
Mosaico de cultivos y pastos	5.8	5.44	0.1	74	0.0054	4.0270
Perímetro acuicola						
Palmeras Oleíferas						
Area de la Cuenca	106.58	100.00			0.6417	92.4139
Area Total	427.96					

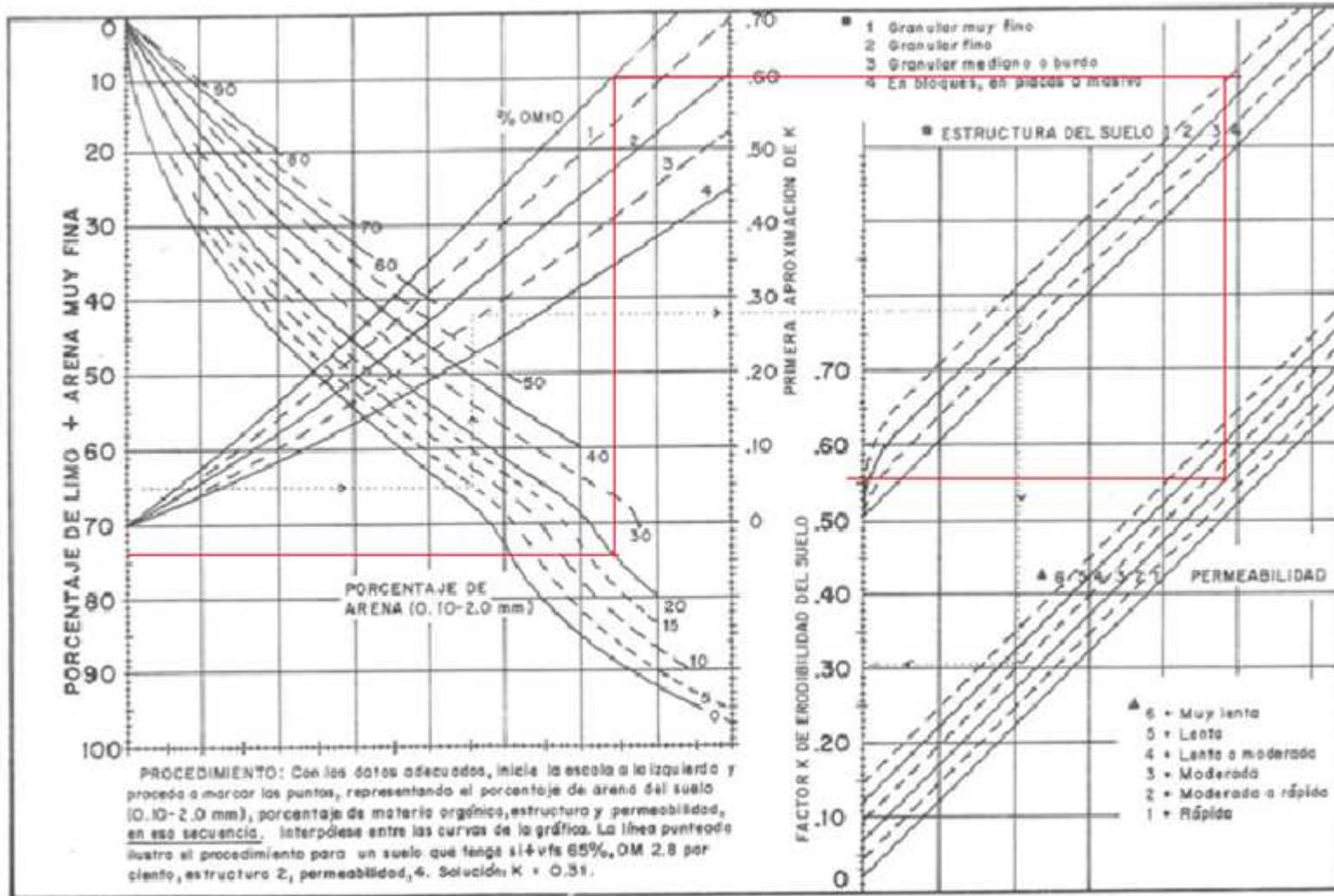
Fuente: Elaboración propia.

ANEXO 19: HOJA DE CALCULO DEL NUMERO DE CURVA CN y FACTOR DE COBERTURA VEGETAL C PARA LA CUENCA SUNZA

Uso	Area	%	C	CN	Cprom	CNprom
Café	48	45.24	0.3	87	0.136	39.359
Granos Básicos	41.18	38.81	0.9	97	0.349	37.648
Tejido Urbano discontinuo	0.86	0.81	0.9	98	0.007	0.794
Arboles frutales						
Pastos Naturales						
Tejido Urbano continuo						
Tejido Urbano precario						
Vegetacion arbustiva baja						
Pastos Cultivados	2.86	2.70	0.1	74	0.003	1.995
Caña de azucar						
Hortalizas	0.6	0.57	0.3	85	0.002	0.481
Praderas montañosas						
Marismas interiores						
Cultivos anuales	5.64	5.32	0.8	97	0.043	5.156
Vegetacion arbustiva de playa						
Mosaico de cultivos y pastos	6.96	6.56	0.1	74	0.007	4.854
Perímetro acuicola		0.00	1		0.000	
Palmeras Oleíferas		0.00	0.1		0.00000	
Area de la cuenca	106.1				0.55	90.287
Area Total	427.96					

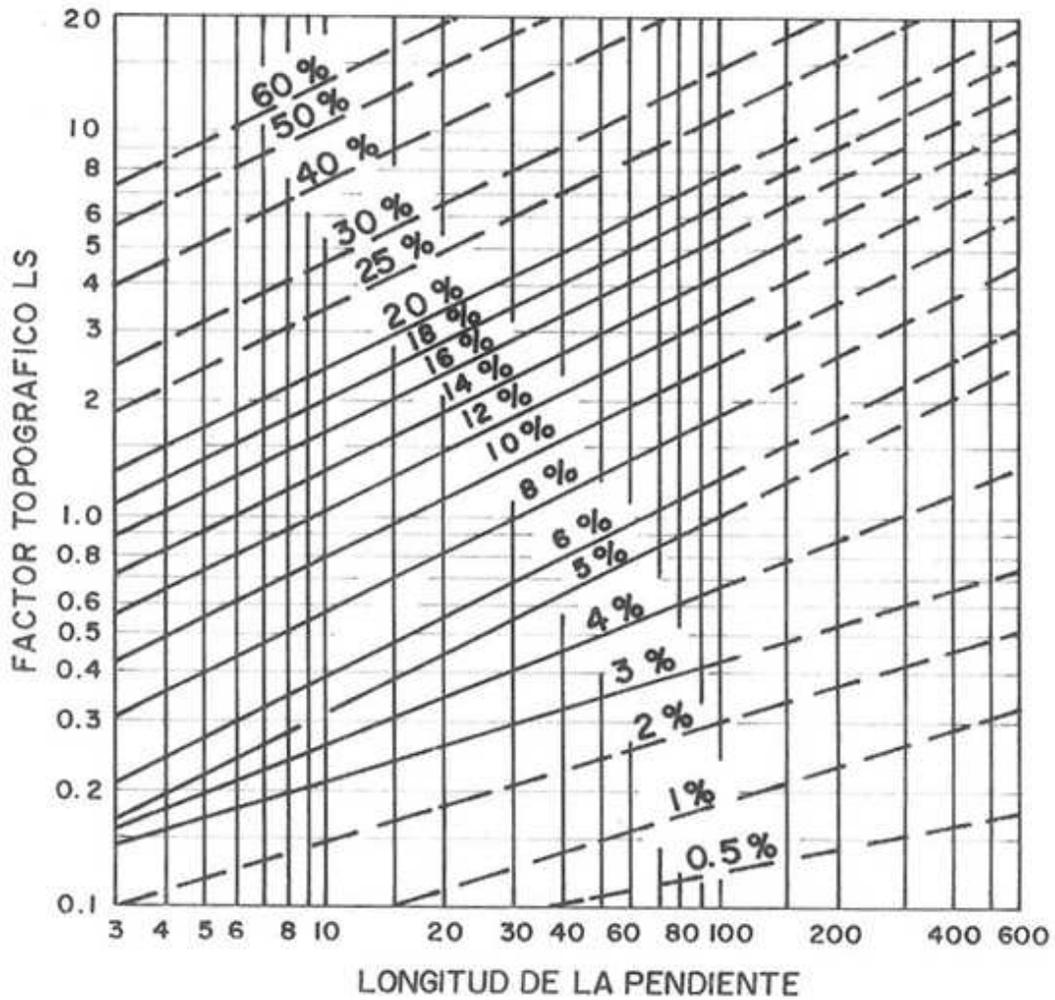
Fuente: Elaboración Propia.

ANEXO 20: NOMOGRAMA PARA DETERMINAR EL VALOR DE ERODABILIDAD DE SUELOS K



Fuente: Rauda Marco y otros. 1994. ESTUDIO SOBRE LA SEDIMENTACION DEL EMBALSE CERRON GRANDE. Trabajo de Graduación FIA.UES.

ANEXO 21: NOMOGRAMA PARA FACTOR DE LONGITUD Y GRADIENTE DE PENDIENTE LS



Fuente: Rauda Marco y otros. 1994. ESTUDIO SOBRE LA SEDIMENTACION DEL EMBALSE CERRON GRANDE. Trabajo de Graduación FIA.UES.

**NEXO 22: CALCULO DEL VOLUMEN DE SEDIMENTO ACUMULADO
CUENCA SENSUNAPAN**

CALCULO DE VOLUMEN DE ESCORRENTIA (V)			
CN=	88.34		
Pb=	36		
$S=(1000/CN-10)*25.4=$	33.52547	mm	
$V=(Pb-0.2S)^2/(Pb+0.8S)=$	13.66104	mm	2940.948188
CALCULO DE CAUDAL PICO (Qp)			
Área de la cuenca=	215.28	km2	
Longitud del cauce=	44.68	km	
Elevación media=	845.75	msnm	
Tiempo de concentración=	3.304775	Horas	
TL =	1.982864783		
Para Tc menor a 4 horas	$QP = \frac{0.114 V (Area)}{Tl}$		
Qp =	169.082681		
FACTOR DE ERODABILIDAD DEL SUELO			
K=	0.55		
FACTOR DE LONGITUD DE PENDIENTE (L) Y GRADIENTE DE PENDIENTE (S)			
LS=	6		
FACTOR DE CULTIVOS (C)			
C=	0.43		
FACTOR DE PRACTICAS DE CONTROL DE EROSION (P)			
P=	0.31		
CALCULO DE LA ECUACION MODIFICADA DE PERDIDA DEL SUELO (MUSLE)			
$A= 11.8(V*Qp)^{0.56} (K*LS*C*P) =$	8041.083	ton	

Elaboración: Fuente Propia.

**ANEXO 23: CALCULO DEL VOLUMEN DE SEDIMENTO ACUMULADO
CUENCA SAN PEDRO**

CALCULO DE VOLUMEN DE ESCORRENTIA (V)			
CN=	92.41		
Pb=	23		
$S=(1000/CN-10)*25.4=$	20.86203	mm	
$V=(Pb-0.2S)^2/(Pb+0.8S)=$	8.931259	mm	951.893624
CALCULO DE CAUDAL PICO (Qp)			
Área de la cuenca=	106.58	km ²	
Longitud del cauce=	31.65	km	
Elevación media=	371.07	msnm	
Tiempo de concentración=	3.529975	Horas	
TL =	2.117985177		
Para Tc menor a 4 horas	$Qp = \frac{0.114 V(Area)}{TL}$		
Qp =	51.23542615		
FACTOR DE ERODABILIDAD DEL SUELO			
K=	0.55		
FACTOR DE LONGITUD DE PENDIENTE (L) Y GRADIENTE DE PENDIENTE (S)			
LS=	4.5		
FACTOR DE CULTIVOS (C)			
C=	0.64		
FACTOR DE PRACTICAS DE CONTROL DE EROSION (P)			
P=	0.3		
CALCULO DE LA ECUACION MODIFICADA DE PERDIDA DEL SUELO (MUSLE)			
$A= 11.8(V*Qp)^{0.56} (K*LS*C*P) =$	2366.614	ton	

Fuente: Elaboración Propia.

**ANEXO 24: CALCULO DEL VOLUMEN DE SEDIMENTO ACUMULADO
CUENCA SUNZA**

CALCULO DE VOLUMEN DE ESCORRENTIA (V)				
CN=	90.29			
Pb=	22			
$S = ((1000/CN) - 10) * 25.4 =$	27.31576	mm		
$V = (Pb - 0.2S)^2 / (Pb + 0.8S) =$	6.236056	mm		661.6455869
CALCULO DE CAUDAL PICO (Qp)				
Área de la cuenca=	106.1	km ²		
Longitud del cauce=	34.5	km		
Elevación media=	552.34	msnm		
Tiempo de concentración=	3.106154	Horas		
TL =	1.863692512			
Para Tc menor a 4 horas	$Qp = \frac{0.114 * V (Area)}{Tl}$			
Qp =	40.47212533			
FACTOR DE ERODABILIDAD DEL SUELO				
K=	0.55			
FACTOR DE LONGITUD DE PENDIENTE (L) Y GRADIENTE DE PENDIENTE (S)				
LS=	2.7			
FACTOR DE CULTIVOS (C)				
C=	0.55			
FACTOR DE PRACTICAS DE CONTROL DE EROSION (P)				
P=	0.32			
CALCULO DE LA ECUACION MODIFICADA DE PERDIDA DEL SUELO (MUSLE)				
$A = 11.8(V * Qp)^{0.56} (K * LS * C * P) =$	930.4193	ton		

Fuente: Elaboración Propia.

ANEXO 25: REGISTRO DE AFOROS DE LOS ULTIMOS 20 AÑOS ESTACION LA ATALAYA

fecha	Ubicación	lectura	Hora	área secc	ancho secc.	perim moj	Veloc. media
		mira (m)		(m2)	(mts.)	(m)	(m/s)
08/02/1990	50 m Aguas abajo tubo vertical	0.40	10:10/10:25	6.4025	19.5000	19.6151	0.1723
01/03/1990	50 m Aguas abajo tubo vertical	0.40	11:40/12:00	6.1250	19.5000	19.6550	0.1577
13/03/1990	50 m Aguas abajo tubo vertical	0.39	16:15/16:30	5.8663	19.7500	19.8654	0.1434
28/03/1990	50 m Aguas abajo tubo vertical	0.39	11:10/11:25	5.8970	19.4000	19.5318	0.1518
26/04/1990	50 m Aguas abajo tubo vertical	0.48	13:00/13:25	11.0075	27.5000	27.8446	0.2360
08/05/1990	50 m Aguas abajo tubo vertical	0.44	11:00/11:20	6.9200	20.0000	20.1100	0.2336
29/05/1990	100 m Aguas abajo Est.	0.45	10:40/11:00	10.1613	26.7500	27.0755	0.2208
20/06/1990	10 m aguas abajo tubo vertical	0.55	11:30/11:50	12.3750	26.7500	27.3322	0.4438
13/07/1990	100 m Aguas abajo Est.	0.42	10:40/11:05	11.1170	26.7000	26.8433	0.1981
14/08/1990	100 m Aguas abajo Est.	0.48	13:05/13:35	12.5675	26.3000	26.5000	0.3164
04/09/1990	100 m Aguas abajo Est.	0.53	10:40/11:15	13.9675	26.7500	26.9662	0.3895
27/09/1990	100 m Aguas abajo Est.	0.50	11:00/11:25	13.7613	27.7500	27.9400	0.3944
13/11/1990	50 m Aguas abajo tubo vertical	0.35	11:15/11:35	9.2200	25.0000	25.1364	0.1772
27/11/1990	50 m Aguas abajo tubo vertical	0.37	10:50/11:22	10.2080	25.7000	25.8887	0.1756
07/12/1990	100 m Aguas abajo Est.	0.37	11:15/11:45	6.7965	22.8000	23.3357	0.2448
17/12/1990	150 mts. Aguas debajo de limnigrafo	0.35	13:00/13:22	6.5050	23.0000	23.3900	0.1963
18/01/1991	100 m Aguas abajo Est.	0.35	11:00/11:25	6.1640	22.9000	23.2796	0.2070
01/02/1991	100 m Aguas abajo Est.	0.33	10:30/10:55	6.3835	22.5000	22.9437	0.1903
20/02/1991	100 m Aguas abajo Est.	0.31	10:25/10:50	5.9700	22.5000	22.8297	0.1452
08/03/1991	100 m Aguas abajo Est.	0.31	13:20/13:45	5.7720	22.4000	22.7022	0.1412
11/04/1991	100 m Aguas abajo Est.	0.32	13:30/13:55	5.8913	21.5000	21.8013	0.1612
07/05/1991	10 m Aguas arriba del paso calle	0.38	13:55/14:15	6.6640	23.2000	23.6389	0.2948
21/05/1991	15 m Aguas arriba del paso calle	0.37	11:25/11:45	10.1200	26.0000	26.5785	0.2223
05/06/1991	15 m Aguas arriba del paso calle	0.335	13:25/13:45	9.1893	26.3500	26.8449	0.1732
18/06/1991	75 m aguas abajo cable canast.	0.45	12:10/12:30	12.9975	25.5000	25.7651	0.3319
19/07/1991	150 m Aguas abajo de limnigrafo	0.36	12:30/13:00	7.3200	27.0000	27.0406	0.2680
04/09/1991	100 m Aguas abajo Est.	0.29	11:10/11:35	5.3175	23.0000	23.1220	0.2837
25/09/1991	40 m Aguas abajo cable	0.39	12:00/12:20	10.9100	24.5000	24.7326	0.3172
08/10/1991	50 m Aguas abajo tubo vertical	0.34	12:00/12:20	9.5200	24.6000	24.7861	0.2941
29/10/1991	40 m Aguas abajo cable	0.30	12:10/12:30	8.9665	24.4000	24.5887	0.1927
19/11/1991	60 m Aguas abajo cable	0.29	12:10/12:30	8.8720	24.4000	24.5805	0.1756
29/11/1991	100 m Aguas abajo Est.	0.28	11:00/11:25	6.6495	17.1000	17.3726	0.2058
03/12/1991	70 m Aguas abajo cable canast.	0.295	11:30/11:50	6.5980	16.9500	17.0501	0.2257

Fuente: Departamento Hidrología SNET.

17/12/1991	60 m Aguas abajo cable	0.26	12:10/12:30	6.0747	17.4500	17.5288	0.1765
14/01/1992	60 m Aguas abajo cable	0.30	12:0/12:20	6.6550	17.0000	17.2518	0.2175
06/02/1992	60 m Aguas abajo cable	0.28	10:40/11:00	6.4610	16.9000	17.1129	0.2020
26/02/1992	60 m Aguas abajo cable	0.255	12:15/12:35	5.8332	16.2800	16.4278	0.1497
11/03/1992	60 m Aguas abajo cable	0.255	11:40/12:00	6.1850	17.2500	17.4090	0.1389
04/06/1992	60 m Aguas abajo cable	0.36	12:35/12:50	7.4263	17.8500	18.1270	0.2811
17/06/1992	60 m Aguas abajo cable	0.455	12:20/12:55	8.7690	19.6000	19.8789	0.3554
30/07/1992	60 m Aguas abajo cable	0.38	10:45/11:10	9.2870	25.4000	25.4878	0.3084
13/08/1992	60 m Aguas abajo cable	0.38	11:20/11:45	9.7303	24.6500	24.7580	0.3253
16/09/1992	60 m Aguas abajo cable	0.29	11:00/11:25	7.2430	19.4000	19.4711	0.2264
09/10/1992	60 m Aguas abajo cable	0.31	11:55/12:20	7.2530	19.8500	19.9284	0.3019
30/10/1992	60 m Aguas abajo cable	0.27	11:20/11:45	6.6073	19.3500	19.4554	0.2241
01/12/1992	60 m Aguas abajo cable	0.25	14:00/14:30	5.8300	19.2500	19.3010	0.2032
13/01/1993	60 m Aguas abajo cable	0.24	12:20/12:40	6.4600	19.0000	19.2193	0.1588
27/01/1993	60 m Aguas abajo cable	0.22	13:40/14:00	6.1700	18.5000	18.7331	0.1490
10/02/1993	55 m Aguas abajo cable	0.23	11:45/12:05	5.9550	19.5500	19.6191	0.1431
24/02/1993	60 m Aguas abajo cable	0.21	13:05/13:25	5.7400	19.4500	20.0400	0.1289
11/03/1993	60 m Aguas abajo cable	0.22	13:50/14:10	5.7600	19.6000	20.1800	0.1058
21/04/1993	50 m Aguas abajo tubo vertical	0.28	13:00/13:25	6.7000	19.7500	20.4300	0.1500
07/05/1993	80 m Aguas abajo cable canast.	0.285	13:05/13:25	4.9800	21.5500	22.0100	0.1500
20/05/1993	80 m Aguas abajo cable canast.	0.31		5.5200	21.7000	22.2100	0.1900
02/06/1993	80 m Aguas abajo cable canast.	0.44	13:10/13:30	8.1700	24.3500	25.0200	0.2800
24/06/1993	80 m Aguas abajo cable canast.	0.375	13:10/13:30	6.7820	22.6000	23.2000	0.2930
07/07/1993	60 m Aguas abajo cable	0.57	14:2/14:50	13.6800	25.2500	26.3300	0.4000
11/08/1993	60 m Aguas abajo cable	0.385	10:00/10:20	8.6900	19.2500	20.1500	0.3200
03/09/1993	60 m Aguas abajo cable	0.39	12:10/12:30	8.9600	19.2000	20.1400	0.3300
29/09/1993	75 m aguas abajo cable canast.	0.415	11:30/11:50	8.9500	19.2500	20.1800	0.4400
26/10/1993	60 m Aguas abajo cable	0.29	12:00/12:20	6.5900	19.0500	19.7400	0.2700
16/11/1993	75 m aguas abajo cable canast.	0.25	13:00/13:25	5.8500	19.0000	19.6200	0.2200
16/12/1993	60 m Aguas abajo cable	0.205	11:05/11:25	5.3900	18.6400	19.2200	0.1500
18/01/1994	60 m Aguas abajo cable	0.21	14:55/15:15	5.2800	18.8500	19.4100	0.1500
02/02/1994	60 m Aguas abajo cable	0.23	11:05/11:20	5.6100	19.0000	19.5900	0.1900
15/02/1994	150 m Aguas arriba de Est.	0.18	12:30/12:45	2.0800	11.0000	11.3800	0.2100
02/03/1994	125 m aguas arriba de Est.	0.18	14:50/15:05	2.3200	11.2000	11.6200	0.2400
06/04/1994	150 m aguas arriba de Est.	0.18	16:15/16:30	2.3300	11.3300	11.7400	0.1600
27/04/1994	150 m Aguas arriba de Est.	0.25	16:00/16:20	3.6100	14.3200	14.8300	0.2700
12/05/1994	150 m aguas arriba de Est.	0.35	14:05/14:20	5.1100	15.1000	15.7800	0.2900
03/06/1994	150 m aguas arriba de Est.	0.35	11:40/12:00	4.6400	15.3000	15.9100	0.2900
28/06/1994	150 m aguas arriba de Est.	0.34	11:40/12:00	4.5900	15.4000	16.0000	0.2200

Fuente: Departamento Hidrología SNET.

20/07/1994	150 m aguas arriba de Est.	0.37	12:35/13:00	5.1900	15.1000	15.7900	0.2600
16/08/1994	150 m aguas arriba de Est.	0.37	10:10/10:25	5.3200	16.1500	16.8100	0.3500
06/09/1994	150 m aguas arriba de Est.	0.43	13:45/14:00	6.7200	16.6000	17.4100	0.4300
28/09/1994	60 m Aguas abajo cable	0.81	12:10/12:45	18.4500	25.6100	27.0500	0.6900
13/10/1994	150 m aguas arriba de Est.	0.35	13:05/13:25	5.5700	16.2500	16.9400	0.3400
10/11/1994	150 m aguas arriba de Est.	0.29	12:00/12:25	4.8700	16.1000	16.7100	0.2300
02/12/1994	150 m aguas arriba de Est.	0.215	12:00/12:20	3.8000	15.0000	15.5100	0.1400
11/01/1995	150 m aguas arriba de Est.	0.23	14/4/:15:05	4.0600	15.9000	16.4100	0.1600
31/01/1995	150 m aguas arriba de Est.	0.23	13:40/14:00	4.1300	15.9500	16.4700	0.1600
16/02/1995	160 m Aguas debajo de Est.	0.22	10:00/10:20	3.9290	21.9600	22.3200	0.1100
14/03/1995	100 m Aguas debajo de Est.	0.26	11:00/11:20	4.0800	21.9000	22.2700	0.1100
29/03/1995	100 m Aguas debajo de Est.	0.31	10:30/10:55	4.3370	21.8000	22.2000	0.1100
24/04/1995	100 m Aguas debajo de Est.	0.31	13:35/13:55	4.7540	21.2900	21.7400	0.1500
24/05/1995	100 m Aguas debajo de Est.	0.50	11:30/11:50	8.5450	24.0000	24.7100	0.2800
07/06/1995	100 m Aguas debajo de Est.	0.39	10:50/11:10	6.5090	24.4000	24.9300	0.2300
26/06/1995	100 m Aguas debajo de Est.	0.47	12:05/12:25	10.3000	25.7000	26.5000	0.4000
10/07/1995	100 m Aguas debajo de Est.	0.40	12:05/12:30	8.0270	23.3000	23.9900	0.4000
10/08/1995	100 m Aguas debajo de Est.	0.55	11:25/11:45	11.5850	24.2000	25.1600	0.5000
21/08/1995		0.36	13:00/13:20	7.2140	19.3500	20.1000	0.4000
07/09/1995	75 m aguas abajo cable canast.	0.28	09:00/09:20	5.9770	19.2000	19.8200	0.3100
04/10/1995	60 m Aguas abajo	0.62	09:00/09:20	12.7320	20.2000	21.4600	0.6400
24/10/1995	60 m Aguas abajo cable	0.295	11:55/12:15	6.1270	19.1000	19.7400	0.3900
08/11/1995	100 m Aguas debajo de Est.	0.25	11:45/12:05	5.7050	19.0000	19.6000	0.2500
28/11/1995	75 m aguas abajo cable canast.	0.23	11:5/12:05	5.2390	18.9000	19.4500	0.1900
06/02/1996	100 m aguas abajo cable	0.21	11:20/11:40	5.6340	21.9000	22.4200	0.2100
21/02/1996	80 m Aguas abajo cable canast.	0.175	13:30/13:50	4.6863	21.2500	21.6900	0.1600
13/03/1996	75 m aguas abajo cable canast.	0.16	10:40/11:00	4.6150	20.6000	21.0500	0.1100
26/03/1996	60 m aguas abajo cable canast	0.155	15:00/15:20	5.0108	18.3500	18.8900	0.0900
08/05/1996	75 m aguas abajo cable canast.	0.34	11:25/11:50	7.5650	22.7500	23.4100	0.3500
28/05/1996	75 m aguas abajo cable canast.	0.28	12:50/13:05	7.0115	22.1000	22.7400	0.2400
28/05/1996	60 m aguas abajo cable canast	0.28	10:45/11:05	6.2210	19.6000	20.2400	0.2100
27/06/1996	100 m aguas abajo cable	0.33	10:40/11:00	8.9285	19.4100	20.3300	0.2900
17/07/1996	60 m aguas abajo cable canast	0.28	10:30/10:50	6.6813	19.6500	20.3300	0.3000
21/08/1996	60 m aguas abajo cable canast	0.54	10:20/10:35	11.7563	20.2500	21.4100	0.5700

Fuente: Departamento Hidrología SNET.

05/09/1996	60 m aguas abajo cable canast	0.36	09:05/09:25	8.0475	19.7500	20.5700	0.4100
18/09/1996	60 m aguas abajo cable canast	0.33	11:40/12:00	7.5344	19.7400	20.5000	0.4200
06/11/1996	60 m aguas abajo cable canast	0.25	11:30/11:50	6.1660	20.4000	21.0100	0.2800
27/11/1996	60 m aguas abajo cable canast	0.245	14:05/14:30	5.9740	20.1500	20.7500	0.2600
15/01/1997	60 m aguas abajo cable canast	0.23	14:30/14:50	5.7000	20.0000	20.5800	0.2300
12/02/1997	60 m aguas abajo cable canast	0.195	10:50/11:10	5.2925	19.6100	20.1500	0.1800
05/03/1997	60 m aguas abajo cable canast	0.21	10:15/10:35	5.4350	19.4000	19.9600	0.1900
02/04/1997	60 m aguas abajo cable canast	0.225	09:50/10:10	5.5100	19.4000	19.9600	0.2000
07/05/1997	60 m aguas abajo cable canast	0.23	10:10/10:25	5.7975	19.5000	20.1000	0.1600
18/06/1997	60 m aguas abajo cable canast	0.30	10:35/11:05	6.7830	20.4500	21.1100	0.2700
09/07/1997	60 m aguas abajo cable canast	0.31	09:55/10:15	7.1050	20.3500	21.0500	0.3100
29/07/1997	60 m aguas abajo cable canast	0.445	10:45/11:15	9.4300	20.8200	21.7300	0.3600
27/08/1997	60 m aguas abajo cable canast	0.27	11:00/11:20	6.4410	20.6000	21.2300	0.2000
18/09/1997	60 m aguas abajo cable canast	0.31	11:15/11:35	7.2470	20.6200	21.3200	0.2500
15/10/1997	60 m aguas abajo cable canast	0.335	09:30/09:50	7.6880	21.1200	21.8500	0.4000
12/11/1997	60 m aguas abajo cable canast	0.57	10:15/10:40	13.1560	21.2000	22.4400	0.5900
04/03/1998	60 m aguas abajo cable canast	0.19	10:20/10:45	4.9740	19.2000	19.7200	0.1600
24/04/1998	65 m aguas abajo cable canastilla	0.25	10:55/11:10	2.7460	18.2000	18.5000	0.2600
17/06/1998	60 m aguas abajo cable canast	0.36	10:30/10:45	7.8560	20.4700	21.2400	0.2400
30/07/1998	60 m aguas abajo cable canast	0.79	10:25/10:50	15.4450	21.9000	23.3100	0.8100
24/09/1998	60 m aguas abajo cable canast	0.34	11:25/11:40	6.2670	21.8800	22.4500	0.3000
16/10/1998	60 m aguas abajo cable canast	0.67	10:55/11:20	13.9260	22.8500	24.0700	0.7500
12/11/1998	61 m aguas abajo cable canast	0.47	11:45/12:10	10.7070	24.4000	25.2800	0.2700
17/02/1999	Atalaya	0.19	09:00/09:20	2.2350	14.5900	14.9000	0.2700
17/03/1999	Atalaya	0.17	11:45/12:05	3.5980	16.7700	17.2000	0.1900
22/04/1999	Atalaya	0.20	11:35/11:55	3.4550	17.0000	17.4100	0.2000
27/05/1999	60 m aguas abajo de Estación	0.24	11:30/11:50	4.3485	16.9800	17.5000	0.2800
08/07/1999	5 m aguas abajo de Estación	0.39	13:30/14:15	10.6780	22.9200	23.8518	0.3002
20/07/1999	5 m aguas abajo de Estación	0.355	14:25/14:45	9.1266	22.3400	23.1571	0.3492
09/09/1999	4 m aguas abajo de Estación	0.27	13:30/13:50	6.5250	22.8000	23.3724	0.2841
22/10/1999	5 m aguas abajo de Estación	0.37/0.36	11:40/12:00	10.5836	23.2100	24.1220	0.3554
25/11/1999	5 m aguas abajo de Estación	0.21	11:10/11:35	7.3841	23.5700	24.1966	0.1706
27/01/2000	5 m aguas abajo de Estación	0.215	11:40/12:05	7.0895	23.4300	24.0352	0.1661

Fuente: Departamento Hidrología SNET.

29/02/2000	5 m aguas abajo de Estación	0.175	13:10/13:35	7.7432	23.3600	24.0229	0.1267
28/03/2000	5 m aguas abajo de Estación	0.20	11:30/12:00	8.3112	23.2800	23.9940	0.1440
18/05/2000	5 m aguas abajo de Estación	0.28	12:55/13:45	9.1820	23.4800	24.2600	0.2700
18/07/2000	5 m aguas abajo de Estación	0.255	13:00/13:25	10.4490	23.4000	24.2931	0.2026
12/09/2000	5 m aguas abajo de Estación	0.32	12:30/12:50	11.9550	23.6000	24.6131	0.2327
19/10/2000	10 m aguas abajo de Estación	0.24	17:00/17:25	8.7992	23.4800	24.2295	0.1745
22/11/2000	Frente a la Mira	0.23	15:30/15:50	8.7850	24.6000	25.3142	0.2014
12/12/2000	Frente a Estación Hidrometrica	0.74	16:00/16:30	8.5918	24.6800	25.3763	0.1712
06/03/2001	10 m aguas abajo de Estación	0.185	10:40/11:00	8.4760	23.8000	24.3100	0.1630
04/04/2001	10 m aguas abajo de Estación	0.17	11:30/11:50	7.5490	22.4300	22.8150	0.1380
08/05/2001	100 m aguas abajo cable canastilla	0.20	13:45/14:05	4.0230	19.2000	19.2680	0.3510
19/05/2001	100 m aguas abajo cable canastilla	0.25	12:15/12:35	4.7190	18.9000	19.0700	0.4980
24/07/2001	5 m aguas abajo de Estación	0.245	13:00/13:25	10.8280	23.7700	24.2560	0.1920
29/08/2001	5 m aguas abajo de Estación	0.23	12:50/13:15	10.4460	24.2700	24.7670	0.1450
02/10/2001	5 m aguas abajo de Estación	0.305	13:45/14:15	11.7570	23.6500	24.3120	0.3150
19/10/2001	5 m aguas abajo de Estación	0.17	11:10/12:00	8.5880	23.2000	23.5040	0.1930
24/01/2002	25 m aguas arriba secc. Limnigraf.	0.12	13:25/13:50	7.2830	22.5000	22.8440	0.1440
19/03/2002	400 m aguas abajo secc. Limnigraf.	0.12	13:25/13:45	3.8350	18.0000	18.2680	0.2170
11/04/2002	400 m aguas abajo secc. Limnigraf.	0.08	14:00/14:30	3.6800	18.0000	18.2360	0.2050
23/04/2002	400 m aguas abajo	0.18	14:20/14:45	4.4150	19.0000	19.2330	0.2570
21/05/2002	10 m.aguas arr.pas.call.vie. Acajutla	0.29	14:30/15:00	6.8750	24.0000	24.1170	0.2540
04/06/2002	6 m Aguas abajo de mira	0.25	12:15/12:45	10.7410	24.7000	25.2660	0.2050
19/06/2002	6 m Aguas abajo de mira	0.19	12:15/12:40	9.9390	24.4000	24.8350	0.1550
05/07/2002	6 m Aguas abajo de estación	0.29/0.28	11:15/11:40	11.5780	23.3000	23.9230	0.1860
16/08/2002	6 m Aguas abajo de estación	0.25	11:20/11:50	11.7210	23.7500	24.2850	0.1340
03/09/2002	6 m Aguas abajo de estación	0.68/0.65	10:15/10:50	21.3850	24.0000	25.3910	0.4490
25/09/2002	6 m Aguas abajo de sección de mira	0.47/0.46	08:16/08:40	15.9080	23.8800	24.8810	0.3620
11/10/2002	6 m Aguas abajo de sección de mira	0.25	08:10/08:35	10.8850	24.2500	24.7700	0.2210
11/11/2002	5 m Aguas abajo de estación	0.23	09:05/09:25	10.0130	23.5300	23.8880	0.1850
25/11/2002	4 m Aguas abajo de estación	0.14	08:30/08:50	8.2210	23.6200	24.0200	0.1190
16/12/2002	6 m Aguas abajo de estación	0.12	12:35/13:05	7.5900	23.2100	23.6140	0.0960
20/01/2003	4 m Aguas abajo de estación	0.09	12:45/13:10	7.0570	23.5200	23.8300	0.0930
24/02/2003	6 m Aguas abajo de estación	0.13/0.135	14:04/14:22	8.2240	23.2800	24.1660	0.0960

Fuente: Departamento Hidrología SNET.

17/03/2003	150 m Aguas arriba de Est.	0.21	13:32/13:57	3.9890	14.0500	14.1140	0.2830
07/04/2003	150 m Aguas arriba de Est.	0.20	13:04/13:24	3.7930	13.4200	13.5310	0.2600
12/05/2003	150 m Aguas arriba de Est.	0.37/0.36	12:10/12:37	6.1010	15.7500	15.9050	0.2600
07/07/2003	5 m Aguas abajo de estación	0.39	12:42/13:05	14.0110	23.7600	24.5410	0.2680
09/09/2003	6 m Aguas abajo de estación	0.25/0.24	11:53/12:14	10.2940	24.2200	24.6190	0.1390
13/10/2003	5 m Aguas abajo de estación	0.24	12:30/12:53	9.5700	24.1600	24.2520	0.2110
02/06/2004	5 m Aguas abajo de estación	0.32	10:00/10:30	11.2000	23.4000	23.5930	0.2970
25/06/2004	6 m Aguas abajo de estación	0.17	09:55/10:15	8.0500	23.0000	23.1720	0.2060
16/07/2004	5 m Aguas abajo de estación	0.27	09:20/09:40	9.8260	23.1500	23.2710	0.2820
20/08/2004	5 m Aguas abajo de estación	0.19	11:10/11:28	8.4110	23.1800	23.2640	0.2070
17/09/2004	7 m Aguas abajo de estación	0.25	09:07/09:27	9.6900	23.3600	23.7120	0.3380
15/10/2004	7 m Aguas abajo de estación	0.21	09:18/09:43	8.9220	23.5600	23.9540	0.3100
19/11/2004	4 m Aguas abajo de estación	0.10	10:25/10:50	6.5690	23.7300	23.8820	0.2000
17/12/2004	5 m Aguas abajo de estación	0.07	09:55/10:15	5.5670	23.5300	23.6630	0.1610
21/01/2005	5 m Aguas abajo de estación	0.11	11:45/12:10	6.4200	24.0000	24.1450	0.1640
21/02/2005	4 m Aguas abajo de estación	0.06	10:20/10:40	5.4750	23.8000	23.9280	0.1210
22/04/2005	7 m Aguas abajo de estación	0.15	10:10/10:30	7.8010	24.6000	24.8550	0.0930
03/06/2005	125 m Aguas abajo de estación	0.27	11:40/12:00	6.7460	11.2400	12.2020	0.1970
01/07/2005	7 m Aguas abajo de estación	0.46	09:13/09:37	14.0870	23.9000	24.4000	0.4100
18/07/2005	4 m Aguas abajo de estación	0.17	12:28/12:52	7.1150	23.0000	23.0660	0.2670
22/08/2005	7 m Aguas abajo de estación	0.39/0.38	10:40/10:58	12.8990	24.0800	24.6040	0.4180
12/09/2005	7 m Aguas abajo de estación	0.15	12:35/13:00	7.2530	24.7000	24.8630	0.2490
28/10/05	6 m Aguas abajo de estación	0.23	13:05/13:23	12.3950	23.7500	24.2760	0.1650
01/12/2005	7 m Aguas abajo de estación	0.18	09:05/09:32	11.0280	23.9000	24.4300	0.0970
13/12/05	75 m Aguas abajo de estación	0.20	09:48/10:10	7.8950	23.0000	23.2510	0.1800
17/1/06	100 m Aguas abajo de estación	0.17	09:21/09:40	7.4750	23.0000	23.2370	0.1420
07/02/2006	105 m Aguas abajo de estación	0.15	10:40/11:08	4.9610	17.6100	17.8720	0.1660
05/04/2006	100 m Aguas abajo de estación	0.18	10:25/10:39	5.2070	17.5000	17.6320	0.1580
02/05/2006	75 m Aguas abajo de estación	0.20	12:45/13:08	5.2790	17.2600	17.6100	0.3290
12/06/2006	4 m Aguas abajo de estación	0.41/0.40	11:28/11:56	15.8320	23.8800	24.3980	0.3310
05/07/2006	5 m Aguas abajo de la mira	0.21	10:28/10:52	11.4210	24.6500	24.9550	0.1670
11/08/2006	5 m Aguas abajo de la mira	0.25	09:57/10:17	10.9460	24.2500	24.9680	0.2610

Fuente: Departamento Hidrología SNET.

29/09/2006	75 m Aguas abajo de estación	0.17	10:55/11:15	7.5160	24.3000	24.5850	0.2590
08/11/2006	4 m Aguas abajo de estación	0.15	09:30/09:55	8.8650	23.8500	24.3970	0.1850
21/12/06	5 m Aguas abajo de estación	0.14	08:40/09:00	9.1700	24.0000	24.4760	0.1680
31/01/2007	75 m Aguas abajo de estación	0.14	09:46/10:07	4.9920	18.8600	19.0830	0.2920
19/03/2007	75 m Aguas abajo de estación	0.13	10:55/11:17	4.8250	19.0000	19.1060	0.2150
09/05/2007	5 m Aguas abajo de estación	0.28	09:35/09:55	12.2000	24.6600	25.3610	0.1740
28/06/2007	6 m Aguas abajo de estación	0.28	09:30/09:55	12.2880	24.6000	25.0880	0.1280
26/07/2007	5 m Aguas abajo de estación	0.24	09:08/09:30	11.3330	24.3000	24.7600	0.1440
21/08/2007	6 m Aguas abajo de estación	0.61/0.59	09:50/10:20	19.9580	24.8000	25.8370	0.4070
11/10/2007	5 m Aguas abajo de estación	0.75/0.71	10:22/10:55	20.8420	24.5400	25.4600	0.6070
05/12/2007	5 m Aguas abajo de estación	0.13	09:20/09:43	9.6840	23.7400	24.1070	0.402
16/01/2008	4 m Aguas abajo de estación	0.12	09:00/09:23	10.0890	24.2500	24.6530	0.139
21/02/2008	5 m Aguas abajo de estación	0.15	09:55/10:15	10.5960	23.8500	24.3110	0.157
26/03/2008	4 m Aguas abajo de estación	0.06	10:40/11:00	8.5050	24.0000	24.1490	0.1050
13/05/2008	4 m Aguas abajo de estación	0.19	10:15/10:35	12.2850	25.0000	25.6600	0.1730
27/05/2008	4 m Aguas abajo de estación	0.24	11:05/11:25	12.9990	24.5400	25.1260	0.1970
15/07/2008	4 m Aguas abajo de estación	0.37	10:55/11:15	16.5490	23.8600	24.8450	0.3380
07/11/2008	4 m Aguas abajo de estación	0.18	09:35/09:55	12.2730	24.1000	24.6910	0.2060
03/12/2008	3 m Aguas abajo de estación	0.15	09:22/09:45	11.4470	24.4000	24.8140	0.1400
06/01/2009	4 m Aguas abajo de estación	0.16	08:52/09:12	11.7050	24.0000	24.5180	0.1460
03/02/2009	125 m Aguas abajo de estación	0.14	09:45/10:05	7.5370	23.5000	23.5550	0.2170
15/07/2009	6 m Aguas abajo de estación	0.16	09:33/09:50	11.8460	23.8200	24.1480	0.1680
04/09/2009	100 m Aguas abajo de estación	0.15	09:10/09:27	7.7920	23.3700	23.4340	0.2840
12/10/2009	4 m Aguas abajo de estación	0.17	10:35/11:00	11.4410	23.9000	24.3340	0.2150
28/10/2009	3 m Aguas abajo de estación	0.13	09:35/09:55	11.3670	24.3400	24.6770	0.1940
04/12/2009	5 m Aguas abajo de estación	0.15	08:25/08:45	10.9200	24.4000	24.5500	0.1960
06/01/2010	60 m Aguas abajo de estación	0.07	09:15/09:45	4.9520	19.3500	19.5110	0.257
02/02/2010	60 m Aguas abajo de estación	0.11	09:23/09:50	7.2200	23.0000	23.0690	0.2120
09/03/2010	60 m Aguas abajo de estación	0.11	09:00/09:25	5.8380	22.1500	22.2100	0.2130
07/04/2010	4 m Aguas abajo de estación	0.21	09:35/10:00	11.8820	23.7400	24.1670	0.1870

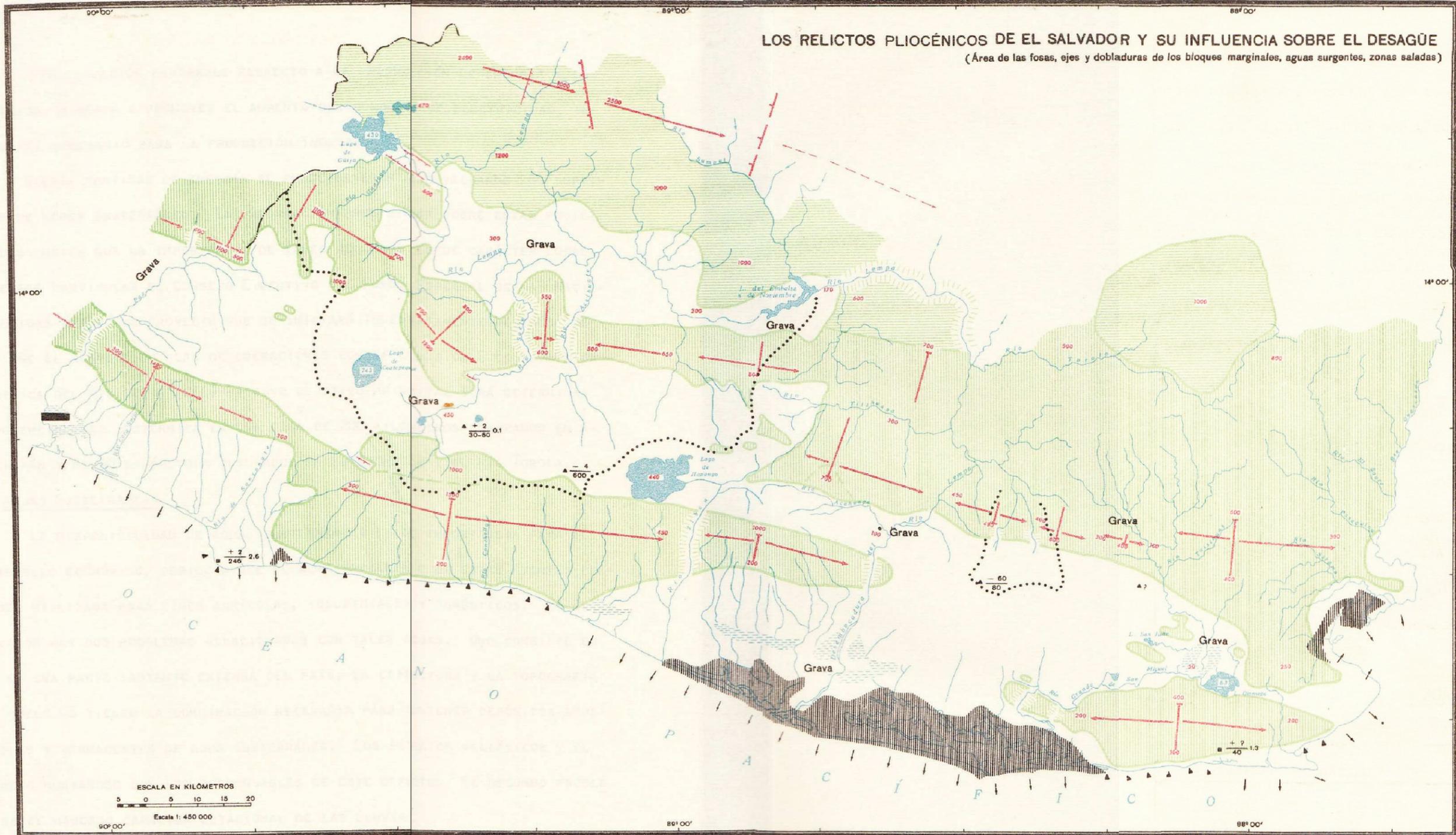
Fuente: Departamento Hidrología SNET.



ANEXO 26: Variación de posición de línea de playa.

FUENTE: Elaboración propia.

LOS RELICTOS PLIOCÉNICOS DE EL SALVADOR Y SU INFLUENCIA SOBRE EL DESAGÜE
(Área de las fosas, ejes y dobladuras de los bloques marginales, aguas surgentes, zonas saladas)



ESCALA EN KILOMETROS
0 5 10 15 20
Escala 1: 450 000

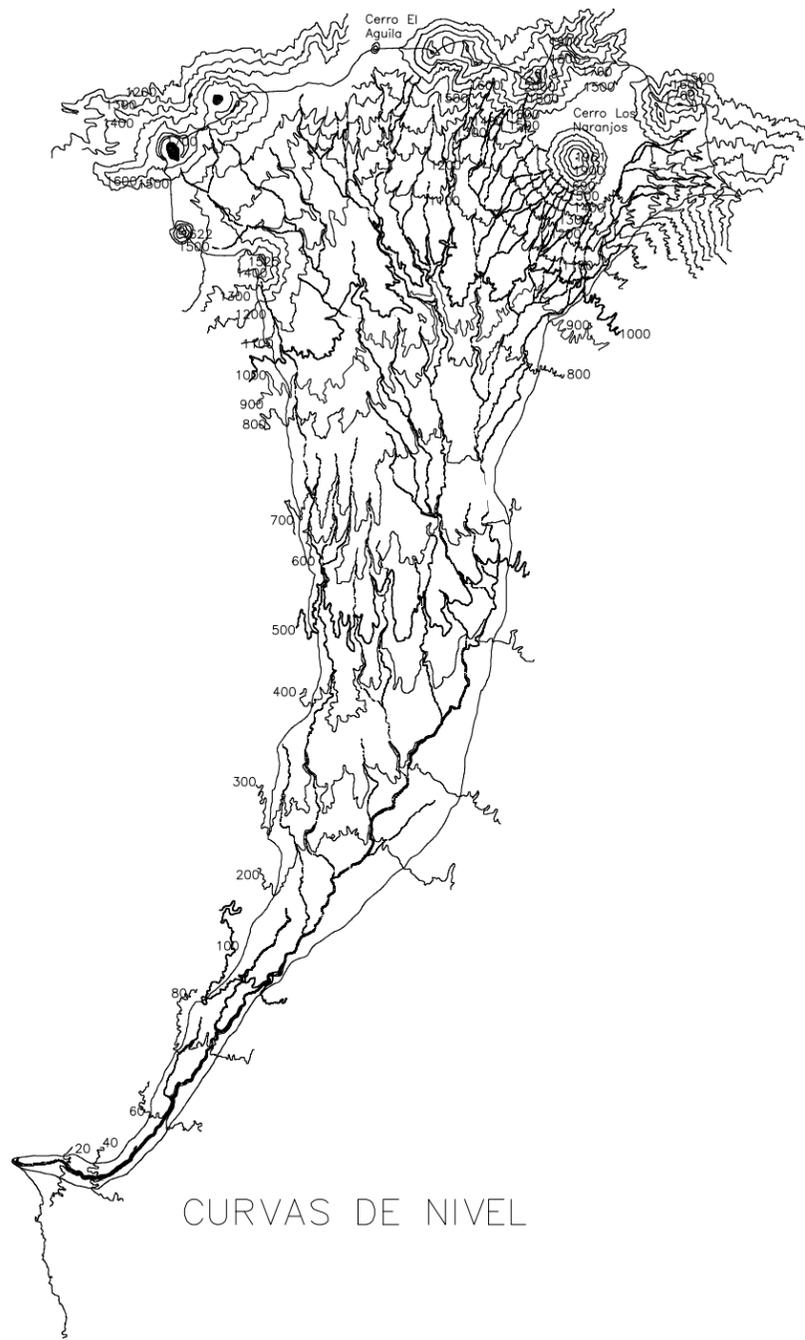
- ▲ Pozo Artesiano
- ▲ Zona cumbre
- Zona volcán
- ▨ Estratos del bálsamo
- ▨ Estratos de Chalatenango y Metapán
- 000 Altura en metros S.N.D.M.
- Eje estructural
- Estructura anticlinal
- ▲ Alt. rel. superf.
- ▲ Prof. ag. artes.
- ▲ Rebalse

- Faja
- ▨ Cañón
- Zona de recogimiento del Río Lempa (fosa interior) que incluye partes de la fosa central
- ▨ Zona salada
- ▨ Corrientes de agua indefinidas
- ▲▲▲ Costa en destrucción
- Costa en formación

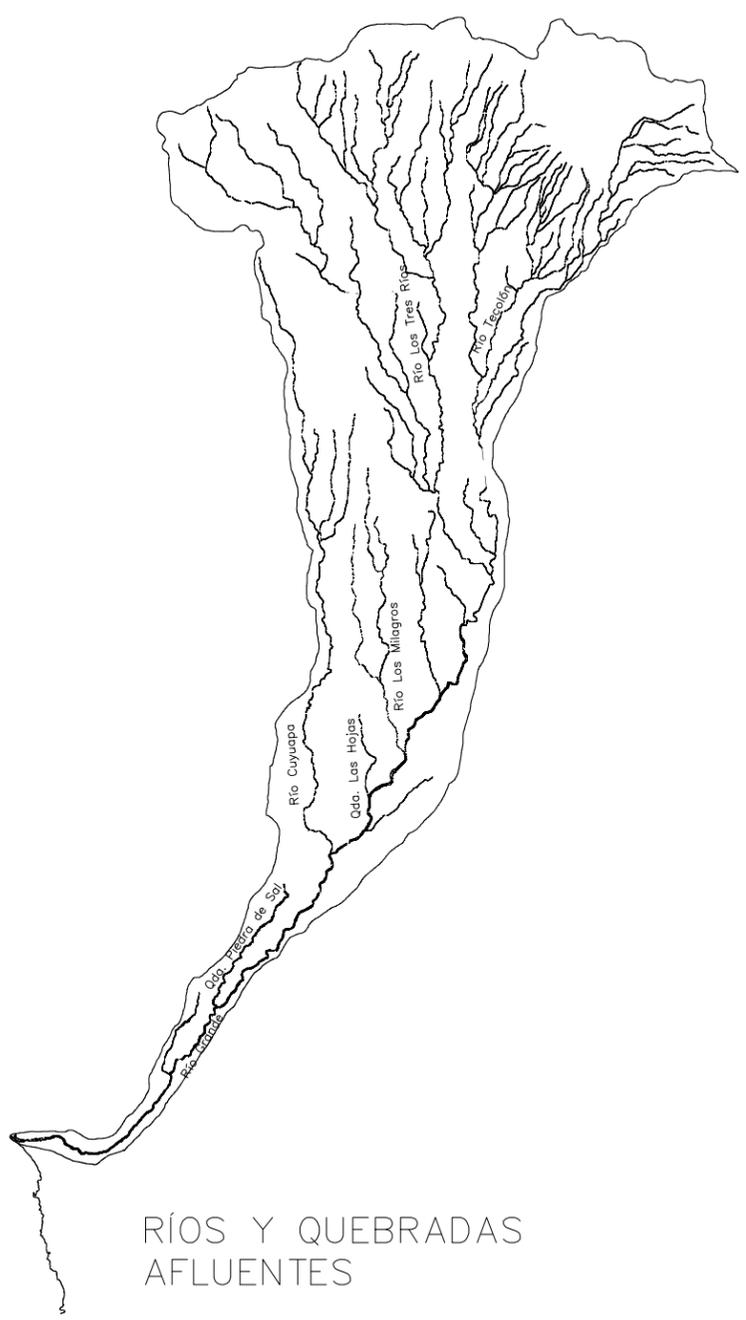
ANALES SERVICIO GEOLOGICO NACIONAL	Boletín N° 4	Influencia de la geología regional en la hidrología de El Salvador C. A.	Mapa N° 1	MINISTERIO DE OO. PP. SERVICIO GEOLOGICO NACIONAL San Salvador Diciembre 1961
------------------------------------	--------------	--	-----------	--

ANEXO 27: DETALLE DE LAS ZONAS GEOLOGICAS EN EL SALVADOR
FUENTE: GOBIERNO DE LA REPUBLICA DE EL SALVADOR, CONSEJO NACIONAL DE PLANIFICACION Y COORDINACION ECONOMICA, PLAN DE NACION PARA EL DESARROLLO ECONOMICO Y SOCIAL 1965-1969, PRIMERA PARTE. MAPA 1.

MAPAS

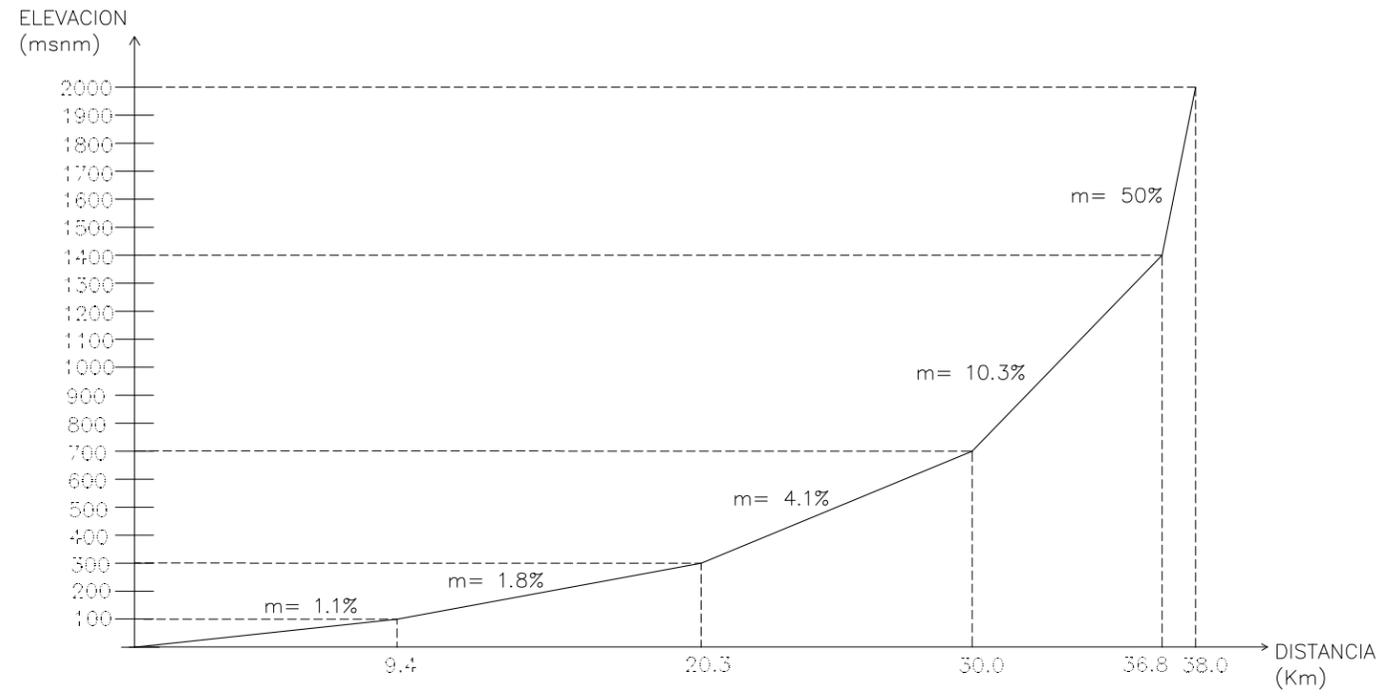


CURVAS DE NIVEL



RÍOS Y QUEBRADAS AFLUENTES

PERFIL DE CUENCA SENSUNAPAN



CUENCA SENSUNAPAN	
AREA:	215.28 Km ²
PERIMETRO :	114.76 Km
ELEVACION MAXIMA :	2000 msnm
ELEVACION MEDIA :	845.74 msnm
PENDIENTE MEDIA :	26.02%
LONGITUD CAUCE PRINCIPAL :	44.68 Km



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA

TEMA: EVALUACION DE LA SEDIMENTACION COSTERA EN LA BOCANA EL LIMON, EN LOS ULTIMOS SESENTA AÑOS, EN EL LITORAL DE ACAJUTLA DEPARTAMENTO DE SONSONATE

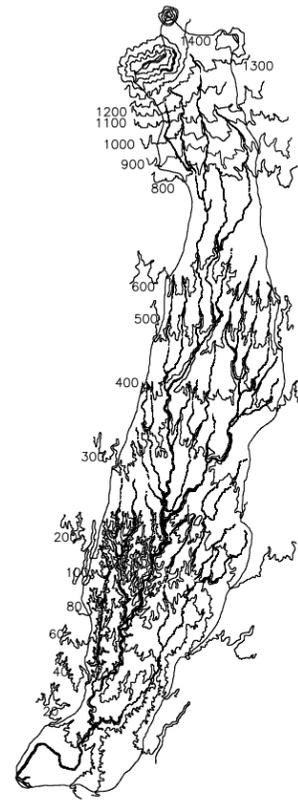
CONTENIDO: CUENCA RIO GRANDE DE SONSONATE O SENSUNAPAN

FECHA: JUNIO 2010

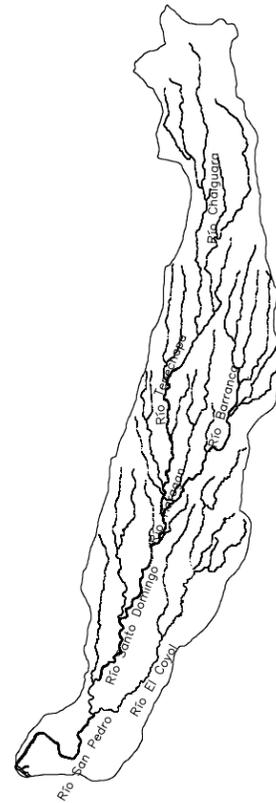
ESCALA: 1:50,000

MAPA No:

1

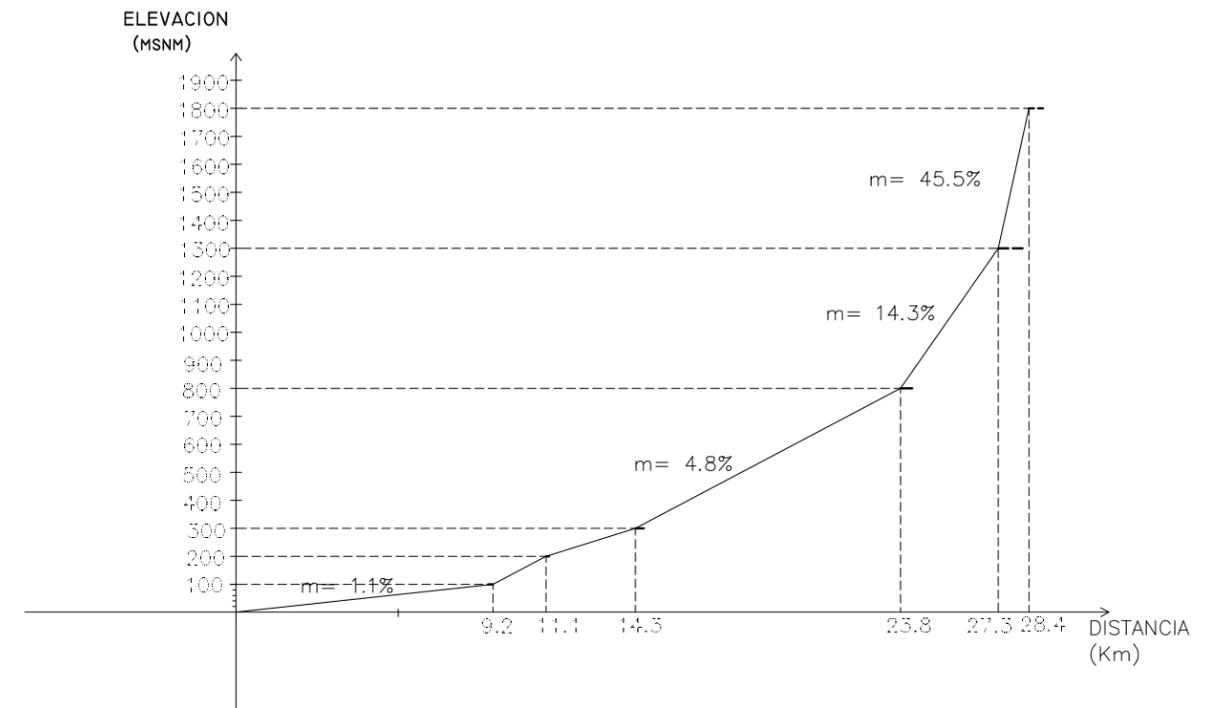


CURVAS DE NIVEL



RÍOS Y QUEBRADAS AFLUENTES

PERFIL DE CUENCA
SAN PEDRO



CUENCA SAN PEDRO	
AREA:	106.58 Km ²
PERIMETRO :	68.11 Km
ELEVACION MAXIMA :	1841 msnm
ELEVACION MEDIA :	371.07 msnm
PENDIENTE MEDIA :	24.2%
LONGITUD CAUCE PRINCIPAL :	31.65 Km



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA

TEMA: EVALUACION DE LA SEDIMENTACION COSTERA EN LA BOCANA EL LIMON, EN LOS ULTIMOS SESENTA AÑOS, EN EL LITORAL DE ACAJUTLA DEPARTAMENTO DE SONSONATE

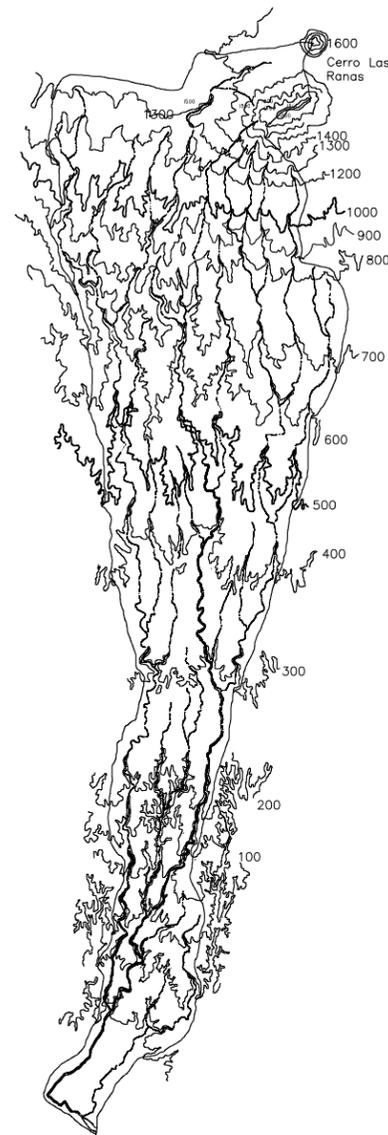
CONTENIDO: CUENCA RIO SAN PEDRO

FECHA: JUNIO 2010

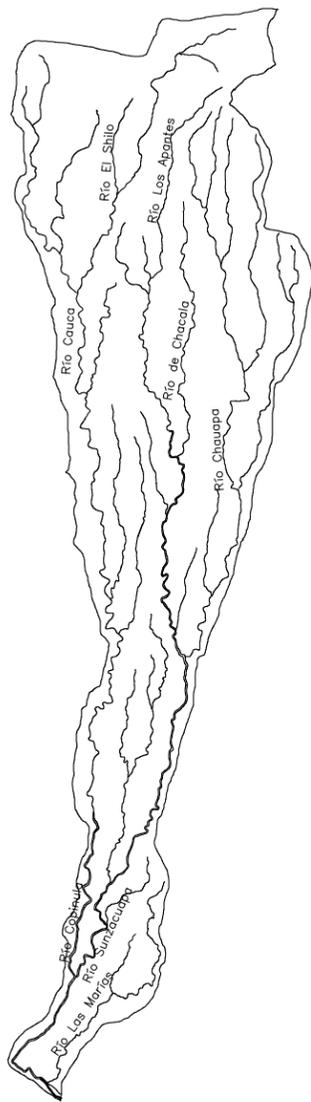
ESCALA: 1:50,000

MAPA No:

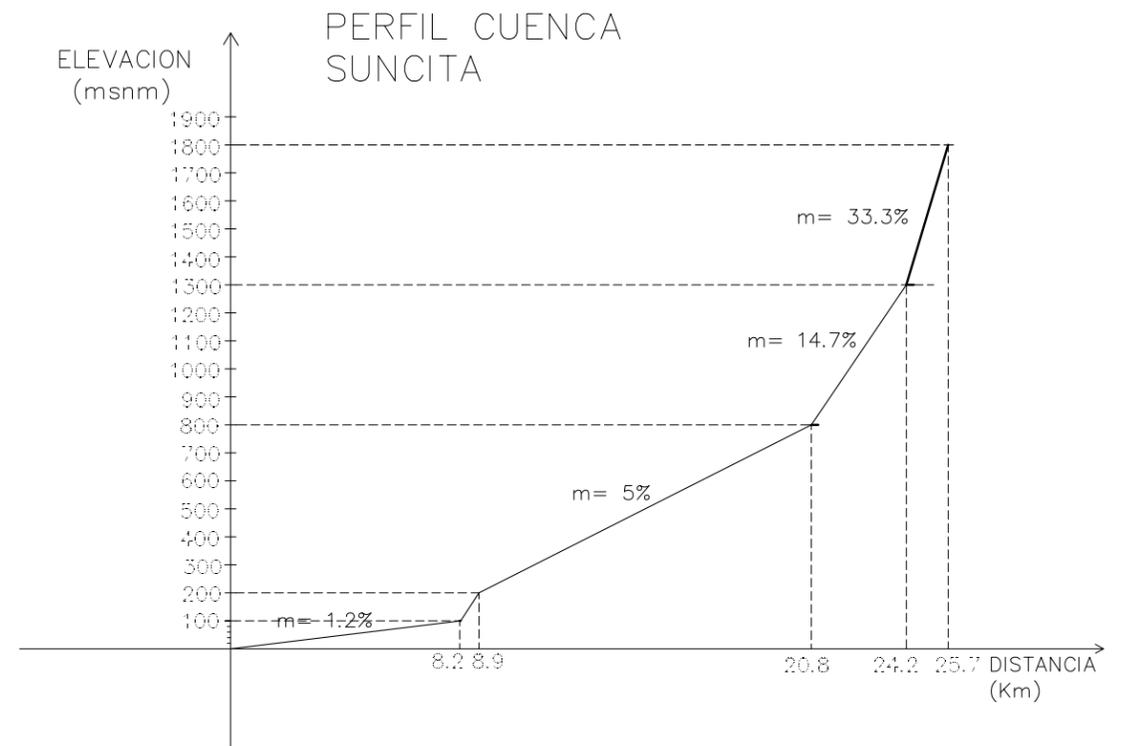
2



CURVAS DE NIVEL



RÍOS Y QUEBRADAS AFLUENTES



CUENCA SUNCITA	
AREA:	106.10 Km ²
PERIMETRO :	74 Km
ELEVACION MAXIMA :	1841 msnm
ELEVACION MEDIA :	552.34 msnm
PENDIENTE MEDIA :	27.49%
LONGITUD CAUCE PRINCIPAL :	34.5 Km



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA

TEMA: EVALUACION DE LA SEDIMENTACION COSTERA EN LA BOCANA EL LIMON, EN LOS ULTIMOS SESENTA AÑOS, EN EL LITORAL DE ACAJUTLA DEPARTAMENTO DE SONSONATE

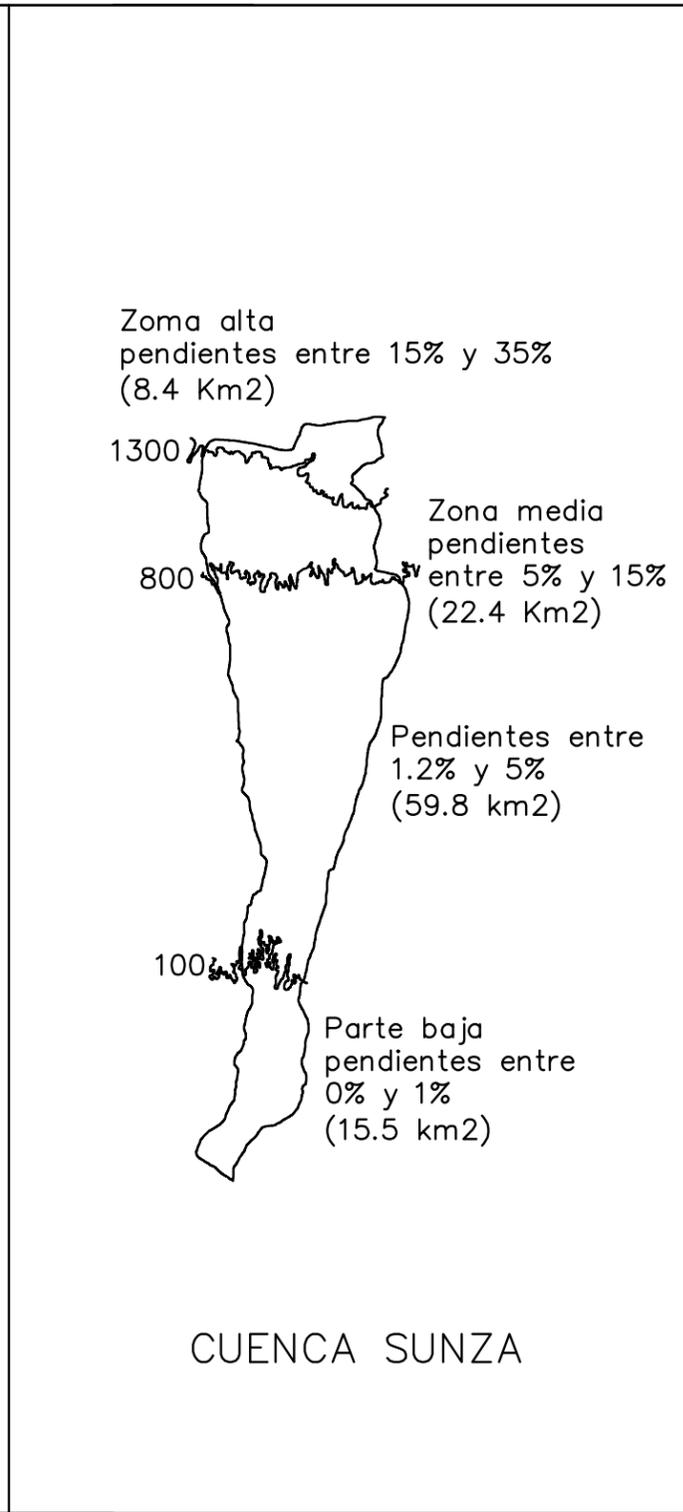
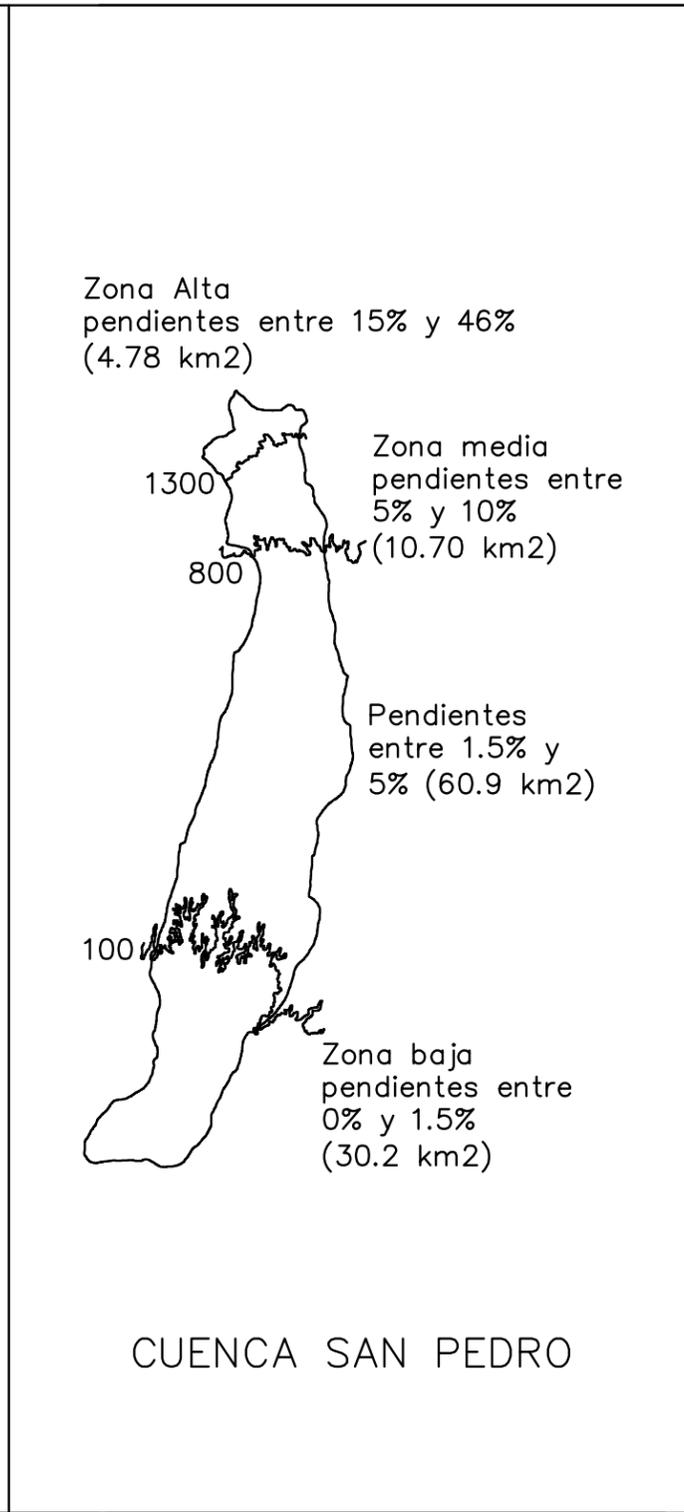
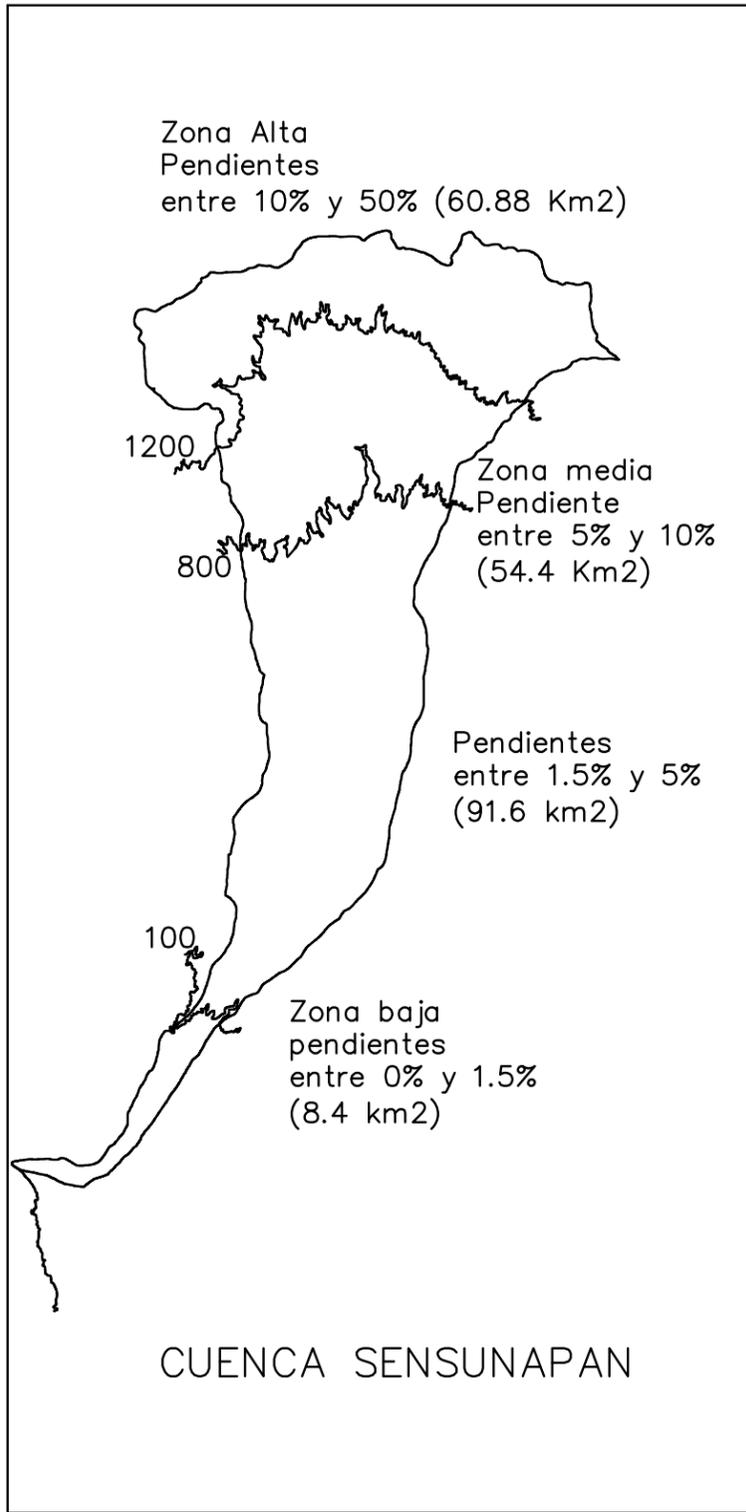
CONTENIDO: CUENCA RIO SUNCITA Y LAS MARIAS

FECHA: JUNIO 2010

ESCALA: 1:50,000

MAPA No:

3



ZONA	CUENCA		
	Sensunapan	San Pedro	Suncita
Baja m=0%-1.5%	2.0%	7.1%	3.6%
Media-Baja m=1.5%-5%	21.4%	14.2%	14.0%
Media m=5%-15%	12.7%	2.5%	5.2%
Alta m=15%-50%	14.28%	1.12%	1.96%

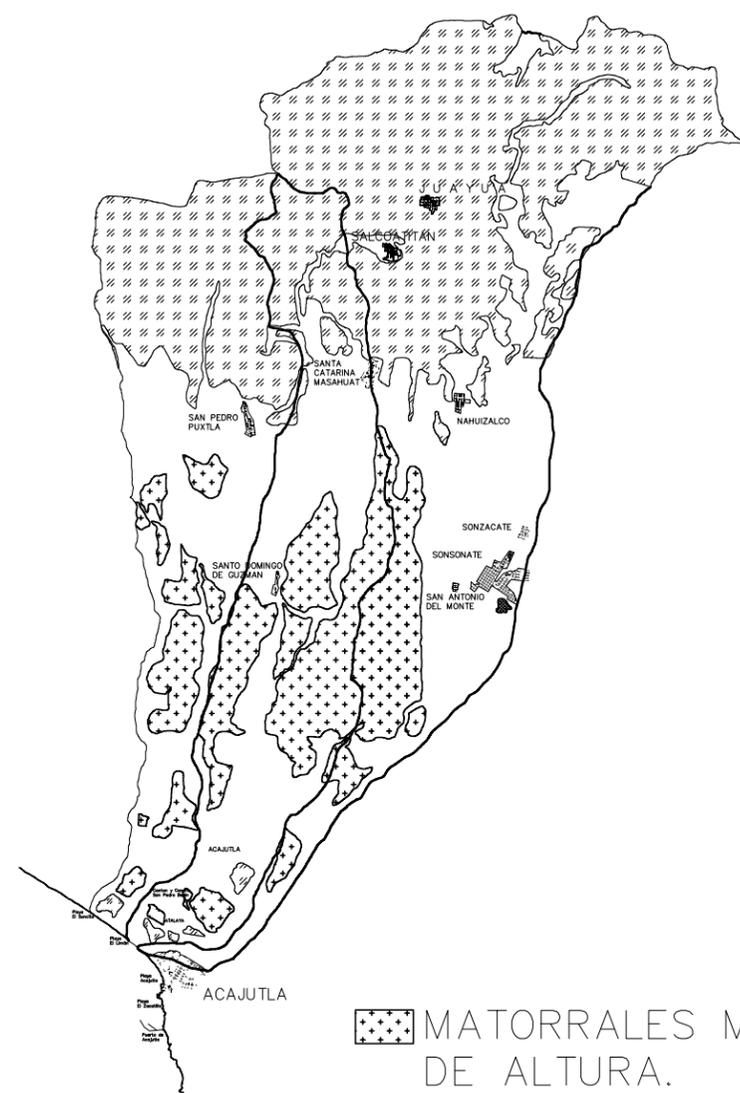


UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA

TEMA: EVALUACION DE LA SEDIMENTACION COSTERA EN LA BOCANA EL LIMON, EN LOS ULTIMOS SESENTA AÑOS, EN EL LITORAL DE ACAJUTLA DEPARTAMENTO DE SONSONATE
CONTENIDO: PORCENTAJES DE PENDIENTES POR ZONA EN CUENCAS SENSUNAPAN, SAN PEDRO Y SUNZA

FECHA: JUNIO 2010
ESCALA: 1:50,000

MAPA No:
4



 MATORRALES MENORES A 3 m DE ALTURA.

 ARBOLES DISPERSOS

 ARENAS, TERRENOS SUJETOS A INUNDACIONES

NOMBRE	AREA (KM2)	% ARBOLES DISPERSOS	% MATORRALES	% TERRENOS ARENOSOS	% AREAS URBANIZADAS
CUENCA SENSUNAPAN	215.28	26.6	4.7	18.3	0.64
CUENCA SAN PEDRO	106.58	3.8	8.2	12.9	0.07
CUENCA SUNCITA	106.10	9.7	3.2	11.8	0.068

PORCENTAJES DE TIPOS DE VEGETACION EN CADA CUENCA

NOMBRE	AREA (KM2)	% ARBOLES DISPERSOS	% MATORRALES	% TERRENOS ARENOSOS	% AREAS URBANIZADAS
CUENCA SENSUNAPAN	215.28	52.95	9.30	36.47	1.28
CUENCA SAN PEDRO	106.58	15.09	32.76	51.87	0.28
CUENCA SUNCITA	106.10	39.21	12.97	47.55	0.27



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA

TEMA: EVALUACION DE LA SEDIMENTACION COSTERA EN LA BOCANA EL LIMON, EN LOS ULTIMOS SESENTA AÑOS, EN EL LITORAL DE ACAJUTLA DEPARTAMENTO DE SONSONATE

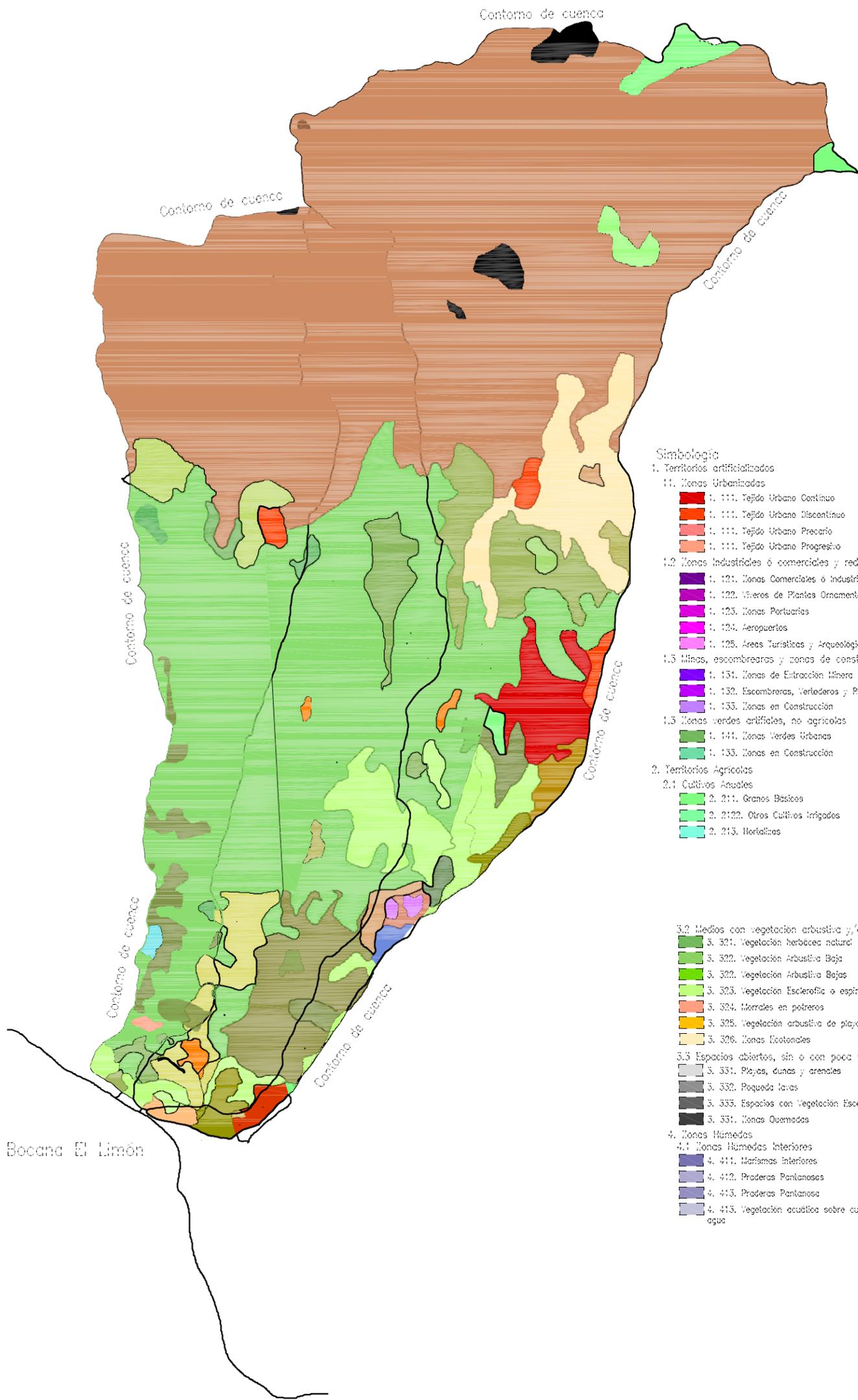
CONTENIDO: TIPO DE VEGETACION EN LAS CUENCAS SENSUNAPAN, SAN PEDRO Y SUNZA.

FECHA: JUNIO 2010

ESCALA: 1: 50,000

MAPA No:

5

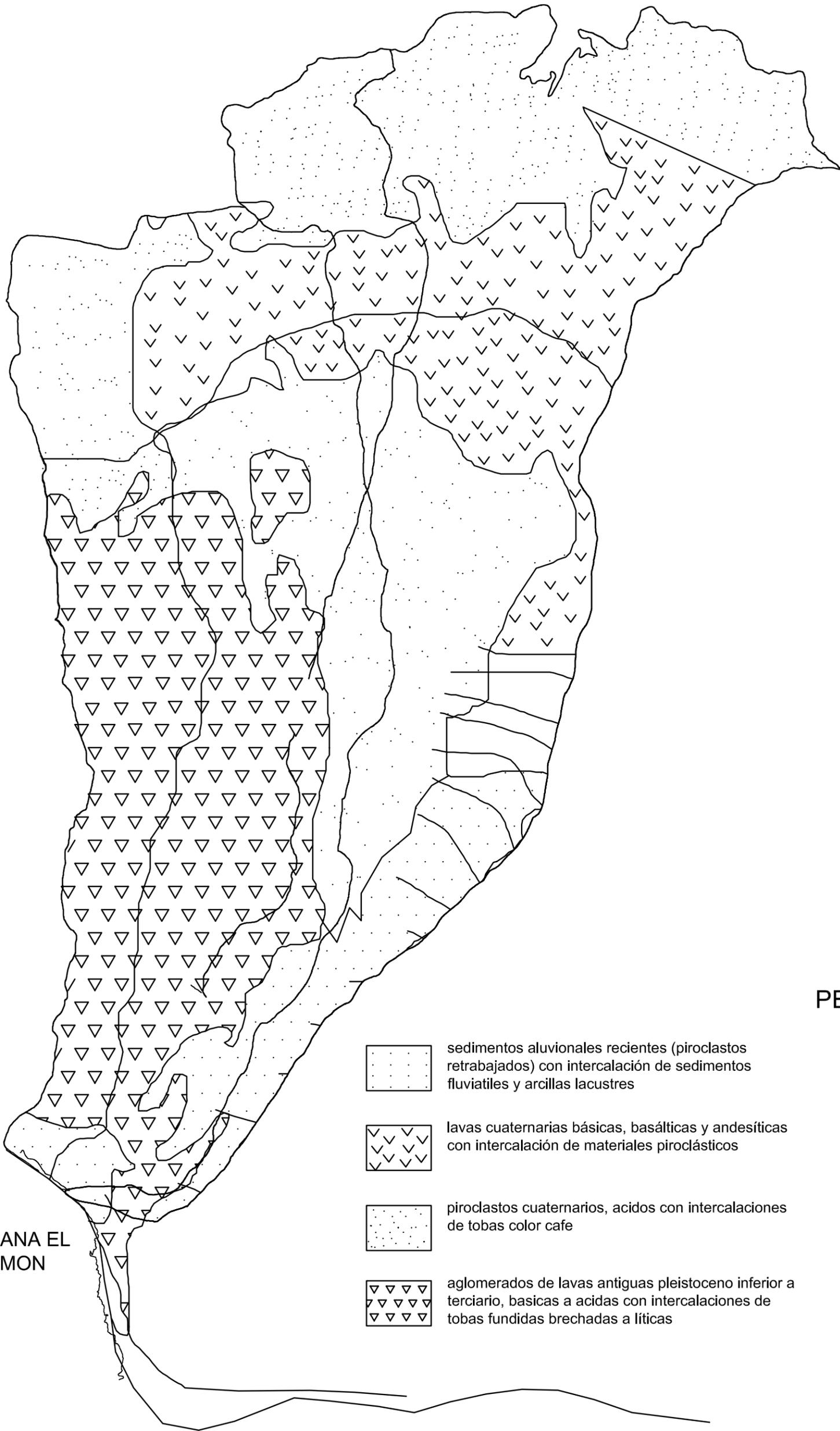


Simbología

1. Territorios artificializados
 - 1.1. Zonas Urbanizadas
 - 1.111. Tejido Urbano Continuo
 - 1.111. Tejido Urbano Discontinuo
 - 1.111. Tejido Urbano Precario
 - 1.111. Tejido Urbano Progresivo
 - 1.2. Zonas Industriales ó comerciales y redes de comunicación
 - 1.121. Zonas Comerciales ó Industriales
 - 1.122. Viveros de Plantas Ornamentales y Otras
 - 1.123. Zonas Portuarias
 - 1.124. Aeropuertos
 - 1.125. Áreas Turísticas y Arqueológicas
 - 1.3. Minas, escombros y zonas de construcción
 - 1.131. Zonas de Extracción Minera
 - 1.132. Escombros, Vertederos y Rechenos Sanitarios
 - 1.133. Zonas en Construcción
 - 1.5. Zonas verdes artificiales, no agrícolas
 - 1.141. Zonas Verdes Urbanas
 - 1.133. Zonas en Construcción
2. Territorios Agrícolas
 - 2.1. Cultivos Anuales
 - 2.211. Granos Básicos
 - 2.212. Otros Cultivos Irigados
 - 2.213. Hortalizas
 - 2.2. Cultivos Permanentes
 - 2.2211. Platanos y Bananeros
 - 2.2221. Café
 - 2.2231. Palmeras Oleíferas
 - 2.2234. Árboles Frutales
 - 2.2241. Caña de Azúcar
 - 2.2243. Cultivo de Piña
 - 2.3. Pastos
 - 2.231. Pastos Cultivados
 - 2.232. Pastos Naturales
 - 2.4. Zonas Agrícolas Heterogéneas
 - 2.241. Cultivos anuales Asociados con Cultivos
 - 2.242. Mosaico de Cultivos y Pastos
 - 2.243. Mosaico de Cultivos, Pastos y Vegetación
 - 2.244. Sistemas Agroforestales
3. Bosques y medios semi-naturales
 - 3.1. Bosques
 - 3.3111. Bosque Caducifolio
 - 3.3111. Bosque Caducifolio
 - 3.3112. Bosque Siempre Verdes
 - 3.3113. Bosques mixtos semi caducifoliaes
 - 3.312. Bosques de Coníferas
 - 3.313. Bosques Misto
 - 3.314. Bosque de Mangle
 - 3.315. Plantaciones de Bosques Monoespecifico
 - 3.315. Bosque de Galeria
 - 3.2. Medios con vegetación arbustiva y/o herbácea
 - 3.321. Vegetación herbácea natural
 - 3.322. Vegetación Arbustiva Baja
 - 3.322. Vegetación Arbustiva Baja
 - 3.323. Vegetación Esclerofita ó espinoso
 - 3.324. Morrales en potreros
 - 3.325. Vegetación arbustiva de playa
 - 3.326. Zonas Ecotonales
 - 3.3. Espacios abiertos, sin ó con poca vegetación
 - 3.331. Playas, dunas y arenales
 - 3.332. Poquedo lavas
 - 3.333. Espacios con Vegetación Escasa
 - 3.331. Zonas Quemadas
4. Zonas Húmedas
 - 4.1. Zonas Húmedas Interiores
 - 4.411. Marismas interiores
 - 4.412. Praderas Pantanosas
 - 4.413. Praderas Pantanosas
 - 4.413. Vegetación acuática sobre cuerpos de agua
 - 4.2. Zonas Húmedas Marítimas
 - 4.421. Marismas marítimas
 - 4.422. Salinas
 - 4.423. Perímetro acuícola
5. Cuerpos de agua
 - 5.1. Aguas Continentales
 - 5.511. Pisos
 - 5.512. Lagos, lagunas y lagunetas
 - 5.2. Aguas Marítimas
 - 5.521. Lagunas costeras y esteros
 - 5.522. Estuarios
 - 5.523. Mares y océano

USO	CUENCA RÍO SUNZA	CUENCA RÍO SAN PEDRO	CUENCA RÍO SENSUNAPÁN	CUENCA RÍO SUNZA %	CUENCA RÍO SAN PEDRO %	CUENCA RÍO SENSUNAPÁN %	AREA ACUMULADA	% AREA ACUMULADA
Café	48.00	22.00	132.59	45.24	20.64	61.59	2.03	47.39
Granos Básicos	41.18	55.28	18.11	38.81	51.87	8.41	1.1457	26.75
Tejido urbano discontinuo	0.86	0.62	3.39	0.81	0.58	1.57	0.0487	01.14
Árboles frutales			15.32			7.12	0.1532	03.58
Pastos naturales		4.69	11.88		4.40	5.52	0.1657	03.87
Tejido urbano continuo			8.37			3.89	0.0837	01.95
Tejido urbano precario		0.19	0.39		0.18	0.18	0.0058	0.135
Vegetación arbustiva baja			0.56			0.26	0.0056	0.131
Pastos cultivados	2.86		4.13	2.70		1.92	0.0699	1.632
Caña de azúcar			3.64			1.69	0.0364	0.85
Hortalizas	0.60	8.13	10.03	0.57	7.63	4.66	0.1876	4.38
Praderas pantanosas			0.68			0.32	0.0068	0.16
Marismas interiores			0.69			0.32	0.0069	0.16
Cultivos anuales asociados con cultivos	5.64	9.73	4.91	5.32	9.13	2.28	0.2028	4.73
Vegetación arbustiva de playa		0.14	0.59		0.13	0.27	0.0073	0.17
Mosaico de cultivos y pastos	6.23	5.80		5.87	5.44		0.1203	2.81
Perímetro acuícola	0.44			0.41			0.0044	0.103
Palmeras Oleíferas	0.29			0.27			0.0029	0.068
AREA TOTAL	106.10	106.58	215.28					





BOCANA EL LIMON

PERMEABILIDAD

- | | | |
|---|--|---------------|
|  | sedimentos aluvionales recientes (piroclastos retrabajados) con intercalación de sedimentos fluviales y arcillas lacustres | ALTA-MEDIA |
|  | lavas cuaternarias básicas, basálticas y andesíticas con intercalación de materiales piroclásticos | MUY ALTA-ALTA |
|  | piroclastos cuaternarios, acidos con intercalaciones de tobas color cafe | MEDIA-BAJA |
|  | aglomerados de lavas antiguas pleistoceno inferior a terciario, basicas a acidas con intercalaciones de tobas fundidas brechadas a líticas | BAJA-NULA |



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA

TEMA: EVALUACION DE LA SEDIMENTACION COSTERA EN LA BOCANA EL LIMON, EN LOS ULTIMOS SESENTA AÑOS, EN EL LITORAL DE ACAJUTLA DEPARTAMENTO DE SONSONATE

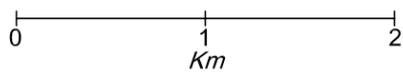
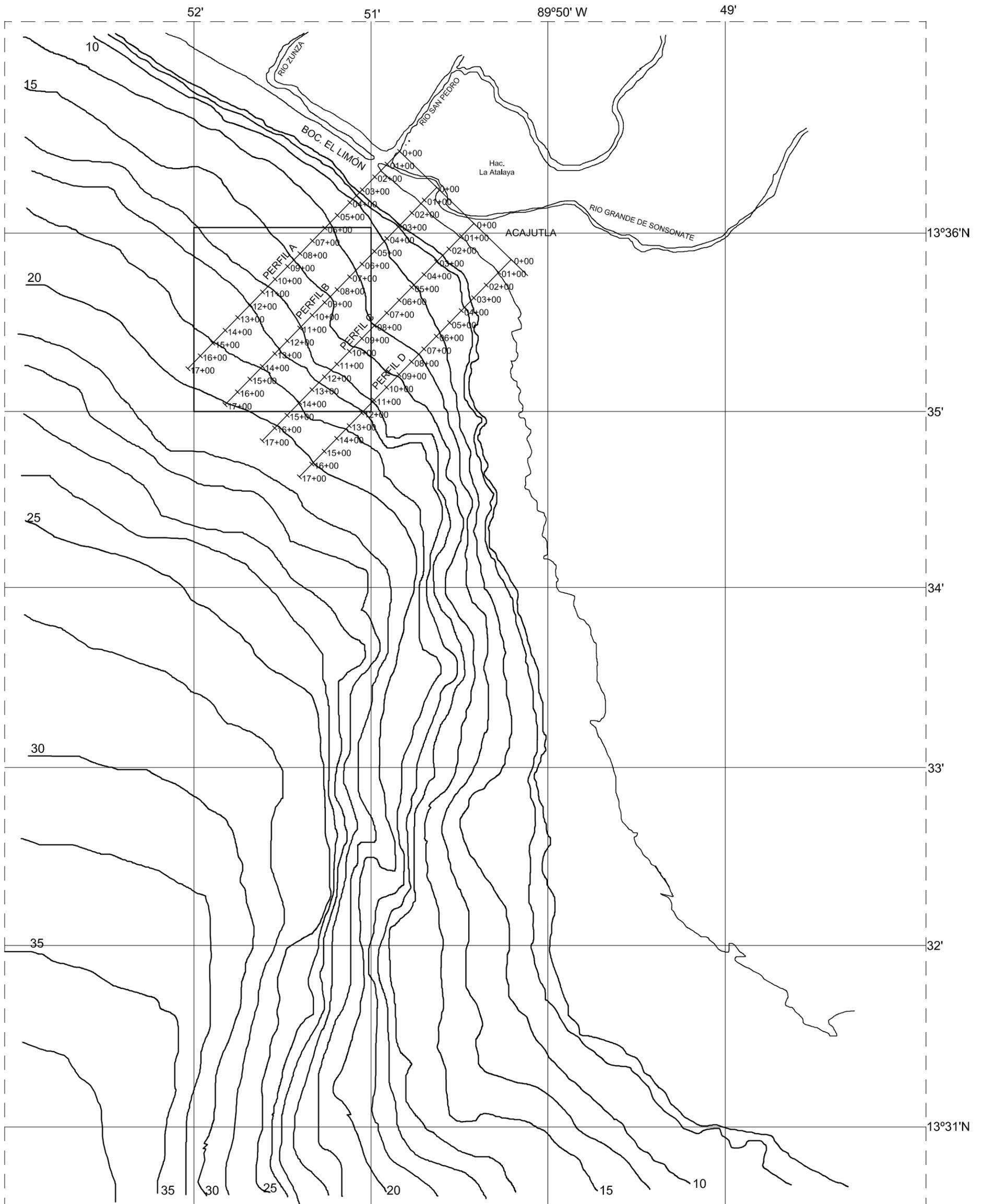
CONTENIDO: MAPA DE PERMEABILIDAD DE SUELO EN LA CUENCA DE LOS RÍOS QUE DESEMBOCAN EN LA BOCANA EL LIMÓN

FECHA: JUNIO 2010

ESCALA: 1:50,000

MAPA No:

7



ESCALA GRÁFICA

BATIMETRÍA 1957 ACAJUTLA
FUENTE: COSTAS DE EL SALVADOR



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA

TEMA: EVALUACION DE LA SEDIMENTACION COSTERA EN LA BOCANA EL LIMON, EN LOS ULTIMOS SESENTA AÑOS, EN EL LITORAL DE ACAJUTLA DEPARTAMENTO DE SONSONATE

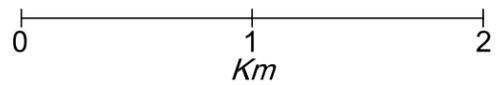
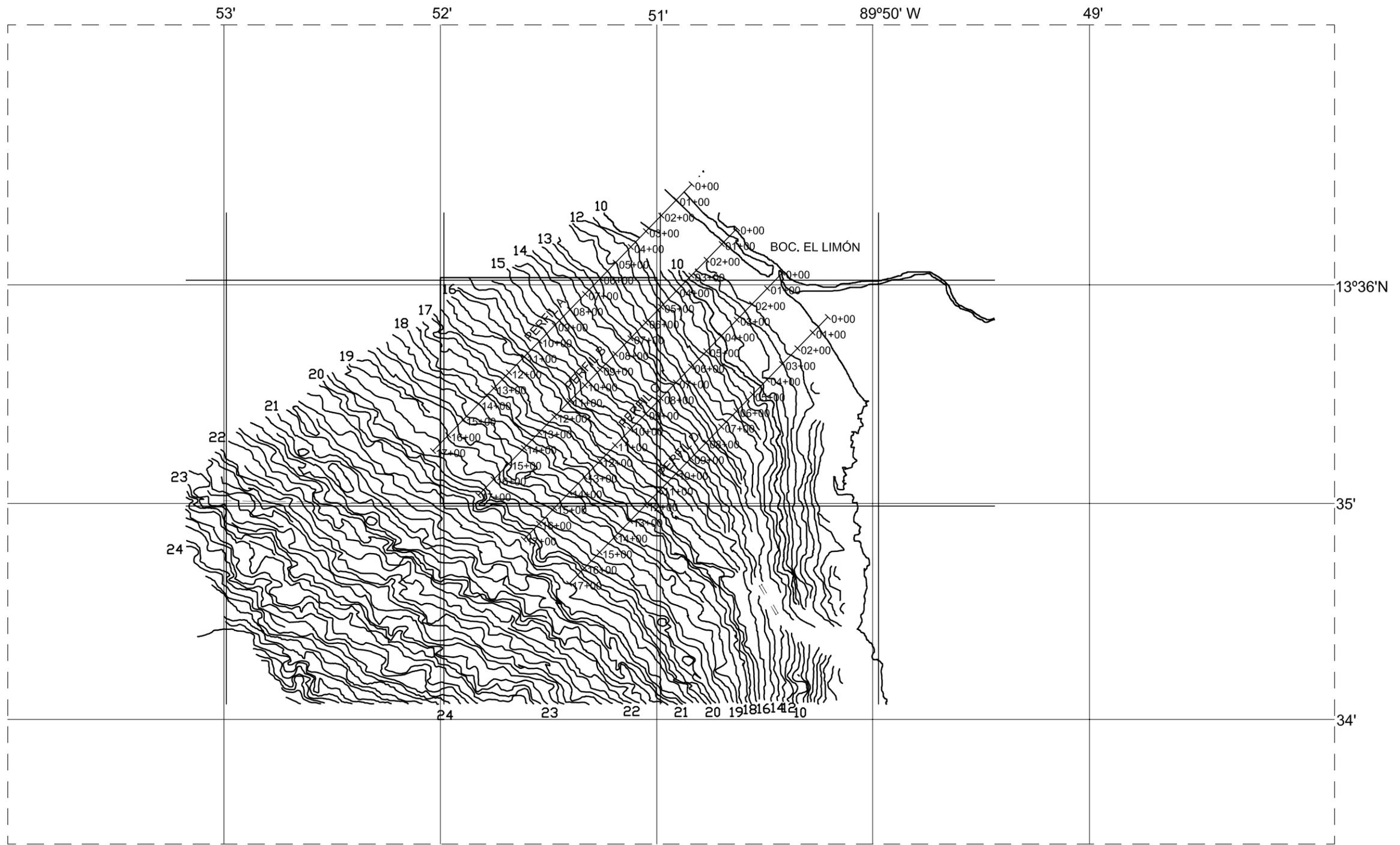
CONTENIDO: BATIMETRÍA 1957 LIBRO "COSTAS DE EL SALVADOR"

FECHA: JUNIO 2010

ESCALA: GRAFICA

No:

8



ESCALA GRÁFICA

BATIMETRÍA 2005 ACAJUTLA
FUENTE: FUERZA NAVAL



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA

TEMA: EVALUACION DE LA SEDIMENTACION COSTERA EN LA BOCANA EL LIMON, EN LOS ULTIMOS SESENTA AÑOS, EN EL LITORAL DE ACAJUTLA DEPARTAMENTO DE SONSONATE

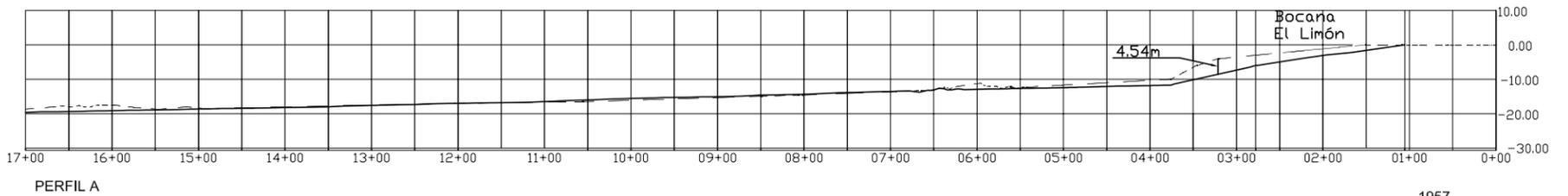
CONTENIDO: BATIMETRÍA 2005 FUERZA NAVAL DE EL SALVADOR

FECHA: JUNIO 2010

ESCALA: GRAFICA

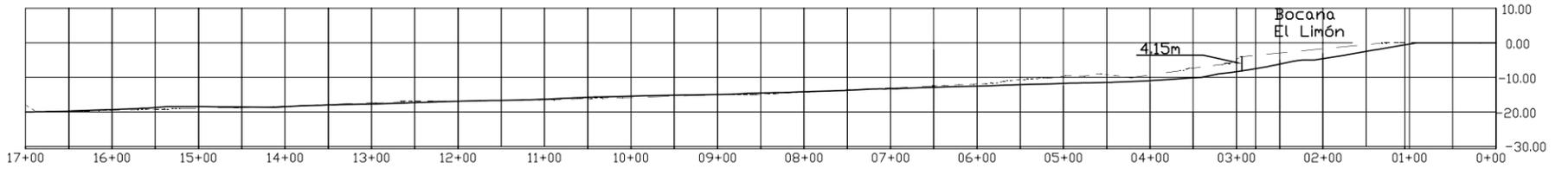
No:

9



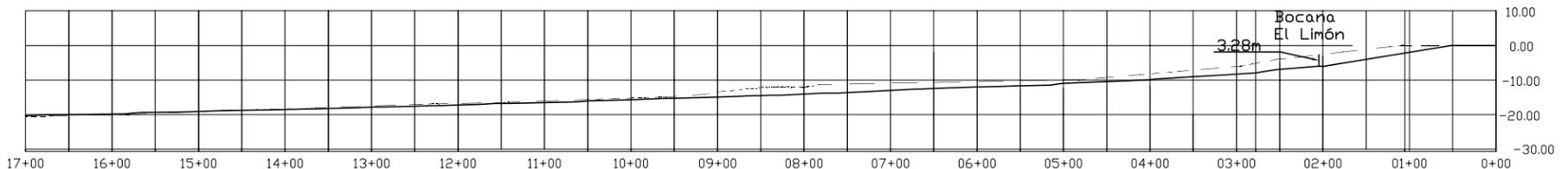
PERFIL A

--- 1957
 — 2005
 ESCALA HOR 1:100
 ESCALA VER 1:25



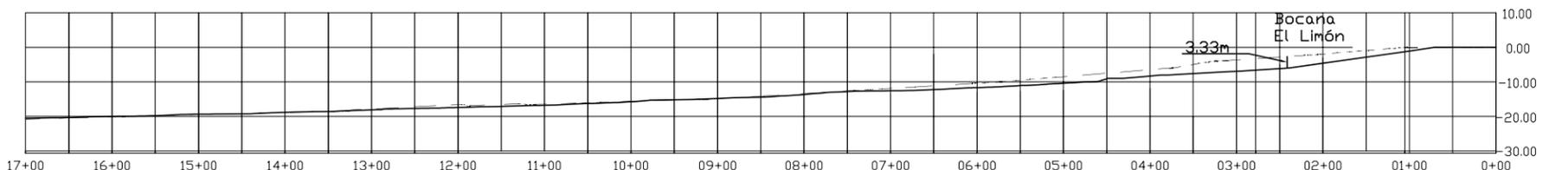
PERFIL B

--- 1957
 — 2005
 ESCALA HOR 1:100
 ESCALA VER 1:25



PERFIL C

--- 1957
 — 2005
 ESCALA HOR 1:100
 ESCALA VER 1:25



PERFIL D

--- 1957
 — 2005
 ESCALA HOR 1:100
 ESCALA VER 1:25



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA

TEMA: EVALUACION DE LA SEDIMENTACION COSTERA EN LA BOCANA EL LIMON, EN LOS ULTIMOS SESENTA AÑOS, EN EL LITORAL DE ACAJUTLA DEPARTAMENTO DE SONSONATE

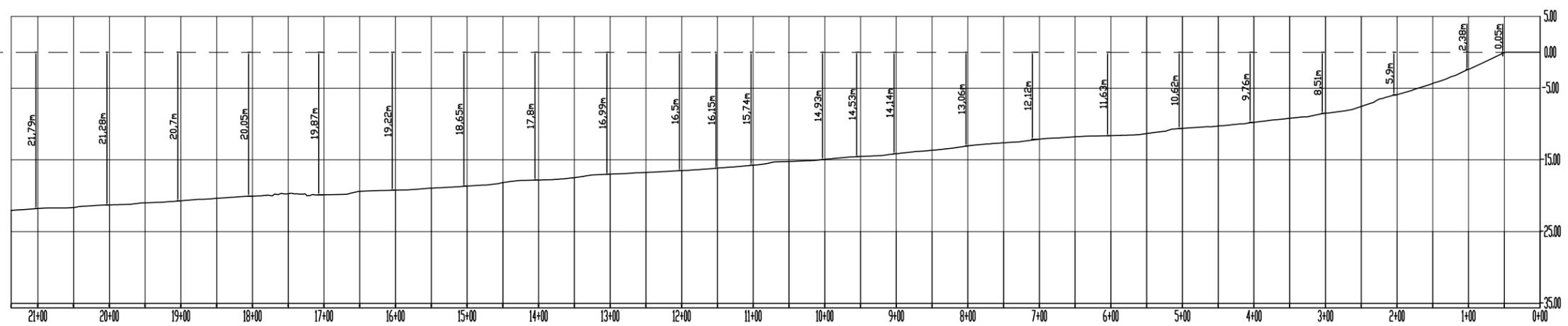
CONTENIDO: PERFILES BATIMÉTRICOS

FECHA: JUNIO 2010

ESCALA: INDICADA

No:

10



ESCALA HOR 1:100
 ESCALA VER 1:10



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
 FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA

TEMA: EVALUACION DE LA SEDIMENTACION COSTERA EN LA BOCANA EL LIMON, EN LOS ULTIMOS SESENTA AÑOS, EN EL LITORAL DE ACAJUTLA DEPARTAMENTO DE SONSONATE
 CONTENIDO: PERFIL BATIMÉTRICO FRENTE A COSTA DE ACAJUTLA

FECHA: JUNIO 2010
 ESCALA: INDICADA

No: 11