



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

Facultad de Ingeniería

CARACTERÍSTICAS Y EVOLUCIÓN GEOLÓGICA DE LAS TERRAZAS COSTERAS DE PUERTO ESCONDIDO, OAXACA.

TESIS

PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO GEÓLOGO

PRESENTAN

**ALEJANDRA ALMAZÁN VÁZQUEZ
JORGE ALBERTO BRISEÑO SOTELO**

Director de tesis

Ing. Javier Arellano Gil

Codirectora

M.C.B. Rosalía Guerrero Arenas



Ciudad Universitaria, México D.F., Febrero de 2013

Agradecimientos

Ha llegado el momento de la culminación de una de las mejores etapas hasta esta parte de mi vida, donde he aprendido cosas que nunca imaginé, donde he encontrado personas maravillosas las cuales forman parte muy especial de mi vida.

Antes que nada quisiera agradecer a Dios por estar presente en todo lo que hago, por iluminarme y por tantas bendiciones que me da día con día, por poner en mi camino a personas como ustedes, por dejarme crecer con la maravillosa familia que tengo.

A mis padres por todo su amor, dedicación, enseñanzas que me han brindado en mi corta vida, porque su apoyo y esfuerzo me han forjado lo que hoy soy, gracias por esta educación que me han dado por los valores que me han inculcado. A mi mamá por ser mi amiga, por esa confianza que siempre me das, por ser mi soporte en todo gracias mami; a mi papá por siempre estar conmigo, por ayudarme en todo lo que necesito, por estar junto a mí en cada paso que doy. gracias los amo infinitamente.

A mi abuelita Mary por ser la luz en nuestra familia y en mi vida, por siempre su apoyo, cuidado, y amor incondicional, por cuidarme y consentirme cuando más lo necesito. Te amo abue.

A mi abuelita Sofí por siempre estar al pendiente de mí y a mi Tía Paulita; gracias a las dos por su cariño y amoroso apoyo, por siempre estar conmigo y compartir momentos tan especiales; las amo.

A mi hermanita Mariel por todos tus consejos, por tu apoyo absoluto, por ser mi amiga, mi cómplice, mi confidente, gracias por ser mi ejemplo y la mejor hermana que pueda tener, siempre juntas en lo bueno y en todo momento. te amo sis.

A mi tío Héctor (Chato) por siempre estar en los momentos más complicados para nosotros y en los más alegres por siempre ser otro apoyo más para mí, por todo el cariño que siempre me has dado.

A mis tías Paty, Ana y mi madrina Manuela; a mis tíos Triní, Ernesto, Amador (+) por siempre preocuparse por mí; a mis primos Juan, Dany, Paty, Faby, Memo, Blanca, Neto, Aldo por siempre su cariño y apoyo.

A Karen por estar todos estos años conmigo apoyándome en todo momento, gracias por nunca dejarme sola, gracias por ser mi compañera, mi amiga, mi hermana. te quiero muchísimo.

Al Ingeniero Arellano, mi director de tesis, por su apoyo en esta etapa de culminación, por sus consejos, por todo lo que nos enseñó día a día y en cada práctica, por su empeño en las cosas.

A mis profesores, Dr. Silva, Ing. Victoria, Toño, Javier, Dr. Campos, Ing. Medina, M. C. Noe Santillan, Dr. Aguayo gracias por enseñarme el amor a mi carrera, por brindarme no

Agradecimientos

solo enseñanzas dentro del salón o en mis queridas practicas si no tambien fuera de esto, gracias por aparte de mis profesores ser mis amigos.

A una de las personas más especiales de esta etapa Jorge, nunca pensé llegar a compartir las cosas que pasamos juntos, gracias por ser un pilar mas en esta etapa tan importante de mi vida, por la confianza que depositas en mi, por ser mi amigo, mi compañero, mi apoyo, gracias por dejarme conocerte por completo, por estar día a día en todo momento junto a mí; se que lograras todo lo que te propongas siempre.

A mis amigos, geólogos del alma y ahora parte de mi familia Trufito gracias por siempre estar ahí, por darme un abrazo cuando más lo necesito; Darío por siempre estar presente y no dejarme desde el inicio de la carrera, por ayudarme en todo momento y en cualquier situación, Kari amiga de mi corazón gracias por venir cada que yo necesitaba y no dejarme sola, por todos los momentos que me diste, Nash gracias por dejarme conocerte, por tus siempre aminos de salir de todo, Juan Carlos (Campe) gracias por estar conmigo en esos momentos y por compartir conmigo un poco de tu vida. A Abel (Ven), Dianita, Clark, Angie, Alan, Axel, Javier, Johnny. Gracias amigos por compartir tiempos tan especiales, por hacerme parte de su vida y por estar siempre conmigo, y compartir tantas aventuras, por ser los mejores amigos y los mejores compañeros en la carrera.

A mis roomies Orlando, Katy, Yuyi por esos años juntos, por las experiencias y aprendizajes que pasamos, en especial a Fidel por esos tantos años de amistad, por estar en momentos difíciles y en momentos alegres, gracias amigo.

A mis amigos Alberto, Tavito, Juan Carlos (Vecino), Erick, Osvaldo, Mario, Andrea, María, Omar, Juan Carlos (Primo), Iván, Ely, Miguel y Carlos por cada instante que pasaron junto a mí, por esas reuniones, por esas alegrías que me dieron, por compartir tantos momentos que hicieron mi día a día diferente, que iluminaron mis días. gracias.

A, Rossy Nadia, July, Claudia y Lore por todos estos años de apoyo, por cada palabra que me ayudaba a seguir, por esa paz espiritual y por enseñarme a ser mejor persona con todas sus palabras, con todas las cosas me dejaron compartir con ustedes.

A mi querida facultad, y a mi alma mater, por todos estos años de enseñanza de vida, y por el orgullo que me hace sentir ser parte de esta institución.

Por mi raza hablará el espíritu.

Alejandra Almazán Vázquez

Agradecimientos

Este trabajo de tesis es la culminación y la consumación de una serie de esfuerzos, sacrificios, de entrega y lucha realizados a través de muchos años, no existen y no existirán palabras para describir tal cual logro en mi existencia, todo ello para lograr una serie de metas; tener crítica, ideología de superación, universalidad de pensamiento, un Universitario y lo más importante un Ser Humano.

A mis padres que siempre y ante todo estuvieron en este largo viaje, a ti mamá que siempre tuve tu apoyo, que siempre confiaste en mi y que sé que nunca dejarás de hacerlo por que ante tanta adversidad se demuestra de que está hecho uno, muchas gracias mamá por que eres una fortaleza y sino hubiera sido por ti no sería el hombre que soy el día de hoy, a ti papá por que eres mi más grande ejemplo de vida, por todo lo que he aprendido de ti, por que me has formado con el ejemplo, doy gracias por que eres mi mentor, mi consejero, mi maestro pero lo más importante mi padre, gracias a los dos.

A mis hermanas Miyu, Pris y Alme, por que no puedo pedir mejores hermanas, a ti Miyu por que tuviste que hacer muchos sacrificios y no tengo manera de expresar tanta gratitud, por que te adoro y siempre estás en mi pensamiento y en mi corazón gracias por estar en este gran viaje, a ti Pris que eres la más pequeña te dedico con todo mi corazón este gran esfuerzo y lo quiero compartir contigo gracias por estar conmigo en las buenas y en las malas y en todo momento, a ti Alme que te quiero mucho por eres mi hermana mayor, por que veo en ti tanta solidez y tanto brío que me impresiona, gracias por apoyarme en todo momento a ti y a las pequeñas de Zyanya y María a ustedes les dedico mi entrega y mi lucha.

A mis tías Lili, Vero, Odu, a ustedes que me cobijaron desde muy pequeño y que ahora les agradezco inmensamente, que bueno es tenerlas a mi lado, a mi tío Marcos, que siempre me hiciste pasar buenos momentos, que me apoyaste incondicionalmente desde tan lejos muchas gracias tío.

A mi primos Julián, Lety, Emmanuel y Frida, que sentir más grande es saber que son parte de mi vida y de este trayecto con altas y bajas, a ti Julián que te admiro tanto, que eres un hermano para mi, a ti Lety que te quiero mucho, que pasamos buenos momentos y me hiciste olvidar la soledad de la gran ciudad, a ti Emmanuel que te sentí como mi hermano menor, a ti Frida mi primita favorita te dedico también este sentir de satisfacción.

A mi abuela Marina, a ti abue que siempre me apoyaste, que nunca dejaste de luchar, que eres una gran mujer y eres un ejemplo a seguir.

A mi compañera de carrera, de tesis, de entrega, de lágrimas, de alegrías y de muchas tantas cosas más, a ti Ale que desde que te conocí sabia que algo grande nos esperaba, que compartí grandes momentos contigo al igual que fracasos pero supimos aprender de ellos, a ti te dedico tantas cosas que no hay palabras para detallar este gran sentimiento de consumación de esta larga travesía a través de mi vida, estoy inmensamente agradecido contigo, por estar en cada instante y en cada espacio conmigo, se que vas a tener éxito en todo lo que te propongas, nunca dudes de ti.

Agradecimientos

Al ingeniero Leovigildo, a usted que supo como llevarme por los caminos sabios de la geología, por su dedicación, por esa energía que transmitía y por aquella gentileza con la que siempre será recordado, ese ímpetu que me incitó a continuar en la carrera y al día de hoy, muchas gracias ingeniero, por hacer de mi un geólogo.

Al ingeniero Arellano por tener paciencia, por compartir su saber, por labrar la piedra en bruto y mejorar ese empuje que se necesitaba, por esa vitalidad que lo caracteriza le estoy profundamente agradecido.

Al ingeniero Medina gracias por darme confianza, por ese espacio, por esa oportunidad de interactuar con mis símiles durante mi carrera, por que compartí lo poco que sabia.

A mis profesores, que me dejaron marcado para siempre, al Ing. Victoria, al M.C. Campos, al Dr. Silva, al Dr. Malpica, al Dr. Sánchez Zavala, al Dr. Aguayo y al M.C. Santillán, muchas gracias por dejar sus vivencias, su conocimiento y su paciencia para ser de mi un mejor geólogo.

Al Dr. Juan Rogelio que es un ejemplo de un gran geólogo, estoy agradecido por sus atinados y valiosos consejos.

Al Ingeniero Contreras por sus sugerencias y las platicas tan amenas.

A mis amigos Edgar, Oscar, Carlos, Claudio, Carlos "Truffo", Darío, Karina, Nash, Francisco, a ustedes que estuvieron conmigo, que reímos juntos, que lloramos juntos, que pasamos de todo, a ti Edgar que desde que cruzamos palabra sabíamos que ya todo estaba dicho, tu amistad es algo que valoro demasiado, a ti Oscar que siempre estuviste ahí cuando necesitaba de un consejo, a quien recurría para platicar mis preocupaciones, y tantas cosas que pasamos juntos que jamás olvidaré, a ti Carlos el "Apa" que desde hace tantos años que nos conocemos desde que teníamos la banda, que ratos tan agradables he pasado contigo, gracias por tu amistad, a ti Claudio que transitamos tantas cosas en la carrera, nuestras platicas, las desveladas y muchas cosas más, a ti Truffo que te considero un amigo, que estuvimos juntos en tantas aventuras, gracias por estar ahí, a ti Darío gracias por ese aprecio y por ese compañerismo, que vivimos tantos episodios gratos en la carrera, a ti Karina por que me encariñe contigo por todo lo que vivimos, y espero vivir más cosas, a ti Nash que siempre me hiciste reír por tu manera de ser, por que te aprecio muchísimo, a ti Paquito que me supiste ganar, por todas esas conversaciones que tuvimos, sé que vas a conquistar cualquier cosa en la vida.

A mis Coaches de Aceiteros, por que solo ahí se demuestra el carácter, que saben formar hombres de bien, gracias por encarrilarme en la vía del temple y la garra.

A tantos seres humanos que les agradezco profundamente su existencia y que directamente e indirectamente lograron que fuese mejor persona, gracias a Juan Carlos "Buzz", a María José, a Ricardo "Richi", a Esme, a Andrés, a Jorge, a Toño, al Ing. Higinio, al Ing. Natividad y a tantas personas que estuvieron a mi lado.

Agradecimientos

A mi Facultad de Ingeniería.

A mi Alma Mater la Universidad Nacional Autónoma de México.

"Encuéstrate a ti mismo, busca la inmortalidad con los actos, ama incondicionalmente y búscate en el firmamento"

Jorge Alberto Briseño Sotelo.

Agradecimientos

"Agradecemos a las autoridades académicas y administrativas de la Universidad del Mar, campus Puerto Escondido, por el apoyo otorgado durante las salidas a campo, en especial al Lic. Jose Luis Ramos Espinoza".

CARACTERÍSTICAS Y EVOLUCIÓN GEOLÓGICA DE LAS TERRAZAS COSTERAS DE PUERTO ESCONDIDO, OAXACA

RESUMEN.....	1
CAPÍTULO I. GENERALIDADES	
1.1 Introducción.....	3
1.2 Objetivo General.....	5
1.3 Metas.....	5
1.4 Ubicación.....	5
1.4.1 Zona de muestreo.....	7
1.5 Vías de comunicación.....	8
1.6 Fisiografía.....	10
1.6.1 Zona centro del área de estudio.....	11
1.6.2 Zona oeste del área de estudio.....	12
1.6.3 Zona este del área de estudio.....	13
1.6.4 Zona sureste del área de estudio.....	13
1.7 Hidrografía.....	14
1.7.1 Zona centro del área de estudio.....	15
1.7.2 Zona oeste del área de estudio.....	16
1.7.3 Zona este del área de estudio.....	16
1.7.4 Zona sureste del área de estudio.....	17
1.8 Metodología de trabajo.....	17
1.8.1 Cartografía.....	17
1.8.2 Trabajo en campo.....	19
1.8.3 Trabajo de gabinete.....	19
1.9 Trabajos antecedentes.....	20
CAPÍTULO II. SEDIMENTOLOGÍA	
2.1 Análisis Sedimentológico.....	26
2.2 Resultados Sedimentológicos de las muestras.....	32
2.2.1 Terraza Punta Colorada.....	32
2.2.2 Terraza Playa Coral.....	39
2.2.3 Terraza Capri.....	40
2.2.4 Arenas recientes.....	41
2.2.5 Valdeflores.....	42
2.3 Procedencia de arenas.....	44
2.3.1 Análisis de procedencia.....	45
A. Muestra Capri Cima.....	45
B. Muestra Carrizalillo.....	46
C. Muestra Colotepec.....	46
D. Muestra Conglomerado Colotepec.....	47
E. Muestra Terraza Playa Coral Base M1.....	47
F. Muestra Playa Coral Cima.....	48
G. Muestra Playa Coral MBφ.....	49
H. Muestra Arena de Playa Coral Reciente.....	49
I. Playa Coral B Acantilado.....	50
J. Muestra Arena de Playa Punta Colorada Reciente.....	51

ÍNDICE

K. Muestra Arena de Playa Zicatela Reciente.....	51
L. Muestra Localidad Valdeflores.....	52
2.4 Composición de arenas y contexto tectónico.....	53
CAPÍTULO III. ESTRATIGRAFÍA	
3.1 Estratigrafía Regional.....	56
3.1.1 Complejo Oaxaqueño.....	57
3.1.2 Complejo Xolapa.....	58
3.1.3 Formación Teposcolula.....	59
3.1.4 Formación Colotepec.....	60
3.1.5 Terrazas Costeras de Puerto Escondido.....	60
3.2 Estratigrafía Local.....	61
3.2.1 Terraza Punta Colorada.....	61
3.2.2 Terraza Capri.....	66
3.2.3 Terraza Playa Coral.....	68
3.2.4 Valdeflores.....	70
3.3 Correlación Estratigráfica.....	72
3.3 Características Paleontológicas.....	74
CAPÍTULO IV. ORIGEN Y EVOLUCIÓN TECTÓNICA	
4.1 Características de las Terrazas.....	77
4.2 Distribución de las Terrazas.....	77
4.3 Rasgos de las Terrazas.....	78
4.4 Origen de los Sedimentos.....	78
4.5 Geología Estructural.....	78
4.5.1 Roca Blanca.....	79
4.5.2 Playa Punta Colorada.....	81
4.5.3 Playa Carrizalillo.....	84
4.5.4 Playa Angelito.....	86
4.5.5 Playa Coral.....	88
4.5.6 Puente el Regadío.....	91
4.5.7 Playa Zicatela.....	92
4.5.8 Valdeflores.....	93
4.5.9 Agua Blanca.....	95
4.6 Marco Tectónico.....	96
4.7 Sismicidad.....	98
4.8 Evolución Tectónica.....	104
CAPÍTULO V. GEOLOGÍA ECONÓMICA	
5.1 Exploración Minera.....	109
5.2 Hidrogeología.....	110
5.3 Riesgo Geológico.....	111
CAPÍTULO VI. Conclusiones y Recomendaciones	114

ÍNDICE

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	117
APENDICE DE FOTOGRAFÍAS	126
APENDICE SEDIMENTOLÓGICO	146
APENDICE DE CONTENIDO PALEONTOLÓGICO	183

El estudio de las terrazas costeras permite definir eventos geológicos singulares en la historia de la Tierra, ya sean por variaciones del nivel del mar y/o eustáticas, movimiento relativo de las placas tectónicas, modificaciones climáticas globales o por su papel en la hidrogeología, ya que actúan como acuíferos en varias regiones situadas en el margen costero, tal como ocurre en la región de Puerto Escondido, Oaxaca.

En las costas de Oaxaca entre las comunidades de Roca Blanca, Puerto Escondido y Escobilla afloran arenas poco cohesivas en las terrazas costeras, las cuales se han formado a partir de sedimentos procedentes de los complejos metamórficos Oaxaqueño y Xolapa, como resultado de procesos de sedimentación y abrasión en donde se identificaron y describieron varios tipos de textura en los sedimentos de las terrazas, comprendidos desde gravas hasta arenas finas que varían de bien a mal clasificadas. Las terrazas costeras muestran una variación de los espesores a lo largo de la costa teniendo como máximo 28.13 m de espesor vertical, 300 m de manera transversal y no más de tres km de forma longitudinal, las cuales además se caracterizan por presentar poca pendiente, con sus bordes y escarpes verticales alineados a la costa, las cuales han progradado hacia el Pacífico desde la época Pleistocénica.

Con base en el análisis estructural y considerando los contrastes mineralógicos, sedimentológicos, estratigráficos y las condiciones tectónicas de las terrazas costeras de Puerto Escondido, Oaxaca, se propone que las mismas se formaron a partir de un levantamiento tectónico con influencia eustática, debido a la dinámica de las placas de Cocos y Norteamericana.

Resume

The study of the coastal terraces allow to define unique geologic events in the Earth history, whether sea-level variations, eustatic, tectonic plate relative movement, global climate changes or their role in hydrogeology as they act as aquifers in several regions along the coastal margin as occurs in the Puerto Escondido region.

On the coasts of Oaxaca between the communities of Roca Blanca, Puerto Escondido and Escobilla poor cohesive sands arise in the coastal terraces which have been formed from sediments originated by metamorphic Xolapa and Oaxaqueño complexes, as result of sedimentation and abrasion processes, identified and described various types of texture in the sediments of the terraces, ranging from gravel to fine sands which vary from well-sorted to poor-sorted. The coastal terraces shows a thickness variation throughout the coas having a maximum vertical thickness of 28.13 m, 300 m transversally and not more than 3 km lengthwise, which also characterized by low slope, with its edges and escarpments line up to the coast.

Based on structural analysis and considering the mineralogic, sedimentologic stratigraphic contrasts and tectonic conditions of the coastal terraces of Puerto Escondido, Oaxaca, it is proposed that these formed from a tectonic uplift due to the dynamics of Cocos and North American tectonic plates.

CAPÍTULO I

GENERALIDADES

1.1 Introducción

En algunos sectores de las costas de la región del Sur de México en el Océano Pacífico, afloran una serie de secuencias clásticas conocidas como terrazas, las que corresponden a terrazas costeras o litorales, las cuales se formaron a partir de diversos procesos geológicos en el Neógeno. La zona del Sur de México presenta peculiaridades geológicas debido a que existen diversos terrenos tectonoestratigráficos y a su vez varios complejos metamórficos; en la actualidad ocurre la subducción de la Placa de Cocos respecto a la Norteamericana. La tectónica del Plio-Cuaternario del Sur de México influye directamente en el depósito de las terrazas litorales, así como por los cambios eustáticos influenciados por glaciaciones.

Se busca sustentar con este trabajo la génesis y la evolución geológica de las terrazas costeras de Puerto Escondido, Oaxaca y como influye el dinamismo de las placas tectónicas actuales; así como la procedencia de los sedimentos y los procesos sedimentológicos que actuaron.

Una terraza es una superficie plana o ligeramente inclinada, estrecha y alargada, delimitada por cambios bruscos de pendiente. Se forman a partir de la depositación y acumulación de sedimentos, siendo el agua y el viento, el medio de transporte; en el caso del agua esta puede ser fluvial, lacustre o marina. Frecuentemente se pueden encontrar las terrazas en series, dispuestas en diferentes latitudes y altitudes, en este caso formando escalones (Lugo-Hubp *et al.*, 1989).

En la literatura geológica se han descrito distintos tipos de terrazas, que corresponden con:

- a) Terrazas fluviales, las cuales se forman en las laderas de los ríos.
- b) Terrazas glaciares, donde su acumulación está ligada a movimiento de masas de hielo asociadas a cambios climáticos globales, por lo que se asocian a procesos de ascenso o descenso del nivel del mar.
- c) Terrazas lacustres, donde los sedimentos en una cuenca endorreica se acumulan alrededor de los cuerpos de agua.
- d) Terrazas de kame, que suelen ser masas estrechas de derrubios estratificados depositados entre el glaciar y la ladera del valle.
- e) Terrazas marinas o costeras, que se forman como residuo de una superficie de abrasión o de acumulación de origen marino.(Fig.1.1).
- f) Terrazas poligenéticas, aquellas que pueden ser abrasivas, erosivas, mixtas o acumulativas en sus diferentes porciones y a su vez compartir diferentes terrazas de diferentes edades, pero con un mismo ciclo de erosión.
- g) Terrazas mixtas; donde los sedimentos tienen distintas procedencias ya sean fluviales, glaciares, lacustres, o marinas.



Fig.1.1 Terraza costera de Puerto Escondido, Oaxaca.

Por su origen, las terrazas pueden ser eustáticas o tectónicas, donde su génesis está ligada a cambios del nivel del mar y/o a movimientos de las grandes masas rocosas, respectivamente.

Este trabajo se enfoca en el análisis de las terrazas costeras, ya que su estudio permite definir eventos geológicos singulares en la historia de la Tierra, ya sean por variaciones del nivel del mar, el movimiento relativo de las placas tectónicas, modificaciones climáticas globales o por su papel en la hidrogeología, ya que actúan como acuíferos en varias regiones situadas en el margen costero.

La preservación de la terrazas costeras es permisible si la tasa de levantamiento tectónico y las variaciones glacioeustáticas son suficientes para gestar un levantamiento que sea superior a los niveles del mar establecidos (Quezada, J *et al.*, 2007).

1.2 Objetivo General

Explicar el origen y evolución geológica de las terrazas costeras de Puerto Escondido, Oaxaca, considerando aspectos sedimentológicos, estratigráficos, paleontológicos, estructurales y geomorfológicos.

Considerando la morfología y distribución de las terrazas costeras de Puerto Escondido, Oaxaca los objetivos específicos son:

- Realizar el análisis morfo-estructural de las terrazas costeras.
- Realizar la medición y correlación de columnas estratigráficas en las terrazas costeras.
- Estudiar los sistemas de fracturas en afloramientos de rocas en sitios próximos a las terrazas costeras.
- Describir el contenido paleontológico en los sedimentos que conforman las terrazas costeras.
- Interpretación de los cambios relativos del mar asociados a las terrazas costeras y sus condiciones tectónicas que influyen en su levantamiento.

1.3 Metas

- Elaborar un mapa geológico no exhaustivo de las terrazas costeras.
- Estudiar en el laboratorio los sedimentos de las terrazas costeras para realizar su caracterización sedimentológica.
- Interpretar las principales características climáticas en función de estudiar los fósiles que se encuentran en los sedimentos de las terrazas costeras.
- Elaboración de columnas estratigráficas y litológica.

1.4 Ubicación

El área de estudio se encuentra localizada en la costa de Puerto Escondido, Oaxaca, siguiendo la línea de costa, dentro de las coordenadas 15° 56' 23.64" de latitud norte y 97° 21' 42.42" de longitud oeste hasta 15° 43' 40.70" latitud norte y 96° 42' 34.80" longitud oeste (Fig. 1.2 , 1.3 y 1.4).

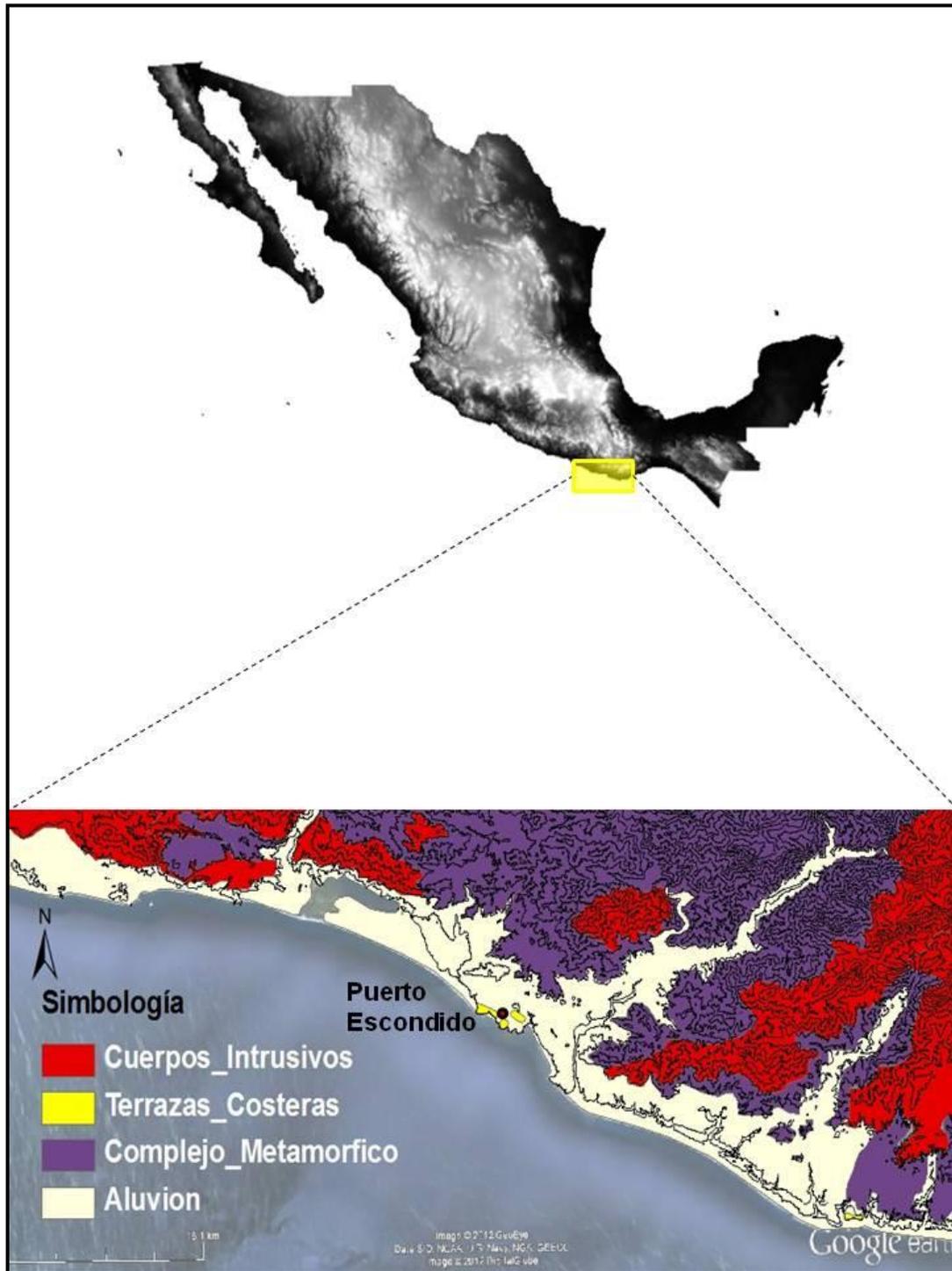


Fig. 1.2. Ubicación del área de estudio en la región de Puerto Escondido, Oaxaca (Modificado de INEGI y Google Earth, 2012)

1.4.1 Zona de muestro

Las zonas donde se realizaron muestreos se encuentran en las proximidades de Puerto Escondido, Oaxaca, en las siguientes localidades:

- 1) Playa Coral ($15^{\circ} 51' 44.2''$ N, $97^{\circ} 05' 4.5''$ W).
- 2) Punta Colorada al norte de Puerto Escondido, Oaxaca ($15^{\circ} 52' 11.4''$ N, $97^{\circ} 06' 12.6''$ W).
- 3) Capri en la zona centro de Puerto Escondido, Oaxaca ($15^{\circ}51'48.54''$ N, $97^{\circ} 3'44.21''$ W)
- 4) Valdeflores al este de Puerto Escondido, Oaxaca ($15^{\circ}46'1.03''$ N, $96^{\circ}50'52.91''$ W).



Fig. 1.3. Ubicación de las terrazas costeras de Puerto Escondido, Oaxaca (Tomado de Google Earth, 2012).

En estos sitios se efectuó la descripción de las terrazas costeras, litología, contenido paleontológico, medición de espesores, así como también el muestreo de sedimentos (Fig. 1.3).

Se realizaron caminamientos para conocer las características y distribución de las terrazas en las siguientes zonas: al sur de Puerto Escondido, Punta Zicatela, Río Colotepec ($15^{\circ} 50' 8.5''$ N y $97^{\circ} 01' 41.2''$ W), Agua Blanca ($15^{\circ} 44' 1.3$ N y con $96^{\circ} 48' 19.4''$ O); al norte Playa Roca Blanca, y en la parte centro Playa Angelito, Playa Manzanillo, Playa Carrizalillo (Fig. 1.4); de las cuales solamente se obtuvieron descripciones de afloramientos y datos estructurales.



Fig. 1. 4 Imagen de la Sierra Madre del Sur y ubicación de sitios estudiados en las terrazas de la Región de Puerto Escondido, Oaxaca (Modificado de Google Earth, 2012)

1.5 Vías de Comunicación

Para arribar a la zona de estudio existen dos rutas diferentes partiendo desde la Ciudad de México. La primera pasando por los estados de Morelos y Guerrero para llegar finalmente al estado de Oaxaca, utilizando las carreteras federales: México 95D y México 200, pasando por el entronque Oacotepec, Cuernavaca-Polvorín, Puente de Ixtla, Tierra Colorada, La venta, Tres Palos, etc; como detalla en la tabla 1.1 y se muestra en la Fig. 1.5

Ruta de Pirámide Cuicuilco (Perisur), Distrito Federal a Puerto Escondido, Oaxaca				
Nombre	Edo.	Carretera	Long.(km)	Tiempo(Hrs)
Av. Insurgentes (Pirámide Cuicuilco - Monum. al Caminero)	DF	Zona Urbana	4.300	00:12
Monumento al Caminero - Entronque Ocoatepec	Mor	Mex 095D	61.340	00:33
Entronque Cuernavaca - Entronque El Polvorín	Mor	Mex 095	21.000	00:12
Lib. de Cuernavaca (Ent. El Polvorín) - Ent. Puente de Ixtla	Mor	Mex 095D	29.040	00:15
Entronque Puente de Ixtla - Chilpancingo	Gro	Mex 095D	142.920	01:17
Chilpancingo - Entronque Tierra Colorada	Gro	Mex 095D	53.070	00:28
Entronque Tierra Colorada - La Venta	Gro	Mex 095D	47.550	00:25
La Venta - Tres Palos	Gro	Mex 095D	16.000	00:08
Tres Palos - Puerto Escondido	Gro,Oax	Mex 200	382.000	05:00
Totales			757.220	08:36

Tabla 1.1. Detalle de la ruta para llegar a la región de Puerto Escondido, Oaxaca (Tomada de SCT, 2012).

CAPÍTULO I. GENERALIDADES



Fig. 1.5. Ruta de Llegada a Puerto Escondido, Oaxaca (Modificado de Google Earth, 2012).

La segunda ruta de acceso (Tabla 1.2 y Fig. 1.6) es por los Estados de Puebla y Oaxaca, utilizando las carreteras federales: México 150D, México 135D y México 150, pasando por el entronque: San Martín Texmelucan, Puebla, Acatzingo, Cuacnopalan, Tehuacán, San José Miahuatlán, Nochixtlán dentro del estado de Puebla; así como San Pablo Etla, Oaxaca, Ejido Zapata, Agua Blanca, Ayoquezco, San Martín Lachilá, San Miguel Sola de Vega, San Pedro Juchatengo, Juquila, San Gabriel Mixtepec, San Pedro Mixtepec y finalmente Puerto Escondido, en el Estado de Oaxaca.



Fig. 1.6 Ruta 2 de llegada a Puerto Escondido, Oaxaca (Modificada de Google Earth, 2012).

CAPÍTULO I. GENERALIDADES

Ruta de Pirámide Cuicuilco (Perisur) a Puerto Escondido, Oaxaca Pasando por: Tehuacán, Puebla y Oaxaca, Oaxaca				
Nombre	Edo.	Carretera	Long. (km)	
Av. Insurgentes (Periférico - Glorieta Manacar)	DF	Zona Urbana	7.400	
Circulo Interior (Glorieta Manacar - Churubusco)	DF	Zona Urbana	4.600	
Circulo Interior (Churubusco - Av. Ermita-Ixtapalapa)	DF	Zona Urbana	1.300	
Calz. Ermita-Ixtapalapa (Circulo Interior - Periférico)	DF	Zona Urbana	4.500	
Calz. Ermita-Ixtapalapa (Periférico - Santa Martha Acatlilla)	DF	Zona Urbana	7.500	
Santa Martha Acatlilla - Entronque San Martín Texmelucan	Pue	Mex 1500	74.755	
Entronque San Martín Texmelucan - Entronque Puebla	Pue	Mex 1500	32.000	
Entronque Puebla - Entronque Acatzingo	Pue	Mex 1500	42.270	
Entronque Acatzingo - Cuacnopalan	Pue	Mex 1500	37.000	
Cuacnopalan - Entronque Tehuacán	Pue	Mex 1350	41.100	
Entronque Tehuacán - Tehuacán	Pue	Mex 150	6.000	
			SubTotal	258.430
Tehuacán - Entronque Tehuacán	Pue	Mex 150	6.000	
Entronque Tehuacán - San José Miahuatlán	Pue	Mex 1350	30.370	
San José Miahuatlán - Entronque Nochixtlán	Oax	Mex 1350	108.540	
Entronque Nochixtlán - San Pablo Etla	Oax	Mex 1350	76.000	
San Pablo Etla - Oaxaca	Oax	Zona Urbana	8.000	
			SubTotal	228.910
Oaxaca - Ejido Zapata	Oax	Mex 175	19.000	
Ejido Zapata - Zimatlán	Oax	Mex 131	12.000	
Zimatlán - Agua Blanca	Oax	Mex 131	15.000	
Agua Blanca - Ayoquezaco	Oax	Mex 131	12.000	
Ayoquezaco - San Martín Lachilá	Oax	Mex 131	15.000	
San Martín Lachilá - San Miguel Sola de Vega	Oax	Mex 131	24.000	
San Miguel Sola de Vega - San Pedro Juchateango	Oax	Oax 131	50.000	
San Pedro Juchateango - Entronque Juquila	Oax	Oax 131	19.000	
Entronque Juquila - San Gabriel Mixtepec	Oax	Oax 131	52.000	
San Gabriel Mixtepec - San Pedro Mixtepec	Oax	Oax 131	27.000	
San Pedro Mixtepec - Puerto Escondido	Oax	Oax 131	18.000	
			SubTotal	261.000
			Totales	748.340

Tabla 1.2. Detalle de la ruta 2 para llegar a Puerto Escondido, Oaxaca (Tomado de SCT, 2012).

1.6 Fisiografía

La región de Puerto Escondido, Oaxaca, se encuentra ubicada dentro de la subprovincia Flancos o Costa del Sur, perteneciente a la Provincia Fisiográfica Sierra Madre del Sur, la cual limita al norte con la Faja Volcánica Transmexicana, al este con la Llanura Costera del Golfo Sur, las Sierras de Chiapas y la Llanura Costera Centroamericana del Pacífico, y al sur con el Océano Pacífico (INEGI, 2012) (Fig.1.7).

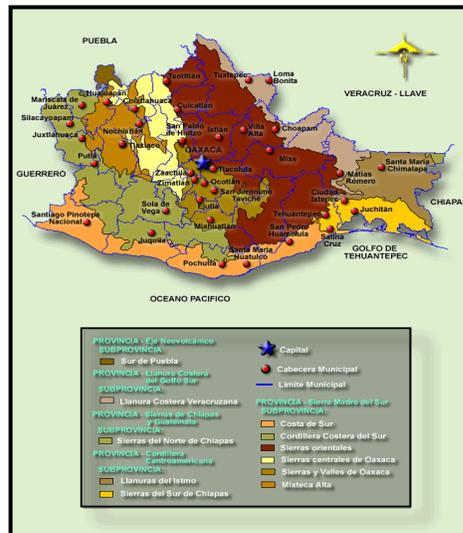


Fig.1.7. Mapa Regional Fisiográfico de Oaxaca (Modificado de INEGI, 2012)

En la zona de estudio se realizó una descripción geomorfológica a partir de los mapas topográficos de INEGI (D14B15, D14B16, D14B17 y D14B27 a escala 1:50 000) e imágenes satelitales por medio de Google Earth (Fig. 1.8).



Fig. 1.8 Mapa Fisiográfico que representa la zona oeste, centro, este y sureste de la zona de estudio.

1.6.1 Zona centro del área de estudio

En la parte centro de la región de Puerto Escondido, Oaxaca se encuentran superficies denudativo-erosivas, lomeríos con escarpes con altitudes de 600 y 100 metros sobre el nivel del mar, onduladas; en la parte centro-noroeste, se encuentran lomeríos con superficies estructurales erosivo-denudativas, escalonadas en niveles, con pendientes más suaves y superficies planas, y finalmente, las partes centro-sur y centro-suroeste se caracteriza por presentar superficies estructurales denudativo-acumulativas muy bajas, de planos de inundación y pantanosas. Algunos de los lomeríos presentan una pendiente muy baja, con una altitud máxima de 100 metros y exhiben una orientación este-oeste. (Fig. 1.9).

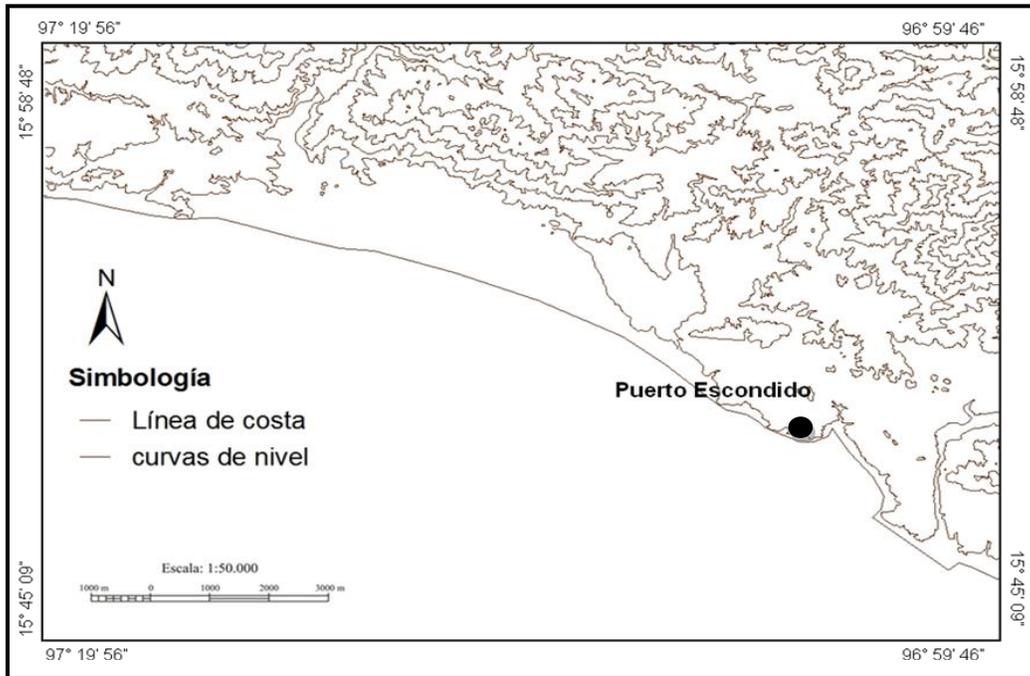


Fig. 1.9 Mapa Fisiográfico local de la zona Centro dentro del área de estudio (Tomado de INEGI, 2012)

1.6.2 Zona oeste del área de estudio

Se encuentran lomeríos (Fig. 1.10) con superficies estructurales erosivo-acumulativas, con pendientes suaves, con planicies de inundación.

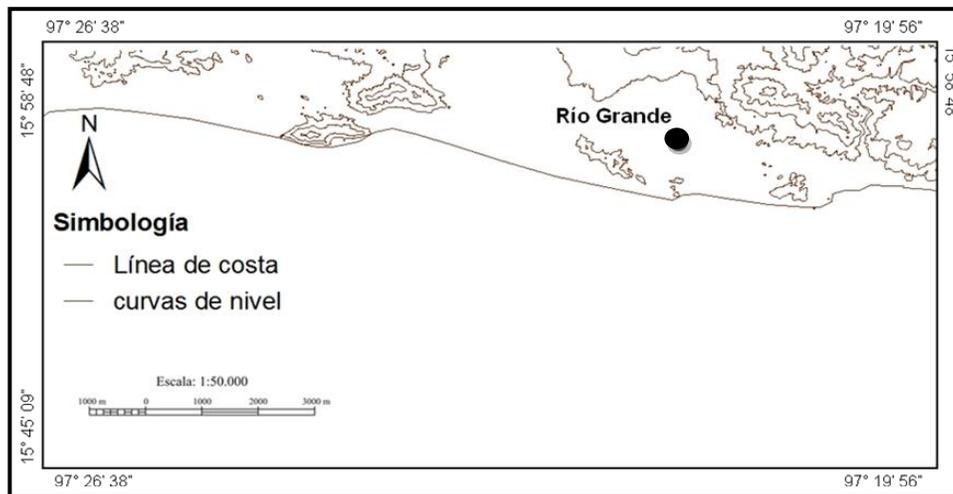


Fig. 1.10. Mapa Fisiográfico local de la zona oeste dentro del área de estudio (Tomado de INEGI, 2012)

1.6.3 Zona este del área de estudio

En general, se caracteriza por lomeríos con superficies estructurales denudativa-erosivas, en cadenas mesiformes, con una densidad moderadamente erosiva, fuertemente diseccionadas y escarpes moderados, con altitudes de 700 a 300 metros, algunos de éstos con parteaguas lineales; en parte sur se tienen planicies fluvio-lacustres con superficies acumulativas muy bajas, planas y pantanosas. (Fig. 1.11).

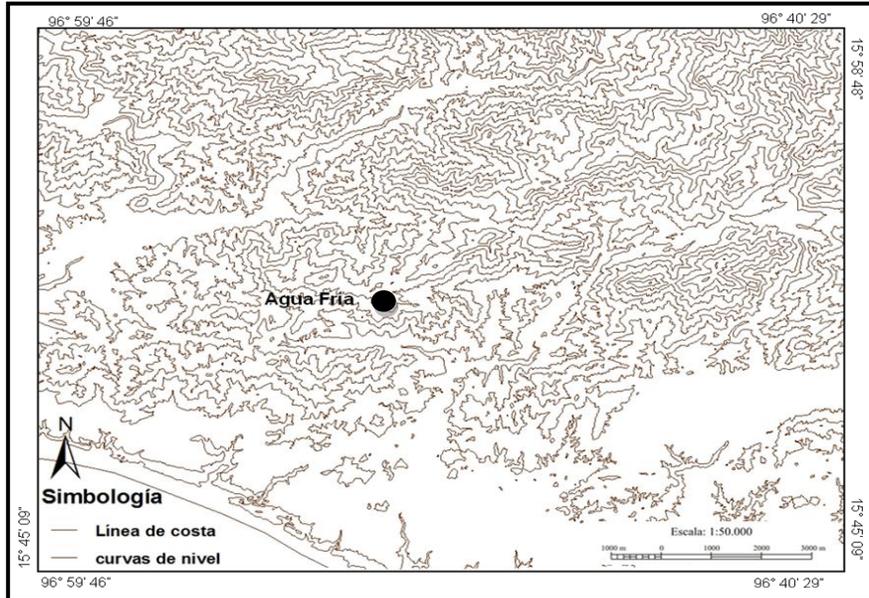


Fig. 1.11. Mapa Fisiográfico local de la zona este dentro del área de estudio (Tomado de INEGI, 2012)

1.6.4 Zona sureste del área de estudio

En la parte sureste de la región aparecen pocos lomeríos orientados este-oeste, ondulados con altitudes de 100 metros, y planicies fluvio-lacustres con superficies acumulativas, con planos de inundación; en la parte este se tienen superficies planas, escalonadas en niveles con pendiente baja moderadamente diseccionadas, además de presentar zonas de planicies (Fig. 1.12).

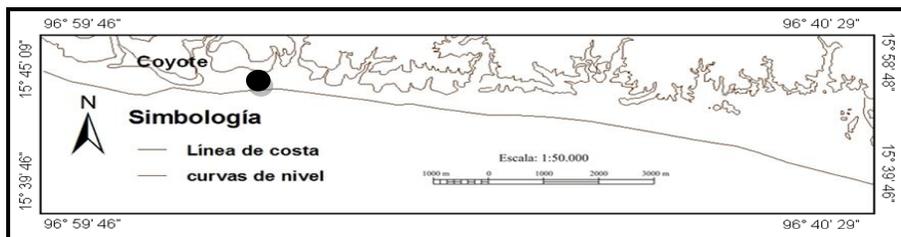


Fig. 1.12. Mapa Fisiográfico local de la zona sureste dentro del área de estudio (Tomado de INEGI, 2012)

1.7 Hidrografía

La región hidrológica (Fig. 1.13) en la que se encuentran las terrazas costeras de Puerto Escondido se localizan dentro del estado de Oaxaca, perteneciente a la vertiente del Océano Pacífico dentro de la región hidrológica Costa de Oaxaca; incluye áreas pertenecientes a los distritos de Juquila, Pochutla, Miahuatlán, Yutepec y Tehuantepec, abarcando el 10.61% de la superficie estatal. Se trata de una región bien definida desde el punto de vista hidrológico, ya que comprende una franja de la costa que abarca desde la desembocadura del Río Atoyac-Verde hasta la desembocadura del Río Tehuantepec; como consecuencia de una vertiente directa, presenta vertientes de longitud corta con desarrollo de una red compleja de drenaje tipo dendrítico y en ocasiones subparalelo; la mayor parte de la red fluvial está integrada por arroyos de tipo torrencial que bajan de la Sierra Madre del Sur. La región hidrológica de la zona de estudio está formada por las cuencas Río Astata, Río Copalita y Río Colotepec.



Fig. 1.13. Regiones hidrológicas de Oaxaca. (Modificada de INEGI, 2012).

Cuenca del Río Colotepec, esta cuenca se localiza en los distritos de Juquila, Pochutla y Miahuatlán. En promedio se registran precipitaciones totales anuales del orden de 1,300 mm en verano, que significa un volumen de 4,868.5 Mm³. Destaca el Río Colotepec y el Río Manialtepec, además de las lagunas de Chacahua, Manialtepec, Lagartero y Pastoría (INEGI, 2012).

En general se dividen las zonas en:

- ❖ Zona Centro
- ❖ Zona Oeste
- ❖ Zona Este
- ❖ Zona Sureste

1.7.1 Zona centro del área de estudio

La zona (Fig. 1.14) se caracteriza por presentar un drenaje dendrítico con una convergencia hacia su parte más al sur con drenaje paralelo con cambios de dirección este-oeste.

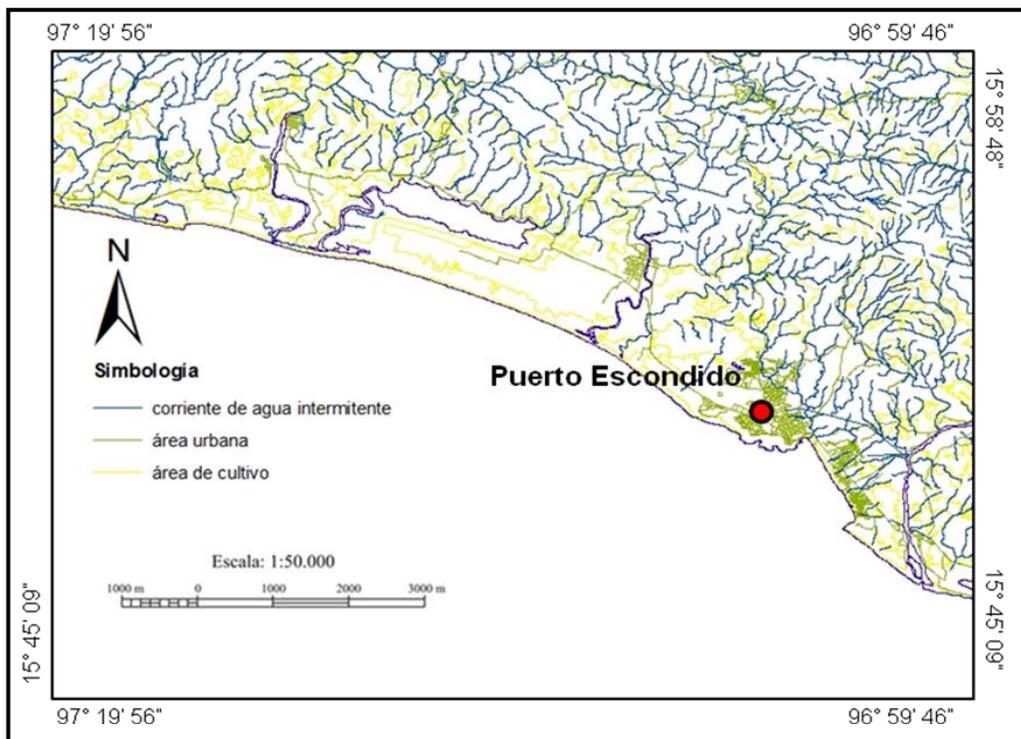


Fig. 1.14. Mapa Hidrológico de la zona centro del área de estudio (Tomado de INEGI, 2012)

1.7.2 Zona este del área de estudio

La zona exhibe afluentes que son fuertemente dendríticos a subparalelos (Fig. 1.15).

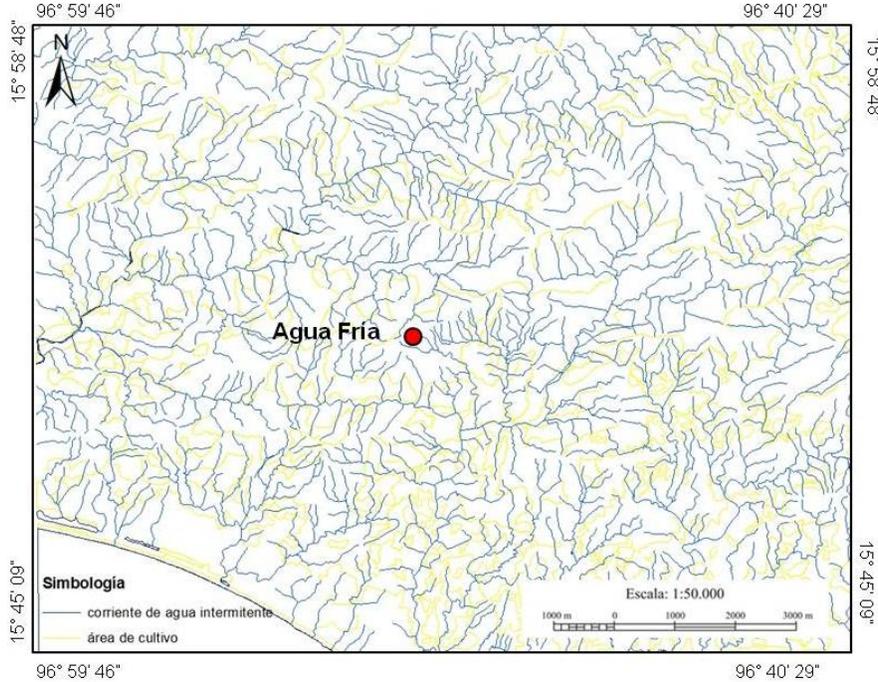


Fig. 1.15 Mapa Hidrológico de la zona centro-este del área de estudio (Tomado de INEGI, 2012).

1.7.3 Zona oeste del área de estudio

En esta parte el patrón se caracteriza por presentar paralelismo entre sus afluentes principales con ángulos rectos y conexiones cortas entre los mismos (Fig. 1.16).

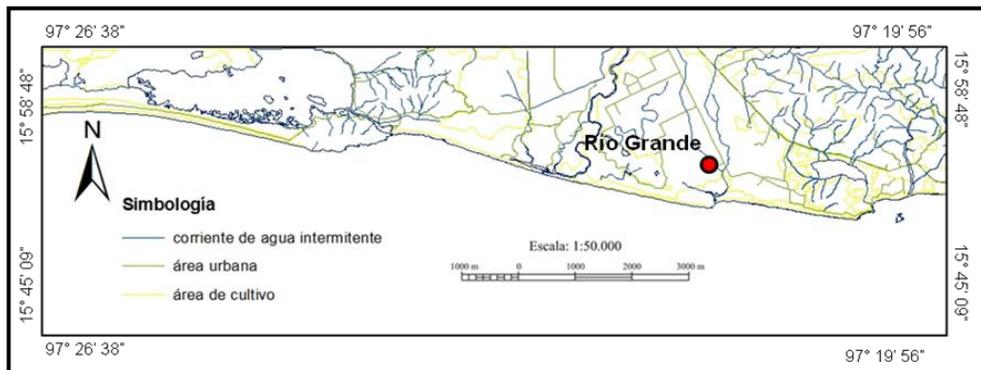


Fig. 1.16 Mapa Hidrológico de la zona centro-oeste del área de estudio (Tomado de INEGI, 2012).

1.7.4 Zona sureste del área de estudio

Los afluentes se caracterizan debido a que tienen una dirección definida por la pendiente regional del terreno, con una combinación de patrón dendrítico y al sur más paralelo (Fig. 1.17).

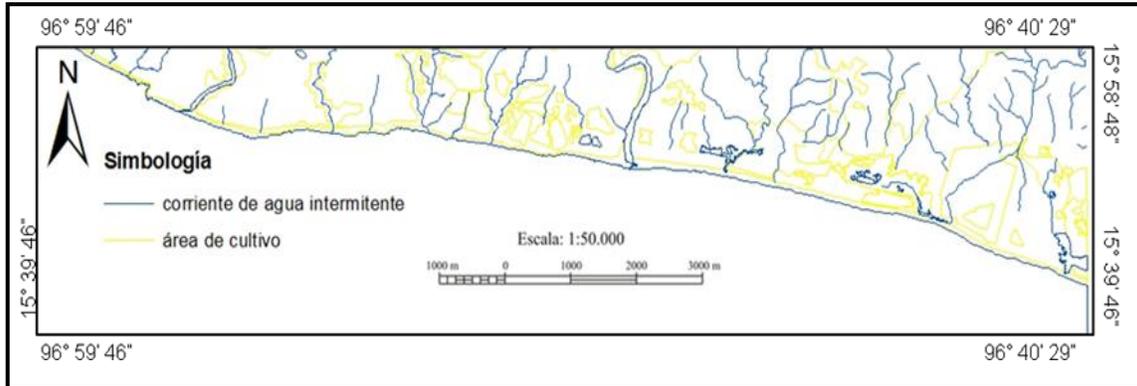


Fig. 1.17. Mapa Hidrológico de la zona sureste del área de estudio (tomado de INEGI, 2012).

1.8 Metodología de Trabajo

1.8.1 Cartografía

Tomando como base las cartas topográficas de Puerto Escondido, Oaxaca (D14B15, D14B16, D14B17 y D14B27), a escala 1:50 000, el mapa de elevación de la zona publicado por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), la carta geológica- minera de Puerto Escondido (D14-3), publicada por el Servicio Geológico Mexicano (SGM); así como el trabajo de campo, en el que se tomó información de varias localidades, se elaboró la cartografía geológica del área de estudio. (fig. 1.18).

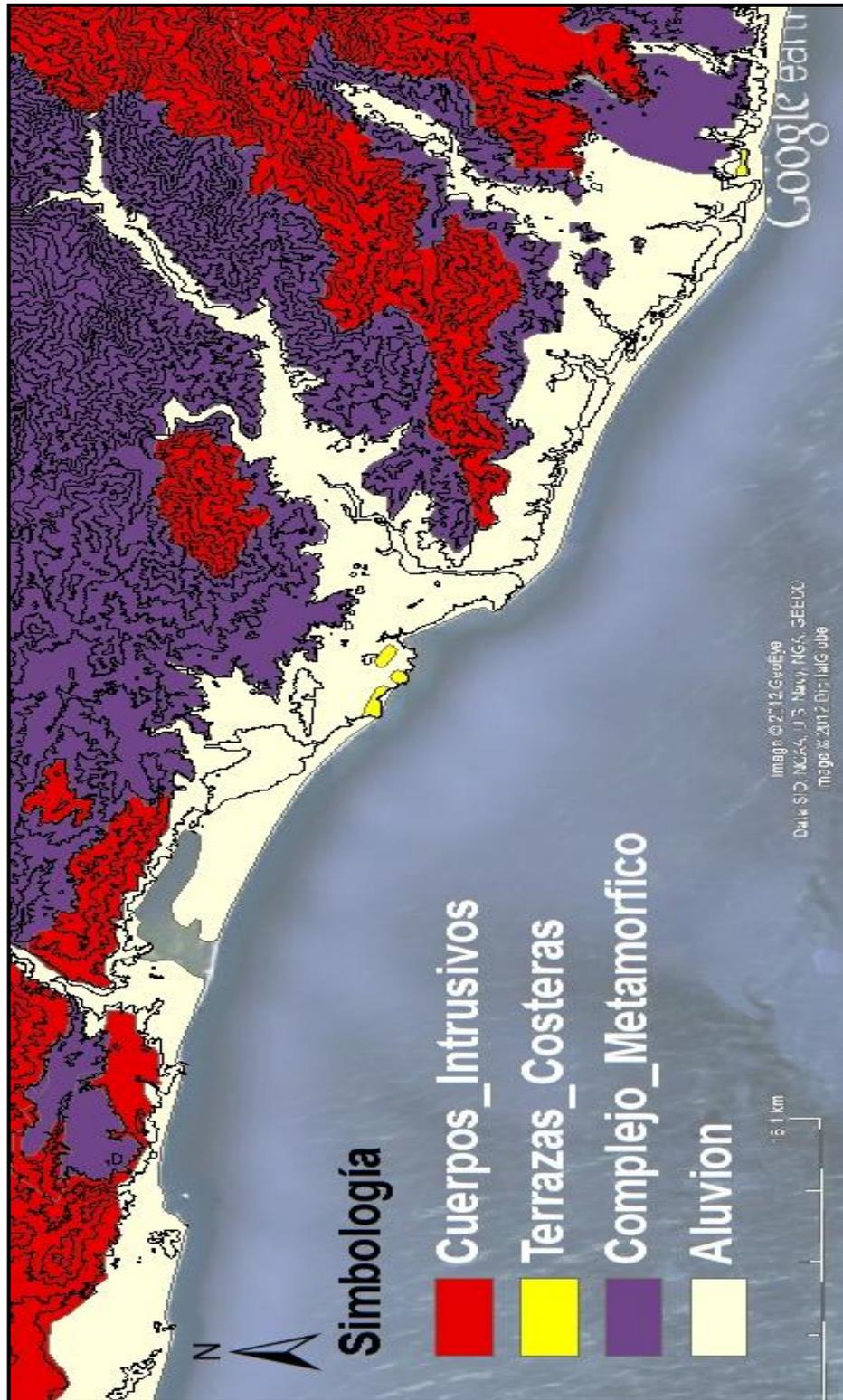


Fig. 1.18 Cartografía geológica 1:50 000 de la zona de estudio.

1.8.2 Trabajo en campo

Inicialmente se realizó un recorrido por el área de las terrazas costeras en la Ciudad de Puerto Escondido, Oaxaca y zonas próximas, para reconocer sus características y distribución.

Se eligieron sitios donde fueron medidas cuatro columnas estratigráficas (Fig.1.19), realizando un levantamiento y análisis sistemático, así como un muestreo a detalle cada 50 cm de espesor; considerando la información de los sitios próximos; mediante correlación estratigráfica se pudo construir una columna estratigráfica propuesta.

De los afloramientos próximos a las terrazas costeras en las rocas cristalinas del complejo Xolapa, se realizaron levantamientos de rumbos y echados de fracturas y fallas; así como su descripción litológica y el tipo de arreglo; el cual se encuentra ubicado dentro de Apéndice I fotografías de campo (Fig. A1 a Fig. A71)



Fig. 1.19. Medición de la Columna en la localidad de Punta Colorada. Puerto Escondido, Oaxaca

1.8.3 Trabajo de Gabinete

Las muestras no consolidadas recolectadas de las terrazas costeras, así como muestras de arena de playas actuales, fueron procesadas en el laboratorio de metalurgia de la Facultad de Ingeniería, de la UNAM; se estudiaron 15 muestras considerando el tipo de sedimento; muestras que posteriormente fueron

examinadas por medio del microscopio estereoscópico, describiendo sus principales características (color, composición mineralógica, textura, redondez).

Se realizaron 19 láminas delgadas de muestras de rocas y arenas recolectadas en campo, analizándose posteriormente en el microscopio petrográfico, determinando su composición mineralógica y su textura con lo que se pudo establecer su clasificación.

Se realizó un mapa de pendientes por medio de la METABASE proporcionada por el INEGI (D14-3).

Utilizando el software OpenStereo se realizó un análisis detallado de la orientación de las fracturas (rumbos y echados), para interpretar la dirección de los esfuerzos que las originaron.

1.9 Trabajos Antecedentes

Dentro de la bibliografía se tomaron en cuenta 21 trabajos antecedentes, muchos de ellos no se encuentran relacionados con el área de estudio, ya que al no existir información específica regionalmente se recurrió a otras fuentes que tratan sobre la génesis y morfología de las terrazas costeras.

Palmer *et al.* (1936), realizaron una recolección y determinación de moluscos del Pleistoceno conservados a lo largo de la costa de Oaxaca, México, con el fin de describir todas las especies presentes en el área, además de proponer formalmente la unidad pleistocénica como Formación Colotepec.

Palmer (1928), elaboró una descripción de los arrecifes y corales recientes a través del litoral del Pacífico en las costas de Oaxaca, México, efectuando la descripción de tres nuevas especies cerca de las localidades de Puerto Angel y Puerto Escondido, las cuales son *Astrangia Browni* n. sp., *Astrangia oaxacensis* n. sp. y *Pocillopora palmata* n. sp.

Ortlieb (1978), elaboró un trabajo de reconocimiento de las terrazas marinas en la parte central de Baja California, en donde considera que las terrazas someras de entre 5 a 15 metros de altura sobre el nivel del mar, se formaron por una transgresión marina y en las terrazas de mayor altura de entre 30 a 130 metros se formaron por levantamientos tectónicos regionales y/o locales, por lo que se encuentran ligeramente inclinadas y basculadas.

Malpica-Cruz *et al.* (1978), realizaron el estudio de terrazas marinas por transgresiones cuaternarias en la costa de Sonora, donde observaron dos grupos

de depósitos marinos en gran parte de la región de Guaymas-Puerto Peñasco, que pertenecen a dos eventos; el primero corresponde al periodo interglacial Sangamoniano y el otro es del Pleistoceno, las cuales se caracterizaron por un incremento en el nivel del mar de 5 y 10 metros respectivamente.

Ortlieb (1979), expone que el estudio de las terrazas marinas del Neógeno son los mejores indicadores para explicar la deformación vertical de la región del Golfo de Baja California, teniendo los elementos de edad de las terrazas, así como la sucesión de fósiles y las capas remanentes que indican una transgresión marina.

Carranza-Edwards (1980), estudió y analizó sedimentos superficiales en ambientes fluvial, lagunar deltáico, lagunar, de duna y barreras de playa en la llanura costera del sur del Istmo de Tehuantepec, para determinar atributos sedimentológicos con el fin de obtener concentraciones químicas con implicaciones económicas.

Woods (1980), realizó un trabajo que consiste en el estudio de tres terrazas pleistocénicas en Baja California, entre las Playas de El Marrón y el Arroyo El Salinito, con un fechamiento que dio como resultado 120,000 mil años; el autor realiza un análisis geomorfológico y de deformación de la zona complementando con la datación; llegó la conclusión de que la generación de la terrazas de debe a la generación de esfuerzos como consecuencia del movimiento de las placas tectónicas.

Durham et al. (1981), procedieron a realizar un reconocimiento a lo largo de la costa del suroeste de México, detallando la presencia de siete secuencias sedimentarias cenozoicas no reportadas formalmente; todas éstas con un sustento paleontológico.

Corona-Esquivel *et al.* (1988), realizaron un reconocimiento a lo largo de la costa del Pacífico comprendido desde Playa de Tizupan, Michoacán a Zihuatanejo, Guerrero para establecer el levantamiento que sufrió la costa, como consecuencia de los terremotos del 19 y 20 de Septiembre de 1985 con una magnitud de 8.1 Ms y 7.5 Ms respectivamente, comparando el nivel de una franja blanca horizontal marcadas en las costas acantiladas constituidas por organismos sésiles muertos; de esta manera concluyen que en promedio hubo un levantamiento de 50 cm por los sismos y así mismo finalizan con la hipótesis de que el desarrollo de terrazas de erosión marina sugiere levantamientos tectónicos reiterados a lo largo de la costa por miles de años.

Schulze (1988), (Tesis Profesional), realizó un extenso análisis estratigráfico y metalogenético de todas las formaciones del estado de Oaxaca, haciendo la descripción de cada una de ellas, así como su datación, evolución y tectonismo.

Describe unidades sedimentarias en el área de Puerto Escondido de areniscas, conglomerados y coquinas, como parte de la cobertura del Complejo Xolapa.

Pedrin-Avilés *et al.* (1990), efectuaron el análisis de la estratigrafía del Pleistoceno Superior y Holoceno en la laguna de Balandra en Baja California Sur, con base al método de la serie de uranio y de carbono 14, dataron cuatro terrazas marinas y llegaron a la deducción de que los estratos que construyen las terrazas son resultado de procesos alternados de avance y retroceso de la línea de costa, debido a aporte sedimentario y por cambios eustáticos o tectónicos.

Brad Pillans (1990), estudió las terrazas marinas de Nueva Zelanda centrándose en la relación con la secuencia mediterránea y el modelo de la cuarta glaciación; donde ha habido cambios apreciables de la deformación tectónica. La preservación de terrazas marinas del Pleistoceno se encuentran en zonas tectónicamente levantadas, dependiendo del tipo de litología o de procesos de erosión fluvial, marina o glacial.

Muhs *et al.* (1992), realizaron un estudio a lo largo de toda la Costa del Pacífico de Norte América desde el Sur de Oregón hasta Baja California Sur, en donde dataron las terrazas marinas del Neógeno con el fin de determinar el nivel de levantamiento de la costa, reportando una tasa de levantamiento de la zona de Cascadia de entre 0.45 a 1.08 metros cada mil años; el sitio estudiado se encuentra al oeste de la Falla de San Andrés, zona que tiene una tasa de levantamiento entre 0.15 a 0.35 metros cada mil años y concluyen que la zona de Baja California ha sufrido un levantamiento escaso o nulo.

Paskoff (1999), realizó un estudio sobre las terrazas del Paleógeno marino del centro y norte de Chile, donde existen secuencias de terrazas litorales escalonadas para determinar sus edades fueron utilizados diferentes métodos radiométricos y geoquímicos. Debido a que el método cronológico basado en paleontología no funcionó para la datación relativa de terrazas marinas en Chile, se emplearon los métodos U/TH y ESR de aminoácidos. Concluyen que las variaciones glacioeustáticas del nivel del mar han sido el factor principal que originó a las terrazas; también se puede considerar que la sumersión de la terrazas más bajas se formaron cuando ocurrió la última época interglacial (125,000 años).

Ramírez-Herrera y Urrutía-Fucugauchi (1999), realizaron un análisis morfotectónico de la costa del Pacífico al Sur de México, en donde describen que existe una variación en todo el margen de la costa de tipo tectónico y sísmico, para la cual estudiaron las diferentes zonas morfotectónicas del Sur, entre las que se encuentran las zonas de Jalisco, Colima, Michoacán, Guerrero, Oaxaca y Tehuantepec; en estas zonas relacionan e identifican rasgos morfológicos como las terrazas marinas, terrazas fluviales, con parámetros que indican levantamiento

y elevación del terreno, lo que trajo como consecuencia que la acción de las olas realizaran cortes en la plataforma; además refieren que el estudio detallado de estos rasgos provee de información acerca de la relación entre la geometría de la zona de subducción y la morfología del margen de la costa y como consecuencia proporciona elementos para explicar los cambios del nivel del mar, la dinámica de la tectónica de placas, así como los efectos de los terremotos potenciales a lo largo de la zona de subducción de México.

Jonhson *et al.* (2001), determinan que los cambios de la línea de costa del Plioceno-Pleistoceno del Golfo de California en la Bahía de la Concepción, son consecuencia de una serie de eventos tectónicos, representados por dos patrones depositacionales de transgresiones marinas sustentado en el análisis de estratigrafía de secuencias, evidencias de fósiles y terrazas marinas.

Morán-Zenteno *et al.* (2005), realizan un estudio estructural y estratigráfico cenozoico del sur de México, donde describen la evolución caracterizada por eventos de deformación orogénica, seguidos por truncamientos de la margen continental y extinción gradual del magmatismo del arco en la Sierra Madre del Sur antes del desarrollo de la Faja Volcánica Transmexicana. De acuerdo con modelos sísmicos a lo largo de la costa del oriente de Guerrero y Oaxaca interpretan un contacto de la base de la corteza con el segmento subducido de la Placa de Cocos hasta 100 km.

Tolson (2005), realizó un estudio relacionado con la falla Chacalapa, reportando que a lo largo de la costa de Oaxaca entre Puerto Angel y Santiago Atasta, afloran rocas metamórficas del Complejo Xolapa intrusionadas por rocas ígneas del Paleógeno al Mioceno sin metamorfismo regional, ambas en contacto tectónico a lo a largo de zonas de cizalla en rocas proterozoicas del Complejo Oaxaqueño y en rocas sedimentarias mesozoicas discordantes que sobreyacen a los gneises.

Quezada *et al.* (2007), desarrollaron una metodología en el uso de edades de exposición de clastos de cuarzo de Ne^{21} de origen cosmogénico en la terraza costera de Caldera-Bahía Inglesa, al Norte de Chile la cual se encuentra a una altura de 200 metros sobre el nivel del mar y tiene un fechamiento de 860,000 años; los autores refieren que la terraza pudo haberse formado en varios posibles estadios de movilidad, con tasas de levantamiento de 32 a 23 milímetros por año, además proponen que la tasa de levantamiento tuvo una aceleración en la segunda mitad del Pleistoceno, concluyendo que la existencia de la terraza es por un levantamiento regional originado por la convergencia de las placas tectónicas de Nazca y Sudamericana y donde se tiene una zona de subducción.

Ramírez-Herrera *et al.* (2011), consideran que el estudio de los sismos y tsunamis a lo largo de la costa del Pacífico de México son marcadores de cambios tectónicos, esto debido a la intensa actividad sísmica en donde los cambios del

CAPÍTULO I. GENERALIDADES

nivel del mar se produjeron por grandes sismos, encontrándose evidencia de ello en las lagunas formadas en la costa de Guerrero, para lo cual el autor afirma que se necesitarían más estudios acerca de la sismicidad.

CAPÍTULO II

SEDIMENTOLOGÍA

2.1 Análisis Sedimentológico

Se llevó a cabo un análisis sedimentológico a los sedimentos de las terrazas costeras de Puerto Escondido, Oaxaca, realizando una recolección de muestras en las terrazas Punta Colorada, Playa Coral y Terraza Capri cada 50 cm aproximadamente en sentido vertical, para determinar con detalle y precisión la composición y características sedimentológicas de las terrazas costeras (Fig. 2.1)



Fig. 2.1 Muestreo en la Terraza Playa Coral, Puerto Escondido, Oaxaca.

Las pruebas sedimentológicas se realizaron en el laboratorio de Metalurgia, de la Facultad de Ingeniería, de la Universidad Nacional Autónoma de México, con la finalidad de obtener la distribución por tamaño de las partículas, caracterizar texturalmente las muestras de sedimento e interpretar los procesos de sedimentación.

Para realizar las pruebas granulométricas se utilizó la siguiente metodología:

1. Se seleccionaron los tamices normalizados y numerados (-1, 0, 1, 2, 3, 4 ϕ), colocados en orden decreciente; para obtener la distribución de tamaño de los sedimentos.
2. Se realizó un secado a cada muestra dentro de un horno a una temperatura inferior a 60°C, aproximadamente por 30 minutos.
3. Se homogenizó el total de la muestra por medio de un cuarteo (Fig. 2.2).

4. En la báscula digital se pesaron 100 gramos de la muestra tomados como peso inicial, posteriormente se vertieron en los tamices, con el fin de separar las partículas dependiendo su tamaño, colocando los tamices en un agitador de tamices ROT-TAP (Fig. 2.3), durante un lapso de 10 minutos.



Fig. 2.2. Preparación de una muestra en el laboratorio (homogenizada y cuarteada).



Fig.2.3 ROT-TAP con serie de tamices.

5. Se pesaron en la báscula los sedimentos retenidos en cada tamiz. (Fig. 2.4).

6. Se obtuvo el peso final para cada muestra, teniendo como margen de error de 0 a 1% aproximadamente por cada caso.



Fig. 2.4 Peso de muestra en báscula digital

CAPÍTULO II. SEDIMENTOLOGÍA

Posteriormente, para cada una de las muestras de las terrazas Punta Colorada, Playa Coral y Terraza Capri, se realizó el procedimiento para obtener los datos estadísticos dentro del análisis granulométrico.

De los resultados obtenidos por medio del tamizado se registró el porcentaje (%) acumulado, dado el porcentaje (%) en peso de cada fracción de ϕ obtenido durante el tamizado.

A continuación se construyeron histogramas (tamaño ϕ vs. % del peso individual), los cuales representan la distribución gráfica de las partículas en escala aritmética. Se construyeron las curvas de probabilidad (Tamaño ϕ vs. % Frecuencia Acumulada), en la cual se determinaron los percentiles y cuartiles: ϕ_5 , ϕ_{16} , ϕ_{25} , ϕ_{50} , ϕ_{75} , ϕ_{95} , utilizados en las expresiones donde se calcularon los siguientes parámetros:

a) Moda (M_o) de la muestra analizada representada por el mayor porcentaje de la curva de frecuencia, indicando el nombre de la granulometría.

b) Media o diámetro promedio gráfico (M_z), indicando nombre de la granulometría (Ec. 2.1).

$$M_z = \frac{(\phi_{16} + \phi_{50} + \phi_{84})}{3} \dots Ec.2.1$$

c) Desviación estándar (σ), por medio del cual se clasificó la madurez y la selección las arenas de cada terraza (Ec.2.2), utilizando la tabla de G. M. Friedman (1962), (tabla 2.1).

$$\sigma = \frac{(\phi_{84} - \phi_{16})}{4} + \frac{(\phi_{95} - \phi_5)}{6.6} \dots Ec.2.2$$

CAPÍTULO II. SEDIMENTOLOGÍA

Rangos de valores de Desviación Estándar (f)	Clases de Clasificación	Ambientes de arenas
< 0.35	Muy bien clasificado	Dunas costeras y lagos, muchas playas (foreshore) y comúnmente sobre la plataforma marina somera.
0.35 – 0.50	Bien clasificado	La mayoría de las playas (foreshore) y las plataformas marinas someras; muchas dunas Tierra adentro.
0.50 – 0.80	Moderadamente bien clasificado	La mayoría de las dunas Tierra adentro, la mayor parte de los ríos, la mayoría de las lagunas restringidas y plataformas marinas distales.
0.80 – 1.40	Moderadamente clasificado	Muchos marcos glacio-fluviales, muchos ríos; algunas lagunas restringidas y algunas plataformas marinas distales.
1.40 – 2.00	Pobrementemente clasificado	Muchos marcos glacio-fluviales.
2.00 – 2.60	Muy pobrementemente clasificado	Muchos marcos glacio-fluviales.
> 2.60	Extremadamente pobrementemente clasificados	Algunos marcos glacio-fluviales.

Tabla 2.1. Intervalos Desviación Estándar (Friedman,G. 1962).

d) Índice de Asimetría o Sesgo (S_k), indicando la clase verbal a la cual pertenece (Ec. 2.3) utilizando los intervalos de Simetría (Tabla 2.2).

$$S_k = \frac{(\phi_{16} + \phi_{84} - 2\phi_{50})}{2(\phi_{84} - \phi_{16})} + \frac{(\phi_5 + \phi_{95} - 2\phi_{50})}{2(\phi_{95} - \phi_5)} \dots \text{Ec. 2.3}$$

CAPÍTULO II. SEDIMENTOLOGÍA

Términos descriptivos	Parámetros
Muy negativamente sesgada	-1.0 a -0.3
Negativamente sesgada	-0.3 a -0.1
Simétrica	-0.1 a 0.1
Positivamente Sesgada	0.1 a 0.3
Muy Positivamente Sesgada	0.3 a 1.0

Tabla 2.2. Intervalos de desviación simétrica

e) Curtosis (K_G) por medio del cual se determinó el tipo de curva (Ec. 2.4).

$$K_G = \frac{(\phi_{95} - \phi_5)}{2.44(\phi_{75} - \phi_{25})} \dots \text{Ec. 2.4}$$

Términos descriptivos	Parámetros
Muy Platicúrtica	<0.67
Platicúrtica	0.67 a 0.90
Mesocúrtica	0.90 a 1.11
Leptocúrtica	1.11 a 1.50
Muy leptocúrtica	1.50 a 3.00
Extremadamente Leptocúrtica	> 3.00

Tabla 2.3. Intervalos de curtosis

Los valores obtenidos fueron analizados con base en las tablas de: 1) Diagrama general de dispersión media – clasificación (desviación estándar) para determinar distintos ambientes; (Spalletti,1980) (Fig. 2.5). 2) Campos aproximados para arenas de diferentes ambientes, en términos de la Clasificación y la Asimetría (Bjorlykke, 1984) (Fig. 2.6) y 3) Segmentos lineales de la curva de frecuencia acumulada, en donde se observan los mecanismos de transporte, asociados al tamaño de partícula (Visher, 1969) (Fig. 2.7).

CAPÍTULO II. SEDIMENTOLOGÍA

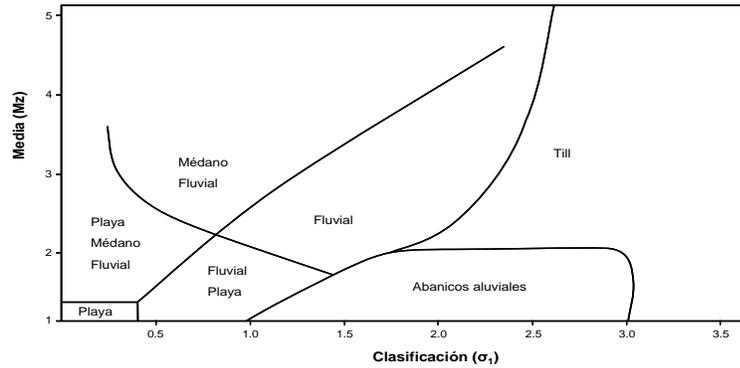


Fig. 2.5 Diagrama general de Dispersión media – Clasificación (desviación estándar) para muestras de distintos ambientes (Tomado de Spalletti, 1980).

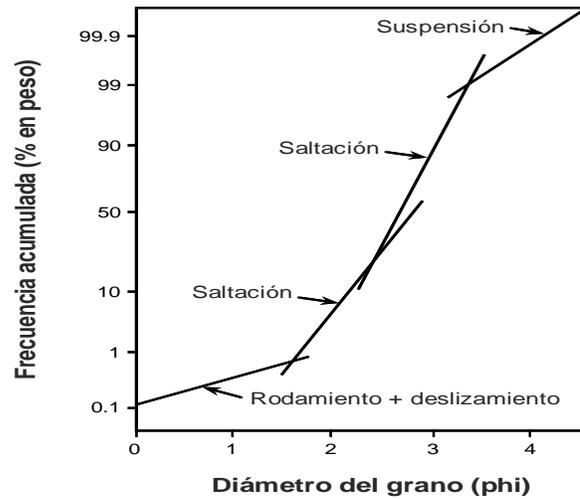


Fig.2.6 Segmentos lineales de la curva de frecuencia acumulada, en donde se observan los mecanismos de transporte, asociados al tamaño de partícula, sugeridas por Visher (1969).

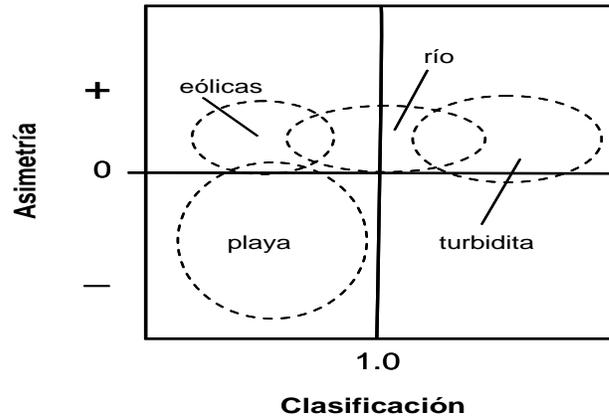


Fig. 2.7 Campos aproximados para arenas de diferentes ambientes, en términos de la Clasificación y la Asimetría (Bjorlykke, 1984).

2.2 Resultados sedimentológicos de las muestras

Los sedimentos recolectados de las terrazas costeras de Puerto Escondido, Oaxaca fueron analizados para conocer el tamaño de los granos, así como sus características granulométricas de acuerdo con la metodología mencionada anteriormente, siendo clasificados con base a el contenido porcentual en peso, las curvas acumulativas, y los parámetros granulométricos estadísticos calculados. La información obtenida a partir de los parámetros granulométricos estadísticos se utilizó para conocer la distribución textural, así como el tipo de transporte y ambiente.

2.2.1 Terraza Punta Colorada

Se realizó un análisis sedimentológico a todas las muestras pertenecientes a la Terraza Punta Colorada con el fin de reconocer las propiedades texturales de las arenas, representándose en una serie de gráficas los valores obtenidos del estudio.

A continuación se exponen los datos arrojados de la Terraza Punta Colorada (Tablas 2.4, 2.5, 2.6, 2.7, 2.8, 2.9, 2.10, 2.11, 2.12 y Figuras 2.8, 2.9, 2.10, 2.11) así como los resultados y discusión del estudio de cada terraza, las tablas y gráficas del estudio se encuentran en el apéndice de análisis sedimentológico (Fig. B1 Fig. B50)

Muestra "A"

Peso inicial = 100 (grs.)		
ϕ	Peso (grs.)	Peso acumulado (grs.)
-1	19.1	19.1
0	12.3	31.4
1	28.5	59.9
2	31.9	91.8
3	5.4	97.2
4	1.1	98.3
finos	1.6	99.9

Tabla 2.4 Datos de peso y peso acumulado, Muestra A, de Terrazas Punta Colorada.

CAPÍTULO II. SEDIMENTOLOGÍA

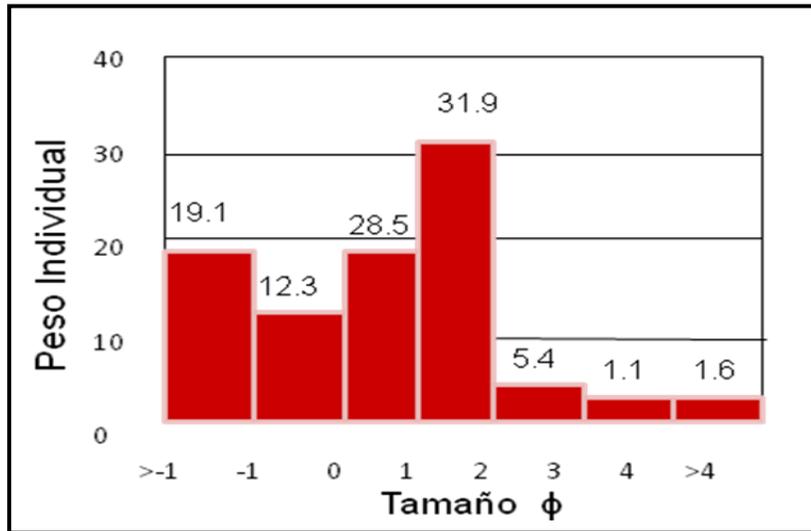


Fig. 2.8 Representación gráfica del tamaño ϕ vs peso individual de la muestra "A"

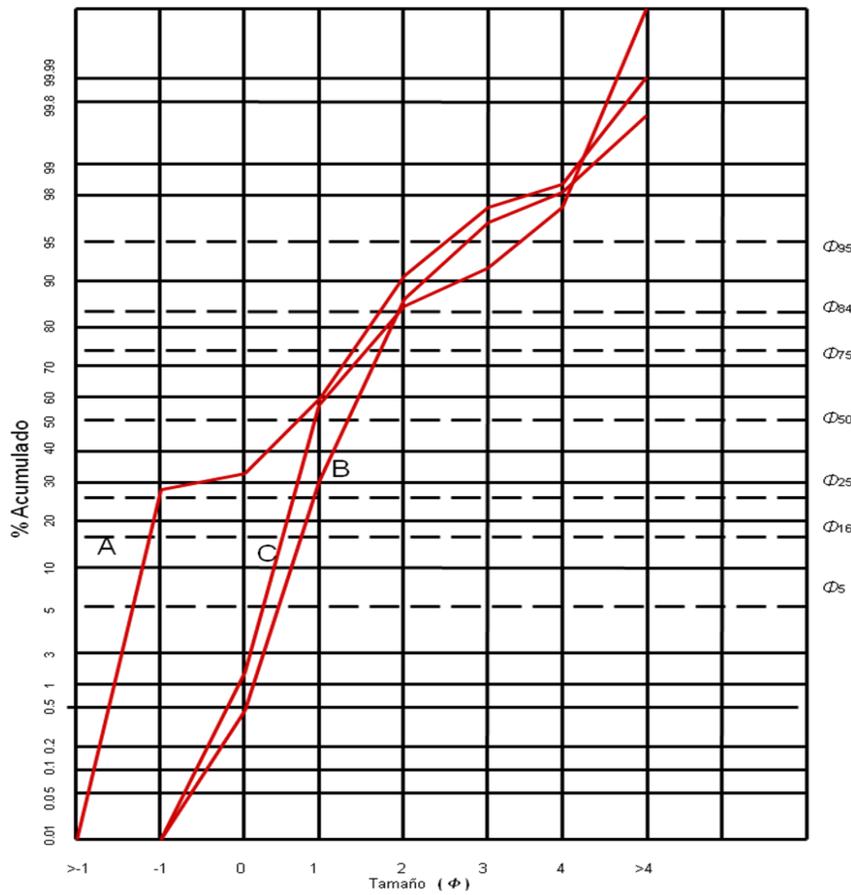


Fig. 2.9 Curvas Acumulativas de las muestras A, B y C, de la Terraza Punta Colorada

CAPÍTULO II. SEDIMENTOLOGÍA

Cuartiles	Percentiles
Φ95	2.6 Φ
Φ84	1.9 Φ
Φ75	1.5 Φ
Φ50	0.9 Φ
Φ25	-1.0 Φ
Φ16	-1.1 Φ
Φ5	-1.3 Φ

Tabla 2.5. Datos de Cuartiles y Percentiles

Datos Granulométricos:

Parámetros	Término descriptivo	Madurez
Moda Mo=1.50φ	Arena media	
Mediana Md= 0.90φ	Arena gruesa	
Promedio Gráfico Mz= 0.56φ	Arena gruesa	
Desviación Estandar σ₁= 1.39	Pobremente seleccionada	Submadura
Asimetría Sk= -0.10	Positivamente sesgada	
Curtosis K_G= 0.63	Muy platicúrtica	

Tabla 2.6. Datos Estadísticos de la muestra "A", Playa Colorada, Puerto Escondido, Oaxaca.

CAPÍTULO II. SEDIMENTOLOGÍA

Muestra "B"

Peso inicial = 100 (grs.)		
ϕ	Peso (grs.)	Peso acumulado (grs.)
-1	0	0
0	0.5	0.5
1	29.5	30
2	56.3	86.3
3	10.1	96.4
4	1.6	98
finos	1.7	99.7

Tabla 2.7 Datos de peso y peso acumulado, Muestra A, de Terrazas Punta Colorada.

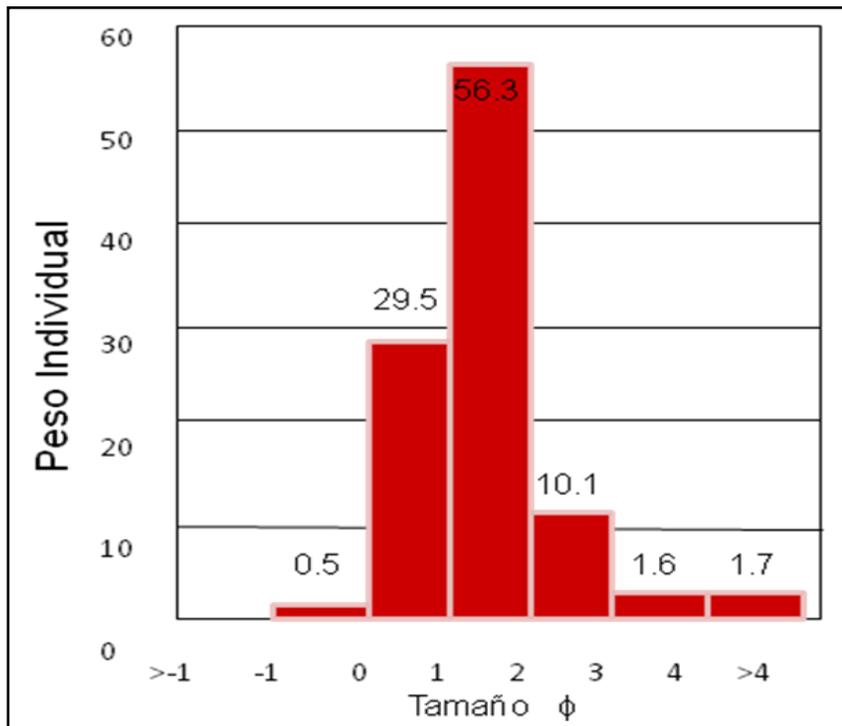


Fig. 2.10 Representación gráfica del tamaño ϕ vs peso individual de la muestra "A"

CAPÍTULO II. SEDIMENTOLOGÍA

Cuartiles	Percentiles
$\Phi 95$	2.9 Φ
$\Phi 84$	2.0 Φ
$\Phi 75$	1.6 Φ
$\Phi 50$	1.4 Φ
$\Phi 25$	1.0 Φ
$\Phi 16$	0.9 Φ
$\Phi 5$	0.5 Φ

Tabla 2.8. Datos de Cuartiles y Percentiles

Datos Granulométricos

Parámetros	Término descriptivo	Madurez
Moda Mo=1.50ϕ	Arena media	
Mediana Md= 1.00ϕ	Arena media	
Promedio Gráfico Mz= 1.43ϕ	Arena media	
Desviación Estandar $\sigma_1= 0.63$	Moderadamente seleccionada	Submadura
Asimetría Sk= -0.125	Positivamente sesgada	
Curtosis K_G= 1.63	Muy leptocúrtica	

Tabla 2.9 Datos Estadísticos de la muestra "A", Playa Colorada, Puerto Escondido, Oaxaca.

Muestra "C"

Peso inicial = 100 (grs.)		
ϕ	Peso (grs.)	Peso acumulada (grs.)
-1	0.1	0.1
0	1.9	2
1	48.3	50.3
2	34.6	84.9
3	8.9	93.8
4	3.5	97.3
finos	2.7	100

Tabla 2.10 Datos de peso y peso acumulado, Muestra A, de Terrazas Punta Colorada.

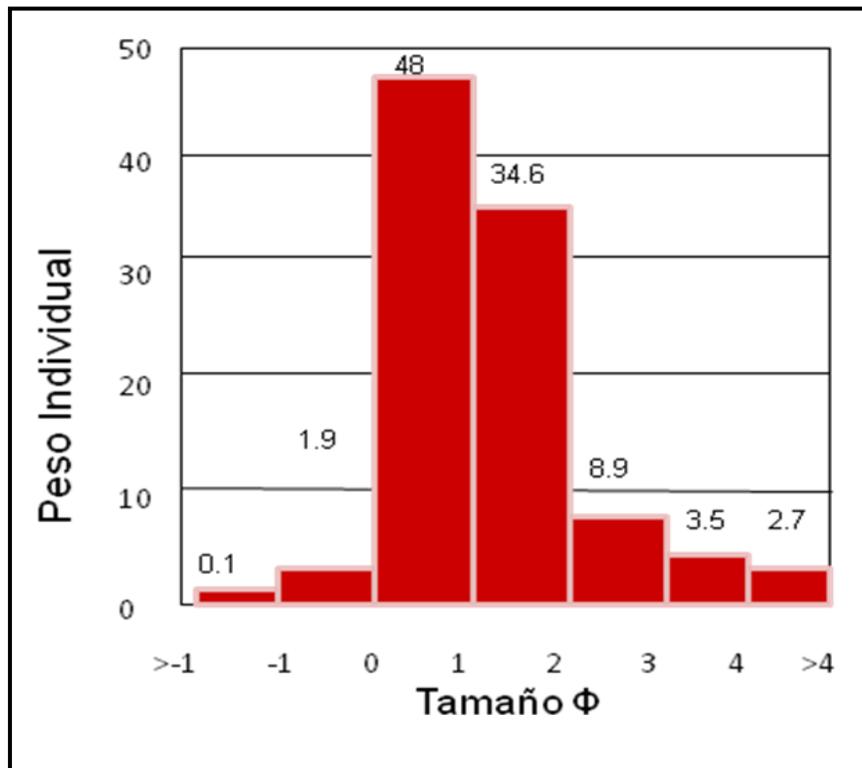


Fig. 2.11 Representación gráfica del tamaño ϕ vs peso individual de la muestra "A"

CAPÍTULO II. SEDIMENTOLOGÍA

Cuartiles	Percentiles
Φ95	3.5 Φ
Φ84	2.0 Φ
Φ75	1.5 Φ
Φ50	1.0 Φ
Φ25	0.7 Φ
Φ16	0.5 Φ
Φ5	0.3 Φ

Tabla 2.11 Datos de Cuartiles y Percentiles

Datos Granulométricos:

Parámetros	Término descriptivo	Madurez
Moda Mo= 0.50φ	Arena gruesa	
Mediana Md= 1.00φ	Arena media	
Media Mz= 1.20φ	Arena media	
Desviación Estandar σ₁= 0.85	Moderadamente seleccionada	Submadura
Asimetría Sk= -0.44	Muy Negativamente sesgada	
Curtosis K_G= 1.63	Muy leptocúrtica	

Tabla 2.12 Datos Estadísticos de la muestra "A", Playa Colorada, Puerto Escondido, Oaxaca.

Resultados y discusión de la Terraza Playa Punta Colorada

Con base en los análisis sedimentológicos realizados, se encontró que la Terraza Punta Colorada presenta valores de la media phi de 0.56 a 1.43, desviación estandar con valores extremos de 1.39 a 0.65, una asimetría de valores entre -0.10 a -0.44, con una tendencia positivamente sesgada (gruesos); los valores de curtosis van de 0.63 a 1.63.

Debido a los resultados expuestos y en la figura (Fig. 2.9), se puede apreciar que existe una diferencia de la muestra y curva A, con las muestras C y B; esto se debe a que su depositación se llevó a cabo por arrastre-rodamiento, lo cual contrasta con las demás curvas donde ocurre saltación. Por lo que se puede interpretar que la Terraza Punta Colorada tiene influencia fluvial y en el transcurso del tiempo las condiciones cambiaron, teniendo influjo marino.

A continuación solamente se presentan las imágenes y los resultados así como las discusiones de los demás análisis sedimentológicos realizados en las terrazas estudiadas, las cuales son: Terraza Playa Coral, Terraza Capri, arenas recientes y Valdeflores. El desarrollo con datos completos de cada una de las terrazas se encuentra en el apéndice II análisis sedimentológico, ubicado al final de este trabajo.

2.2.2 Terraza Playa Coral

Resultados y discusión de la Terraza Playa Coral

En esta terraza se encontró que la media phi presenta valores que oscilan entre 0.75 a 2.70, la desviación estándar con valores de 0.68 a 1.36, la asimetría de valores que se encuentran de -0.27 a 0.71, en donde la mayoría de las muestras a son simétricas, los valores de curtosis varían de 1.09 a 5.05 con una tendencia a curvas leptocúrticas.

El análisis de las distribuciones de las curvas acumulativas (Fig. 2.12) y de los datos granulométricos, nos dan información puntual acerca de la depositación y de la influencia de los aportes; en este caso existen tres diferencias marcadas, la primera la muestra E que fueron depósitos por arrastre-rodamiento, para lo cual fue transportado por un ambiente fluvial, lo segundo, las muestras y curvas que representan mayormente saltación, con influencia marina y la tercera la cual corresponde con una depositación por suspensión en un ambiente de baja energía.

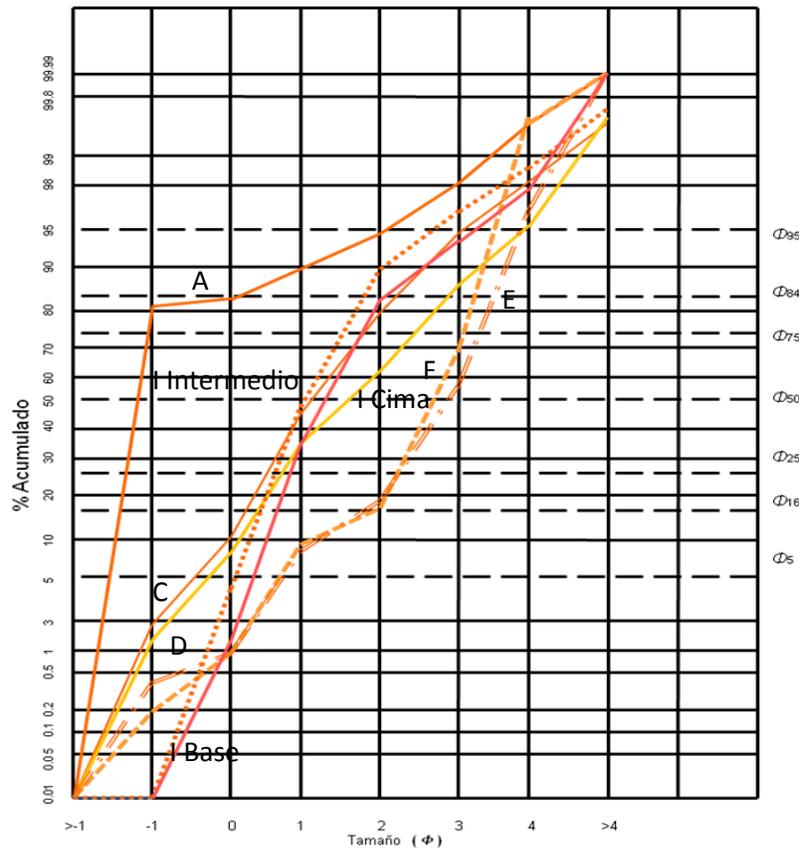


Fig. 2.12 Curvas Acumulativas de las muestras A, C, D, E, F, I (Base, intermedio, Cima) de la Terraza Playa Coral

2.2.3 Terraza Capri

Resultados y discusión de la Terraza Capri

Los valores que arrojan los estudios sedimentológicos resultan de una media phi de 0.96 a 1.06, con datos de desviación estándar de 0.77 a 0.91 que ubican a la Terraza Capri con sedimentos moderadamente seleccionados, con una asimetría de -0.01 a 0.839; presenta una tendencia simétrica a positivamente sesgada (gruesos) y con valores de curtosis que van de 1.26 a 1.68, donde las curvas tienen una propensión a ser leptocúrticas.

Con base a lo observado en las curvas acumulativas (Fig. 2.13) y los datos granulométricos, se puede inferir que el depósito fue mayormente por saltación, esto debido a un ambiente de alta energía, influenciado claramente por el oleaje del mar sobre la costa.

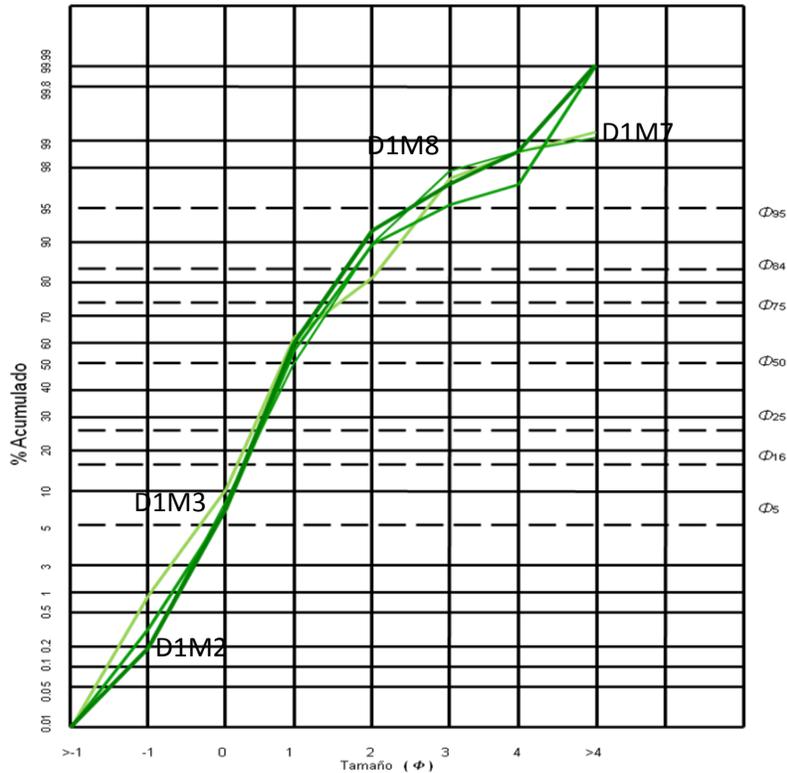


Fig. 2.13 Curvas Acumulativas de las muestras , Terraza Capri

2.2.4 Arenas Recientes

Resultados y discusión de arenas recientes

Los valores de las muestras de Playa Zicatela, Playa Coral y Playa Punta Colorada arrojan los siguientes resultados; la media ϕ presenta valores se encuentran entre -0.26 y 0.96, los valores de desviación estándar de 0.27 a 0.65 esto es moderadamente seleccionados, en asimetría, los datos son de 0.075 a 2.58, siendo positivamente sesgado (gruesos), y una curtosis de 0.54 a 1.8, lo cual indica que las curvas son leptocúrticas.

Sustentado en el análisis previamente establecido, se infiere que en base a el comportamiento de las curvas (Fig. 2.14) y los datos estadísticos, las arenas de Playa de Puerto Escondido, tienen un depósito de arrastre-rodamiento y saltación mayormente, esto puede claro resultar de la influencia del oleaje además de sistemas fluviales y corrientes de viento.

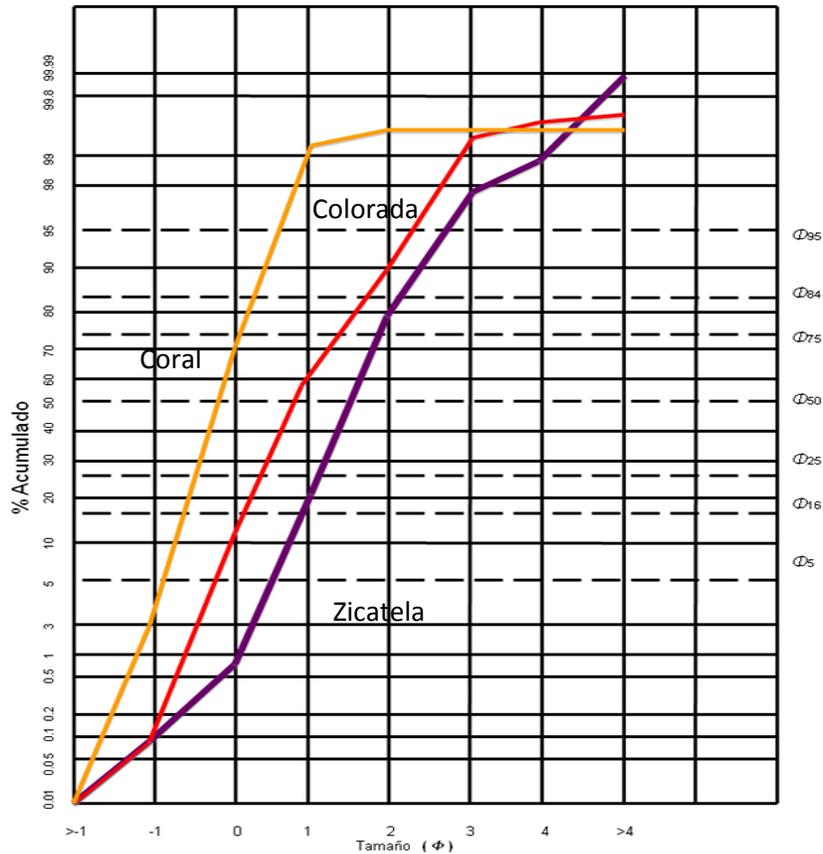


Fig. 2.14 Curvas Acumulativas de las muestras Recientes, Playa Zicatela, Playa Punta Colorada y Terraza Playa Coral

2.2.5 Valdeflores

Resultado y discusión de la localidad de Valdeflores

Los valores determinados para la muestra Valdeflores son, de una desviación estándar de 0.68 moderadamente bien seleccionada, con una asimetría de 0.41 muy positivamente sesgada (gruesos), y una curtosis de 0.54 leptocúrtica.

Con base en lo expuesto anteriormente se determinó que los sedimentos fueron transportados por arrastre-rodamiento, en un ambiente fluvial (Fig. 2.15).

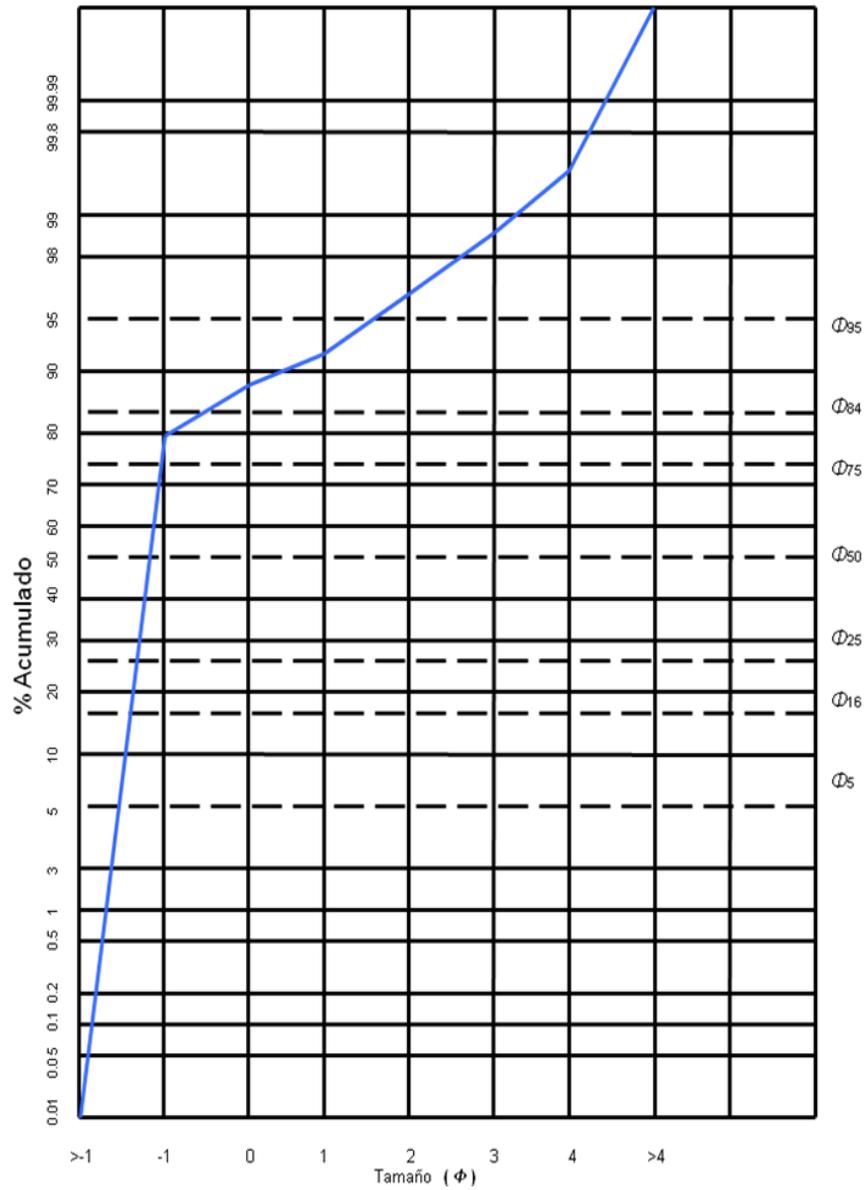


Fig. 2.15 Curva Acumulativa muestra de la localidad de Valdeflores

2.3 Procedencia de Arenas

El estudio de los componentes de las arenas y areniscas se ha utilizado habitualmente para determinar el área de procedencia de sus componentes detríticos, considerando que sus partículas constituyentes proceden de una roca original las cuales son suficientemente pequeñas como para observarse los granos en una muestra para su estudio en lámina delgada. La madurez del sedimento se determina a través de sus características texturales, donde se entiende que la madurez es el grado de transporte o abrasión, el cual se manifiesta en la esfericidad considerando la composición de la química de la partícula. La composición final de una roca detrítica no solo depende del área de procedencia, sino también de otros factores que cambian su constitución, como la energía del medio de transporte, el clima y los procesos diagenéticos (Suttner, 1974; Suttner y Dutta, 1986).

Por otro lado, se ha demostrado que existe una conexión de las areniscas con el ambiente tectónico (Dickinson y Suczek, 1979; Dickinson y Valloni, 1980) en el que se formaron las cuencas sedimentarias; las areniscas producidas en cuencas cratónicas, zonas continentales depositadas en margenes tectónicas pasivas y zonas de rift continentales están compuestas principalmente de cuarzo y feldespato, mientras que las areniscas depositadas en cuencas asociadas a arcos volcánicos contienen poco cuarzo, abundantes feldespatos y líticos volcánicos y plutónicos; las cuencas asociadas a cinturones de deformación contienen areniscas ricas en cuarzo y líticos de composición variada (Fig. 2.16).

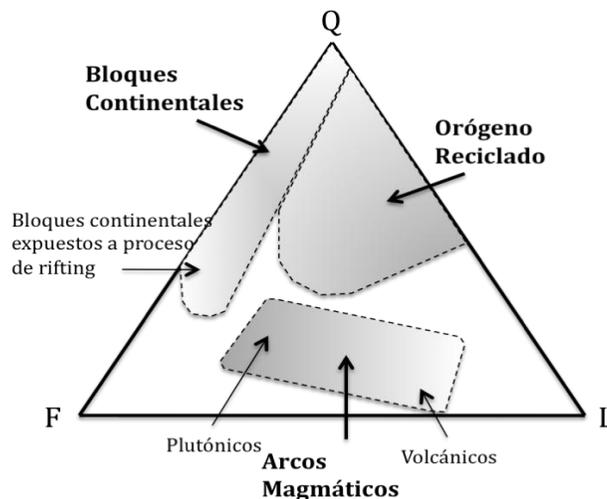


Figura 2.16 Diagrama ternario que se muestra las diferentes procedencias de sedimentos y el ambiente tectónico al que se asocian (Modificado de Dickinson, 1986).

2.3.1 Análisis de procedencia

Se realizó un estudio petrográfico en el cual se analizaron un total de 19 muestras con láminas delgadas, 11 de estas corresponden a los distintos niveles de las terrazas Capri, Coral y Punta Colorada; 3 de arenas recientes recolectadas en las Playas de Zicatela, Coral y Punta Colorada, y por último 5 muestras que corresponden a los afloramientos de Valdeflores, Colotepec y Carrizalillo.

Con el análisis sedimentológico previo, se tomaron las muestras tamizadas con el fin de estudiar y determinar su procedencia con base en los términos texturales de tamaño de partícula (>0.0625 mm), posteriormente las muestras fueron impregnadas con resina para su consecuente corte y laminación en las instalaciones del Instituto de Geología, así mismo se realizó el cálculo de los porcentajes de cada uno de los componentes.

A) Muestra Capri Cima

La muestra de arena de la figura 2.17 A (luz paralela) y B (nicos cruzados) de la Terraza Capri, Puerto Escondido, Oaxaca, contiene granos subredondeados, moderadamente clasificados; se trata de una arena feldespática con pocos líticos; contiene granos de cuarzo 25%, feldespato 15%, líticos 10%, biotita 7%, plagioclasa (oligoclasa) 20%, hornblenda 3%, calcita 8%. Presenta carbonato de calcio 12% en los bordes de los granos.

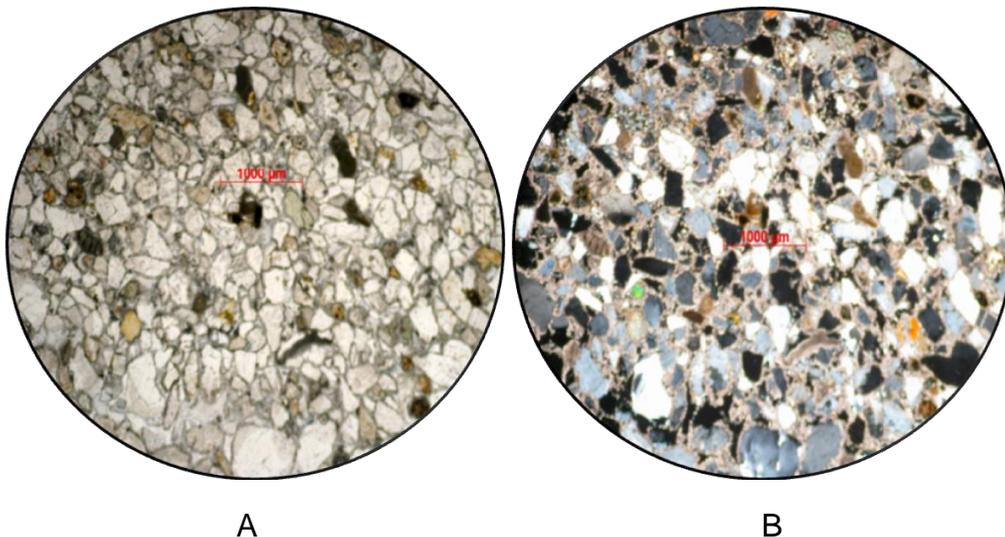


Figura 2.17 Microfotografía de las arenas de la terraza Capri.

B) Muestra Carrizalillo

La muestra de la figura 2.18 A (luz paralela y B (Nicoles cruzados), está compuesta de cristales de subhedrales, de cuarzo, plagioclasa, feldespato, moscovita, biotita y hornblenda con una textura hipidiomórfica, se trata de una granodiorita de biotita.

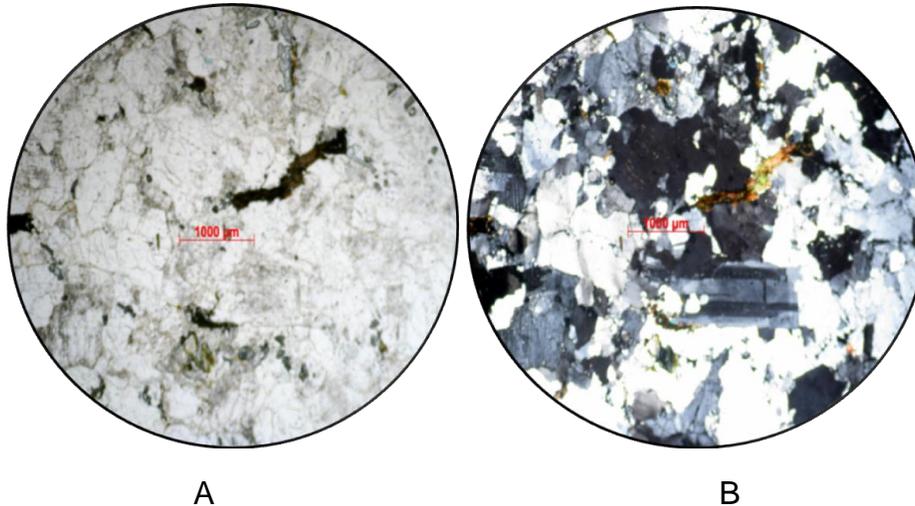


Figura 2.18 Microfotografía de la roca de la localidad de Carrizalillo.

C) Muestra Colotepec

La muestra de roca de Colotepec Puerto Escondido, Oaxaca, de la figura 2.19 A (luz paralela) y B (nicoles cruzados), se trata de una anfibolita con una textura granoblástica con cuarzo 25%, feldespato 18%, anfíbol (hornblenda) 30%, plagioclasa (oligoclasa) 20% y esfena 7%.

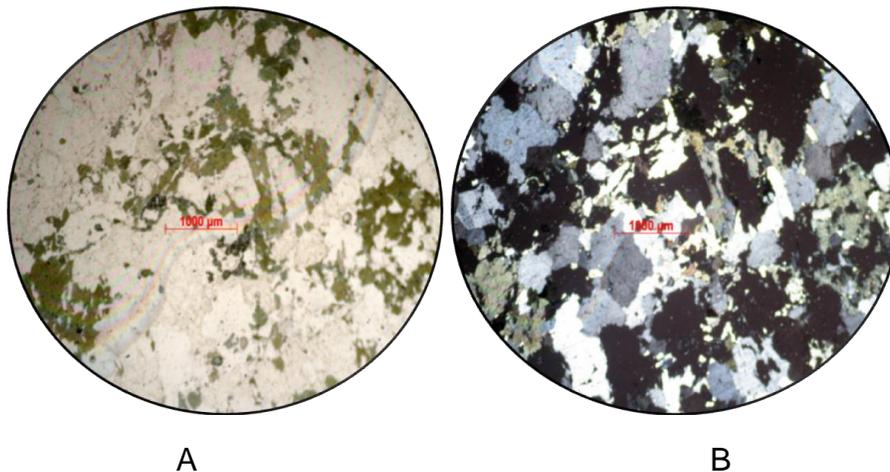


Figura 2.19 Microfotografía de anfibolita del afloramiento en Colotepec, Oaxaca.

D) Muestra Conglomerado Colotepec

La muestra pertenece a la Formación Colotepec, que es la base de la terraza de Punta Colorada, Puerto Escondido, Oaxaca, cuyas microfotografías se muestran en la figura 2.20 A (luz paralela) B (nicoses cruzados), se trata de una anfibolita de textura granoblástica con anfíbol 20%, cuarzo 32%, plagioclasa 15%, feldespato 18%, esfena 10% y biotita 5%.

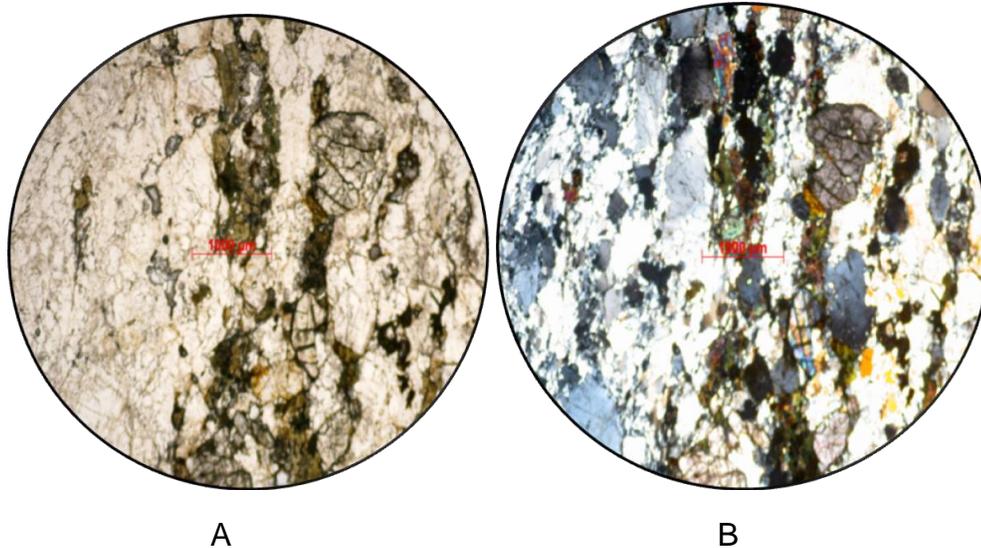


Figura 2.20 Microfotografía de la anfibolita de la Formación Colopetec.

E) Muestra Terraza Playa Coral Base M₁

La muestra de arena correspondientes con figura 2.21 A (luz paralela) y B (nicoses cruzados) de la terraza Playa Coral, Puerto Escondido, Oaxaca, está compuesta de granos angulosos a subangulosos, moderadamente clasificados, se trata de un arena feldespática con pocos líticos. Contiene granos de cuarzo 25%, feldespato 12%, líticos 7%, biotita 5%, plagioclasa (oligoclasa) 12%, anfíbol (hornblenda) 14%, moscovita 5%, clorita 5%, esfena 5% y minerales opacos 10%.

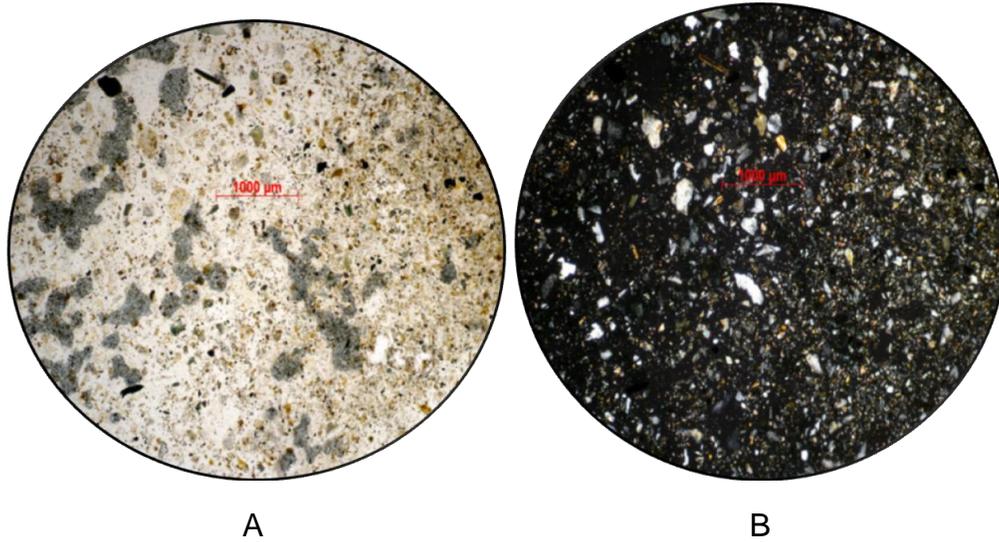


Figura 2.21 Microfotografía de arenas de curvas de la muestra de la terraza Playa Coral.

F) Muestra Terraza Playa Coral Cima

La muestra de arena cuyas microfotografías corresponden con la figura 2.22 A (luz paralela) y B (nicos cruzados) de la terraza Playa Coral, Puerto Escondido, Oaxaca, está compuesta de granos angulosos a subangulosos, moderadamente clasificados. Es una arena feldespática que contiene granos de cuarzo 35%, feldespato 12%, plagioclasa 12%, anfíbol (hornblenda) 6%, calcita 5%, esfena 5%, minerales oxidados 10% y finalmente minerales opacos 15%.

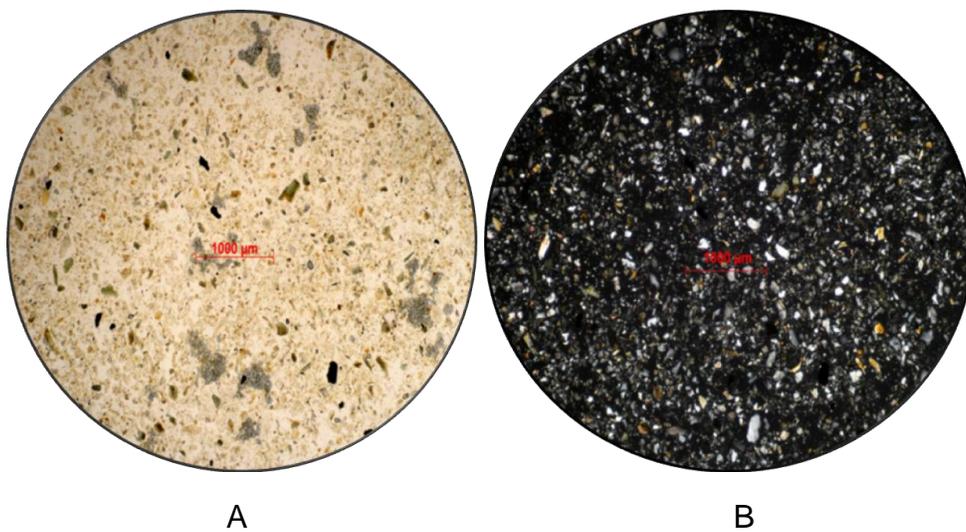


Figura 2.22 Arena de la terraza Playa Coral Cima.

G) Muestra Playa Coral MBφ

Se estudió una muestra cuyas microfotografías corresponden con la de arena figura 2.23 A (luz paralela) y B (nicoses cruzados) de la terraza Playa Coral, Puerto Escondido, Oaxaca, la cual se compone de granos angulosos, moderadamente clasificados. Contiene granos de cuarzo 32%, feldespato (microclina) 10%, líticos 5%, plagioclasa (oligoclasa) 7%, anfíbol (hornblenda) 12%, calcita 7%, esfena 3%, granate 5%, minerales oxidados 7% y minerales opacos 12%, se trata de una arena arcósica.

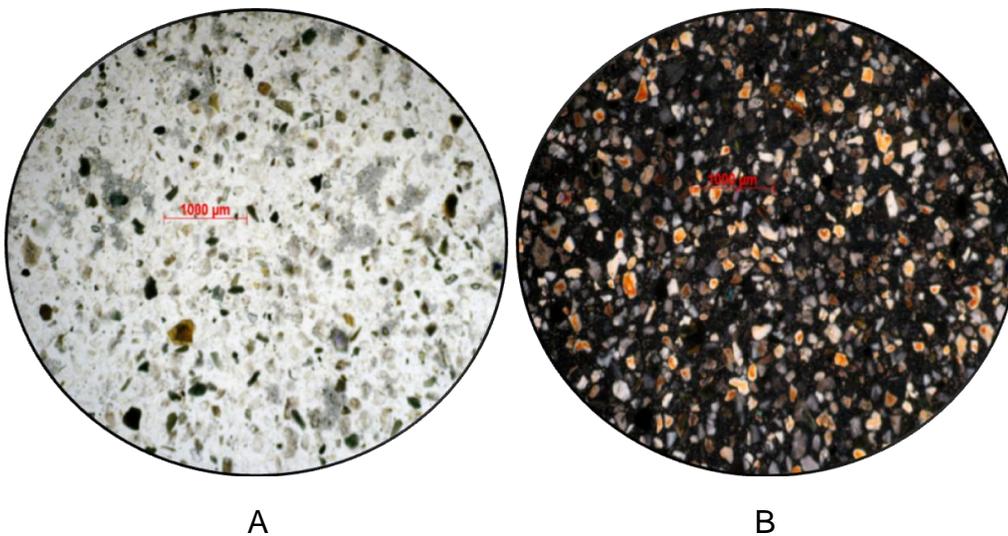


Figura 2.23 Microfotografía de arena de la terraza Playa Coral MBφ.

H) Arena de Playa Coral Reciente

La muestra de arena se ilustra con la figura 2.24 A (luz paralela) y B (nicoses cruzados) de Playa Coral, Puerto Escondido, Oaxaca, se compone de granos subredondeados, moderadamente clasificados; contiene granos de cuarzo 55%, feldespato 10%, plagioclasa 5%, líticos (anfíbolita, arenisca) 20%, calcita 10%, se trata de una arena lítica.

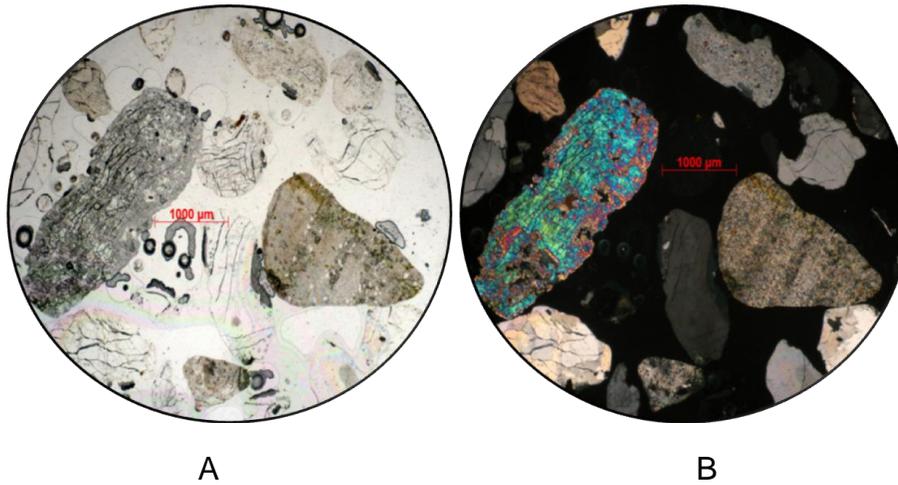


Figura 2.24 Microfotografías de arenas de playa Coral del Reciente.

I) Playa Coral B Acantilado

La muestra de arena cuyas microfotografías corresponden con la figura 2.25 A (luz paralela) y B (nicoses cruzados) de Playa Coral, Puerto Escondido, Oaxaca, está compuesta de granos subangulosos, moderadamente clasificados. Contiene granos de cuarzo 36%, feldespato 15%, líticos (anfíbolita, granito y caliza) 10%, plagioclasa (oligoclasa) 15%, anfíbol (hornblenda) 8%, biotita 7%, clorita 2%. Presenta carbonato de calcio 7% en los bordes de los granos, se trata de una arena feldespática.

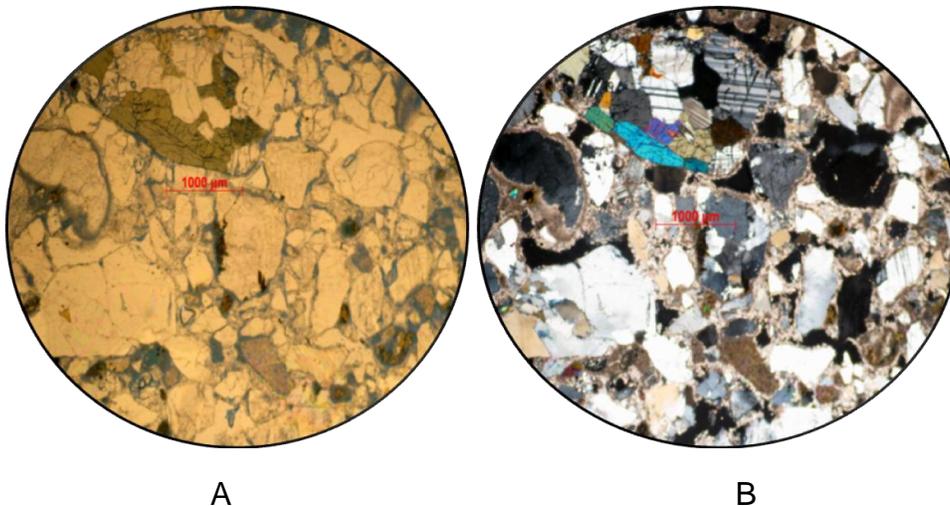


Figura 2.25 Microfotografías de la muestra de Playa Coral B Acantilado.

J) Arena de playa Punta Colorada Reciente

La muestra de arena de las microfotografías correspondientes a la figura 2.26 A (luz paralela) y B (nicoses cruzados) de playa Punta Colorada, Puerto Escondido, Oaxaca, se compone de granos subredondeados, moderadamente clasificados; contiene granos de cuarzo 30%, feldespato 15%, líticos 12%, plagioclasa (oligoclasa) 15%, anfíbol (hornblenda) 15%, biotita 3%, moscovita 8% y calcita 2%, se trata de arena arcósica.

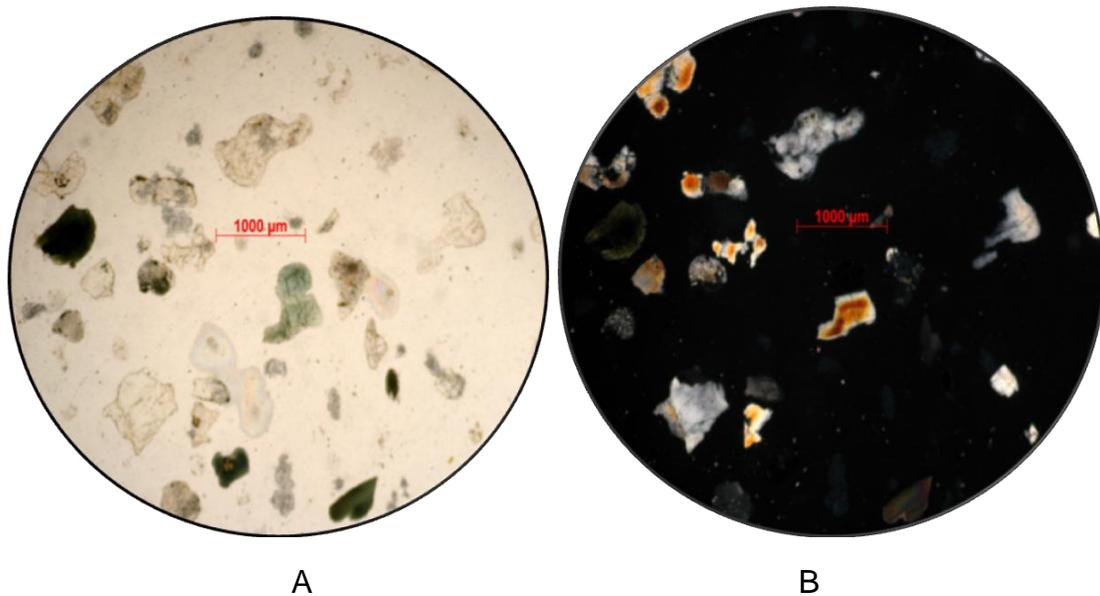


Figura 2.26 Microfotografía de una muestra de arena de playa de Punta Colorada.

K) Arena de playa Zicatela Reciente

La muestra de arena cuyas microfotografías corresponden a la figura 2.27 A (luz paralela) y B (nicoses cruzados) de playa Zicatela, Puerto Escondido, Oaxaca, se compone de granos subredondeados, moderadamente clasificados; contiene granos de cuarzo 30%, feldespato (microclina) 7%, plagioclasa (oligoclasa) 10%, líticos 15%, anfíbol (hornblenda) 20%, moscovita 5%, biotita 5% y minerales opacos 8%, se trata de una arena arcósica.

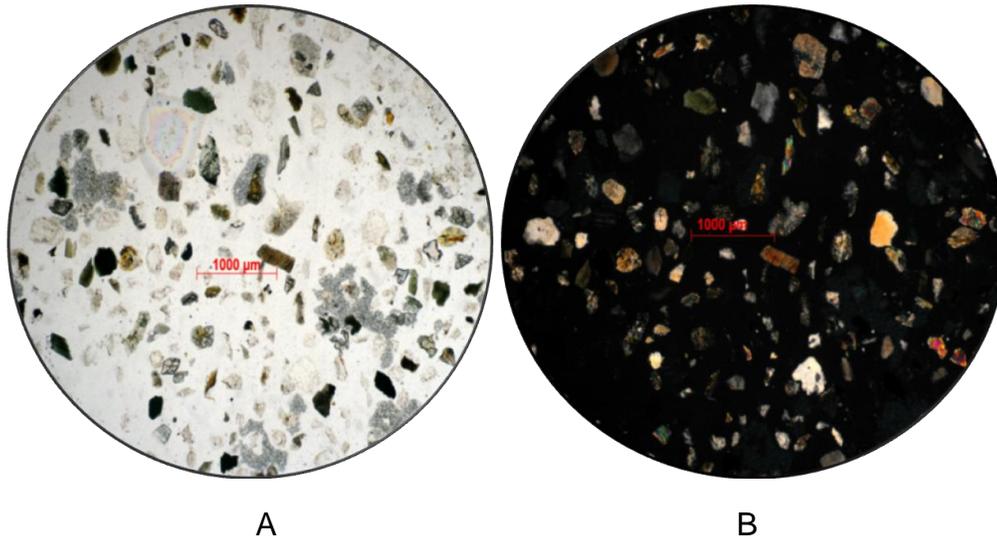


Figura 2.27 Microfotografía de arena de playa de Zicatela Reciente.

L) Localidad de Valdeflores

La microfotografía de arena de la figura 2.28 A (luz paralela) y B (nicos cruzados) de la localidad de Valdeflores, Puerto Escondido, Oaxaca, se compone de granos angulosos, moderadamente clasificados; contiene granos de cuarzo 27%, feldespato 20%, plagioclasa (oligoclasa) 20%, líticos 10%, biotita 5%, esfena 7% y minerales opacos 11%, se trata de una arena feldespática.

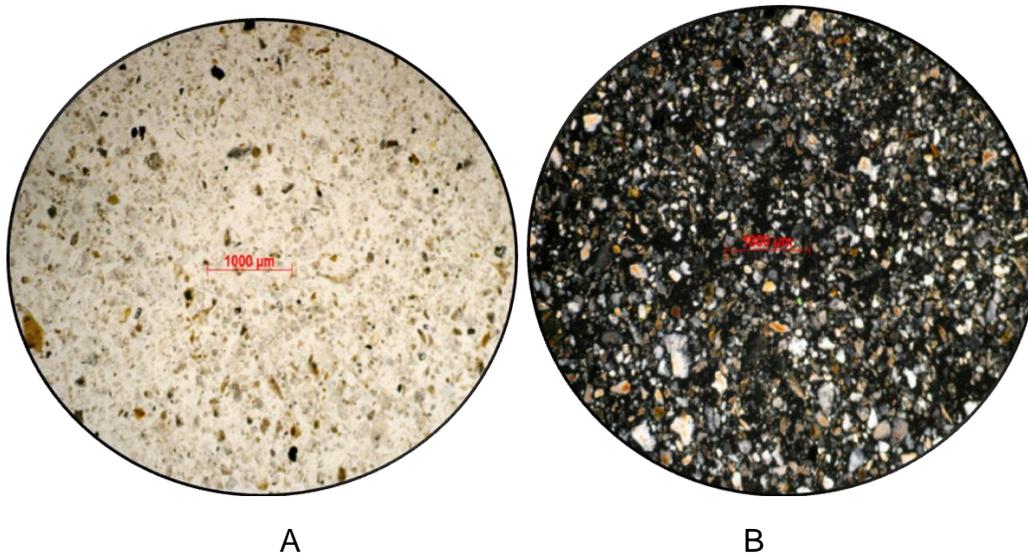


Figura 2.28 Microfotografía de una muestra de arena de la localidad de Valdeflores.

2.4 Composición de arenas y contexto tectónico

El análisis de la procedencia se llevó a cabo finalmente con la compilación de los datos en base a las proporciones mineralógicas de todas la muestras y se plasmó en el diagrama ternario de QFL de Dickinson et al.(1979), (Fig. 2.29), para de esta forma determinar la fuente de las arenas y sustentar la premisa que las arenas proceden del complejo metamórfico Xolapa.

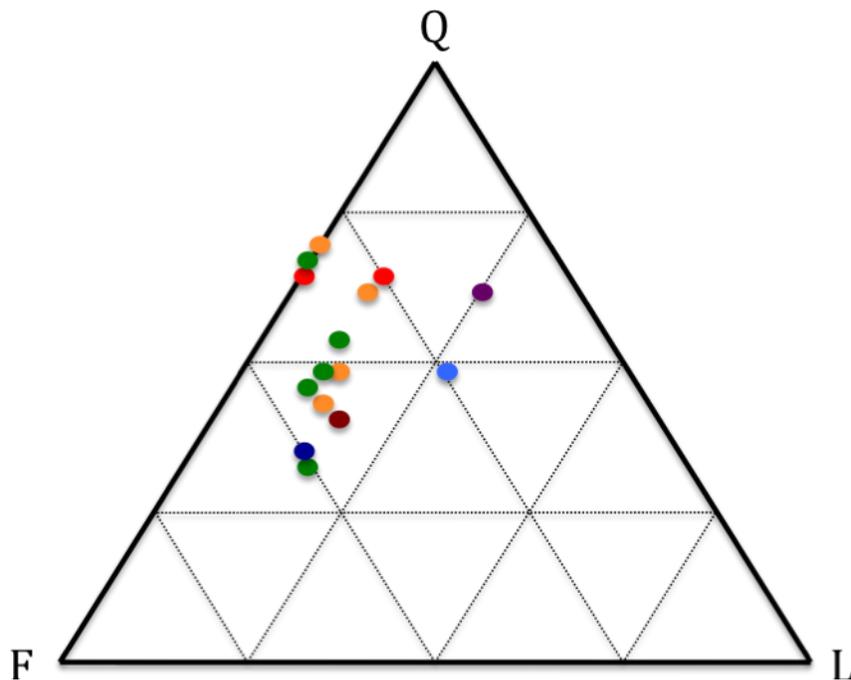


Figura 2.29 Esquema donde se representan la totalidad de las muestras de arenas en un diagrama ternario QFL de Dickinson et al.(1979), terraza Capri (verde), terraza Colorada (rojo), terraza Coral (naranja), arena de playa Zicatela (morado), arena de playa Coral (azul cielo), arena de playa Colorada (guinda), Valdeflores (azul rey).

Con base en los resultados vertidos por el análisis modal de las arenas se encuentra que, la mayoría de las arenas constituyentes de las terrazas de Puerto Escondido, Oaxaca, proceden de bloques continentales con levantamiento del basamento y solo 2 muestras provienen de orógenos reciclados; esto se sustenta con base en los resultados mostrados en la figura 2.16, tomando como referencia lo propuesto por Dickinson et al.(1979); las arenas presentan un gran porcentaje de cuarzo, en menor proporción de feldespatos y muy pocos líticos, lo cual indica

su moderada madurez, esto podría explicarse por el evento tectónico contemporáneo en el que la Placa de Cocos subduce a la Placa Norteamericana.

Se destaca además que aunque la distancia es mínima entre terrazas, algunas de las muestras varían ampliamente en su composición, sobre todo en la presencia de los minerales opacos, granate y los líticos de composición ígnea, sedimentaria y metamórfica; estos cambios en el granate y los líticos, se explica con base en el errático emplazamiento de las rocas ígneas y metamórficas, así como de rocas carbonatadas; por otra parte los minerales opacos probablemente provienen del Complejo Oaxaqueño, debido a que estos clastos tienen una alta densidad, donde se infiere que son fragmentos de ilmenita?, lo que concuerda con los estudios realizados en la zona de Colotepec, en donde se estudió la zona con el fin de cuantificar y establecer la viabilidad de un proyecto minero para la explotación de hierro y titanio (SGM, 2009).

Sin embargo, la caracterización de un ambiente tectónico por métodos petrográficos no siempre es contundente (Molinari et al, 1991), la veracidad de que el entorno en el que se generaron las arenas coincida con el deducido a partir del análisis de la procedencia puede requerir de estudios muy detallados como métodos geoquímico e isotópicos de análisis de procedencia.

CAPÍTULO III

ESTRATIGRAFÍA

3.1 Estratigrafía Regional

El propósito de este capítulo es exponer las principales características de las unidades estratigráficas presentes en el área de estudio, que corresponden con dos complejos metamórficos: Complejo Oaxaqueño y el Complejo Xolapa; dos formaciones sedimentarias, la Formación Teposcolula y la Formación Colotepec; cuyas características se detallan a continuación considerando las relaciones directas o indirectas para el área de estudio. Se describen llevando una secuencia en orden del más antiguo hasta el más reciente, desde el Precámbrico con el Complejo Oaxaqueño, el Mesozoico con el Complejo Xolapa, así como también la Formación Teposcolula y finalmente en el Cenozoico con la Formación Colotepec y las Terrazas costeras de Puerto Escondido. Las relaciones estratigráficas y su posición se muestran de forma esquemática en la figura 3.1

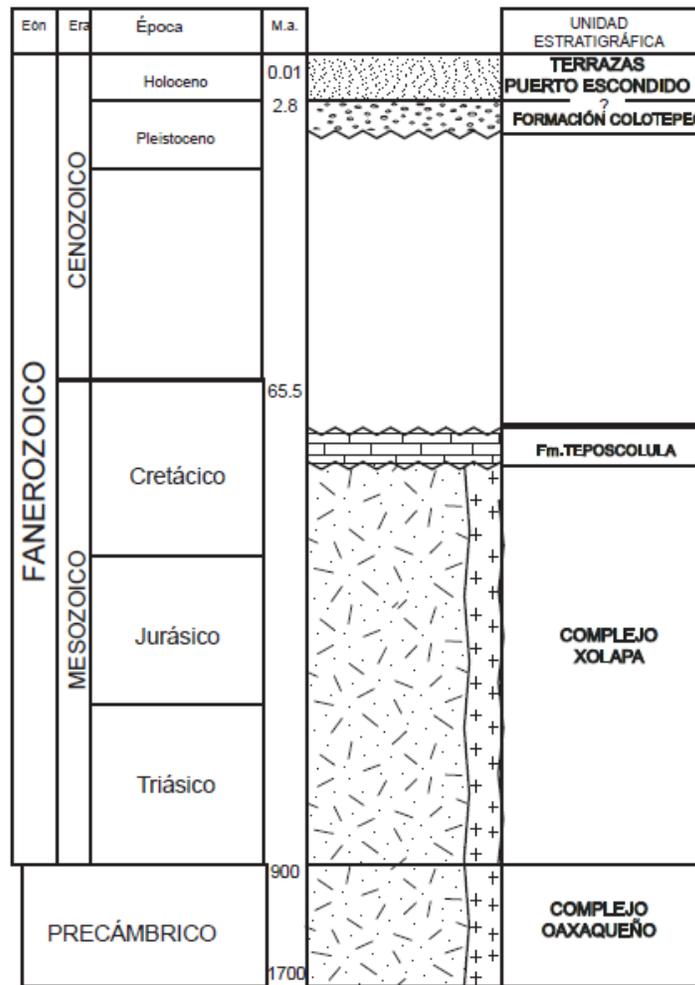


Fig. 3.1 Columna Estratigráfica Propuesta para el área de estudio y su entorno.

3.1.1 Complejo Oaxaqueño

El Complejo Oaxaqueño fue descrito primeramente por Fries C. et al.,(1962), posteriormente por Bloomfield y Ortega-Gutiérrez, (1975), Ortega-Gutiérrez, et al.,(1975) y Ortega-Gutiérrez, (1981), en cuyos trabajos se definieron las unidades que conforman el complejo, así como las características de cada una; su evolución magmática y metamórfica, además de su levantamiento y su posterior erosión.

El Complejo Oaxaqueño se extiende desde la región central hasta la parte centro-sur del estado de Oaxaca, desde los límites del estado de Puebla hasta la región de Pochutla, Oaxaca. El Oaxaqueño se compone de una columna litológica de aproximadamente 15 km de espesor, el complejo es de edad precámbrica (Fries et al., 1962; Pantoja-Alor y Robinson, 1967; Anderson y Silver, 1971). Sus límites se presentan de la siguiente manera: a) Al occidente, en el sur de la región de Tehuacán Puebla (Ortega-Gutiérrez,1978b), el contacto entre el Complejo Acatlán y el Complejo Oaxaqueño es por la falla de Caltepec (Elías-Herrera et al., 2005). b) Hacia el poniente se encuentra la falla de Oaxaca, que pone en contacto el Complejo Oaxaqueño con el Complejo Cuicateco. c) En la parte sur, el mismo Oaxaqueño hace contacto tectónico con el Complejo Xolapa, conformado por rocas miloníticas, ultramilonitas, protomilonitas, filonitas, cataclasitas y pseudotaquilitas (Tolson, 1998, 2005), cuyo contacto es por falla de Chacalapa. Dentro de sus relaciones estratigráficas, el Oaxaqueño le sobreyacen por discordancia formaciones volcánicas y sedimentarias desde el Cámbrico hasta el Cenozoico (Pantoja-Alor, 1970; Carrillo-Martinez y Martinez, 1983; López-Ticha, 1985; Martiny et al., 2000), aunque su límite estratigráfico inferior no se conoce.

Las rocas que conforman el Complejo Oaxaqueño incluyen orto y paragneisses en facies de granulita, anortositas, rocas metasedimentarias y charnokitas. El complejo se dividió en dos partes estructurales (Ortega-Gutiérrez, 1981), una parte superior compuesta por paragneiss de cuarzo feldespático con grafito, charnokita bandeada con gneiss, migmatita, anfíbolita y mármol y una parte inferior formada por pegmatitas, anortosita con ortogneiss diorítico, gabrónico y granítico.

Se presentan dos asociaciones ortognéicas en el Oaxaqueño, una de composiciones básica-intermedia y otra granítica-sienítica. La primera consiste en un macizo anortosítico de andesina de unos 300-400 km² de extensión, circundado por gneises gabroides bandeados, con intercalaciones de composición diorítica hasta ultrafélsica (pegmatítica). Algunos componentes ultrabásicos en el macizo son notables como las nelsonitas de ilmenitas y apatita, las cuales posiblemente se formaron por inmiscibilidad magmática (Ortega-Gutiérrez, 1977), durante las etapas finales de la cristalización del magma anortosítico original. Estas características petrológicas, texturales y estructuras primarias que consecuentemente se conservaron hacia el interior de la metaanortosita,

manifiesta de manera contundente un origen premetamórfico estrictamente magmático (Ortega-Gutiérrez, 1981).

La segunda asociación plutónica del Complejo Oaxaqueño incluye un intervalo de algunos kilómetros de espesor de sienitas charnokitizadas y granitos, que aparecen en la parte superior, intercalados entre gneises calcáreos y pelíticos.

En los ambientes sedimentarios y procesos de sedimentación del Oaxaqueño, las rocas metasedimentarias comprenden principalmente rocas calcáreas, pelíticas y arcósicas representadas por mármol, gneis y granulita de silicatos cálcicos, gneis cuarzo-feldespático con cantidades variables de grafito a lo que Ortega-Gutiérrez (1981), sugirió como una etapa sedimentaria; así también, la presencia de escapolitas sugieren que existió presencia de amplios ambientes evaporíticos en las secuencias sedimentarias, aunado a esto, la composición calcimagnésica de los mármoles evocan secuencias carbonatadas, en su mayoría de composición dolomítica, depositados en cuencas de poca circulación. La presencia de sulfuros y rocas cuarzo-feldespáticas, indican condiciones de reducción al momento del depósito.

3.1.2 Complejo Xolapa

El Complejo Xolapa fue descrito por primera vez por De Cserna (1965), con base en las rocas que afloran en el Río Papagayo y en el poblado de Xolapa en el estado de Guerrero; el Complejo consiste de rocas metasedimentarias, esquistos de biotita, gneises de biotita, cuarcitas, mármoles y pegmatitas. El límite del Xolapa y los complejos metamórficos de Acatlán y Oaxaqueño se encuentra en la zona de cizalla de Tierra Colorada (Ratschbacher et al., 1991; Morán-Zenteno, 1992; Riller et al., 1992), por medio de la Falla de Chacalapa, por lo que el contacto es tectónico entre el Complejo Oaxaqueño y el Complejo Xolapa (Tolson 1998, 2005). Le sobreyace mediante un contacto discordante la Formación Colotepec, la única cobertura sedimentaria del Xolapa en el área de estudio. Sánchez-Rubio (1973) y Ortega-Gutiérrez (1981) detallan secuencias similares, en Puerto Escondido y Pinotepa Nacional, Oaxaca, destacando que son rocas migmatíticas; así mismo Ortega-Gutiérrez (1981), propone una conexión en las secuencias de rocas metamórficas en donde extiende los límites del Complejo Xolapa.

Otros estudios detallados se llevaron a cabo en la Barranca de Xolapa y Río La Sabana por Alaniz-Álvarez (1988), Victoria-Morales et al., (1988) y Ortega-Gutiérrez (1993), en donde describen sus características petrológicas y relaciones estructurales. Robinson et al., (1989,1990) y Sabanero-Sosa (1990), efectuaron los primeros estudios estructurales del Xolapa, los cuales sirvieron como una base

para visualizar la evolución tectónica de la margen norteamericana y del Caribe. Posteriormente, la mayoría de los estudios del complejo se enfocaron a análisis geoquímicos y geocronológicos, para de esta manera determinar con mayor exactitud las series de eventos geológicos y tectónicos que lo han afectado, entre ellos destacan los trabajos de Morán-Zenteno (1992), Herrmann et al., (1994), Schaaf et al., (1995), Morán-Zenteno et al., (1996), Ducea et al., (2004), así como estudios termobarométricos de Corona-Chávez (1997).

Más recientemente Torres de León (2005) y Solari et al., (2007), se identificaron cuatro eventos de deformación, con fases de acortamientos en el Cretácico Tardío al Paleoceno, así como una serie de eventos magmáticos durante todo el Mesozoico, así también Pérez-Gutiérrez et al., (2009), reconocen tres fases de deformación dúctil en un proceso de fusión de la corteza, con lo cual convergen en la hipótesis de que el Complejo Xolapa habría entrado en colisión con el Bloque de Chortis.

El Complejo Xolapa comprende uno de los conjuntos de secuencias metamórficas más complejas, lo cual se encuentra desde su primera descripción hasta las más recientes, por lo que han pasado distintas teorías que tratan de explicar su origen y evolución. Con base en toda la serie de estudios realizados, se considera que existen eventos geológicos que lo enmarcan dentro del Mesozoico, considerando la gran diversidad de dataciones que dan los cuerpos intrusivos hasta edades Paleógenas por enfriamiento. La mayoría de autores indican una estrecha relación de este complejo con la colisión del Bloque de Chortis, así como su proceso de deformación por orogénesis, su exhumación y su posterior erosión.

3.1.3 Formación Teposcolula

La primera descripción informal de la Formación Teposcolula fue hecha por Salas (1949), en San Pedro Teposcolula, Oaxaca, en donde afloran calizas y dolomías; posteriormente lo hace Erben (1956), quien la sitúa en el Oxfordiano. Ferrusquía-Villafranca (1976), la define formalmente y describe que la Teposcolula contiene material fosilífero; foraminíferos, gasterópodos, tintinídeos y pelecípodos; con ello le asigna una edad cretácica del Albiano-Cenomaniano. Caballero-Miranda (1989), estudia esta unidad y realiza una división de la formación, indicando que se compone de dos partes; la primera consiste en calizas tipo mudstone a packstone con pedernal, y la segunda se compone de horizontes arcillo-arenosos, calizas limosas, margas y areniscas calcáreas.

Los espesores de la Formación Teposcolula varían respecto a su ubicación, ya que Ferrusquía-Villafranca (1976), reporta un espesor de 108 m, considerando que

la base no aflora. otros autores como Salas (1949), reporta haber medido hasta 1000 m.

De acuerdo con los estudios realizados a la secuencias calcáreas de esta unidad por los autores antes mencionados, estos coinciden que el ambiente de depósito propuesto consiste en ambientes de plataforma con influencia de terrígenos hacia su parte superior, en el cual ocurren eventos intermitentes de emersión y erosión, en un marco de un relieve contrastado; así mismo Ferrusquía-Villafranca (1976), establece que existen fósiles que ubicarían a la Teposcolula en un ambiente nerítico, así como litofacies de alta y baja energía.

La unidad se correlaciona con la serie de rocas carbonatadas, aflorantes y descritas cerca de la zona de Puerto Escondido, Oaxaca, donde se tiene una unidad de calizas que afloran de manera aislada, que se encuentran como una serie de unidades colgantes sobre cuerpos batolíticos a las cuales han intrusionado y metamorfozados, provocando marmolización.

3.1.4 Formación Colotepec

Palmer (1928), describió por primera vez a la Formación Colotepec, la que corresponde a la serie de unidades de arenisca, conglomerado y coquina aflorantes en el Río Colotepec; posteriormente Sánchez (1973) y Schulze (1988), la definen informalmente como conglomerado Puerto Escondido. Esta unidad consiste de areniscas con clastos de rocas graníticas, gneis, migmatita, pegmatita y mármol, conglomerados ocreos con clastos compuestos de gneis, anfibolita, granito, granodiorita y pegmatita, bien cementados.

La Formación Colotepec se encuentra sobreyaciendo al Complejo Xolapa y subyaciendo a las Terrazas costeras de Puerto Escondido, Oaxaca, es la única cobertura sedimentaria del Complejo, en el área de estudio.

3.1.5 Terrazas Costeras de Puerto Escondido

Las Terrazas costeras de Puerto Escondido, Oaxaca, comprenden una serie de secuencias de gravas y arenas aflorantes, las cuales se extienden desde las localidades de Roca Blanca, Puerto Escondido, Escobilla y San Isidro de Palmar, Oaxaca, conformadas por sedimentos procedentes de los complejos metamórficos Xolapa y Oaxaqueño. Los espesores de las Terrazas costeras de Puerto Escondido varían respecto su ubicación, el mayor espesor encontrado es de 28.13 m en el área de Playa Coral.

3.2 Estratigrafía Local

En este apartado se realiza la descripción detallada de las unidades aflorantes en el área de estudio, correspondientes con el Complejo Xolapa y con la Formación Colotepec las cuales afloran en las Terrazas Costeras de Puerto Escondido, Oaxaca (Fig. 3.2). Cada descripción en los sitios estudiados se lleva a cabo desde la base hasta la cima, por lo que la descripción de unidades se realiza de las más antiguas hacia las más jóvenes.

Las columnas medidas presentan un espesor total de 56.2 m; en las cuales se realizó un análisis de las características tanto litológicas, sedimentológicas, estratigráficas y paleontológicas, para lo cual se efectuaron mediciones con espaciamentos entre 20 y 50 cm, dependiendo los cambios observados en los afloramientos.



Fig. 3. 2. Sitios donde se midieron las columnas estratigráficas :Terraza Capri; Terraza Punta Colorada; Terraza Playa Coral y Terraza Valdeflores (Modificado de Google Earth, 2012)

3.2.1 Terraza Punta Colorada

El sitio donde se realizó la medición se encuentra ubicado en las coordenadas geográficas (15° 52' 11.4" N , 97° 06' 12.6" W), en la zona suroeste del área de estudio, dentro de la Playa Punta Colorada, la cual corresponde a la base de la columna estratigráfica local; presenta un espesor total de 16.80 m, en la cual aflora el basamento metamórfico (Fig. 3.3).

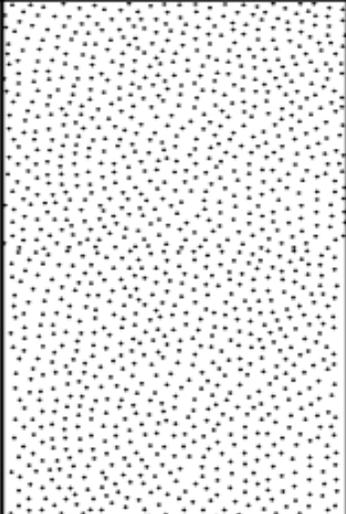
Unidad		Espesor de capa m.	Espesor Total (m.)	Litología
Arenas Punta Colorada		16.8	6.50	
Fm. Colotepec	Arenisca	10.3		
	Coquina	8.9	1.50	
	Conglomerado	7.4	2	
Litodema Gneiss		5.4	5.40	
		0		

Fig 3.3 Columna Estratigráfica medida en la Terraza Punta Colorada, Puerto Escondido, Oaxaca.

A) Complejo Xolapa

1) *Gneiss Puerto Escondido.*

Aflorando desde la parte norte hasta la parte sur del área de estudio, principalmente sobre la Playa Coral, Río Grande, Playa Puerto Angelito, Río Colotepec y en el sitio donde se midió la columna estratigráfica Terraza Playa Punta Colorada, se encuentra una unidad de rocas metamórficas que constituyen la base de la columna estratigráfica que aflora en el área de estudio.

Son rocas que presentan un color gris claro con bandeamiento, en la cual se observa deformación con foliación; macroscópicamente con una mineralogía de cuarzo, plagioclasa, feldespato y biotita, además presenta intrusiones de diques de composición granítica los cuales cortan al gneiss; a la unidad de gneiss le sobreyace la unidad de conglomerado que forma parte de la Formación Colotepec, su límite inferior no aflora (Fig. 3.4). El espesor medido de la unidad de gneiss es de 5.4 m, de su parte superior, ya que su base no aflora.



Fig. 3.4. Contacto entre el Complejo Xolapa (localmente unidad gneiss Puerto Escondido) y la Formación Colotepec, en la localidad de Punta Colorada, Puerto Escondido, Oaxaca.

B) Formación Colotepec

La Formación Colotepec está conformada por tres unidades las cuales son: Unidad Conglomerado, Unidad de Coquina y Unidad de Arenisca.

1) Unidad Conglomerado

La roca presenta un color ocre con tonos gris obscuro, con clastos de gneiss y areniscas calcáreas, los cuales son subredondeados a redondeados, con dimensiones aproximadamente de 40 a 90 cm; la roca se encuentra soportada por clastos de gneiss y cementada por CaCO_3 . La unidad contiene material fosilífero, especialmente ostras con dimensiones que van de 10 a 15 cm (Fig. 3.5), cuyos estratos presentan un espesor de hasta 2 m, los cuales sobreyacen discordantemente a la unidad gneiss Puerto Escondido; este segmento de la columna subyace a la Unidad de Coquina



Fig. 3.5 Unidad Conglomerado de la Formación Colotepec, Punta Colorada, Puerto Escondido, Oaxaca.

2) Unidad de Coquina

La coquina presenta coloraciones en tonos grises medio a grises muy claros, es masiva, muy compacta por la cementación por carbonatos, con gran contenido fosilífero, donde predominan conchas, ostras y bivalvos, encontrándose también arenas gruesas; esta unidad está sobreyaciendo a la unidad de conglomerado y subyaciendo a la unidad de areniscas, con un espesor de 1.5 m (Fig. 3.6).



Fig. 3.6. Unidad de Coquina en la localidad de Punta Colorada, Puerto Escondido, Oaxaca.

3) Unidad de Arenisca

La roca presenta un color gris oscuro, es de grano medio a fino cementada por CaCO_3 , moderadamente seleccionada; presenta estratificación cruzada y laminar, con presencia de icnofósiles del genero *Thalassinoides* y *Psilonichnus*. La unidad tiene un espesor de 1.4 m, que se encuentra sobreyaciendo a la unidad de Coquina y subyaciendo a la Unidad de Arenas Punta Colorada, que forman parte de las Terrazas de Puerto Escondido, Oaxaca.

C)Terraza Punta Colorada de Puerto Escondido.

1) Arenas Punta Colorada

Las arenas que afloran en esta área tienen un color rojizo debido a una fuerte oxidación, las cuales no presentan cementación, sin embargo, sí tienen una muy ligera compactación; se compone de granos con un tamaño de medios a finos, son subangulosos a subredondeados, con un contenido mineralógico de cuarzo y fragmentos de gneiss y piroxeno. Tiene un espesor de 6.5 m, y se encuentra sobreyaciendo a la unidad de Arenisca de la Formación Colotepec; el contacto corresponde con un hiatus, ya que existe un cambio drástico de condiciones entre la Formación Colotepec y las areniscas de la Terraza Puerto Escondido (Fig. 3.7).



Fig. 3.7 Unidad de Arenas Punta Colorada, en Puerto Escondido, Oaxaca.

3.2.2 Terraza Capri

La columna estratigráfica fue medida en la zona centro de la Ciudad de Puerto Escondido, Oaxaca, donde presenta un espesor total de 11.25 m; sin que tenga un cambio litológico notable (Fig.3.8), aunque se encontró como principal característica un gran conjunto de galerías de icnofósiles abarcando la mayor parte de los sedimentos de la terraza (Fig.3.9).



Fig. 3.8. Estratos de Arenas en la Terraza Capri, en el centro de Puerto Escondido, Oaxaca.

Unidad		Espesor total m.	Espesor por capa m.	Litología
Terrazas de Puerto Escondido	Arenisca cálcarea	11.25	4.4	[Dotted pattern]
	Arena Media a gruesa	6.85	4.2	[Large dots pattern]
	Arenas gruesas	2.65	0.45	[Dotted pattern]
	Arenas finas	2.2	0.4	[Dotted pattern]
	Arena Media a gruesa	1.8	1.2	[Large dots pattern]
	Arenas gruesas	0.6	0.6	[Large dots pattern]

Fig 3.9 Columna Estratigráfica medida en la Terraza Capri, Puerto Escondido, Oaxaca.

La terraza Capri se puede separar en 6 unidades, las cuales presentan las siguientes características.

A) Unidad Arenas Gruesas.

Las arenas presentan coloraciones de grises claros a muy claros, con una mineralogía de cuarzo, feldespato y minerales oscuros, poco cementada por CaCO_3 , pobremente compactada, con granos gruesos, subredondeados, moderadamente seleccionados, con presencia abundante de icnofósiles y bivalvos; la unidad presenta gradación normal y su espesor es de 0.6 m, en donde su límite inferior no aflora y subyace a la unidad de Arenas Gruesas a medias.

B) Unidad Arenas Gruesas a Medias.

Las arenas tienen un color marrón claro y una mineralogía de cuarzo, feldespato y minerales oscuros con cementante de CaCO_3 ; este mismo aumenta conforme se asciende estratigráficamente se presenta, pobremente compactadas, con granos de tamaño medio, subredondeados, moderadamente seleccionados; en la unidad hay presencia de marcas de carga y laminación, su espesor es de 1.2 m. Se presentan sobreyaciendo a la unidad de Arenas Gruesas y subyaciendo a la unidad de Arenas Finas

C) Unidad de Arenas Finas.

Las arenas de grano fino presentan una coloración marrón muy claro con una mineralogía de minerales oscuros, compuesta por feldespato, plagioclasa y cuarzo, con granos finos, subredondeados, cementados por CaCO_3 , moderadamente seleccionados, pobremente compactados, presentando marcas de carga y laminación, con una presencia abundante de galerías (icnofósiles), su espesor es de 0.4 m. La unidad sobreyace a la Unidad de Arenas Gruesas a Medias y subyace a la Unidad Arena Gruesas.

D) Unidad de Arenas Gruesas.

Son arenas de color marrón claro, con una mineralogía de cuarzo, plagioclasa, feldespato y minerales oscuros; los granos están cementados con CaCO_3 , este mismo aumento es con referencia a la Unidad de Arenas Finas. Los granos son gruesos, subredondeados a subangulosos, moderadamente seleccionados, presenta laminación y su espesor es de 0.45 m, sobreyace a la Unidad de Arenas Finas y subyace a la Unidad de Arenas Medias a Gruesas.

E) Unidad de Arenas Medias a Gruesas.

Las arenas presenta una coloración de marrón muy claro, con una mineralogía de plagioclasa, feldespato y cuarzo, con granos medios a gruesos, subangulosos a subredondeados; las arenas presentan mayor contenido de CaCO_3 , gradación normal, un desarrollo amplio de galerías, con un espesor de 4.2 m. A la unidad le sobreyace la secuencia de Arenas Gruesas y subyace a la secuencia de Arenisca Calcárea.

F) Unidad de Arenisca Calcárea.

La roca presenta tonalidades que van desde gris oscuro hasta gris claro, es masiva, bien consolidada y cementada por CaCO_3 ; de composición mineralógica de cuarzo, feldespato y plagioclasa. Los granos se observan subangulosos a subredondeados, moderadamente seleccionados y con abundancia de contenido de icnofósiles; en conjunto la unidad tiene un espesor de 4.4 m, la cual sobreyace a la Unidad de Arenas Medias a Gruesas.

3.2.3 Terraza Playa Coral

Se localiza dentro de las costas de Puerto Escondido, Oaxaca, en la playa Coral, entre las coordenadas geográficas $15^\circ 51' 44.2'' \text{ N}$, $97^\circ 5' 4.5'' \text{ W}$; la terraza se encuentra expuesta con escarpes verticales hacia el mar debido al alto nivel de erosión que presenta. (Fig. 3.10).

	Unidad	Espesor Total m.	Espesor por capa m.	Litología
Terrazas Puerto Escondido	Arena Gruesa	28.13	15	
	Arena con gravas.	13.13	1.80	
	Arena Finas	11.33	0.83	
	Arena Medias a Gruesa	10.5	0.80	
	Gravas de gneiss	9.7	0.20	
	Arena Gruesa	9.5	1.80	
	Arena Medias a Gruesa	7.7	2.50	
	Gravas	5.2	1.85	
	Arena Gruesa	3.35	3.35	
			0	

Fig. 3.10 Columna Estratigráfica Terraza Coral, Puerto Escondido, Oaxaca.

A) Arenas Gruesas.

Son Arenas de color marrón claro que se componen de granos gruesos, subangulosos, pobremente seleccionados; con un contenido mineralógico de cuarzo, feldespato, plagioclasa, micas y minerales oscuros, con presencia de oxidación, y con contenido de icnofósiles; así también se observa gradación normal y laminación. Su espesor es de 3.35 m, cuyo límite inferior no aflora, pero subyace a la Unidad de Gravas.

B) Unidad de Gravas

Las gravas en su conjunto presentan una tonalidad de marrón oscuro a claro, las cuales se caracterizan por contener intercalaciones de arenas gruesas y gravas, predominando las últimas. Se presentan moderadamente seleccionadas, de subangulosas a subredondeadas, con dimensiones de 5 cm, aunque en las partes de arenas gruesas se encuentran icnofósiles, la unidad tiene un espesor de 2.45 m, y sobreyace a la Unidad de Arenas Gruesas y subyace a la Unidad de Arenas Medias a Gruesas.

C) Unidad de Arenas Medias a Gruesas.

Las arenas presentan un color marrón claro, con una mineralogía de cuarzo, feldespato y plagioclasa; los granos van de medios a gruesos, son subredondeados a subangulosos, pobremente compactada. La unidad tiene una potencia de 2.5 m y sobreyace a la Unidad de Gravas y subyace a la Unidad Arenas Gruesas.

D) Unidad de Arenas Gruesas

Arenas de color marrón claro, con granos subredondeados a subangulosos, la misma contiene presencia de gravas aunque en menor proporción, con una mineralogía de cuarzo, feldespato, plagioclasa y micas; la unidad presenta además estratificación cruzada así como laminaciones. Tiene un espesor de 1.8 m. La secuencia sobreyace a la Unidad de Arenas Medias a Gruesas y subyace a la Unidad de Gravas compuestas de fragmentos de Gneiss.

E) Unidad de Gravas con fragmentos de Gneiss.

La unidad presenta gravas con una coloración de marrón claro, con gravas subredondeadas, moderadamente seleccionadas, con dimensiones promedio de 7 cm; los clastos corresponden a fragmentos de rocas metamórficas (gneiss). La unidad tiene un espesor de 0.2 m, la cual sobreyace a la Unidad de Arenas Gruesas y subyace a la Unidad de Arenas Medias a Gruesas.

F) Unidad de Arenas Medias a Gruesas.

Las arenas presentan un color marrón claro, con una mineralogía de cuarzo, feldespato y plagioclasa; los granos van de medios a gruesos, son subredondeados a subangulosos, pobremente compactada. La unidad tiene una potencia de 0.8 m y sobreyace a la Unidad de Gravas de Gneiss y subyace a la Unidad Arenas Finas.

G) Unidad de Arenas Finas.

Secuencia que presenta una tonalidad marrón claro, con una mineralogía de feldespato, plagioclasa, minerales oscuros y cuarzo; las arenas también presentan granos finos, subredondeados, moderadamente seleccionados. La unidad contiene laminación la cual se distingue por las tonalidades oscuras, estratificación cruzada y rizaduras; el espesor de la unidad es de 0.83 m, la cual sobreyace de la Unidad de Arenas Medias a Gruesas y subyace a la Unidad de Arenisca Conglomerática.

H) Unidad Arena con Gravas.

Las arenas presentan tonalidades de marrón claro a rojizas, con una mineralogía de feldespato, plagioclasa y cuarzo; los clastos van de subredondeados a subangulosos, pobremente seleccionados; tiene un espesor de 1.8 m. La secuencia sobreyace a la Unidad de Arenas Finas y subyace a la Unidad de Arenas Gruesas.

I) Unidad de Arenas Gruesas

Son secuencias de color marrón claro a oscuro, con presencia de oxidación y con una mineralogía de cuarzo, feldespato y plagioclasa, con granos gruesos subredondeados a subangulosos, moderadamente seleccionados, ligeramente compactados; el espesor de la unidad es de 13 m. A esta Unidad le subyace la Unidad de Arenisca Conglomerática, en la cual se muestrearon arenas para su estudio sedimentológico.

3.2.4 Valdeflores

Se localiza en la coordenadas geográficas 15°46'1.03" al Norte y 96°50'52.91" al Oeste, sobre la carretera Puerto Escondido-Pinotepa Nacional, el afloramiento (Fig. 3.11) se encuentra en contacto con un gneiss y granodiorita por fallamiento normal, con un espesor total de 9.44 m.

Unidad		Espesor total m.	Espesor por capa m.	Litología
Terrazas Puerto Escondido	Arenas Gruesas	9.44	1.35	
	Gravas	8.07	3.35	
	Litodema Gneiss	4.72	4.72	

Fig. 3.11. Columna estratigráfica de la localidad de Valdeflores, Puerto Escondido, Oaxaca.

A) Unidad de Gneiss Puerto Escondido

Son rocas que presentan un color gris claro con bandeamiento, en la cual se observa deformación con foliación; macroscópicamente con una mineralogía de cuarzo, plagioclasa, feldespato y biotita.

B) Unidad de Gravas

La unidad de Gravas está conformada por clastos subredondeados a redondeados conformado por clastos de gneiss, esquisto y granodiorita. Presenta un espesor de de 3.35 m.

C) Unidad de Arenas

La unidad está compuesta por arenas gruesas que están subredondeadas poco consolidadas cementadas por CaCO_3 , con gradación normal, con un espesor de 1.35 m.

3.3 Correlación Estratigráfica

Con base en la información obtenida por la descripción y medición de las terrazas se realizó una correlación entre columnas estratigráficas de distintos afloramientos (Fig. 3.12 y 3.13) a lo largo de la costa de la región de Puerto Escondido, Oaxaca en donde observan las asociaciones de facies litológicas y paleontológicas

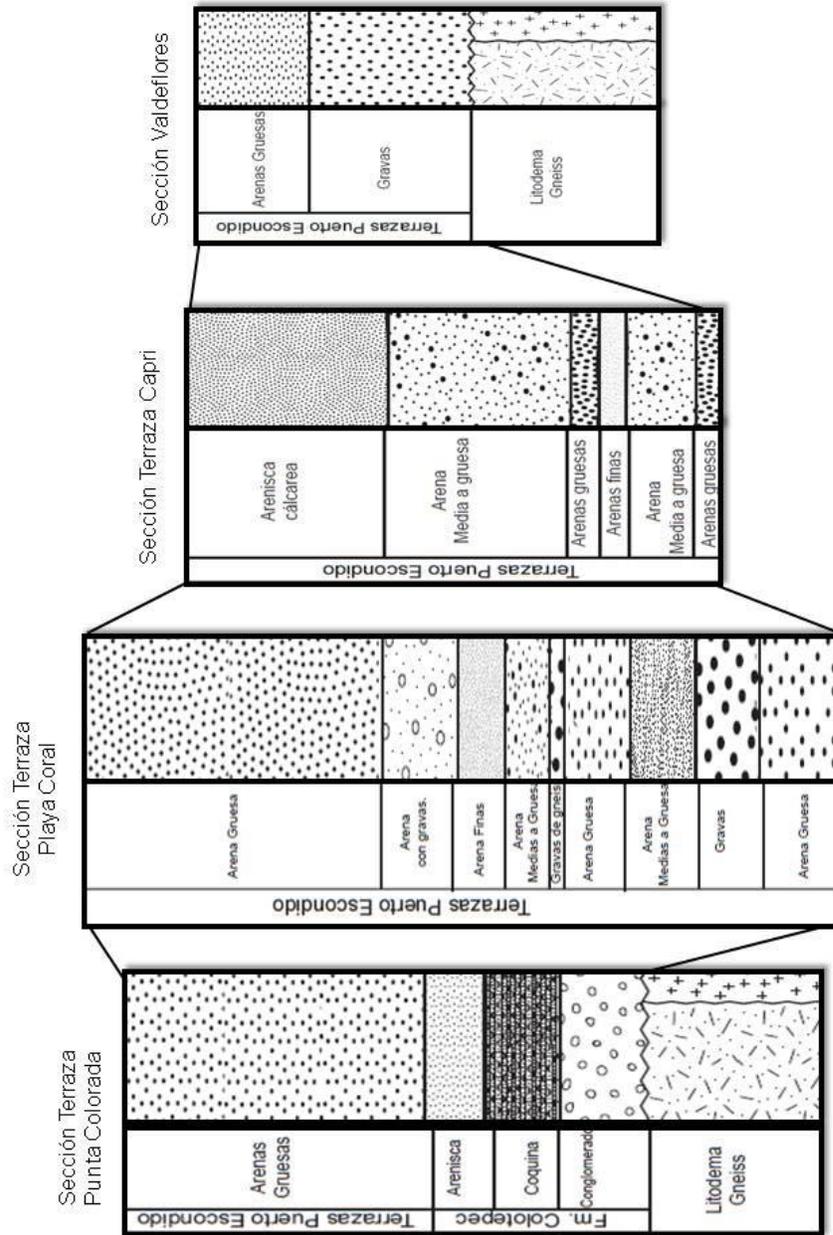


Fig. 3.12 Correlación estratigráfica de las columnas medidas en la zona de estudio.

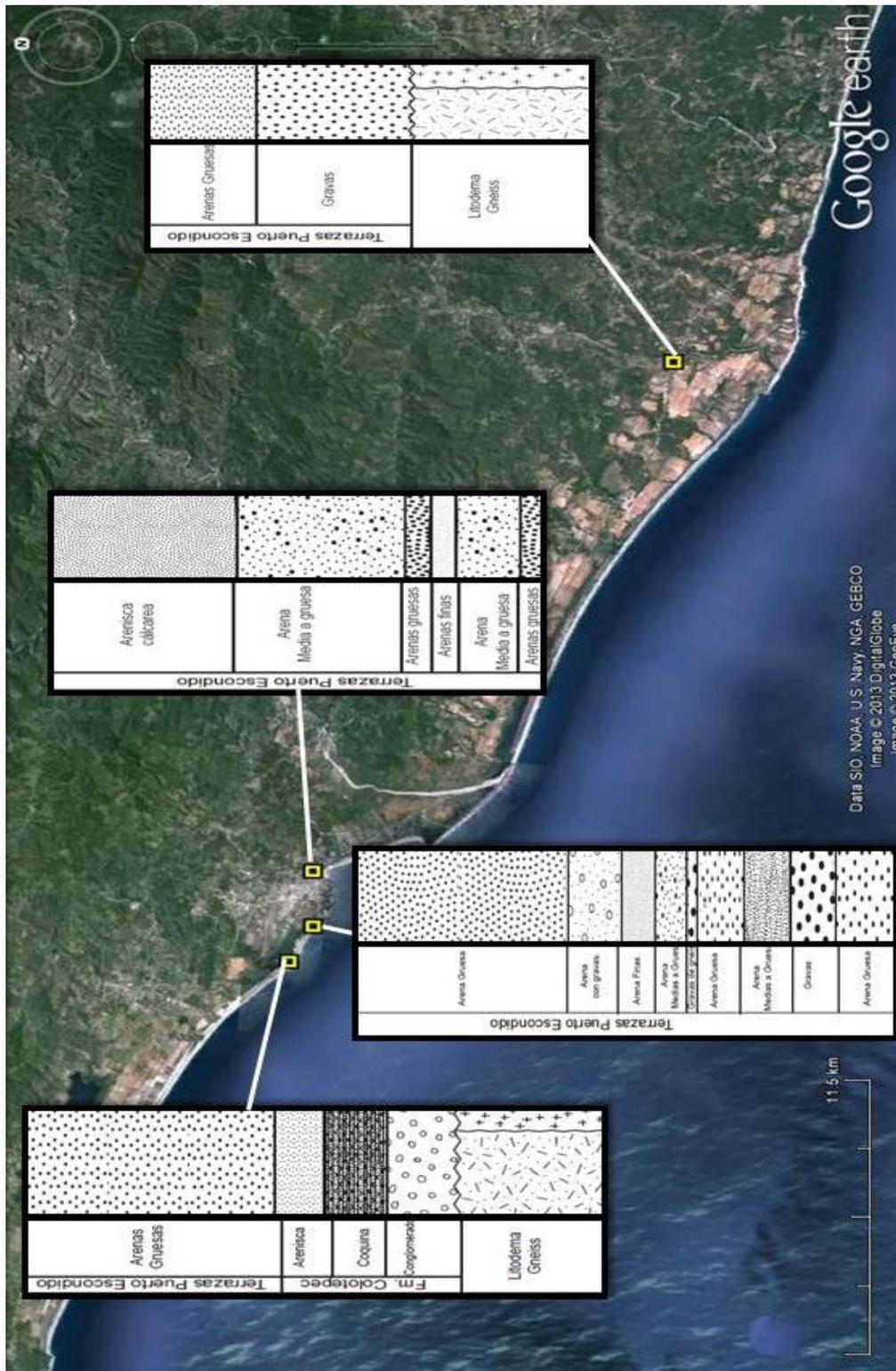


Fig. 3.13 Relación de columnas estratigráficas con base a la línea de costa.

3.4 Características Paleontológicas

Dentro de las zona de estudio, en las terrazas costeras, se encuentra gran variedad de contenido paleontológico, principalmente se tienen galerías de icnofósiles, estructuras que se forman como resultado de la actividad en la vida de algunos organismos, indicando el ambiente en el cual se desarrollaron.

En la terraza Capri existe la especie *Psilonichnus* (Fig. 3.14) principalmente, la cual tiene ejemplares de aproximadamente de 15 cm de longitud, formados en ambientes supralitorales con condiciones de baja energía, en la zona infralitoral (Fig. 3.15)



Fig. 3.14. Galería de Icnofósiles de la especie *Psilonichnus*, en la Terraza Capri en Puerto Escondido, Oaxaca.

En la terraza Coral predominan las especies *Ophiomorpha nodosa* (con tubos de pared granulosa), la cual presenta ramificaciones. Se caracteriza por su pared granulosa y gruesa constituida por pellets, siendo lisa por dentro y rugosa por fuera como ocurre con la especie *Skolithos*, dentro de la cual los organismos realizaron excavaciones verticales y muy inclinadas de forma cilíndrica, caracterizándose por que la pared del tubo es lisa. Esto ocurre en ambientes marinos poco profundos, inestables y de energía alta.

Por último, en la Terraza Punta Colorada prevalecen los géneros *Psilonichnus cf. upsilon* y *Thalassionoides*.

CAPÍTULO III. ESTRATIGRAFÍA

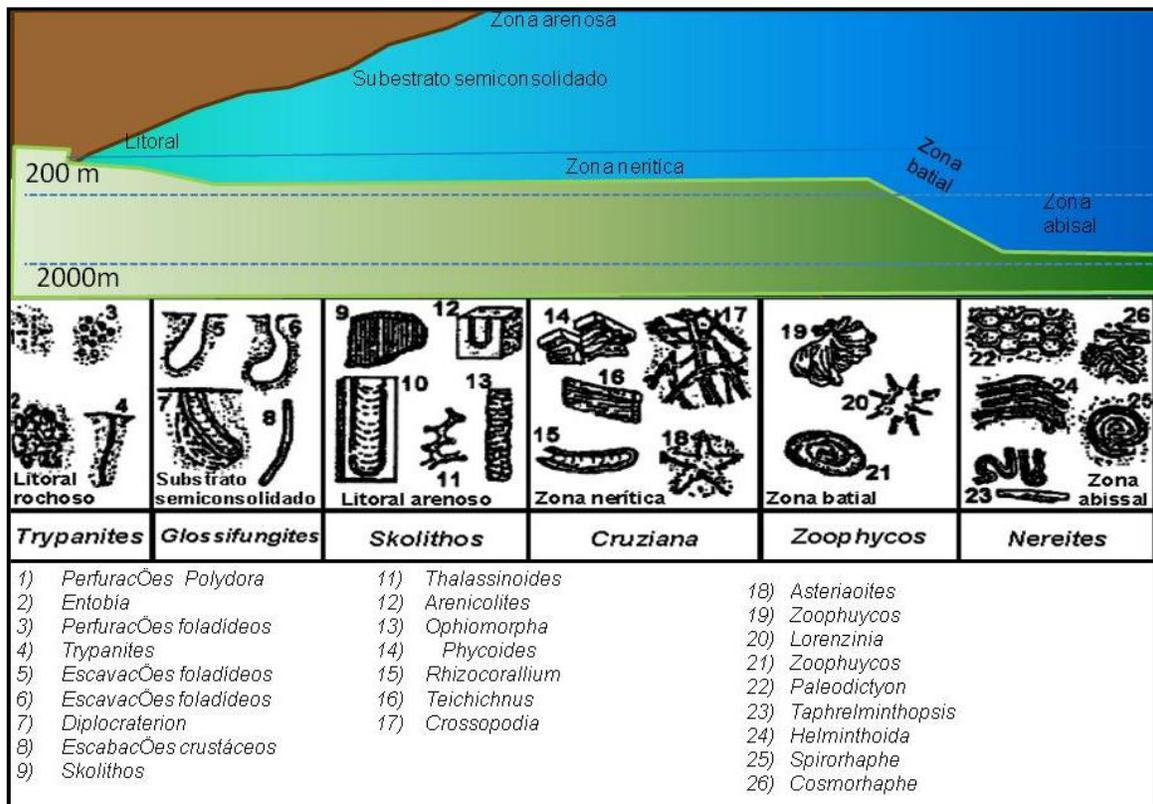


Fig. 3.15 Ambientes de depósito, a partir de los icnofósiles.

Debido a que la mayoría de los fósiles se encontraron en bloques caídos a los costados de las terrazas, se tiene una amplia distribución de estos, sin embargo, no fue posible encontrar fósiles índice como se indica en la tabla A del apéndice de contenido Paleontológico

CAPÍTULO IV

**ORIGEN
Y
EVOLUCIÓN
TECTÓNICA**

4.1 Características de las Terrazas

En general la génesis de las terrazas costeras a nivel mundial se da como resultado de la interacción de las variaciones del nivel del mar debido a condiciones glacioeustáticas, movimiento relativo de las placas tectónicas y aporte sedimentario. Lajoie (1986), estableció que a lo largo de las costas de California existe una relación entre dos variables, dinámica de las placas tectónicas y cambios en el nivel del mar durante el proceso de formación de las terrazas pleistocénicas; por su parte Ortlieb et al, 2003, consideran que la sedimentación y depositación de las terrazas dependerán de las máximas condiciones de ascenso o descenso del nivel medio del mar.

En algunos casos, el proceso por el cual en una terraza ocurre depositación, implica que existe una plataforma de abrasión, así cuando ocurren transgresiones se forman depósitos que constituyen cúmulos de sedimentos que se acumulan gradualmente; posteriormente al ocurrir una regresión ocasionada por levantamiento tectónico o periodos interglaciales, los cúmulos de sedimentos quedaran aislados completamente, por lo tanto, la repetición de los procesos sedimentológicos generarán nuevas terrazas.

La estructura y configuración de las terrazas en la parte occidental de Norteamérica, Centroamérica y Sudamérica (Ortlieb, 2003), son semejantes a las que se encuentran en la parte de California, esto quiere decir que el desarrollo de las terrazas resultan de la dinámica de la tectónica o por variaciones climáticas.

4.2 Distribución de las Terrazas

A lo largo de la costa del sur del Estado de Oaxaca, la distribución de las terrazas costeras no es continua, esto obedece a condiciones variables que dependen del fenómeno físico que impere sobre el litoral. Con base en lo observado se encontró que en algunos sectores del área de estudio, no ocurrió la sedimentación de clastos o arenas sobre las playas, por lo que no existen terrazas; aunque en algunos casos las terrazas no se han presentado por los efectos de la erosión. Una de las razones por el cual no existió sedimentación, podría deberse a la dirección de las corrientes marinas que transportan a otro sitio los sedimentos, también se debe a que en algunos sitios se tiene un relieve más abrupto; otra causa se explica por las manifestaciones climáticas como lo son los huracanes que son altamente erosivos y una causa adicional se debe al fenómeno antropogénico ya que algunas de las terrazas que se encuentran dentro de Puerto Escondido, Oaxaca han sido modificadas por las construcciones y vialidades de la Ciudad.

4.3 Rasgos de las Terrazas

Las características de las terrazas costeras de Puerto Escondido, Oaxaca, es que sus dimensiones no son tan amplias, esto quiere decir que transversalmente no sobrepasan los 300 m y longitudinalmente no son mayores a 3 km, así como verticalmente su altura máxima es de 28 m, las pendientes de sus superficies son de muy bajo grado tendiendo a ser horizontales; sin embargo, algunas de estas presentan montículos que se generaron por desprendimiento debido a las condiciones climáticas, tectónicas o por efecto de la gravedad. En sus bordes hacia el mar, las terrazas son de escarpes verticales que están alineados a la costa, pudiéndose explicar por el levantamiento y por la erosión propia de las arenas y areniscas cuando ocurren fenómenos meteorológicos.

Las terrazas presentan variación en su extensión a partir del mar, ya que su longitud transversal va de los 60 m hasta los 300 m.

4.4 Origen de los sedimentos

Las terrazas costeras están conformadas por sedimentos que proceden de los complejos metamórficos Xolapa y Oaxaqueño, esto se sustenta por el análisis mineralógico y petrográfico, en donde se tienen minerales y clastos pertenecientes a las terrazas cuyos componentes son principalmente fragmentos de rocas metamórficas, rocas ígneas intrusivas, fósiles (conchas) y fragmentos de fósiles.

Las muestras que se analizaron contienen una abundancia de minerales, donde predomina el cuarzo, feldespatos, plagioclasas, anfíboles, micas y líticos.

4.5. Geología Estructural

A nivel regional se encuentran estructuras geológicas de grandes dimensiones como la Falla Chacalapa (Ortega Gutiérrez y Corona- Ezquivel 1986; Tolson 1998, 2005), la cual tiene un rumbo general E-W, que pone en contacto a las rocas del complejo Oaxaqueño y con el complejo Xolapa, la cual presenta una longitud de 50 km, con deformación en el régimen dúctil por lo que se caracteriza por el desarrollo de rocas miloníticas; también presenta deformación en el campo frágil, con desarrollo de pseudotaquilitas. Por otra parte, existen una serie de fallas laterales de menores dimensiones, las cuales presentan desplazamiento oblicuo lateral-normal distribuidas a lo largo de la franja de la Falla de Chacalapa, lo cual indica que cuando estuvieron activas ocurrió transtensión.

Considerando que las rocas metamórficas se presentan con alto nivel de fracturamiento, se midieron rumbos y echados de dichas discontinuidades para conocer sus características e interpretar la orientación de los esfuerzos que las originaron. Se realizó la descripción y toma de datos de orientación en 9 localidades en las proximidades de las Terraza Costeras, las cuales son: Roca Blanca, Playa Punta Colorada, Playa Carrizalillo, Playa Angelito, Playa Coral, Puente El Regadío, Punta Zicatela, Valdeflores y Agua Blanca.

4.5.1 Roca Blanca

En la zona de Roca Blanca no se encuentra una cubierta sedimentaria, dicha zona presenta una morfología de llanuras, así como zonas de acantilados junto a la línea de costa; donde sobresalen rocas ígneas intrusivas pegmatíticas con una composición mineralógica de cuarzo, feldespato, plagioclasas, biotita y moscovita; las cuales presentan lineamientos con rumbos de S84°E y 15° de echado.

Las rocas se presentan fracturadas con orientaciones que forman dos familias, la primera tiene una orientación máxima de N70°W y la segunda de N22°W (Fig. 4.1 y 4.2), por lo tanto la dirección de máximo esfuerzo tiende a ser horizontal con una dirección al SE41°NW (Fig. 4.3).

Los cuerpos intrusivos se emplazaron en zonas de debilidad, es decir, aprovecharon los sistemas de fracturamiento, ya que en varios casos hay coincidencia con la orientación de las fracturas.

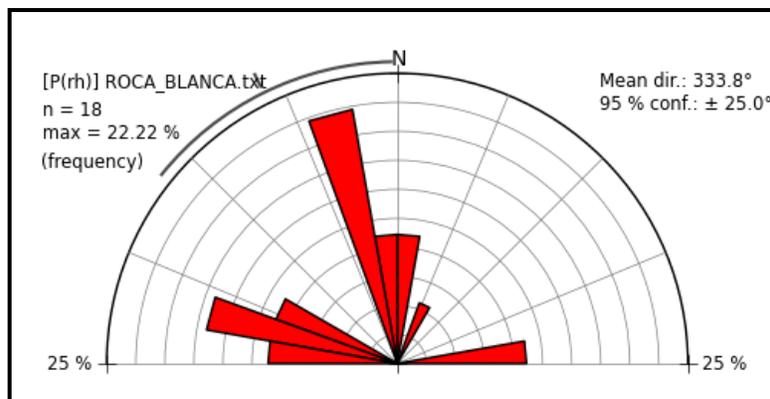


Figura. 4.1 Roseta estructural donde se muestra las direcciones de las fracturas de la zona de Roca Blanca.

CAPÍTULO IV ORIGEN Y EVOLUCIÓN TECTÓNICA

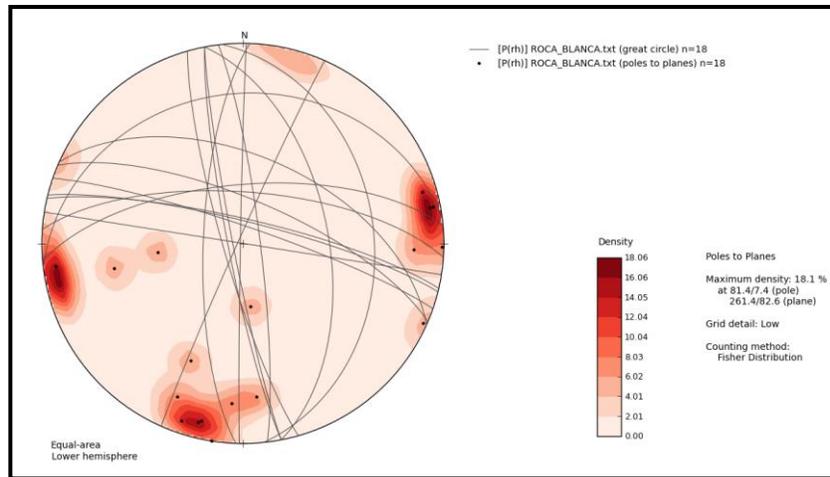


Figura. 4.2 Esquema se muestran los polos resultantes, así como los rumbos y echados de las fracturas en la zona de Roca Blanca.

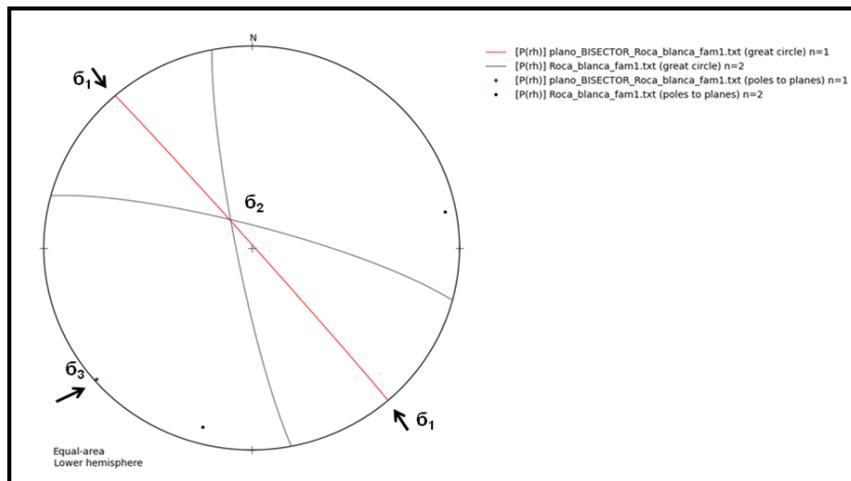


Fig.4.3 Representación del plano bisector de la primer familia de fracturas la zona de Roca Blanca.

4.5.2 Playa Punta Colorada

El sitio presenta zonas escarpadas con paredes abruptas, a lo largo de la costa, en la cual afloran de forma general tres litologías: un gneiss de color blanco con una mineralogía de cuarzo, biotita, moscovita y grafito, el que se encuentra afectado por dos familias de fracturas la primera con una dirección en N29.5°E y la segunda con una dirección N70°E (Fig. 4.4 y 4.5), resultando de una dirección horizontal de máximo esfuerzo al SW68°NE (Fig. 4.6); también se tiene un conglomerado con clastos de gneiss y arenisca con una familia de fracturas que se encuentran orientadas con una máxima alineación en N7.8°E (Fig.4.7 y 4.8) y S23°W, 80° como su dirección de máximo esfuerzo (Fig. 4.9) con aberturas que varían desde 1 cm hasta 30 cm; y por ultimo las arenas de color rojizo con una composición mineralógica de cuarzo, feldespatos, minerales oscuros y minerales oxidados, la cual no presenta fracturamiento.

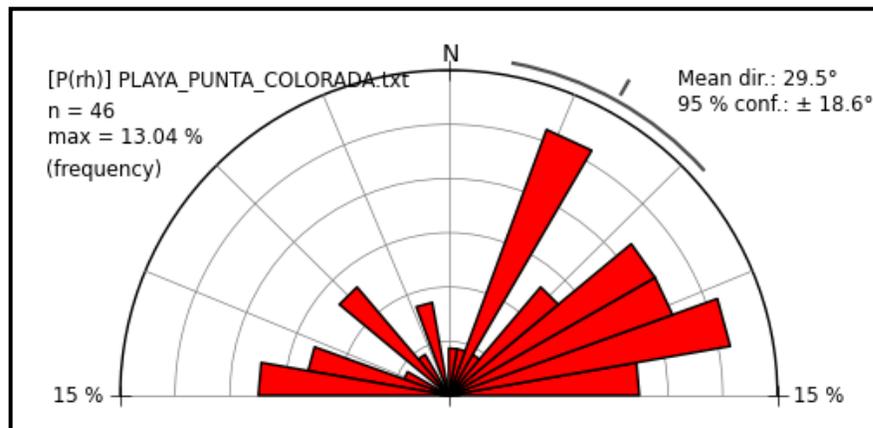


Figura 4.4 Roseta estructural donde los pétalos representan las direcciones de fracturas del gneiss.

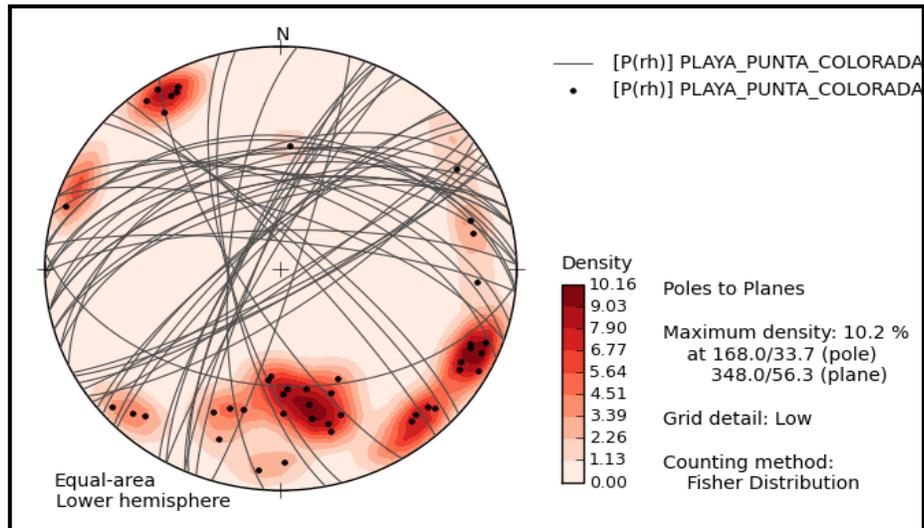


Figura 4.5 Esquema expone todo el conjunto de rumbos, echados y polos de las fracturas del gneiss aflorante en Playa Punta Colorada.

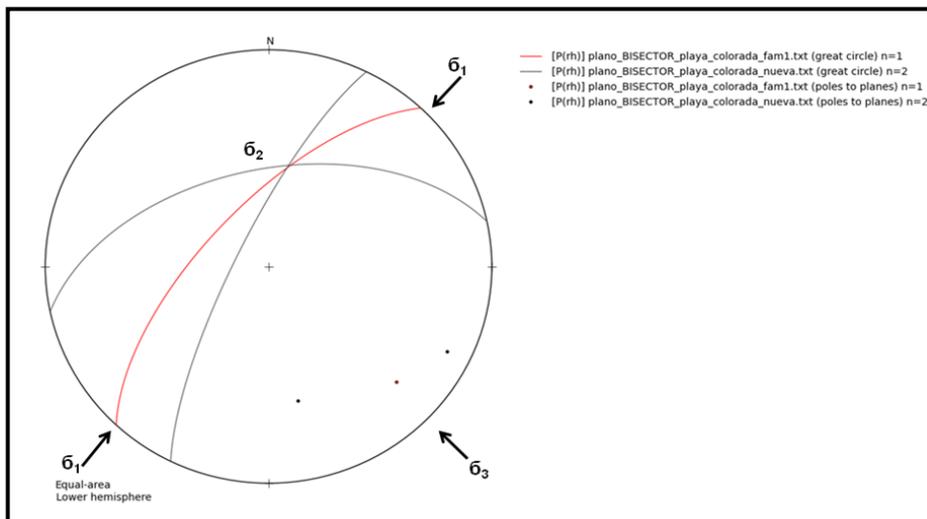


Fig. 4.6 Representación del plano bisector de la familia de fracturas en playa Punta Colorada.

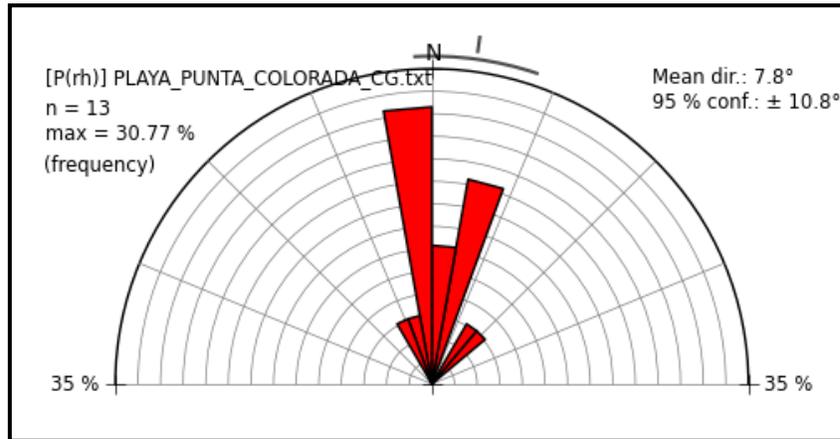


Figura 4.7 Roseta que representa las direcciones de rumbo del conglomerado de la Formación Colotepec.

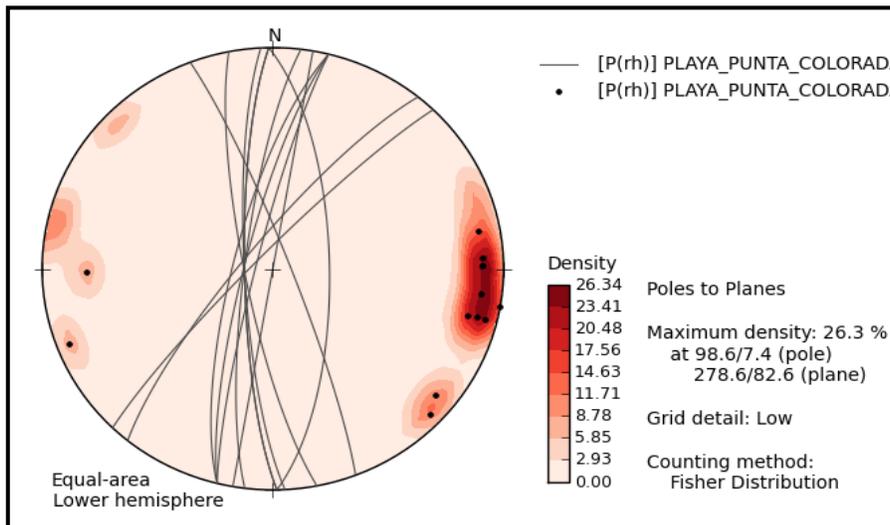


Figura 4. Esquema con rumbos, echados y polos del conglomerado en Playa Punta Colorada.

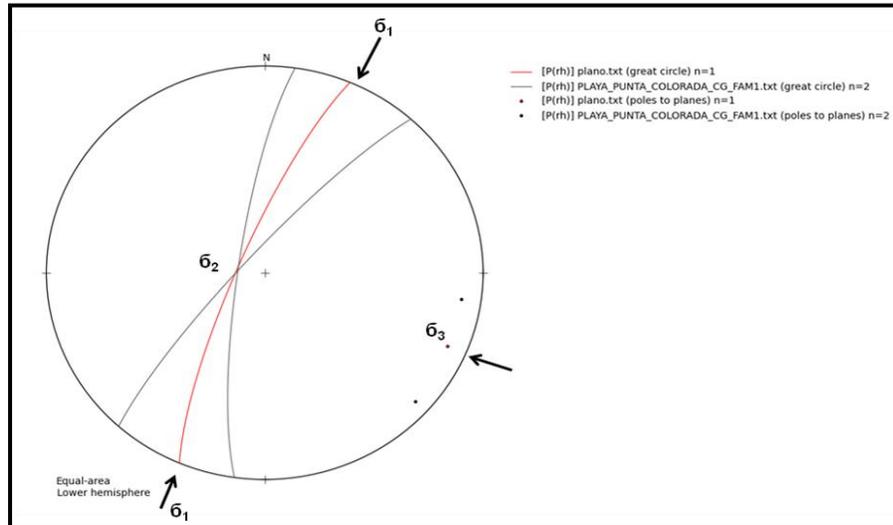


Fig.4.9 Representación del plano bisector de la familia de fracturas del conglomerado Colotepec, en playa Punta Colorada.

4.5.3 Playa Carrizalillo

El área de Carrizalillo se encuentra en forma de una pequeña bahía cerrada morfológicamente por acantilados, los cuales forman parte de la base de las terrazas que tienen en sus bordes una morfología abrupta y escarpada. Presenta una litología de rocas graníticas con composición mineralógica de cuarzo, biotita, plagioclasas y moscovita; la cual presenta dos familias de fracturas; la primera con una dirección máxima de N35.9°E y la segunda familia con una orientación máxima E-W (Fig. 4.10 y 4.11), dando como resultado una dirección máxima de esfuerzo en sentido horizontal hacia el S55°W (Fig. 4.12).

En la zona de acantilados se presentan bloques caídos de conglomerado y areniscas, donde también se exhibe la fusión parcial siendo visibles las zonas de melanosoma y leucosoma con un lineamiento de E-W y 68° de echado.

CAPÍTULO IV ORIGEN Y EVOLUCIÓN TECTÓNICA

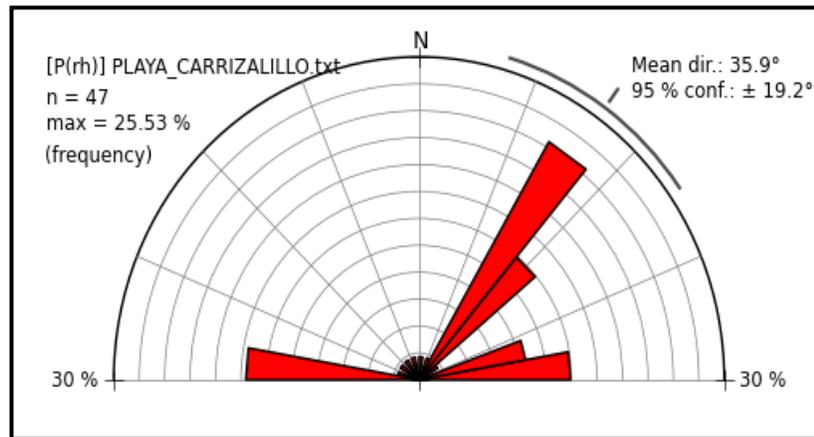


Figura 4.10 Esquema que evidencia las tendencias de las fracturas.

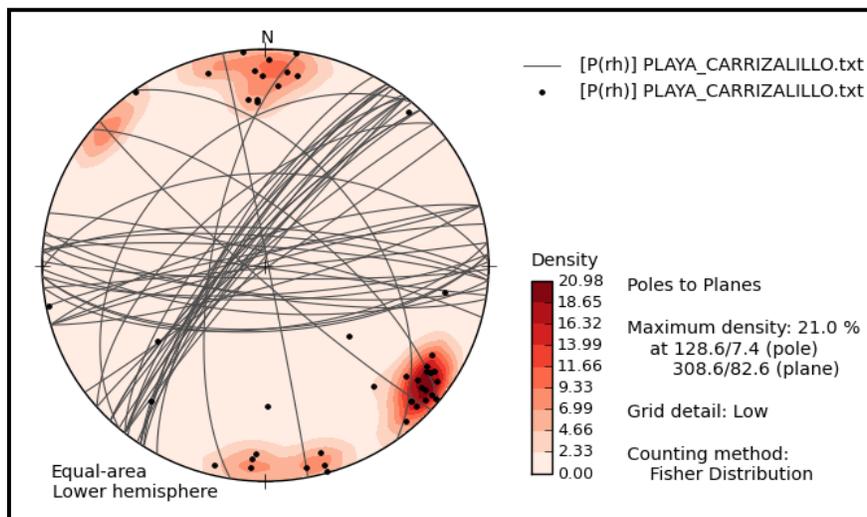


Figura 4.11 Imagen donde se representan los rumbos y echados de las fracturas en las rocas graníticas de Playa Carrizalillo.

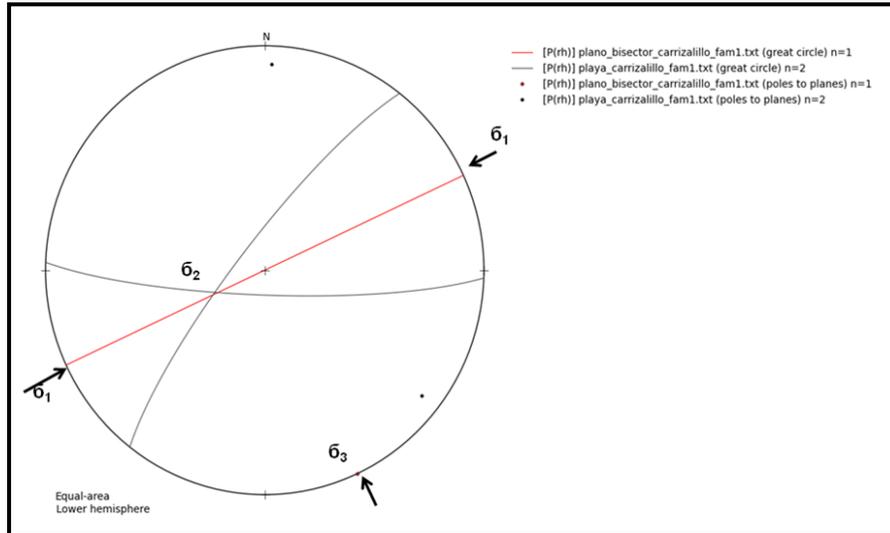


Fig.4.12 Representación del plano bisector de la familia de fracturas en Playa Carrizalillo.

4.5.4 Playa Angelito

La zona de Playa Angelito, presenta una forma de bahía cerrada con características similares a la playa Carrizalillo; con una dirección máxima en la familia de fracturas de N25.3°E (Fig. 4.1 y 4.14), dando como resultado una dirección máxima de esfuerzo horizontal al SE60°NW (Fig. 4.15), dentro de una litología granítica que presenta cuarzo, moscovita y plagioclasas; donde se observa una erosión diferencial comúnmente llamada intemperismo encebollado.

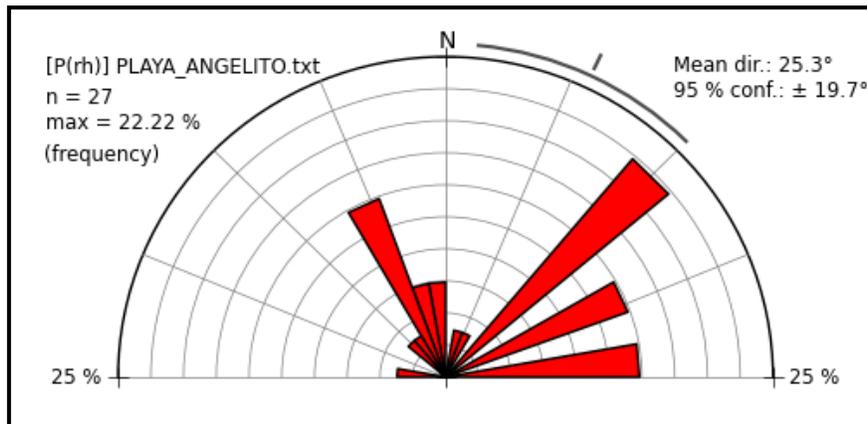


Figura 4.13 Imagen que representa las direcciones preferenciales de las fracturas.

CAPÍTULO IV ORIGEN Y EVOLUCIÓN TECTÓNICA

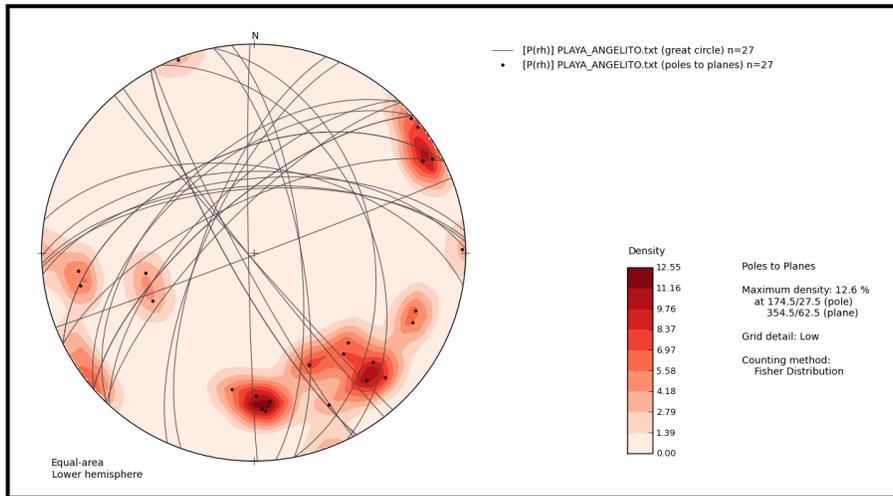


Figura 4.14 Esquema que muestra los rumbos y echados de las fracturas así como los polos de las rocas graníticas de Playa Angelito.

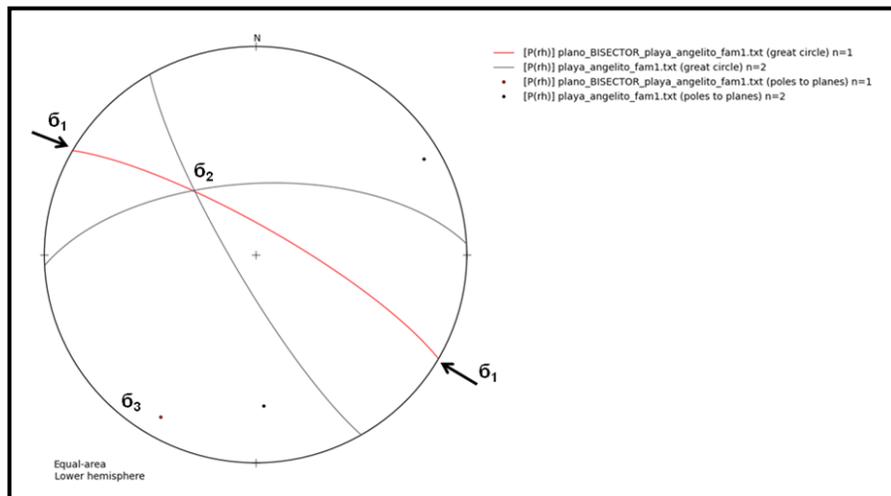


Fig.4.15 Representación del plano bisector de la familia de fracturas en Playa Angelito.

4.5.5 Playa Coral

La localidad de Playa Coral presenta en un sector formas abruptas en acantilados y en otro se encuentra la terraza la cual esta conformada con arenas medias a gruesas las cuales presentan 3 fallas normales todas con dirección de 92° y 49° de echado (Fig. 4.17) , aproximadamente en la parte central de la terraza.

Las familias de fracturas fueron tomadas en la base de la terraza con una litología de gneiss con composición mineralógica de cuarzo, biotita, moscovita y plagioclasas, las cuales presentan una dirección máxima en la primera familia de $N7.5^\circ E$ y la segunda presenta una dirección máxima de $N10W^\circ$ (Fig. 4.16 y 4.18), dando como resultado en una dirección horizontal de máximo esfuerzo hacia el $SW52^\circ NE$, con otra dirección de familia de fracturas de $N50^\circ E$ y otra familia de $S80^\circ E$ dando como resultado $SW78^\circ NE$ de la segunda familia de fracturas (Fig. 4.19 y 4.20).

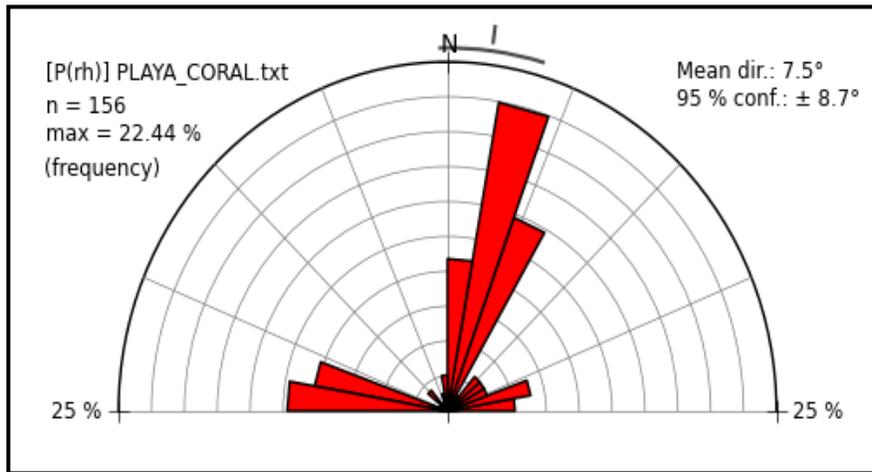


Figura 4.16 Roseta estructural que representa las familias de fracturas de Playa Coral.

CAPÍTULO IV ORIGEN Y EVOLUCIÓN TECTÓNICA

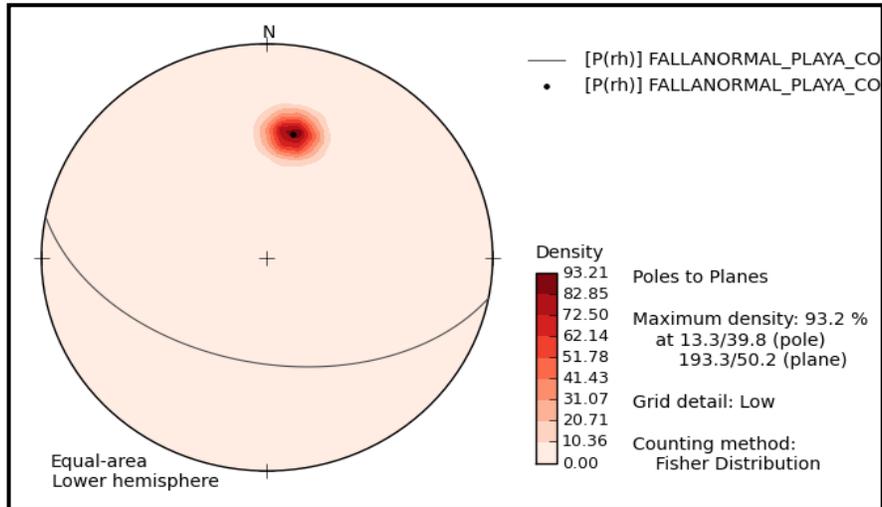


Figura 4.17 Esquema que representa el rumbo y echado de las falla presente en la parte central de la terraza que aflora en Playa Coral.

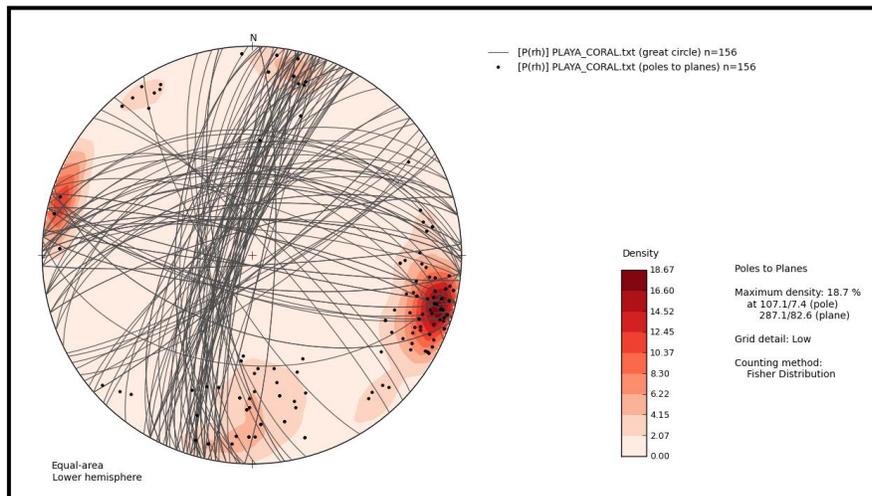


Figura 4.17 Imagen donde se representan los rumbos, echados y polos de las fracturas presentes en Playa Coral.

CAPÍTULO IV ORIGEN Y EVOLUCIÓN TECTÓNICA

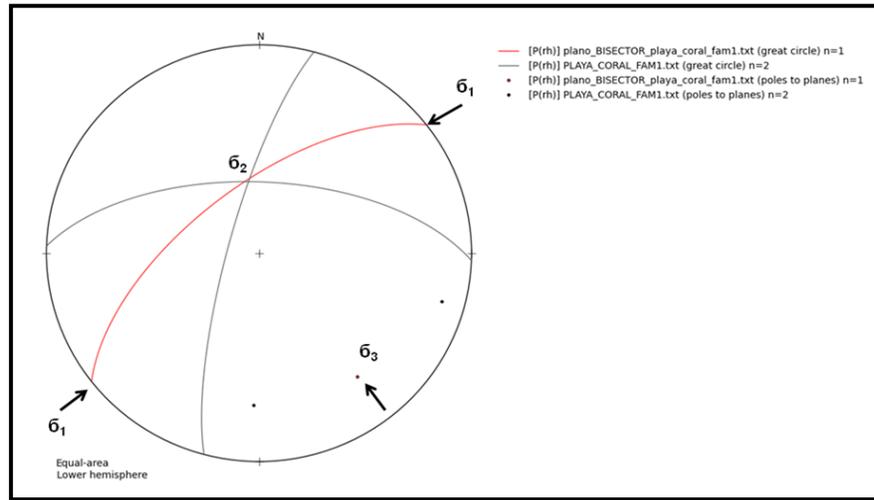


Figura 4.19 Representación del plano bisector de la primera familia de fracturas en Playa Coral.

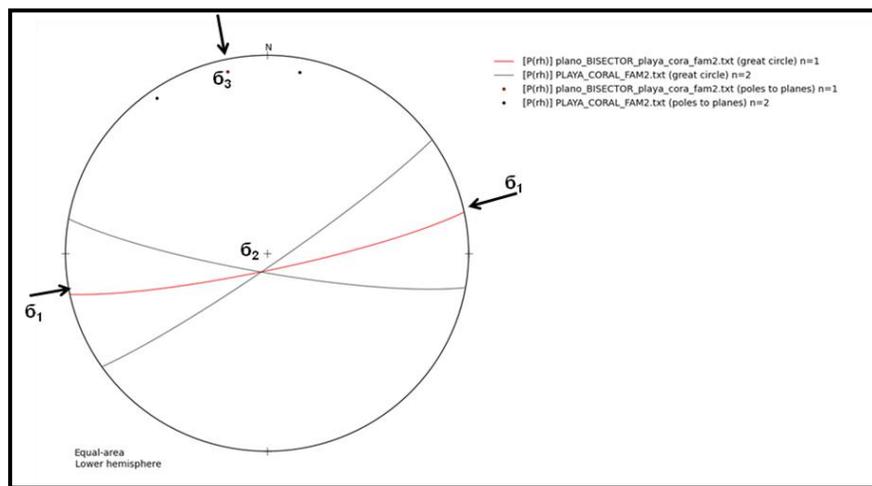


Figura 4.20 Representación del plano bisector de la segunda familia de fracturas en Playa Coral.

4.5.6 Puente El Regadío

El sitio Puente el Regadío se encuentra ubicado en el corte carretero sobre la carretera Pinotepa Nacional-Salina Cruz, dentro de la ciudad de Puerto Escondido, Oaxaca. Presenta una litología de gneiss con composición de cuarzo, feldespato y moscovita intrusionado con diques graníticos con una dirección de N74°E, 67. Se determinó la familia de fracturas; con una orientación principal de N34°E y la segunda de N80°E (Fig. 4.21 y 4.22), con SW56°NE con 69° de echado como la dirección de máximo esfuerzo (Fig. 4.23) y con una abertura que varía de 1 mm hasta 2 cm.

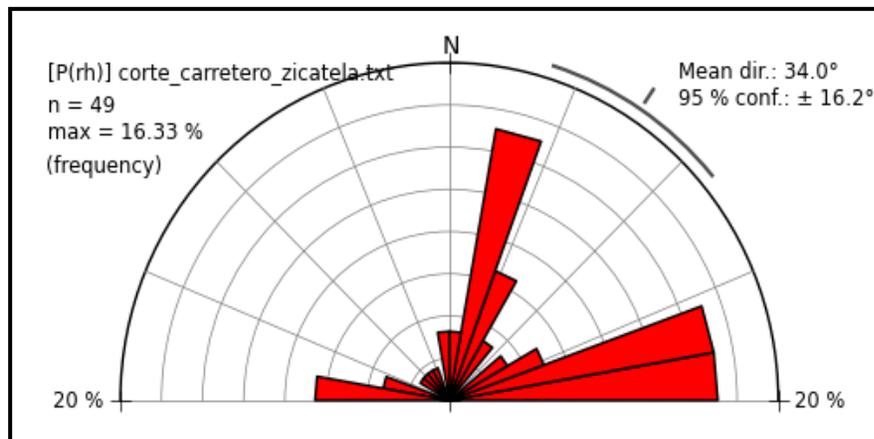


Figura 4.21 Roseta estructural que muestra las preferencias de las familias de fracturas.

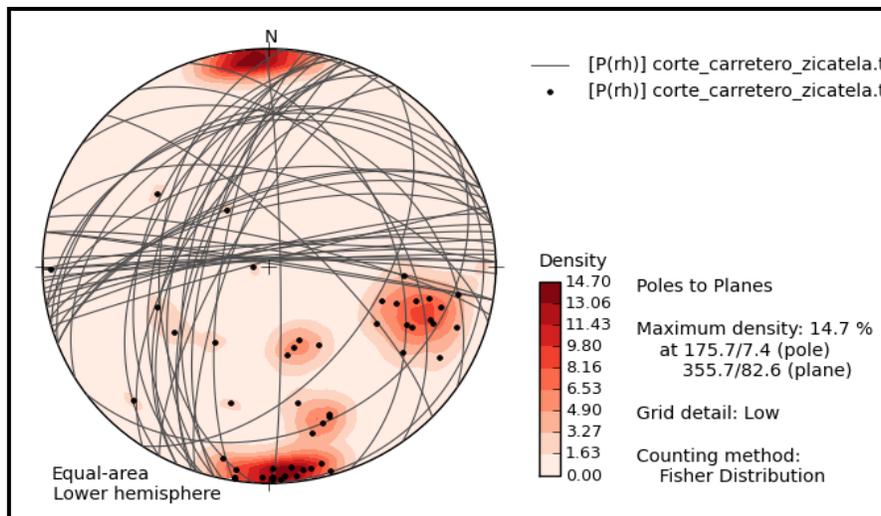


Figura 4.22 Esquema que representa los datos estructurales de rumbo y echado de las fracturas, así como sus respectivos polos de las rocas aflorantes en la zona de Puente Regadío.

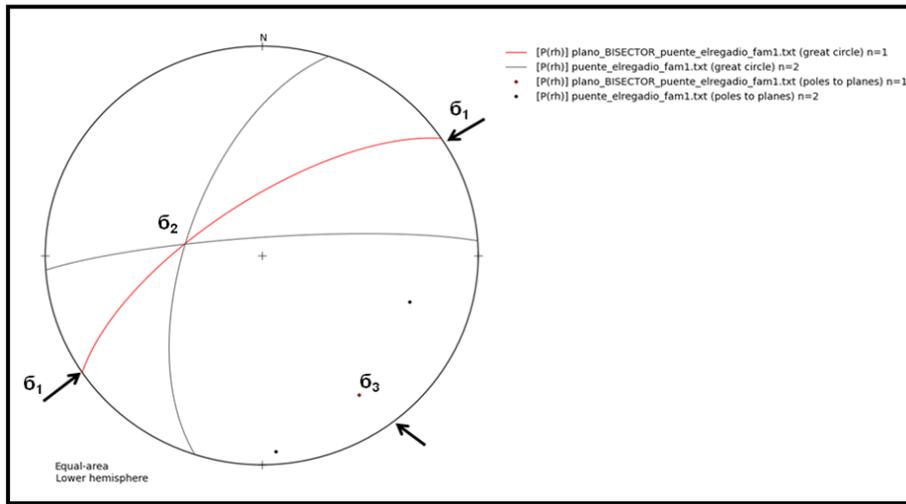


Fig.4.23 Representación del plano bisector de la familia de fracturas en Puente el Regadío.

4.5.7 Playa Zicatela

La zona de estudio se encuentra a lo largo de la costa en la parte sur de la ciudad de Puerto Escondido, Oaxaca; donde afloran rocas cristalinas que forman parte del complejo Xolapa, el cual se encuentra fracturado y presenta las siguientes características: dos familias de fracturas, la primera con una dirección máxima a N10°W y la segunda a N80°E (Fig. 4.24 y 4.25); por lo tanto la dirección de máximo esfuerzo tiende a ser horizontal con una dirección SW48°NE, (Fig. 4.26), dichas rocas cristalinas se encuentran intrusionadas por diques graníticos.

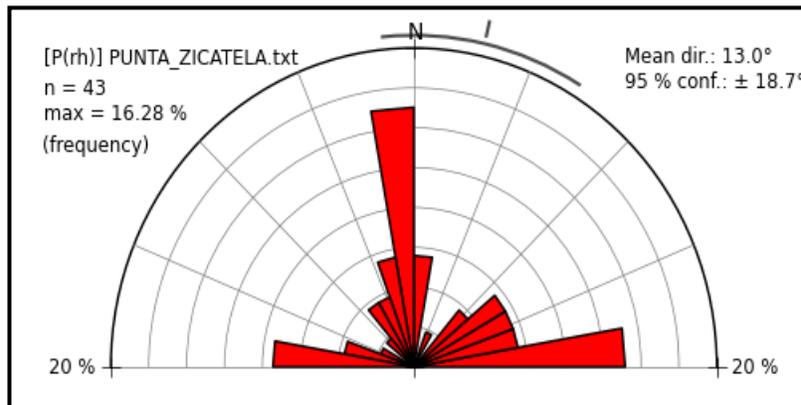


Figura 4.24 Roseta estructural que muestra las familias de fracturas.

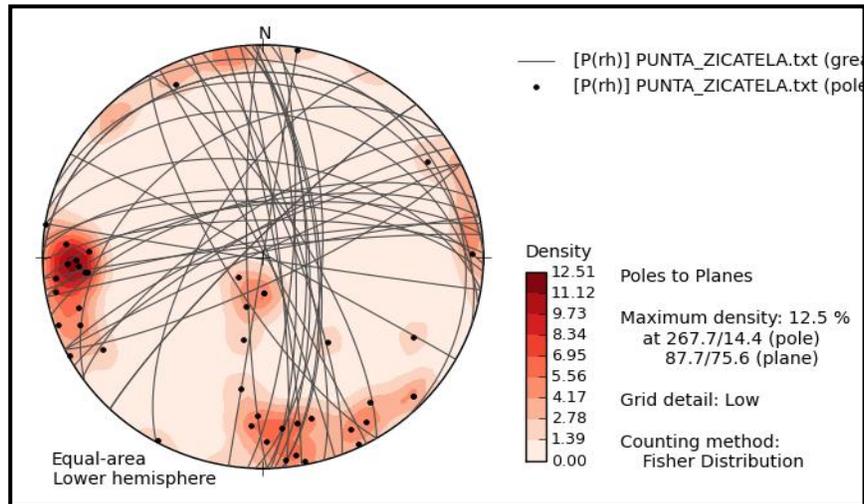


Figura 4.25 Esquema que representa los rumbos y echados de las fracturas presentes en las rocas cristalinas de Playa Zicatela.

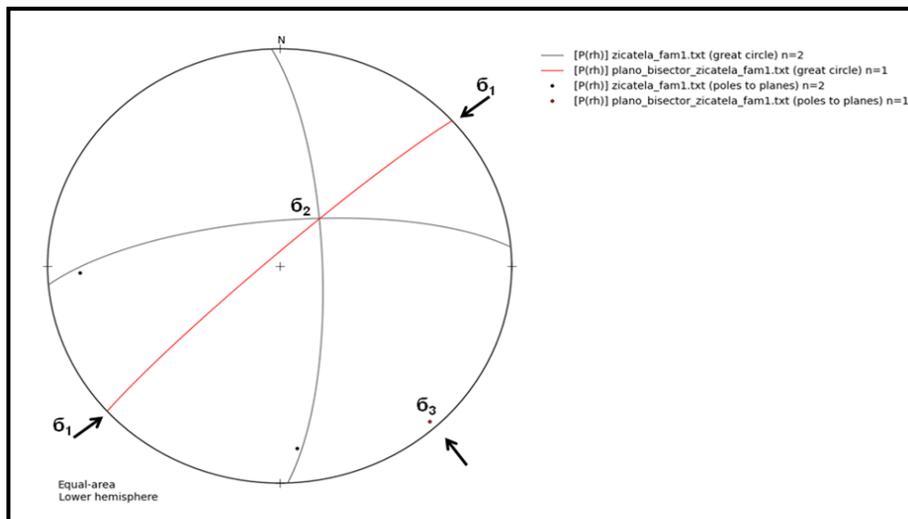


Fig.4.26 Representación del plano bisector de la familia de fracturas Playa Zicatela.

4.5.8 Valdeflores

Valdeflores se encuentra a un costado de la carretera Pinotepa Nacional-Salina Cruz entre las poblaciones de Puerto Escondido y Santa Elena, del cual afloran tres tipos de rocas los cuales están en contacto por fallas: conglomerado con clastos de gneiss, cementados por carbonato de calcio, gneiss con una mineralogía de cuarzo, micas, plagioclasas y feldespatos y granito.

CAPÍTULO IV ORIGEN Y EVOLUCIÓN TECTÓNICA

El conglomerado descansa sobre el granito en el cual existe una inconformidad que pone en contacto a dichas litologías, presenta una familia de fracturas, con una dirección máxima de N14°E (Fig. 4.27 y 4.28).

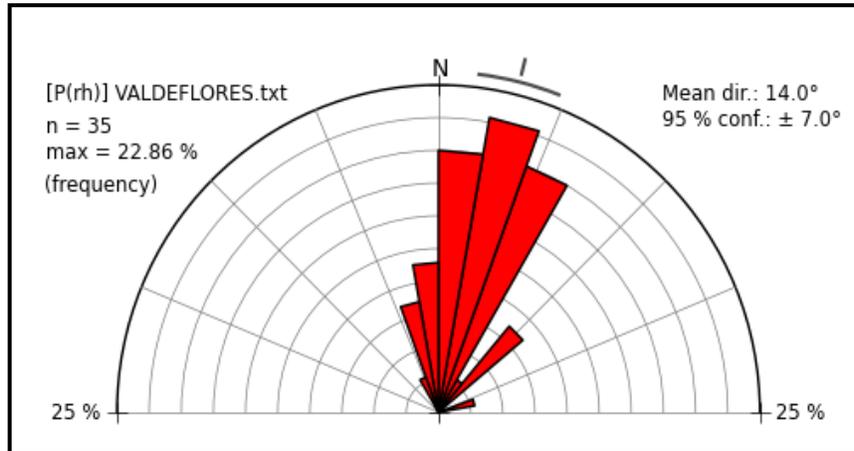


Figura 4.27 Roseta estructural que representa los datos de fracturas.

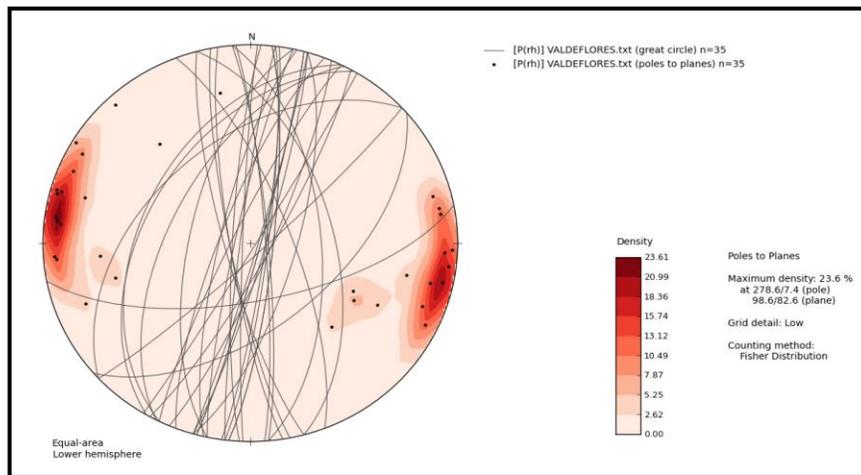


Figura 4.28 Imagen que representa los rumbos y echados de las fracturas de las rocas que se encuentran en Valdeflores.

4.5.9 Agua Blanca

El afloramiento se presenta en la localidad conocida como Agua Blanca la cual se localiza sobre la costa, en donde se encuentran rocas cristalinas y sedimentarias las cuales han sufrido erosión. La rocas cristalinas han sufrido erosión diferencial de tipo "encebollado", la cual presenta dos familias de fracturas, la primera con una dirección máxima de N15°E y en la segunda presenta una orientación de N80°W (Fig.4.29 y 4.30), la primera familia tiene una máxima dirección de esfuerzo S54°W con 66° y la segunda de S59°W con 78° (Fig.4.31).

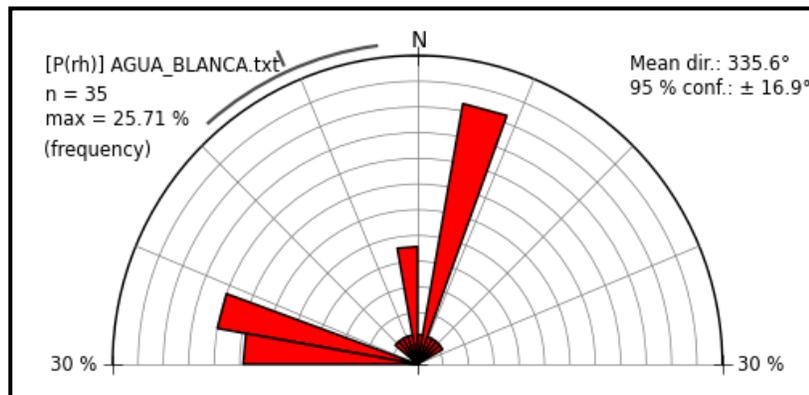


Figura 4.29 Esquema que representa las familias de fracturas.

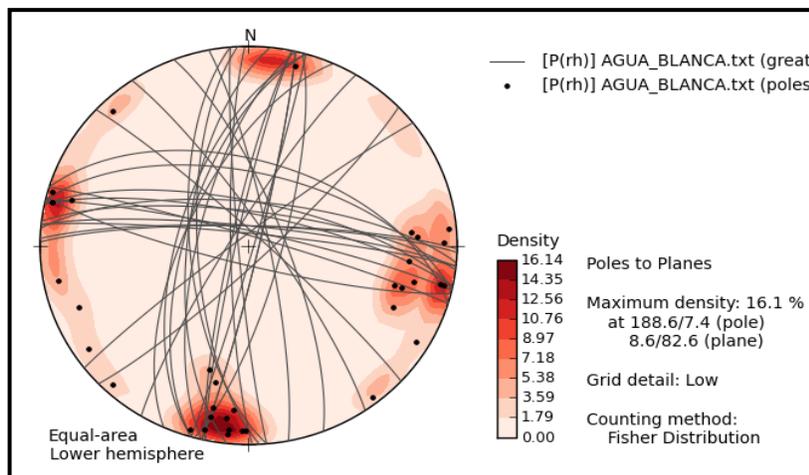


Figura 4.30 Imagen que representa los rumbos y echados de las fracturas aflorantes en las rocas de la zona de Agua Blanca.

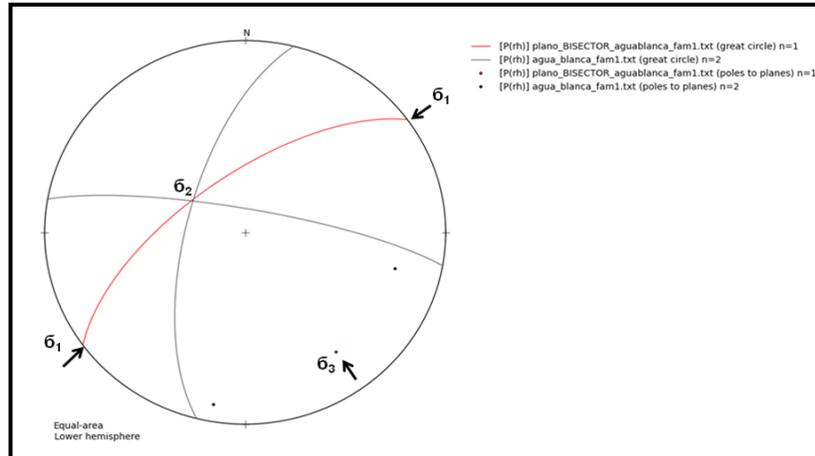


Fig. 4.31 Representación del plano bisector de la primera familia de fracturas de Agua Blanca.

4.6 Marco Tectónico

El Sur de México ha sido objeto de diversos estudios geológicos, geoquímicos y geocronológicos, de los cuales y con base en estos se le ha subdivido en 5 terrenos tectonoestratigráficos los cuales son: Oaxaca, Mixteco, Guerrero, Xolapa y Juárez (Campa y Coney, 1983), la distribución y la nomenclatura han sido objeto de polémica (Sedlock et al, 1993; Lang et al., 1996; Elias-Herrera et al., 2000; Talavera-Mendoza y Guerrero-Suástegui, 2000; Dickinson y Lawton, 2001; Keppie, 2004; Centeno-García et al 2008), sin embargo existe anuencia acerca de los contrastes litológicos expuestos en la corteza superior de la región y de su naturaleza truncada y exhumada.

Los terrenos Juárez y Guerrero se caracterizan por presentar amplias cubiertas sedimentarias, así como también los terrenos Mixteco y Oaxaca que se caracterizan por contener un núcleo de basamento preMesozoico, los cuales están delimitados por estructuras mayores con una orientación preferentemente Norte-Sur, no ocurre lo mismo con el terreno Xolapa en el cual en la terminación de estas estructuras se truncan y están limitadas por una falla regional con orientación Este-Oeste.

El sur de México también contiene rasgos peculiares por la existencia de cuerpos plutónicos en varios sectores, desde Manzanillo, Colima hasta Huatulco, Oaxaca. Esta configuración de rocas plutónicas de arco, manifiesta uno de los aspectos

particulares de la zona los cuales son; la progresión de la trinchera hacia el continente y la exhumación de la margen continental (Bellon et al., 1982).

La característica de truncamiento se registró en los primeros bosquejos de rasgos tectónicos del sur de México (De Cserna, 1967), el bloque de Chortis ha sido empleado para vincular el aspecto truncado de la margen continental del mismo (Malfait et al., 1972; Ross et al., 1988; Pindell et al., 1988; Schaaf et al., 1995; Morán-Zenteno et al., 1996, 2009; Silva-Romo et al., 2009), debido a su desplazamiento, así como las peculiaridades de la evolución tectónica del Caribe.

Los rasgos tectónicos contemporáneos más importantes de la costa del Sur de México es la subducción de la placa de Cocos y la de Rivera respecto a la placa Norteamericana, así por lo tanto la litósfera oceánica subduce a la placa continental, esto a lo largo de la Trinchera de Acapulco (Fig.4.32).

Las placas tectónicas de Cocos y de Rivera tienen un movimiento relativo respecto de la placa Norteamericana en su sector norte, tiene un polo de rotación en donde su velocidad de convergencia varía de NW a SE de 5.5 a 6.8 cm/año (Pardo y Suárez, 1995; DeMets y Traylen, 2000), a su vez la placa de Rivera subduce a la placa Norteamericana en la región de Jalisco y su polo de rotación se encuentra en la abertura del Golfo de California con una velocidad de convergencia de 3.8 cm/año (DeMets y Stein, 1990; DeMets y Wilson, 1997).

Otros rasgos característicos e importantes de la zona de subducción son las fracturas O'Gorman, Rivera, Orozco y Tehuantepec que se encuentran a lo largo de la trinchera, de las cuales, la fractura Rivera marca la frontera entre las placas de Cocos y de Rivera, así también la fractura de Tehuantepec coincide con una unión triple de las Placas de Cocos, Norteamericana y del Caribe, así las fallas del sureste de Oaxaca y Chiapas de desplazamiento izquierdo han sido relacionadas a el punto triple trinchera-trinchera-transforme (Tolson, 1998, 2005; Guzmán Speziale y Meneses Rocha, 2000).



Fig. 4.32. Mapa Tectónico de la región, dividiéndose en Terreno Mixteco, Terreno Juárez, Terreno Xolapa, Terreno Oaxaca y Terreno Maya; así como la Placa de Cocos y la Trincheras de Acapulco.

4.7 Sismicidad

La placa de Cocos inicia su subducción hace unos 25 Ma en los inicios del Mioceno, este proceso ha ocasionado que la margen continental en el sur de México ascienda gradualmente como consecuencia de la colisión entre la placa de Cocos y la placa Norteamericana.

La información de los sismos referidos en la zona de la margen costera de Oaxaca indica que estos se originan en respuesta al plegamiento y el fracturamiento de la corteza oceánica cuando empieza su descenso por debajo de la litósfera continental, la mayoría de los focos sísmicos ocurridos en esta zona son superficiales, esto se explica por la cinemática de las placas al encontrarse mecánicamente más fría.

Con base en la compilación efectuada con los datos disponibles en el Servicio Sismológico Nacional (SSN), a partir de 1998 hasta el mes de Octubre del 2012 (Fig. 4.33; 4.47), se graficaron los datos para determinar si existe una relación

CAPÍTULO IV ORIGEN Y EVOLUCIÓN TECTÓNICA

entre el periodo de sismicidad, la profundidad de focos sísmicos y desplazamiento vertical del margen continental, así como la comparación de los estudios del proyecto de perforación de mar profundo (Deep Sea Drilling Project) y demás publicaciones por diversos autores (McMillen y Bachman, 1982; Bodin et al; 1986, Corona-Esquivel et al; 1988; Ramírez - Herrera et al; 1999).

La periodicidad y la intensidad de los sismos tiene una conexión con el levantamiento, esto es que, a mayor energía liberada al momento de un sismo, habrá un considerable desplazamiento vertical, esta premisa se sustenta a partir de los datos recabados por Corona et al., 1988 y también por Godin et al., 1980, y finalmente por la comparación de las cifras arrojados por McMillen y Bachman (1982), en donde concluyen que la tasa de levantamiento promedio de la zona continental sur de México es de 125 metros por cada millón de años.

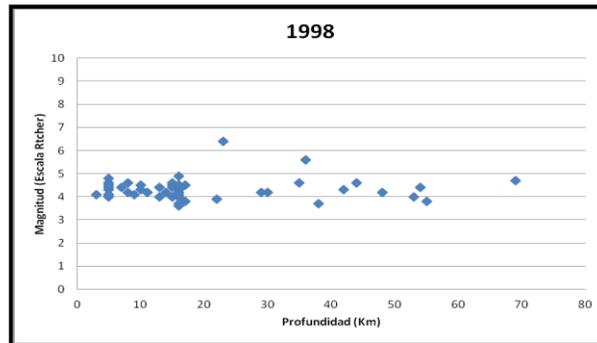


Fig. 4.33. Actividad sísmica en el año de 1998, en las Costas de Oaxaca.

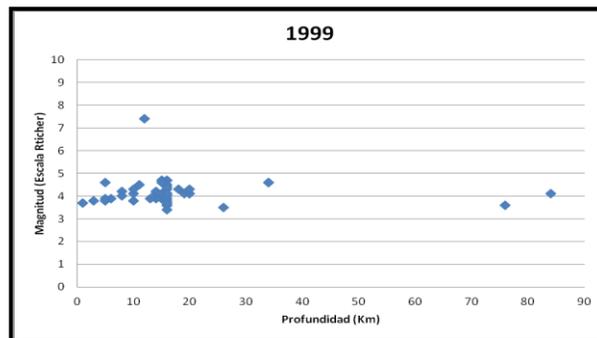


Fig. 4.34. Actividad sísmica en el año de 1999, en las Costas de Oaxaca.

CAPÍTULO IV ORIGEN Y EVOLUCIÓN TECTÓNICA

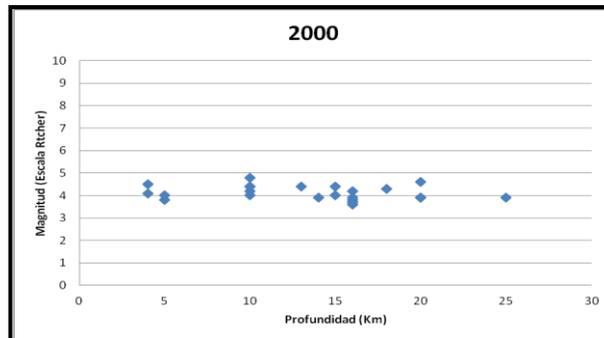


Fig. 4.35. Actividad sísmica en el año del 2000, en las Costas de Oaxaca.

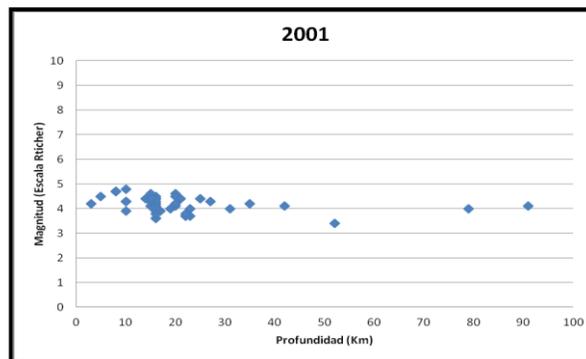


Fig. 4.36. Actividad sísmica en el año del 2001, en las Costas de Oaxaca.

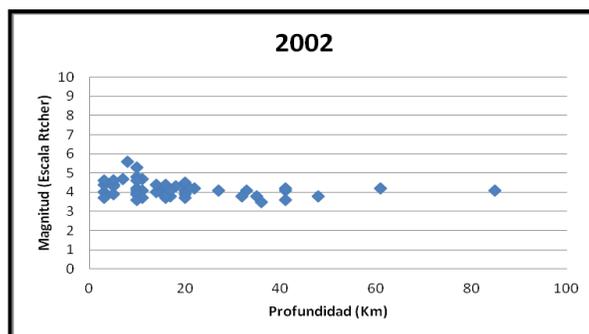


Fig. 4.37. Actividad sísmica en el año del 2002, en las Costas de Oaxaca.

CAPÍTULO IV ORIGEN Y EVOLUCIÓN TECTÓNICA

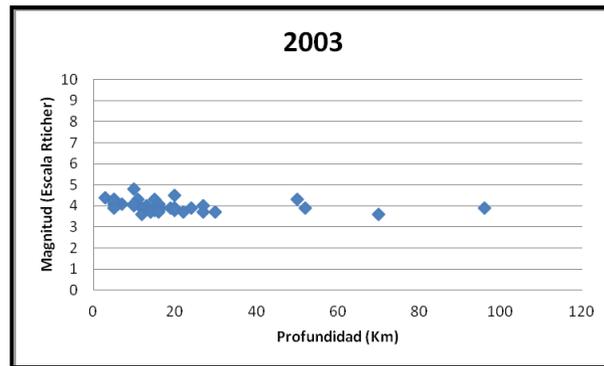


Fig. 4.38. Actividad sísmica en el año del 2003, en las Costas de Oaxaca.

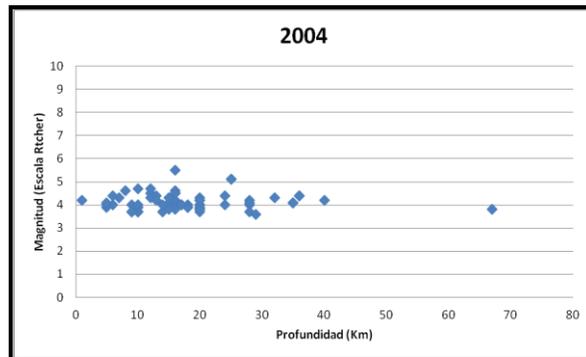


Fig. 4.39 Actividad sísmica, 2004 en las Costas de Oaxaca.

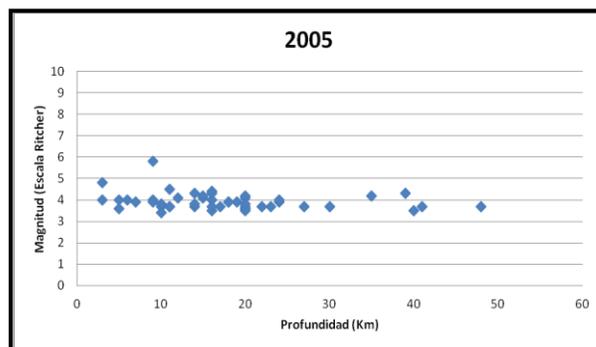


Fig. 4.40 Actividad sísmica en el año del 2005, en las Costas de Oaxaca.

CAPÍTULO IV ORIGEN Y EVOLUCIÓN TECTÓNICA

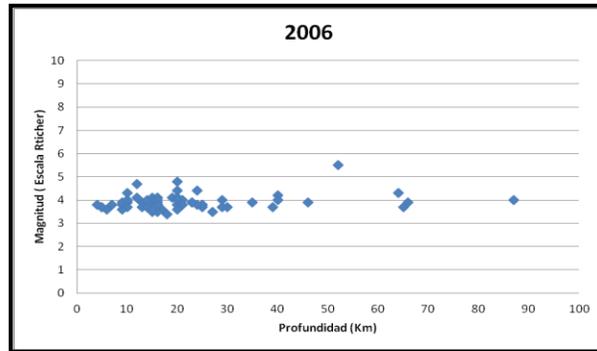


Fig. 4.41. Actividad sísmica en el año del 2006, en las Costas de Oaxaca.

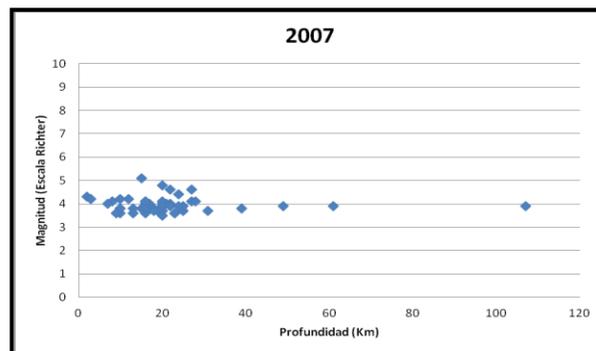


Fig. 4.42. Actividad sísmica en el año del 2007, en las Costas de Oaxaca.

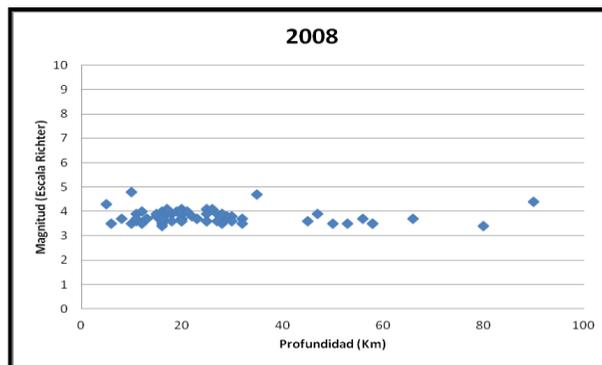


Fig. 4.43. Actividad sísmica en el año del 2008, en las Costas de Oaxaca.

CAPÍTULO IV ORIGEN Y EVOLUCIÓN TECTÓNICA

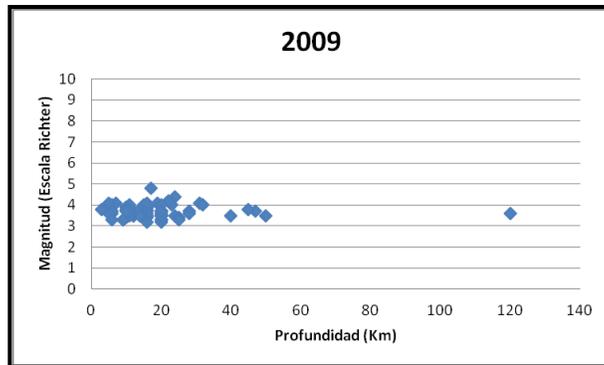


Fig. 4.44. Actividad sísmica en el año del 2009, en las Costas de Oaxaca.

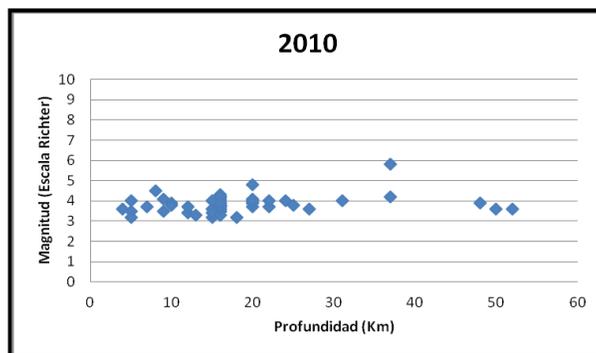


Fig. 4.45. Actividad sísmica en el año del 2010, en las Costas de Oaxaca.

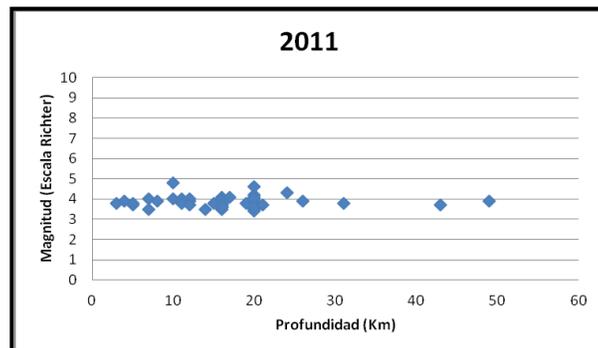


Fig. 4.46. Actividad sísmica en el año del 2011, en las Costas de Oaxaca.

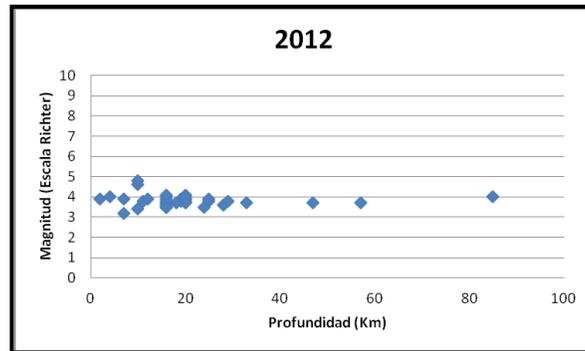


Fig. 4.47. Actividad sísmica en el año del 2012, en las Costas de Oaxaca.

4.8 Evolución Tectónica de las Terrazas

Las terrazas costeras son un indicador fehaciente de una conjunción de circunstancias geológicas, ya que su aparición se explica por movimientos tectónicos, glaciaciones y aportes sedimentarios.

La conjunción de los datos estructurales analizados en las rocas del basamento de las terrazas costeras de Puerto Escondido, Oaxaca, hace constar la influencia que tiene la cinemática de las placas tectónicas de Cocos y Norteamericana, además del desplazamiento Este-Oeste que originó la Falla de Chacalapa. En los afloramientos de Punta Colorada, Carrizalillo, Puente Regadio, Zicatela y Valdeflores la dirección de esfuerzos va de SW-NE (Fig. 4.48, 4.49), esto quiere decir que coincide con la dirección del movimiento de la Placa de Cocos. En Agua Blanca y Playa Angelito, se concluye que la dirección del esfuerzo principal es de SE-NW, que ocurre como una resultante entre las direcciones del empuje de Placa de Cocos y la moción lateral Este-Oeste explicada por el emplazamiento de Chortis propuesto por distintos autores (Malfait et al., 1972; Ross et al., 1988; Pindell et al., 1988; Schaaf et al., 1995; Morán-Zenteno et al., 1996, 2009; Silva-Romo et al., 2009) y condiciones tectónicas que continúan actuando y que siguen en el presente.

Las terrazas se formaron principalmente a partir del tectonismo que ha estado presente en el Plio-Cuaternario de la región del Sur de México. Las terrazas están conformadas por arenas de detritos provenientes de los complejos metamórficos de la región, aunque existen diferencias mineralógicas bastante marcadas, en algunas de éstas, esto se modifica por la disposición de las rocas plutónicas y

metamórficas que aparecen en las zonas de las terrazas lo que influye en su composición mineralógica; otro rasgo importante de la zona es que la mayoría de terrazas se encuentra cerca de la línea de la costa, pero con base en la evolución tectónica de la región se interpreta que pueden existir algunas dentro de la zona continental.

Si bien es cierto que no se cuenta con datos concretos de datación para establecer a las terrazas en un segmento temporal preciso, se llega a la conclusión de que las terrazas tienen una edad de 221 mil años, tomando como base los datos recabados por el Programa de Perforación Profunda (Deep Sea Drilling Project), donde calcularon un levantamiento sostenido de 125 metros por cada millón de años para los últimos 16 millones de años (McMillen y Bachman, 1982) y a la comparación con la referencia estratigráfica, esto indicaría que en la zona del Sur del México existe un levantamiento sostenido y relativamente apacible, originadas por el movimiento entre placas tectónicas; como referencia se tienen los datos de levantamiento en la zona de Acapulco, que en promedio es de 1.4 cm por año (Godin et al, 1980). También los sismos han contribuido sustancialmente al levantamiento de la parte continental en las zonas próximas a la línea de costa, esto disminuiría considerablemente el dato temporal de las terrazas si se extrapola a la zona de Puerto Escondido, y si a esto se le aúna que la ocurrencia de una terraza costera puede originarse de manera súbita debido a un sismo o terremoto entonces podría variar aún más la edad de la misma.



Fig. 4.48 Figura donde se muestran las rosetas estructurales de las direcciones de las fracturas de cada afloramiento.

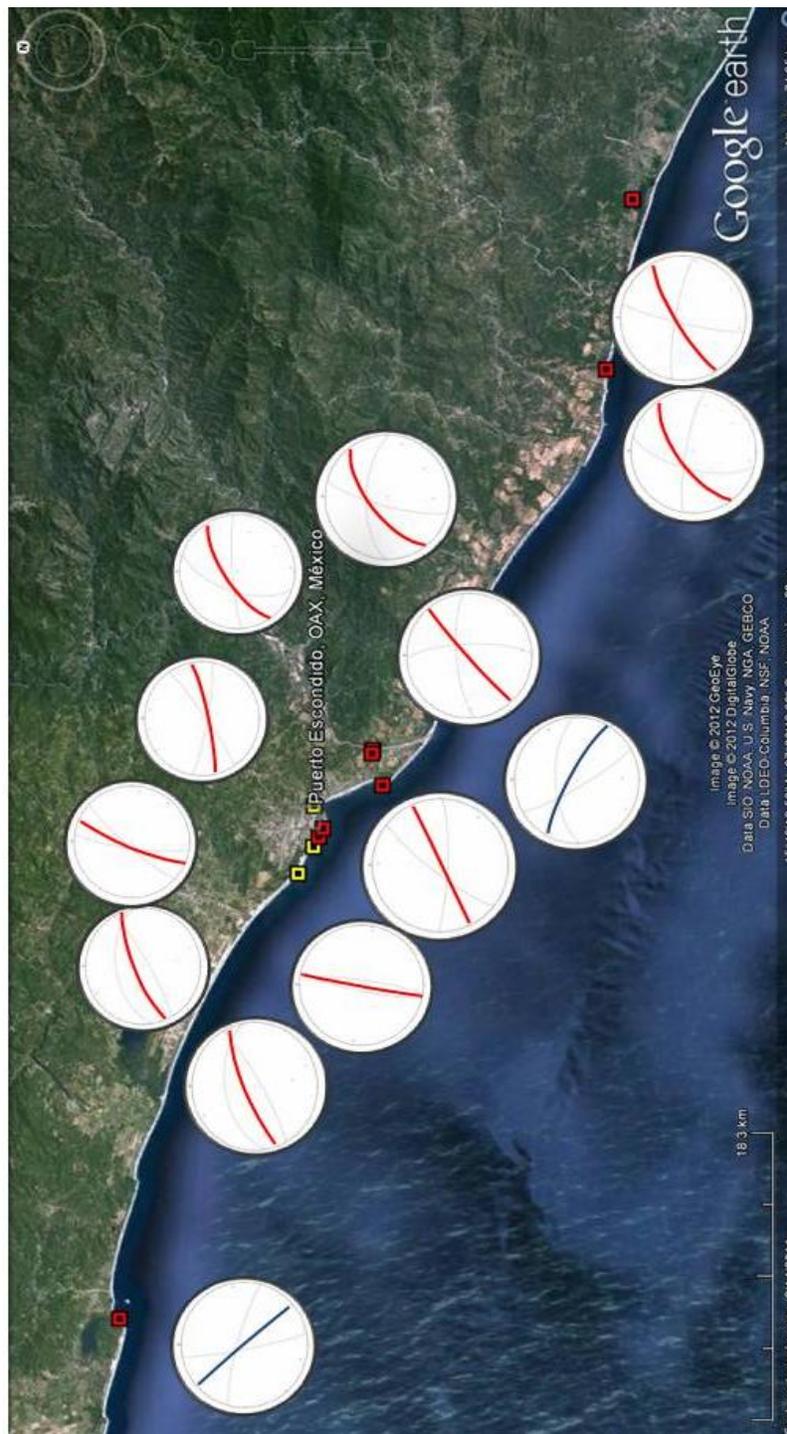


Fig. 4.49 Esquema con representaciones estereográficas se muestra la dirección de máximo esfuerzo como resultante de la familia de fracturas que se encuentra en cada afloramiento.

CAPÍTULO V

**GEOLOGÍA
ECONÓMICA**

5.1 Exploración Minera

En el año 2009 el Servicio Geológico Mexicano realizó una serie de estudios para evaluar y cuantificar el posible potencial geológico de la asignación minera "Rosy" en el área del municipio de Santa María de Tonameca, Oaxaca así como en las rancherías de Macahuite que se localizan dentro del municipio de Santa María de Colotepec, Oaxaca.

Para ello el Servicio Geológico Mexicano efectuó una serie de reconocimientos geológicos y geoquímicos para definir el potencial y así mismo justificar las etapas sucesivas de la exploración minera, para de esta forma abrir una licitación a compañías mineras su probable explotación y con ello un desarrollo económico de la región.

En el informe técnico que presentan refiere que existen dos zonas con potencial y una tercera que se descarta por encontrarse en una zona protegida, la primera el "Área 1 " que se encuentra en la Playa Aron frente a la localidad de Mazunte, Oaxaca, en donde se colectó una muestra de arena que reportó 9.15% de Hierro y 0.37% de Titanio, además de una muestra de roca que contiene 4.8% de Hierro y 0.31% de Titanio, la segunda "zona de terrazas" ubicada en los manglares a lo largo de la costa del estado de Oaxaca con proximidades de la localidad de Mazunte, los valores de las muestras van de 5.06% a 1.48% de Hierro y 0.32% a 0.1% de Titanio, el escrito describe que la continuidad de las capas de las terrazas son bastantes continuas y también su extensión.

Y finalmente el "Área 7" emplazada en el sector de Escobilla 1.5 Km. al sureste del Río Colotepec, los valores de las muestras presentaron con 2.95% de Hierro y 0.32% de Titanio y con un dato de espesor de capa de 10 metros se estimó que existen 5'600'000 de toneladas, sin embargo el "Área 7" se encuentra justo en una zona protegida conocida como el Santuario de la Tortuga.

La relación que existe entre los estudios de exploración del Servicio Geológico Mexicano y el trabajo de tesis, consiste en que el estudio de SGM se efectuó cerca de las localidades de la investigación de las Terrazas Costeras de Puerto Escondido, ya que en base a lo observado y medido en las terrazas existen capas de coloración oscura que se repiten de manera rítmica en las mismas, esto da lugar a una exploración exhaustiva con enfoque minero de las terrazas aflorantes en las cercanías de la ciudad de Puerto Escondido y extrapolando los resultados arrojados por los análisis del SGM, las terrazas podrían contener dichas cuantificaciones y posiblemente atractivo para la industria minera.

5.2 Hidrogeología

En la zona de estudio se encuentra el acuífero Colotepec-Tonameca definido por la Comisión Nacional de Agua (Fig. 5.2), el cual se encuentra en la porción sur del estado de Oaxaca comprendiendo una superficie de 3,217 km² limitando al norte con los acuíferos Jamiltepec y Miahuatlán, al oeste con el acuífero Bajo de Chila y al este con el acuífero Huatulco.



Fig 5.2 Localización del Acuífero Colotepec-Tonameca (tomado de CNA, 2011)

A partir de la información de subsuelo sustentado por el informe de la Conagua, el acuífero Colotepec-Tonameca fue dividido en dos fracciones, el primero en la parte superior compuesto por depósitos aluviales y fluviales principalmente arenas con muy baja consolidación y de espesores reducidos, y el segundo en la parte inferior que se encuentra en rocas metamórficas del Complejo Xolapa.

Colotepec-Tonameca es un acuífero de tipo libre, y que debido a sus características en su parte superior es heterogéneo con dimensiones estrechas y poca capacidad de almacenamiento y en su parte inferior alojado en fracturas de rocas metamórficas, los valores de transmisividad se encuentran en los rangos de 0.001 m²/día a 0.0024 m²/día y su coeficiente de permeabilidad medio varía en el rango de 6×10^{-5} m/s a 5×10^{-4} m/s. De acuerdo con datos hidrogeoquímicos y de calidad del agua, el agua del acuífero no sobrepasa los límites máximos permisibles que establece la NOM-127-SSA-1-1994 de las concentraciones de los diferentes iones y elementos para diferentes usos, la temperatura del agua varía de 28 °C a 30.3 °C, el pH varía de 6.7 a 7.6, la conductividad eléctrica se encuentra entre 180 y 3,770 µS/cm, por lo que se considera de buena calidad.

Con base en las características descritas previamente de las terrazas de Puerto Escondido, Oaxaca, se puede realizar una deducción más adecuada acerca de la peculiaridad del acuífero, ya que como refiere el estudio de la

Comisión Nacional del Agua, existen dos fracciones, tal afirmación podría no ser tan pertinente debido a que la conjunción de los factores de porosidad y permeabilidad de las arenas más la densidad de fracturas presentes en las rocas del Complejo Xolapa coadyuva al almacenamiento del recurso hídrico, si bien existen una serie de fracturas en las rocas cristalinas, muchas de estas están rellenas, no permitiendo la acumulación de agua.

5.3 Riesgo Geológico

La ciudad de Puerto Escondido, Oaxaca se encuentra ubicada en la costa del océano Pacífico al Sur de México, que se caracteriza por que se presentan terrazas costeras a lo largo de la línea de costa y en la misma ciudad. Estas mismas terrazas en la región están conformadas por arenas gruesas a arenas finas mayormente y se encuentran pobremente consolidadas.

La explosión demográfica de Puerto Escondido, Oaxaca ha ocasionado que las edificaciones y construcciones se hagan sobre terrenos a lo largo de la ciudad sin tomar en cuenta algunos aspectos que pudieran afectar la integridad física de sus habitantes, ya que como se explicara a continuación las características del terreno pudieran no ser las más apropiadas para el asentamiento antropogénico.

El área de estudio se encuentra geológicamente en el Complejo Xolapa y cerca de la zona de subducción de la Placa de Cocos y Norteamericana, Este último rasgo el cual se le atribuye la causa de los sismos de la región, además en la zona ocurren fenómenos meteorológicos por su ubicación, estos aspectos son relevantes debido a que afectan directamente las construcciones humanas.

Con base en la información geológica recabada en la zona de estudio esta zona se caracteriza por presentar rasgos regionales como la Falla de Chacalapa y la Trinchera de Acapulco y además de varios sistemas de fracturas ocasionadas por la interacción de las placas tectónicas, estos rasgos en conjunción con la periodicidad de sismos tendrían un potencial impacto en la zona, ya que como se describe anteriormente la zona es activa sísmicamente, esto provocaría que se formen más fracturas o se amplíen las existentes afectando el terreno seriamente.

La licuefacción es una condición geológica que ocurre como resultado de la agitación severa del suelo en terrenos arenosos los cuales pierden resistencia por encontrarse saturados por agua, este fenómeno puede ocurrir en la zona debido a que al encontrarse las edificaciones sobre las terrazas costeras y aunado a esto el nivel estático del agua tiene poca profundidad, se cumplen las condiciones para que se presente esta anomalía del terreno.

El incremento en el volumen de edificaciones en la zona ocasiona además que la estabilidad de las terrazas disminuya por la poca cohesión de las arenas siendo esto un riesgo si se toma en cuenta que en temporada de arribo de fenómenos meteorológicos el incremento del flujo de agua erosiona el suelo y

por ende a las terrazas y como consecuencia se da el desplome de formaciones arenosas.



Fig. 5.1 Deformación de construcciones en Playa Coral, Puerto Escondido, Oaxaca.

CAPÍTULO VI

**CONCLUSIONES
Y
RECOMENDACIONES**

CONCLUSIONES:

En las costas de Oaxaca entre la comunidad de Roca Blanca, Puerto Escondido y Escobilla, afloran sedimentos terrígenos que conforman importantes terrazas costeras, las cuales se han formado a partir de sedimentos procedentes de los complejos metamórficos Xolapa y Oaxaqueño, como resultado de la sedimentación y la abrasión.

Las terrazas se caracterizan por presentar poca pendiente tendiendo a ser horizontales, algunas de estas presentan montículos que se generaron por desprendimiento debido a las condiciones climáticas, tectónicas o por efecto de la gravedad, las cuales además tienen sus bordes hacia el mar pudiéndose explicar por el levantamiento, del continente y por la erosión propia de las arenas y areniscas cuando ocurren fenómenos meteorológicos.

A partir del análisis de las distribuciones de las curvas acumulativas de las Terrazas Playa Coral, Punta Colorada, Capri y Valdeflores, con los datos granulométricos se interpreta que la fuente de sedimentos es cercana, cuyo transporte se llevó a cabo por saltación y arrastre-rodamiento con una clara influencia marina; la mayor parte de los sedimentos son moderadamente seleccionados.

La Formación Colotepec descansa sobre las rocas metamórficas que conforman el Complejo Xolapa y a su vez la secuencia terrígena de las Terrazas costeras Puerto Escondido, Oaxaca sobreyacen a la Formación Colotepec.

Las terrazas costeras tienen un espesor máximo de 28.13 m, las que se encuentran formadas a partir de arenas y gravas todas ellas pobremente consolidadas, con presencia de icnofósiles y con una mineralogía de cuarzo, feldespato, plagioclasas, micas y minerales oscuros, los cuales se presentan en estratos tabulares con laminaciones.

A partir del análisis de la información estructural se interpreta una clara relación de esfuerzos compresivos de la Placa de Cocos hacia la Norteamericana ya que en la gran mayoría de los afloramientos existen familias de fracturas que tienen una orientación NE-SW y NW-SE, así mismo hay otras direcciones originadas por la dinámica de la Falla de Chacalapa.

La distribución de las terrazas costeras de Puerto Escondido, Oaxaca no es continua, esto obedece a condiciones variables que dependen del fenómeno físico local que impere sobre el litoral, esto se debe a las corrientes marinas y manifestaciones climáticas como huracanes. Las terrazas costeras muestran un cambio de los espesores a lo largo de la costa, debido a los procesos de sedimentación y a la dinámica de las placas tectónicas.

Las terrazas costeras de Puerto Escondido, Oaxaca, se originaron debido a una plataforma de abrasión en donde se depositaron los sedimentos provenientes del continente los cuales se fueron acumulando gradualmente y debido al levantamiento tectónico en la región los cúmulos de sedimentos quedaron aislados completamente, este proceso ha durado aproximadamente

unos 221 mil años tomando como base los datos recabados por el Programa de Perforación Profunda (Deep Sea Drilling Project).

El potencial minero de las terrazas costeras de Puerto Escondido aún no ha sido estudiado a detalle, pero debido a los estudios realizados por el Servicio Geológico Mexicano en las cercanías de la región, las terrazas podrían contener cuantificaciones atractivas para la industria minera debido a las concentraciones de Hierro y Titanio.

La explosión demográfica de Puerto Escondido, Oaxaca ha ocasionado que las edificaciones y construcciones de edificios y casas habitación se realicen sobre los bordes escarpados y poco cohesivos de las secuencias arenosas pertenecientes a las terrazas costeras a lo largo del litoral por lo que existen riesgos que pudieran afectar la integridad física de sus habitantes.

RECOMENDACIONES:

Se recomienda realizar un estudio geotécnico, relacionado con estabilidad de taludes y mecánica de suelos, para delimitar las zonas con mayor estabilidad y por lo tanto de mayor riesgo.

Se recomienda que en la zona se realice una datación de la cima y la base de las terrazas costeras de Puerto Escondido, Oaxaca para determinar su distribución temporal y con ello comparar con demás datos realizados por diferentes autores en otras zonas del pacífico para corroborar o en su caso discernir la influencia de la tasa de levantamiento de la zona.

Es recomendable calcular la tasa de levantamiento para toda la región del estado de Oaxaca donde se tienen terrazas costeras.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alaniz-Álvarez, S., 1988. Geología y petrología del Complejo Xolapa, en la Barranca de Xolapa, Estado de Guerrero. Universidad Nacional Autónoma de México, tesis profesional, 53p.
- Anderson, T.H., Silver, L.T., 1971. Age of granulite metamorphism during the Oaxacan Orogeny, México Geol. Soc. Ame. 3, 492p.
- Bellon, H., Maury, R. C., Stephan, J. F., 1982, Dioritic basement, site 493: petrology, geochemistry, and geodynamics: Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project, LXVI, 723-731p.
- Bloomfield, K., Ortega-Gutiérrez F., 1975. Notas sobre la petrología del Complejo Oaxaqueño, Universidad Nacional Autónoma de México, Inst. Geol. Bol. 95, 23-48p.
- Caballero-Miranda, C. 1989. Geología y anisotropía magnética del Jurásico continental del área Huajuapán de León-Petlancingo estado de Oaxaca y Puebla, 142p
- Carranza-Edwards, A. 1980. Ambientes Sedimentarios Recientes de las llanuras Costera Sur del Istmo de Tehuantepec; An. Centro de Ciencias del Mar y Limnología; UNAM V.7, 13- 66p.
- Carrillo-Martínez, M., y Martínez, E., 1983. Evidencias de facies continentales en la Formación Matzitzí, Estado de Puebla. Universidad Nacional Autónoma de México, Revista del Instituto de Geología, 5, 117-118p.
- Campa, M. F. y Coney, P., 1983. Tectonostigraphic terranes and mineral resource distributions in Mexico: Canadian Journal of Earth Sciences, 20, 1040–1051p.
- Centeno-García, E., Guerrero-Suastegui, M. y Talavera-Mendoza, O., 2008. The Guerrero Composite Terrane of western Mexico: collision and subsequent rifting in a suprasubduction zone. En: Formation and Applications of the Sedimentary Record in Arc Collision Zones, Draut, A.E., Clift, P.D., Scholl, D.W., Geological Society of America, Special Paper, 436, 279-308p.
- CONAGUA. 2011. Determinación de la disponibilidad de agua en el acuífero Colotepec- Tonomeca.
- Corona-Chávez, P., 1997. Deformazione, metamorfismo e meccanismi di segregazione migmatitica nel Complesso plutonico-metamorfico del terreno Xolapa, Messico. Università degli Studi di Milano, tesis doctoral, 78p.
- Corona-Esquivel, R., Ortega-Gutierrez, F., Martinez-Reyes, J., Centeno-García, E., 1988. Evidencias de levantamiento tectónico asociado con el sismo del 19 de septiembre de 1985, en la región de Caleta de Campos, Estado de Michoacán. Revista del Instituto de Geología, UNAM 7, 106–111p

Dickinson, W. R. y Lawton, T. F., 2001. Carboniferous to Cretaceous assembly and fragmentation of Mexico. *Geological Society of America Bulletin*, 113 (9), 1142-1160p.

Dickinson, W. R. y Suczek, C., 1979. Plate tectonics and Sandstone Compositions, *American Association of Petroleum Geologists*, v. 63 No.12 2164-2170p.

Dickinson, W. R., y Valloni, R., 1980. Plate settings and provenance of sands in modern Ocean basins, *Geology* V. 8, 82-86 p.

De Cserna, Z., 1965, Reconocimiento geológico de la Sierra Madre del Sur de México, entre Chilpancingo y Acapulco, estado de Guerrero: UNAM, Instituto de Geología, Boletín v. 62, 77p.

De Cserna, Z., 1967. Tectonic framework of southern México and its bearing on the problem of Continental drift. *Bol. Soc. Geol. Mex.* v. 30 159-168p

DeMets, C., Stein, S., 1990, Present-day kinematics of the Rivera plate and implications for tectonics in southwestern Mexico: *Journal of Geophysical Research*, 95, 21931-21948p.

DeMets, C., Traylen, S., 2000, Motion of the Rivera plate since 10 Ma relative to the Pacific and North American plates and the mantle: *Tectonophysics*, 318, 119-159. 103 p.

DeMets, C., Wilson, D. S., 1997, Relative motions of the Pacific, Rivera, North American, and Cocos plates since 0.78 Ma: *Journal of Geophysical Research*, 102, 2789-2806p.

Durham, J.W., Applegate, S.P., Espinoza-Arrubarrena, L., 1981. Onshore marine Cenozoic along southwest Pacific coast of Mexico. *Geological Society of America Bulletin* 92, 384 – 394p.

Ducea, M. N., Gehrels, G. E., Shoemaker, S., Ruiz, J. y Valencia, V. A., 2004. Geologic evolution of the Xolapa Complex, Southern Mexico evidence from U-Pb Zircon geochronology, *Geological Society of American Bulletin* V.116, 1016-1025 p.

Elías-Herrera, M., Sánchez-Zavala, J. L., Macías-Romo, C., 2000, Geologic and geochronologic data from the Guerrero terrane in the Tejupilco area, southern Mexico: new constraints on its tectonic interpretation: *Journal of South American Earth Sciences*, 13, 355-3751-2, 541-553p.

Elías-Herrera, M., Ortega-Gutierrez, F., Sánchez-Zavala, J. L., Macías-Romo, C., Ortega-Rivera, A., Inondo, A., 2005. La Falla de Caltepec; raíces expuestas de una frontera tectónica de larga vida entre terrenos Continentales del Sur de México, *Bol. Soc. Geol. Mex. Vol. Conmemorativo del Centenario Tomo LVII, Núm 1* 83-109p.

Erben, H. K., 1956. El Jurásico Medio y Calloviano de México: México D.F., Congreso Geológico Internacional, 20 140p.

Ferrusquía-Villafranca, I. 1976. Estudios Geológicos-Paleontológicos en la región Mixteca, Parte I, Geología del área Tamazulapan-Teposcolula-Yanhuitlan, Mixteca Alta, Estado de Oaxaca, México: UNAM, Instituto de Geología, Bol. 97,185p.

Friedman, G. 1962. Comparison of Moment Measures of Sieving and thin-section Data in Sedimentary Petrological Studies, Journal of Sedimentary Petrology Vol. 32 No. 1, 15- 25p.

Fries, C., Schmitter, E., Damon, P. E.,y Livingston, D. E. 1962. Rocas Precámbricas de edad Grenvilliana de la parte central de Oaxaca en el Sur de México, UNAM, Instituto de Geología, Bol. 64, 45- 53p.

Godin, G., de la Paz, Rodriguez, R., y Ortiz, M., 1980. Las mareas y el nivel del mar a lo largo de la costa , Geofís. Internal. México v.19 239-258p.

Guzmán-Speziale, M., Meneses-Rocha, J. J., 2000, The North America Caribbean plate boundary west of the Motagua-Polochic fault system: a fault jog in southeastern Mexico: Journal of South American Earth Sciences, 13, 459-468p.

Herrmann, U.R., Nelson, B.K. y Ratschbacher, L., 1994, The origin of a terrane: U/Pb zircon geochronology and tectonic evolution of the Xolapa Complex (southern Mexico): Tectonics, v. 13, 455-474p.

Jonhson M. E., Ledesma-Vazquez 2001, Pliocene-Pleistocene rocky shorelines trace coastal development of Bahía Concepción, gulf coast of Baja California Sur (Mexico),Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology 166, 65-88 p.

Keppie, J.D., 2004. Terranes of Mexico revisited: a 1.3 billion year odyssey. International Geology Review, 46 (9), 765-794p.

Laioic. K.R. (1986). Coastal tectonics. In: Active Tectonics, National Research Council, National Academy Press, 95-125p.

Lang, H. R., Barros, J. A., Cabral-Cano, E., Draper, G., Harrison, C. G. A., Jansma, P. E., Johnson, C. A., 1996, Terrane deletion in northern Guerrero state: Geofísica Internacional, 35, 349 - 359p.

Lopez-Ticha, D., 1985. Revisión de la estratigrafía y potencial petrolero de la cuenca de Tlaxiaco. Boletín de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros, 37, 49-92p.

Malfait, B. T., Dinkelman, M. G., 1972, Circum-Caribbean tectonic and igneous activity and evolution of the Caribbean plate: Geological Society of America

Bulletin, 83, 251-272p.

Malpica-Cruz Victor, Ortlieb Luc, Castro del Río Alberto, 1978, Transgresiones cuaternarias en la costa de Sonora, UNAM ,Inst. Geología Vol. 2, 90-97p.

Martiny, B., Martínez-Serrano, R., Morán-Zenteno, D.J., Macías-Romo, C., Ayuso, R., 2000, Stratigraphy, geochemistry and tectonic significance of the Oligocene magmatic rocks in western Oaxaca, southern Mexico: Tectonophysics, v. 318,71-98p.

McMillen K. F., y Bachman, S. B., 1982, Bathymetric and tectonic evolution of Project Leg66: in Lee, M., ed., Initial reports DSDP, v. 66, Washington, D. C., U. S. Govt. Printing Office, 815-822p.

Morán-Zenteno, D., 1992. Investigaciones isotópicas de Rb-Sr y Sm-Nd en rocas cristalinas de la región de Tierra Colorada- Acapulco-Cruz-Grande, Estado de Guerrero. Universidad Nacional Autónoma de México, tesis doctoral, 175p.

Morán-Zenteno, D., Corona-Chávez, P. y Tolson, G., 1996. Uplift and subduction erosion in southwestern Mexico since the Oligocene: pluton geobarometry constraints. Earth and Planetary Science Letters, 141, 51-65p.

Morán Zenteno D. J, Mariano Cerca, Duncan Keppie J., 2005 La evolución tectónica y magmática cenozoica del suroeste de México: avances y problemas de interpretación, Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, Vol. Conmemorativo del centenario, tomo LVII, núm. 3, 319-339p.

Morán-Zenteno J. D., Cerca Mariano, Keppie John Duncan , 2009, La evolución tectónica y magmática cenozoica del suroeste de México: avances y problemas de interpretación, Boletín de la Sociedad Mexicana, Vol. Conmemorativo del Centenario, Temas Selectos de la geología mexicana tomo LVII, núm. 3, 319-341p.

Molinari, E., Blom, M., Basu, A., 1991. Methods of Provenance Deformation tested with function Analysis Journal of Sedimentaty Petrology v.61 No.6 900-908p.

Muhs R. D., Thomas K. Rockwell and George L. Kennedys,1992, Late Quaternary uplift rates of marine terraces on the Pacific coast of North America, Southern Oregon to Baja California Sur, Quaternary International, Vol. 15/16,121-133p.

Ortega-Gutiérrez, F. 1977. Los Mármoles intrusivos del Complejo Oaxaqueño; UNAM, Instituto de Geología, Revista V.1, 28-32p.

Ortega-Gutiérrez, F. 1978. Geología del Contacto entre la Formación Acatlán Paleozoica y el Complejo Oaxaqueño Precámbrico al Oriente de Acatlán, Estado de Puebla, Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, V. 39, 27-28p.

Ortega-Gutiérrez, F., 1981. Metamorphic belts of southern Mexico and their tectonic significance. *Geofísica Internacional*, 20, 112–131p.

Ortega-Gutiérrez F., 1993, Some basement and overlap geologic problems in Southern Mexico- an overview, UNAM, *Inst. Geología*, 8-11p.

Ortlieb Luc, 1978, Reconocimiento de las terrazas marinas cuaternarias en la parte de central de Baja California, UNAM, *Inst. Geología Vol. 2*, 200-211p.

Ortlieb, L.; Guzmán, N.; Marquardt, C. 2003. A longer lasting and warmer interglacial episode during isotopic stage 11: marine terrace evidence in tropical western Americas. In *Earth's Climate and Orbital Eccentricity: The Marine Isotope Stage 11 Question* (Burckle, L.; Poore, R.; Droxler, A.; editors). American Geophysical Union, *Geophysical Monograph* 137, 157-180p.

Palmer Robert H, Leo George Hertlein, 1928, Marine Pleistocene mollusks from Oaxaca, México, *American Philosophical Society*, 65-77p.

Palmer Robert H 1928, Fossil and recent corals and coral reefs of western México, *American Philosophical Society*, Vol. 57, 25-31p.

Pantoja-Aljor, J. and R. A. Robinson, 1967. Paleozoic sedimentary rocks in Oaxaca, Mexico. *Science*, 157, 1033-1035p

Pantoja-Alor, J., 1970, Rocas sedimentarias paleozoicas de la región centro septentrional de Oaxaca: *Sociedad Geológica Mexicana, Libro-guía de la Excursión México-Oaxaca*, 67-84p.

Pardo, M., Suárez, G., 1995, Shape of the subducted Rivera and Cocos plates in southern Mexico: seismic and tectonic implications: *Journal of Geophysical Research*, 100(B7), 2357-2373p.

Pedrin-Avilés, Padilla-Arredondo Gustavo, Díaz-Rivera Ernesto, Sirkin Les, Struckenrath Robert, 1990, *Estratigrafía del Pleistoceno superior-Holoceno en el área de la laguna costera de Balandra estado de Baja California Sur*, UNAM *Inst. Geología*, Vol. 9 170-175p.

Pérez-Gutiérrez, R., Solari, L. A., Gómez-Tuena, A. y Martens, U., 2009. Mesozoic geologic evolution of the Xolapa migmatitic complex north of Acapulco, southern Mexico: implications for paleogeographic reconstructions. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 26 (1), 201-221p.

Pillans Brad. 1990. Pleistocene marine terraces in New Zealand: A review, *New Zealand Journal of Geology and Geophysics*, 219- 231p.

Pindell, J. L., Cande, S. C. W., Pitman, W. C., Rowley, D. B., Dewey, J. F., Lebreque, J., Haxby, W., 1988, A plate-kinematic framework for models of

Caribbean evolution: Tectonophysics, 155, 121-138p.

Quezada J., González Gabriel, Dunai Tibor, Jensen Arturo, Juez-Larré Joaquim 2007. Alzamiento litoral Pleistoceno del norte de Chile: edades 21 Ne de la terraza costera más alta del área de Caldera-Bahía Inglesa, Revista Geológica de Chile, Vol. 34, No. 1, 81-96p.

Ramírez-Herrera M.T., Urritia-Fucugauchi J., 1999, Morphotectonic zones along the coast of the Pacific continental margin, southern Mexico, Geomorphology 28 , 237 – 250p

Ramírez-Herrera M. T, 2011, Evidencias ambientales de cambios de nivel de la costa del Pacífico de México: terremotos y tsunamis, Revista de Geografía Norte Grande, 49: 99-124p.

Ratschbacher, L., Riller, U., Meschede, M., Hermann, U. R., and Frisch, W., 1991. Second look at suspect terranes in Southern México, Geology 19, 1233-1236p.

Roland Paskoff, 1999, Pleistocene marine terraces in New Zealand: A review, New Zealand Journal of Geology and Geophysics, Vol. 33, 219-228p. Ross, M., Scotese, C. R., 1988, A hierarchical tectonic model of the Gulf of Mexico and Caribbean region: Tectonophysics, 155, 139-168p.

Robinson, K. L., Gastil, R.G., Campa, M. F., 1989. Early Tertiary extension in southwestern México and exhumation of the Xolapa metamorphic core complex, Geologic Society of America Abstracts with Programs, A92p.

Riller, U., Ratschbacher, L., Frisch, W., 1992. Left-lateral transtension along the Tierra Colorada deformation zone, northern margin of the Xolapa magmatic arc of Southern México, Journal of South American Earth Sciences 5, 237-249p.

Robinson, K. L., Gastil, R. G., Campa, U. M. F. & Ramírez, E. J. 1989. Early Tertiary Extension in southwestern Mexico and exhumation of the Xolapa Metamorphic core complex Southern Mexico, Geol. Soc. Am. Abstracts with programs, 22-78p.

Ross, M. I. y Scotese, C. E., 1988. A hierarchical model of the Gulf of Mexico and Caribbean region Tectonophysics v. 155 139-168p.

Ruiz, J., Patchett, P. J., Arculus, R. J., 1988, Nd-Sr isotopic composition of lower crustal xenoliths, Evidence for the origin of mid-Tertiary felsic volcanics in Mexico: Contributions to Mineralogy and Petrology, 99, 36-43p.

Sabanero-Sosa, H., 1990. La ruptura del extremo austral de la Plataforma Guerrero-Morelos determinada por la acreción constructiva-transformante del Terreno Xolapa, México, IPN, Tesis de Licenciatura, 126p.

Salas G. P. 1949, Bosquejo Geológico de la cuenca sedimentaria de Oaxaca,

Boletín de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros Vol. 1, 79-156p.

Sánchez-Rubio, G., 1973. Las migmatitas de Puerto Escondido Oaxaca. Universidad Nacional Autónoma de México, tesis profesional, 47p.

Secretaría de Comunicación y Transporte (SCT), ruta punto a punto, 2012, http://aplicaciones4.sct.gob.mx/sibuac_internet/ControllerUI?action=cmdEscogeRuta [Consulta: viernes 9 de marzo de 2012].

Servicio Geológico Mexicano (SGM). 2012. Carta Geológica- Minera (D14-3), primera edición escala 1: 250 000, estado de Oaxaca.

Servicio Geológico Mexicano (SGM). 2011. Informe Técnico Ejecutivo Proyecto Rosy, 2-54p.

Schaaf, P., Morán-Zenteno, D.J., Hernández-Bernal, M., Solís-Pichardo, G., Tolson, G., y Koehler, H., 1995, Paleogene continental margin truncation in southwestern Mexico: Geochronological evidence: *Tectonics*, v. 14, n. 5, 1339-1350p.

Schulze S. C. H. 1988. Análisis estratigráfico y metalogenético del estado de Oaxaca, tesis profesional.

Sedlock, R. L., Ortega-Gutiérrez, F., Speed, C., 1993, Tectonostratigraphic terranes and tectonic evolution of Mexico: Boulder, Colorado, Geological Society of America, Special Paper, 278, 153 p.

Silva-Romo G., Mendoza-Rosales C., 2009, Evaluación geológica de los modelos para el truncamiento cenozoico del sur de México: Erosión por subducción y detachment del bloque Chortís, Evaluación de los modelos para el truncamiento, *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, v. 26, núm. 1, 165-176p.

Solari, L. A., Torres de León, R., Hernandez-Pineda, G. A., Solé, J., Hernandez-Treviño, T., Solís-Pichardo, G., 2007. Tectonic significance of Cretaceous-Tertiary magmatic and structural evolution of the Northern margin of the Xolapa Complex Tierra Colorada area, Southern Mexico, *Geological Society of American Bulletin*, 119, 1265-1279p.

Spalletti L. A. 1980. Paleoambientes sedimentarios en secuencias silicoclásticas, *Asociación Geológica Argentina*, 174- 175p.

Suttner, L. J. 1974. Sedimentary petrographic provinces an evaluation, *Paleogeographic Provinces and Provinciality SEPM*, 75-80p.

Suttner, L. J. & Dutta, P. K. 1986. Alluvial Sandstone Composition and Paleoclimate Framework mineralogy, *Journal of Sedimentary Petrology* Vol. 56 No. 3, 329-345p.

Talavera-Mendoza, O. y Guerrero-Suastegui, M., 2000. Geochemistry and isotopic composition of the Guerrero Terrane (western Mexico): implication for the tectono-magmatic evolution of southwestern North America during the Late Mesozoic. *Journal of South American Earth Science*, 13, 297-324p.

Tolson-Jones, G., 1998, Deformación, exhumación y neotectónica de la margen continental de Oaxaca: datos estructurales, petrológicos y geotermobarométricos: México, Universidad Nacional Autónoma de México, Colegio de Ciencias y Humanidades, Unidad Académica de los Ciclos Profesionales y de Posgrado, Posgrado en Geofísica, Tesis doctoral, 98 p.

Tolson G., 2005, La falla Chacalapa en el sur de Oaxaca, *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, Vol. Conmemorativo del centenario, tomo LVII, núm. 3, 111-122p.

Torres-de León, R., 2005. Análisis Estructural y Caracterización Petrográfica de unidades Miloníticas en el Área de la La Venta, Estado de Guerrero, Implicaciones Tectónicas, Universidad Nacional Autónoma de México, Posgrado en Ciencias de la Tierra, Master-Tesis 65p.

Victoria-Morales, A., Vega, C. y Jiménez, G., 1988. Estudio petrológico del Complejo Xolapa a lo largo del Río La Sabana entre las poblaciones de La Venta y El Treinta, Estado de Guerrero. *Sociedad Geológica Mexicana*, IX Convención Geológica Nacional (resumen).

Visher G. S. 1969. Grain Size Distributions and Depositional process, *Journal of Sedimentary Petrology* Vol. 39 No. 3, 1074-1106p.

Woods J. Alan 1980, Geomorphology, deformation, and Chronology of marine terraces along the Pacific coast of central Baja California, *Quaternary Research* 13, 346-364p.

APÉNDICE
DE
FOTOGRAFÍAS



Fig. A1. Terraza Capri, Puerto Escondido, Oaxaca.



Fig. A2 Secuencias de arenas de la Terraza Capri.



Fig. A3 Cambios en el tamaño de grano en la Terraza Capri.



Fig. A4 Secuencias de arenas gruesas de la Terraza Capri.



Fig. A5 Toma de datos estructurales en la Terraza Capri.



Fig. A6 En la figura se observan galerías (icnofósiles) dentro de la Terraza Capri.



Fig.A7 Icnofósiles contenidas en las secuencias de arenas de la Terraza Capri.



Fig. A8 Cambios en el contenido de carbonato de calcio en la Terraza Capri.



Fig. A9 Terraza Punta Colorada Puerto Escondido, Oaxaca.



Fig. A10 Se observa el contacto entre el basamento y la Formación Colotepec.



Fig. A11 Toma de datos estructurales.



Fig. A12 Caídos de la base de la Terraza Punta Colorada.



Fig. A13 Material fosilífero (concha) que forma parte de la base de la Terraza Punta Colorada.



Fig. A14 Caídos de la Formación Colotepec en la Terraza Punta Colorada.



Fig. A15 Formas del relieve en las cercanías de la Terraza Punta Colorada.



Fig. A16 Cambios de tamaño de grano en las arenas de la Terraza Punta Colorada.



Fig. A17 Secuencias carbonatadas de la base de la Terraza Punta Colorada.



Fig.A18 Se observa una fuerte oxidación en la parte superior de las arenas de la Terraza Punta Colorada.



Fig. A19 Se observa el contacto entre el basamento y las secuencias sedimentarias en la Terraza Punta Colorada.



Fig. A20 Toma de datos en los caídos de la base de la Terraza Punta Colorada.



Fig. A21 Terraza Playa Coral Puerto Escondido, Oaxaca.



Fig. A22 Se observan las secuencias que conforman la Terraza Playa Coral.



Fig. A23 Caídos de secuencias sedimentarias en la Terraza Playa Coral.



Fig. A24 Cambio en el tamaño de grano de la Terraza Playa Coral.



Fig. A25 Se observan laminaciones de material oscuro en la Terraza Playa Coral.



Fig. A26 Se observan las secuencias de arena de la Terraza Playa Coral.



Fig. A27 Galerías (icnofósiles) en la Terraza Playa Coral



Fig. A28 Vista lateral de la Terraza Playa Coral.



Fig. A29 Caídos en la cercanía de la Terraza Playa Coral.



Fig. A29 Estratificación cruzada en las secuencias base de la Terraza Playa Coral.



Fig. A30 Basamento de la Terraza Playa Coral.



Fig. A31 Vista del afloramiento Valdeflores Puerto Escondido, Oaxaca.

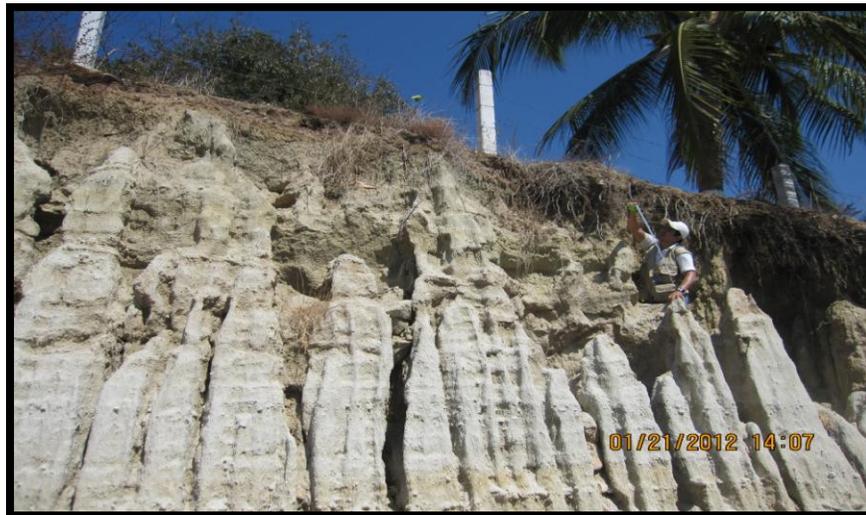


Fig. A32 Se observan las secuencias de arenas en Valdeflores.



Fig. A33 Se observa el contacto entre las arenas y gravas de Valdeflores y el Basamento.



Fig. A34 Se observa el contacto entre tres tipos de litologías (arenas, granodiorita y gneiss) por fallamiento.



Fig. A35 Coquinas en el afloramiento Agua Blanca, Oaxaca.



Fig. A36 Secuencias sedimentarias en el afloramiento Agua Blanca.



Fig. A37 Se observa la morfología en las cercanías del afloramiento Agua Blanca.



Fig. A38 Vista panorámica del afloramiento Agua Blanca.



Fig. A39 Secuencias de arenas y gravas cerca del poblado de Coyote, Oaxaca.



Fig. A40 Gravas del afloramiento Coyote.



Fig A41 Coquinas en Playa Zicatela Puerto Escondido, Oaxaca.

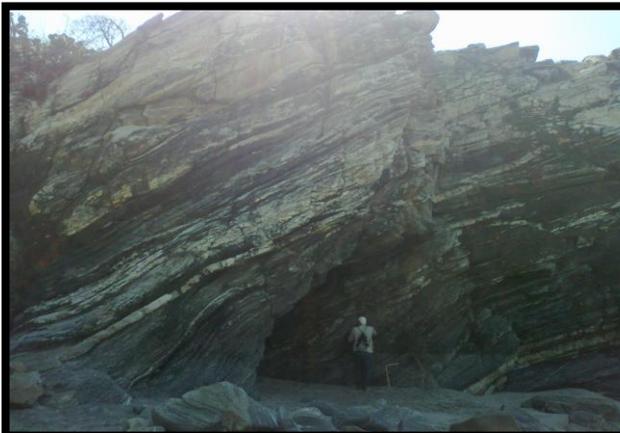


Fig. A42 Vista del Basamento en Playa Zicatela.



Fig. A43 Basamento fracturado y fallado Playa Zicatela.



Fig. A44 Se observa un dique intrusionando el Basamento.

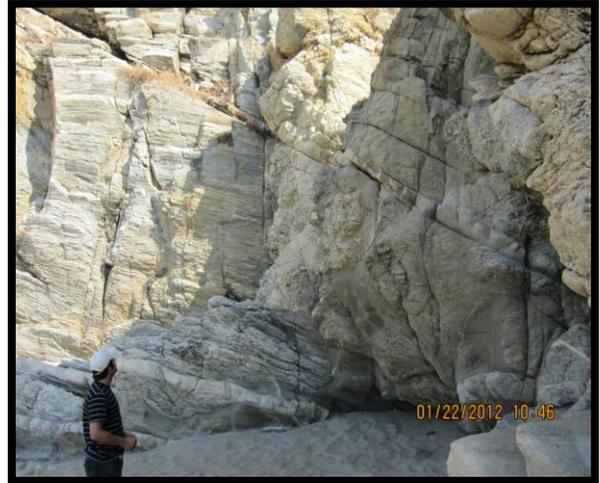


Fig. A45 Se observa el fallamiento del Basamento.

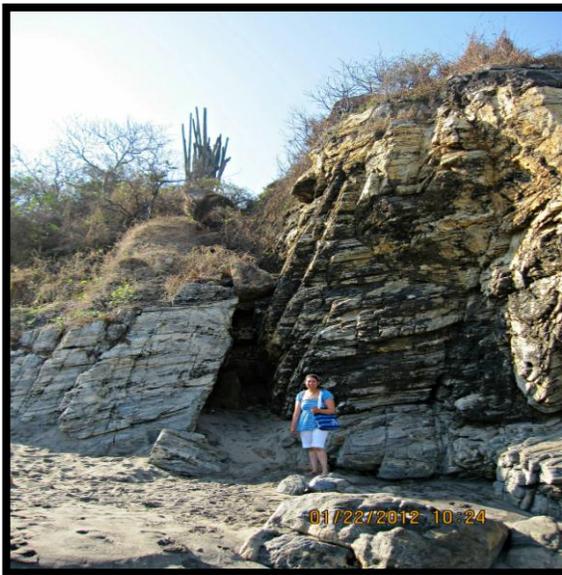


Fig. A46 Vista del Basamento en Playa Zicatela.

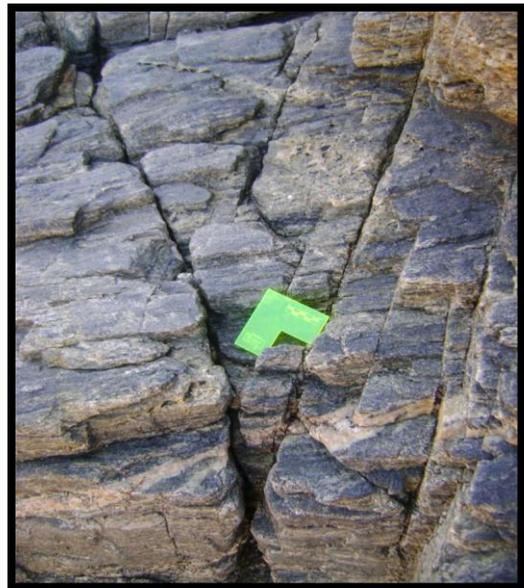


Fig. A47 Se observa fracturas en pares conjugados del Basamento Playa Zicatela.

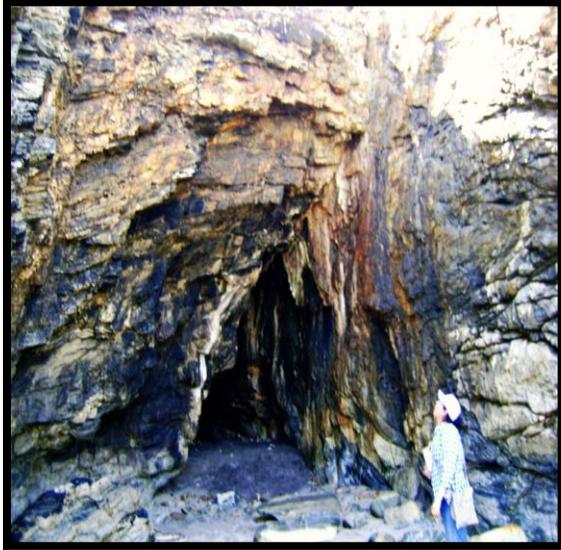


Fig. A48 Fallamiento del Basamento en Playa Zicatela.

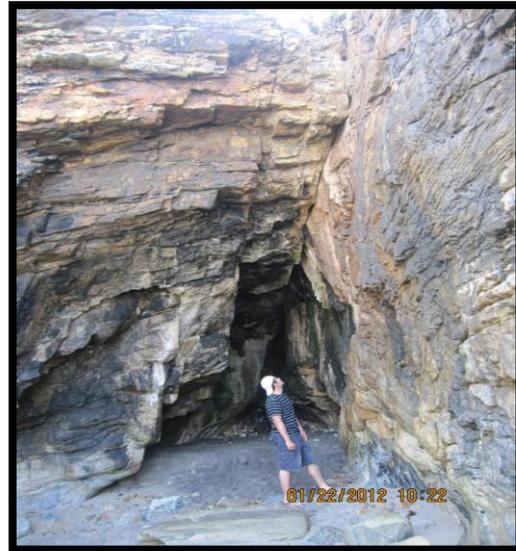


Fig. A49 Se observa las familias de fallas en el Basamento Playa Zicatela.



Fig. A50 Fracturamiento y cuerpos intrusivos en el Basamento Playa Zicatela.

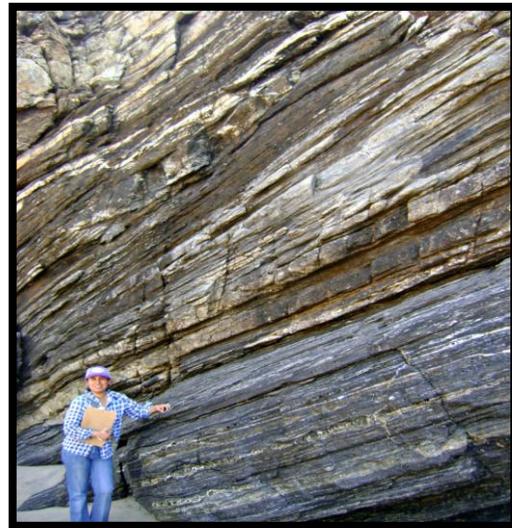


Fig. A51 Se observa el gneiss del Basamento Plata Zicatela.



Fig. 52 Viste panorámica del Basamento en Playa Zicatela.



Fig. A53 Fracturas en pares conjugados en el afloramiento El regadio Puerto Escondido, Oaxaca.



Fig. A54 Fallamiento en el afloramiento El regadio.

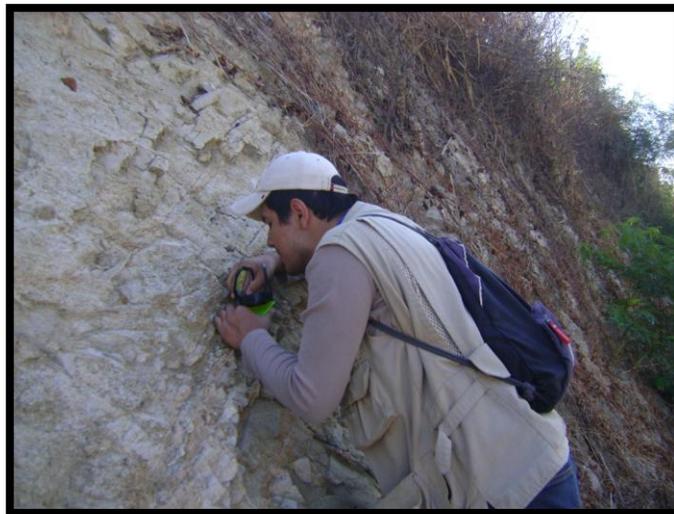


Fig. A55 Toma de datos estructurales en el afloramiento El regadio.



Fig. A56 Fracturas en el afloramiento El regadio.



Fig. A57 Lineamientos en la roca del afloramiento El regadio.



Fig. A58 Caídos en playa Carrizalillo Puerto Escondido, Oaxaca.



Fig. A59 Se observan migmatitas en playa Carrizalillo.



Fig. A60 Lineamientos de la roca en playa Carrizalillo.



Fig. A61 Vista del afloramiento en playa Carrizalillo.

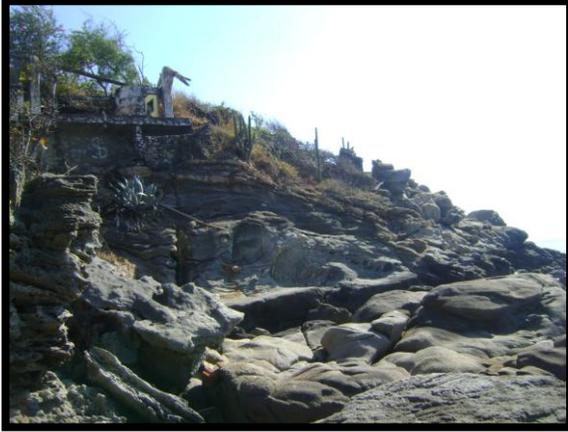


Fig. A62 Cambio de litología de secuencias sedimentarias a rocas metamórficas playa Carrizalillo.



Fig. A63 Se observa un proceso de migmatización de las rocas metamórficas playa Carrizalillo.



Fig.A64 Melanosoma playa Carrizalillo.



Fig. A65 Se observa el proceso de fusión con zonas de melanosoma y leucosoma playa Carrizalillo.



Fig. A66 Fusión parcial del Basamento playa Carrizalillo.



Fig. A67 Fusión de la roca metamórfica playa Carrizalillo.



Fig. A67 Vista panorámica del afloramiento playa Carrizalillo.

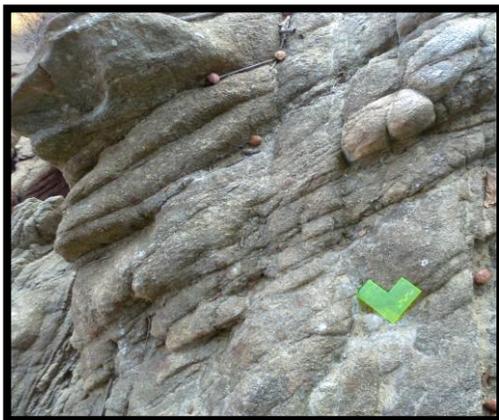


Fig. A68 Fracturamiento del Basamento en playa Angelito Puerto Escondido, Oaxaca.

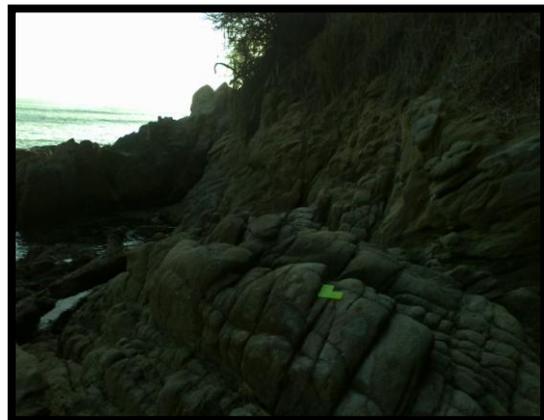


Fig. A69 Fallamiento y fracturas del Basamento playa Angelito.



Fig. A70 Vista del afloramiento en Roca Blanca, Oaxaca.



Fig. A71 Lineamiento y fracturamiento del Basamento en Roca Blanca.

APÉNDICE SEDIMENTOLÓGICO

Resultados de las muestras de arena de la Terraza Playa Coral.

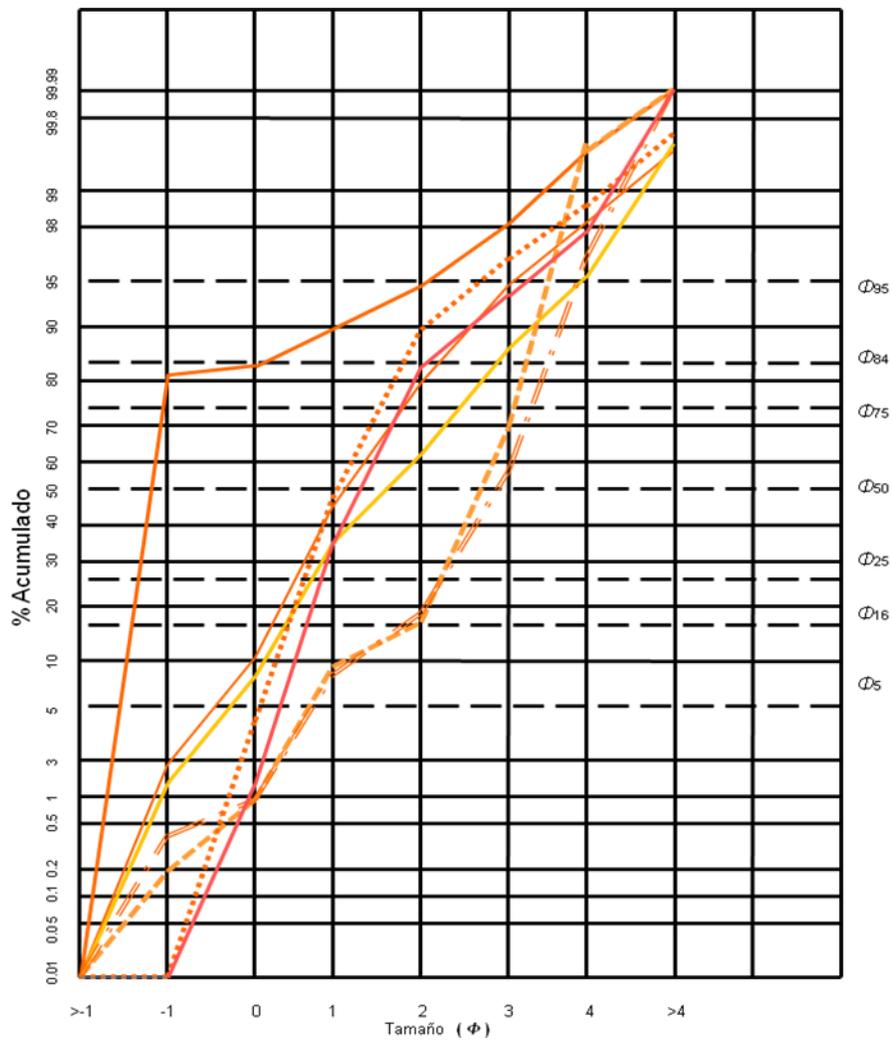


Fig. B1 En el esquema se muestran las curvas acumulativas de las muestras A, C, D, E, F, I (Base, intermedio y Cima) de la Terraza Playa Coral en donde se graficó el porcentaje acumulado en peso contra el tamaño de grano phi.

Muestra "A"

Peso inicial = 100 (grs.)		
ϕ	Peso (grs.)	Peso acumulado (grs.)
-1	2.9	2.9
0	7.8	10.7
1	35.8	46.4
2	33.0	79.5
3	15.2	94.7
4	3.5	98.2
finos	1.3	99.5

Fig. B2 En la tabla se muestra el peso de la muestra en base a el tamaño de grano phi así como su peso acumulado de la muestra A de la Terraza Playa Coral.

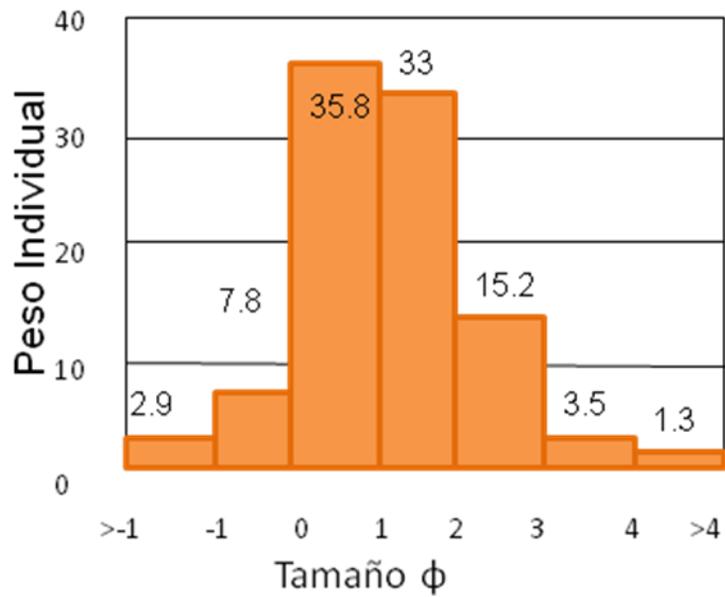


Fig. B3 En la gráfica se muestra el peso individual contra el tamaño de grano phi de la muestra A de la Terraza Playa Coral.

Cuartiles	Percentiles
Φ_{95}	3.0 Φ
Φ_{84}	2.3 Φ
Φ_{75}	1.8 Φ
Φ_{50}	1.2 Φ
Φ_{25}	0.5 Φ
Φ_{16}	0.3 Φ
Φ_5	-0.5 Φ

Fig. B4 En la tabla se muestra los cuartiles y percentiles respectivos de la muestra A de la Terraza Playa Coral.

Datos Granulométricos:

Parámetros	Término descriptivo	Madurez
Moda Mo= 0.50ϕ	Arena gruesa	
Mediana Md= 1.20ϕ	Arena media	
Promedio Gráfico Mz= 1.26ϕ	Arena media	
Desviación Estandar $\sigma_1= 1.03$	Pobrementemente seleccionada	Submadura
Asimetría Sk= 0.064	Simétrica	
Curtosis $K_G= 1.10$	Leptocúrtica	

Fig. B5 En la tabla se exponen los resultados granulométricos en base a los parámetros, términos descriptivos y madurez de la muestra A de la Terraza Playa Coral.

Muestra "B"

Peso inicial = 100 (grs.)		
ϕ	Peso (grs.)	Peso acumulado (grs.)
-1	2.1	2.1
0	5.2	7.3
1	26.8	34.1
2	27.8	61.9
3	25	86.9
4	8.9	95.8
finos	3.8	99.6

Fig. B6 En la tabla se muestra el peso de la muestra en base a el tamaño de grano phi así como su peso acumulado de la muestra B de la Terraza Playa Coral.

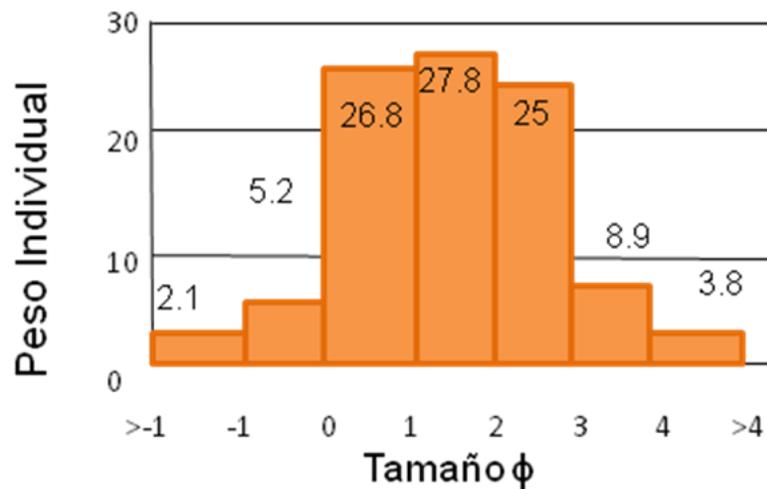


Fig. B7 En la gráfica se muestra el peso individual contra el tamaño de grano phi de la muestra B de la Terraza Playa Coral.

Cuartiles	Percentiles
Φ_{95}	4.0 Φ
Φ_{84}	2.9 Φ
Φ_{75}	2.3 Φ
Φ_{50}	1.5 Φ
Φ_{25}	0.8 Φ
Φ_{16}	0.3 Φ
Φ_5	-0.7 Φ

Fig. B8 En la tabla se muestra los cuartiles y percentiles respectivos de la muestra B de la Terraza Playa Coral.

Datos Granulométricos:

Parámetros	Término descriptivo	Madurez
Moda Mo= 1.50 ϕ	Arena media	
Mediana Md= 1.50ϕ	Arena media	
Promedio Gráfica Mz= 1.56 ϕ	Arena media	
Desviación Estandar $\sigma_1= 1.36$	Pobremente seleccionada	Submadura
Asimetría Sk= 0.069	Simétrica	
Curtosis $K_G= 1.28$	Leptocúrtica	

Fig. B9 En la tabla se exponen los resultados granulométricos en base a los parámetros, términos descriptivos y madurez de la muestra B de la Terraza Playa Coral.

Muestra "D"

Peso inicial = 100 (grs.)		
ϕ	Peso (grs.)	Suma acumulada (grs.)
-1	3.5	3.5
0	9.2	12.7
1	48.8	61.5
2	18	79.5
3	13.2	92.7
4	4.3	97
finos	3.0	100

Fig. B10 En la tabla se muestra el peso de la muestra en base a el tamaño de grano phi así como su peso acumulado de la muestra D de la Terraza Playa Coral.

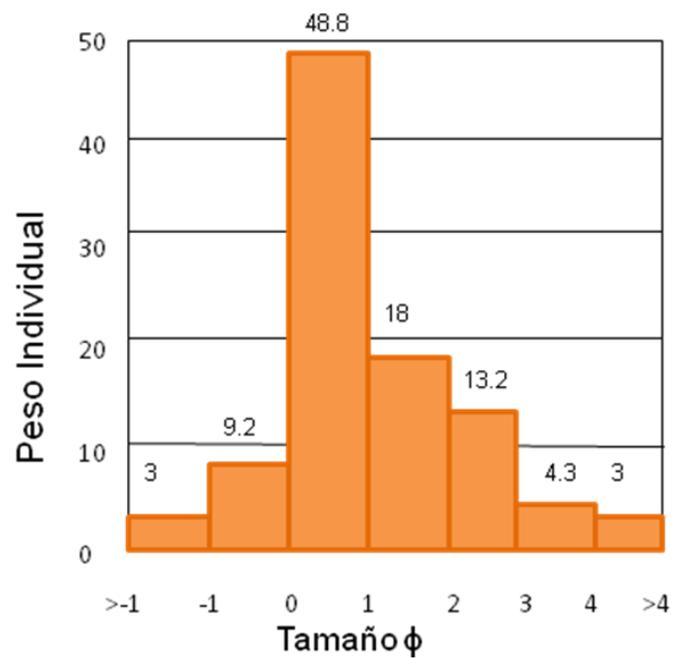


Fig. B11 En la gráfica se muestra el peso individual contra el tamaño de grano phi de la muestra D de la Terraza Playa Coral.

Cuartiles	Percentiles
Φ_{95}	4.0 Φ
Φ_{84}	2.9 Φ
Φ_{75}	2.3 Φ
Φ_{50}	1.5 Φ
Φ_{25}	0.8 Φ
Φ_{16}	0.3 Φ
Φ_5	-0.7 Φ

Fig. B12 En la tabla se muestra los cuartiles y percentiles respectivos de la muestra D de la Terraza Playa Coral.

Datos Granulométricos:

Parámetros	Término descriptivo	Madurez
Moda Mo= 0.5ϕ	Arena gruesa	
Mediana Md= 1.5ϕ	Arena media	
Promedio Gráfico Mz=		
Desviación Estandar $\sigma_1= 1.36$	Pobrementemente seleccionada	Submadura
Asimetría Sk= 0.069		
Curtosis K_G= 1.28	leptocúrtica	

Fig. B13 En la tabla se exponen los resultados granulométricos en base a los parámetros, términos descriptivos y madurez de la muestra D de la Terraza Playa Coral.

Muestra "E"

Peso inicial = 100 (grs.)		
ϕ	Peso (grs.)	Peso acumulado(grs.)
-1	82	8.2
0	1.7	83.3
1	6.7	90.4
2	4	94.4
3	4.3	98.4
4	0.7	99.4
finos	0.6	100

Fig. B14 En la tabla se muestra el peso de la muestra en base a el tamaño de grano phi así como su peso acumulado de la muestra E de la Terraza Playa Coral.

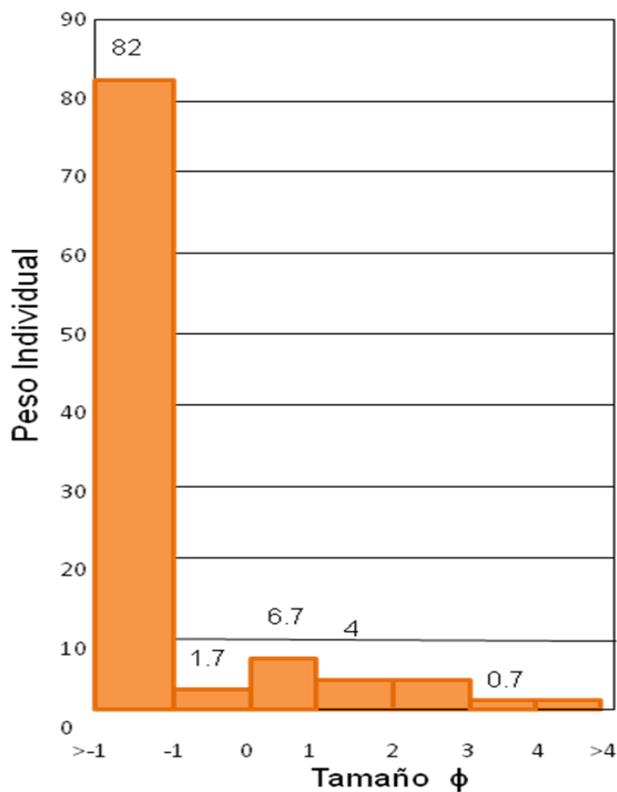


Fig. B15 En la gráfica se muestra el peso individual contra el tamaño de grano phi de la muestra E de la Terraza Playa Coral.

Cuartiles	Percentiles
Φ95	2.2 Φ
Φ84	0.3 Φ
Φ75	-1.0 Φ
Φ50	-1.1 Φ
Φ25	-1.3 Φ
Φ16	-1.4 Φ
Φ5	-1.5 Φ

Fig. B16 En la tabla se muestra los cuartiles y percentiles respectivos de la muestra E de la Terraza Playa Coral.

Datos Granulométricos:

Parámetros	Término descriptivo	Madurez
Moda Mo= -0.5φ	Arena muy gruesa	
Mediana Md= -1.1φ	Arena muy gruesa	
Media Mz= -0.1	Arena muy gruesa	
Desviación Estandar σ₁= 0.98	Moderadamente Seleccionada	Submadura
Asimetría Sk= 0.71	Muy Positivamente Sesgada	
Curtosis K_G= 5.05	Extremadamente Leptocúrtica	

Fig. B17 En la tabla se exponen los resultados granulométricos en base a los parámetros, términos descriptivos y madurez de la muestra D de la Terraza Playa Coral.

Muestra "M6D3"

Peso inicial = 100 (grs.)		
ϕ	Peso (grs.)	Peso acumulado (grs.)
-1	0.2	0.2
0	0.6	0.8
1	8.4	9.2
2	7.6	16.8
3	52.9	69.7
4	29.8	99.5
finos	0.4	99.9

Fig. B18 En la tabla se muestra el peso de la muestra en base a el tamaño de grano phi así como su peso acumulado de la muestra M6D3 de la Terraza Playa Coral.

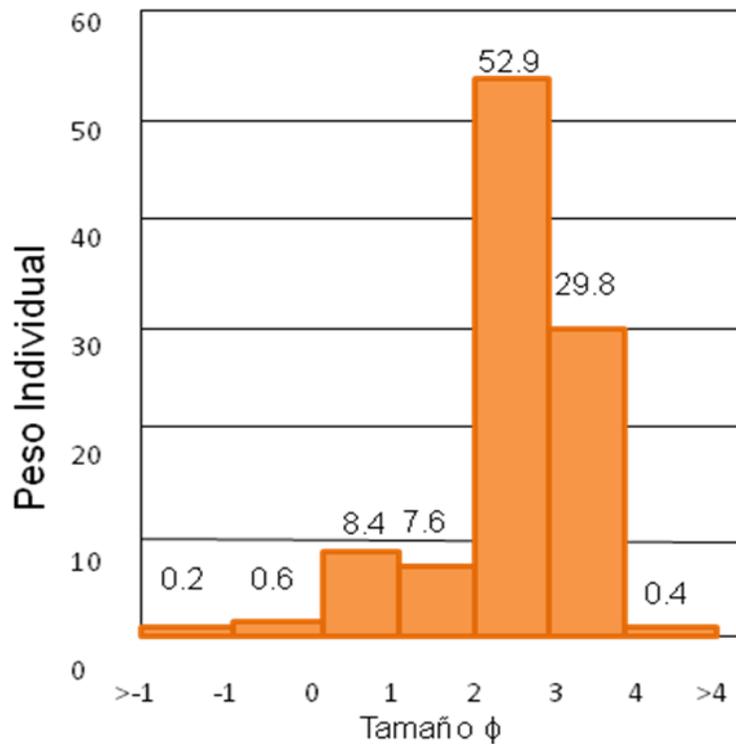


Fig. B19 En la gráfica se muestra el peso individual contra el tamaño de grano phi de la muestra M6D3 de la Terraza Playa Coral.

Cuartiles	Percentiles
Φ_{95}	3.5 Φ
Φ_{84}	3.3 Φ
Φ_{75}	3.1 Φ
Φ_{50}	2.7 Φ
Φ_{25}	2.3 Φ
Φ_{16}	1.9 Φ
Φ_5	0.8 Φ

Fig. B20 En la tabla se muestra los cuartiles y percentiles respectivos de la muestra M6D3 de la Terraza Playa Coral.

Datos Granulométricos:

Parámetros	Término descriptivo	Madurez
Moda Mo= 2.50ϕ	Arena fina	
Mediana Md= 2.70ϕ	Arena fina	
Media Mz= 2.63ϕ	Arena fina	
Desviación Estandar $\sigma_1= 0.75$	Moderadamente seleccionada	Submadura
Asimetría Sk= -0.27	Simétrica	
Curtosis K_G= 1.38	Leptocúrtica	

Fig. B21 En la tabla se exponen los resultados granulométricos en base a los parámetros, términos descriptivos y madurez de la muestra D de la Terraza Playa Coral.

Muestra " I BASE"

Peso inicial = 100 (grs.)		
ϕ	Peso (grs.)	Suma acumulada (grs.)
-1	0.3	0.3
0	0.5	0.8
1	7.8	8.6
2	9.5	18.1
3	39.1	57.2
4	39.1	96.3
finos	27	99

Fig. B22 En la tabla se muestra el peso de la muestra en base a el tamaño de grano phi así como su peso acumulado de la muestra I BASE de la Terraza Playa Coral.

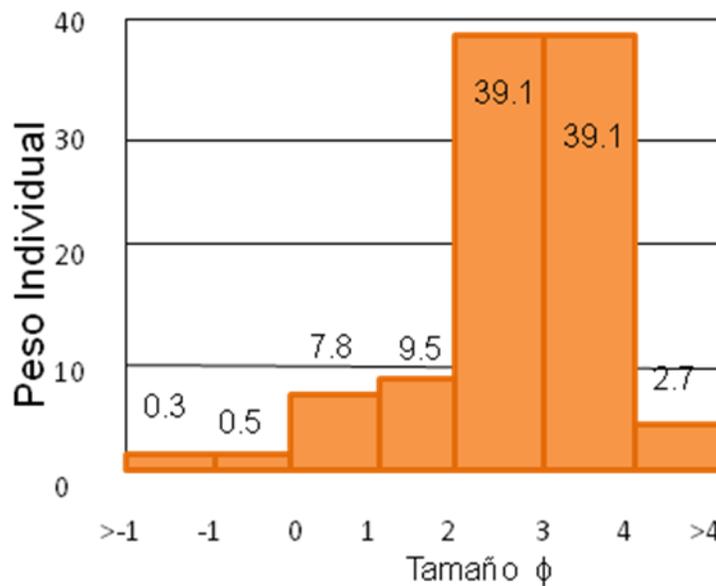


Fig. B23 En la gráfica se muestra el peso individual contra el tamaño de grano phi de la muestra I BASE de la Terraza Playa Coral.

Cuartiles	Percentiles
Φ_{95}	3.9 Φ
Φ_{84}	3.5 Φ
Φ_{75}	3.3 Φ
Φ_{50}	2.8 Φ
Φ_{25}	2.2 Φ
Φ_{16}	1.8 Φ
Φ_5	0.8 Φ

Fig. B24 En la tabla se muestra los cuartiles y percentiles respectivos de la muestra I BASE de la Terraza Playa Coral.

Datos Granulométricos:

Parámetros	Término descriptivo	Madurez
Moda	Arena fina	
Mo= 2.50ϕ y 3.50ϕ	Arena muy fina	
Mediana	Arena fina	
Md= 2.80ϕ		
Promedio Gráfico	Arena fina	
Mz= 2.70ϕ		
Desviación Estandar	Moderadamente seleccionada	Submadura
$\sigma_1= 0.89$		
Asimetría	Simétrica	
Sk= 0.225		
Curtosis	Leptocúrtica	
$K_G= 1.15$		

Fig. B25 En la tabla se exponen los resultados granulométricos en base a los parámetros, términos descriptivos y madurez de la muestra D de la Terraza Playa Coral.

Muestra " I INTERMEDIO"

Peso inicial = 100 (grs.)		
ϕ	Peso (grs.)	Peso acumulada (grs.)
-1	0	0
0	4	4
1	43.4	47.4
2	41.9	89.4
3	7.3	96.7
4	1.9	98.6
finos	1	99.6

Fig. B26 En la tabla se muestra el peso de la muestra en base a el tamaño de grano phi así como su peso acumulado de la muestra I INTERMEDIO de la Terraza Playa Coral.

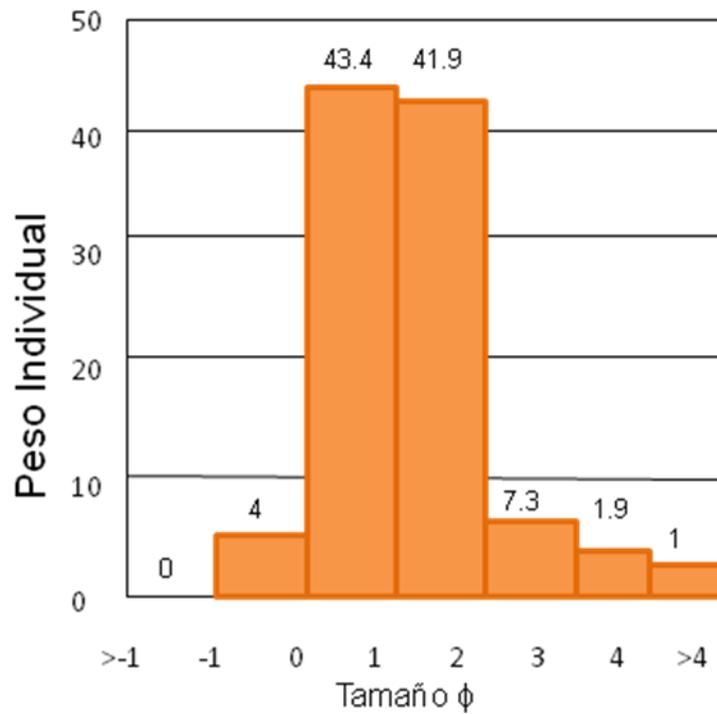


Fig. B27 En la gráfica se muestra el peso individual contra el tamaño de grano phi de la muestra I BASE de la Terraza Playa Coral.

Cuartiles	Percentiles
Φ_{95}	2.6 Φ
Φ_{84}	1.8 Φ
Φ_{75}	1.5 Φ
Φ_{50}	1.1 Φ
Φ_{25}	0.6 Φ
Φ_{16}	0.5 Φ
Φ_5	0.2 Φ

Fig.B28 En la tabla se muestra los cuartiles y percentiles respectivos de la muestra I INTERMEDIO de la Terraza Playa Coral.

Datos Granulométricos:

Parámetros	Término descriptivo	Madurez
Moda Mo= 0.50ϕ	Arena gruesa	
Mediana Md= 1.10ϕ	Arena media	
Promedio Gráfico Mz= 1.13ϕ	Arena media	
Desviación Estandar $\sigma_1= 0.68$	Moderadamente bien seleccionada	Submadura
Asimetría Sk= 0.16	Positivamente Sesgada	
Curtosis K_G= 1.09	Mesocúrtica	

Fig. B29 En la tabla se exponen los resultados granulométricos en base a los parámetros, términos descriptivos y madurez de la muestra I INTERMEDIO de la Terraza Playa Coral.

Muestra " I CIMA"

Peso inicial = 100 (grs.)		
ϕ	Peso (grs.)	Peso acumulado (grs.)
-1	0	0
0	1.7	1.7
1	34.1	35.8
2	47.4	83.2
3	11.7	94.9
4	2.8	97.7
finos	2.4	100.1

Fig. B30 En la tabla se muestra el peso de la muestra en base a el tamaño de grano phi así como su peso acumulado de la muestra I CIMA de la Terraza Playa Coral.

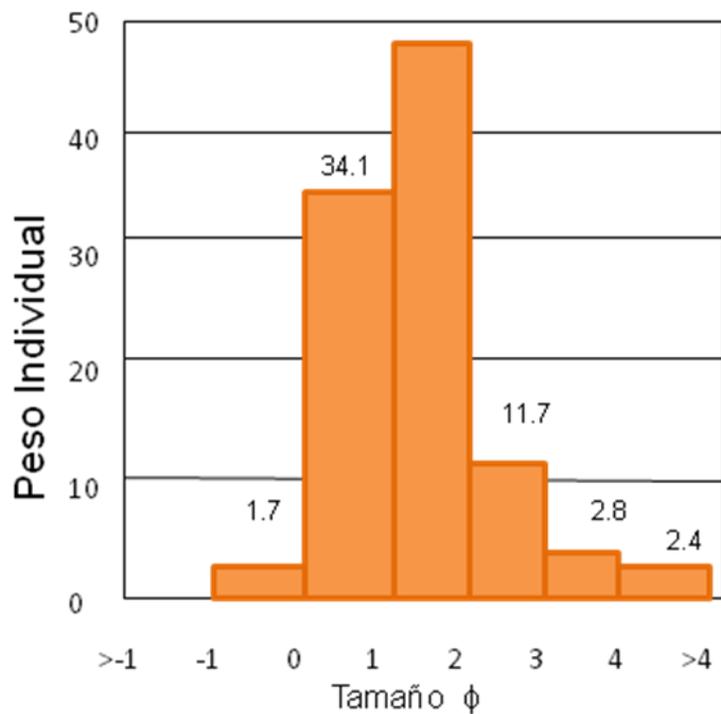


Fig. B31 En la gráfica se muestra el peso individual contra el tamaño de grano phi de la muestra I CIMA de la Terraza Playa Coral.

Cuartiles	Percentiles
Φ_{95}	3.3 Φ
Φ_{84}	2.1 Φ
Φ_{75}	1.8 Φ
Φ_{50}	1.4 Φ
Φ_{25}	0.9 Φ
Φ_{16}	0.8 Φ
Φ_5	0.3 Φ

Fig.B32 En la tabla se muestra los cuartiles y percentiles respectivos de la muestra I CIMA de la Terraza Playa Coral.

Datos granulométricos:

Parámetros	Término descriptivo	Madurez
Moda Mo= 1.50ϕ	Arena media	
Mediana Md= 1.40ϕ	Arena media	
Promedio Gráfico Mz= 1.43ϕ	Arena media	
Desviación Estandar $\sigma_1= 0.77$	Moderadamente seleccionada	Submadura
Asimetría Sk= 0.17	Positivamente sesgada	
Curtosis K_G= 1.64	Muy leptocúrtica	

Fig. B33 En la tabla se exponen los resultados granulométricos en base a los parámetros, términos descriptivos y madurez de la muestra I CIMA de la Terraza Playa Coral.

Resultados de las muestras de arena de la Terraza Capri

Se ha encontrado que la media phi presenta valores que oscilan entre 0.75 a 2.70, la desviación estandar con valores de 0.68 a 1.36, la asimetría de valores que se encuentran de -0.27 a 0.71, en donde la mayoría de las muestras a son simétricas, los valores de curtosis varían de 1.09 a 5.05 con una tendencia a curvas leptocúrticas.

El análisis de las distribuciones de las curvas acumulativas y de los datos granulométricos, nos dan una puntualización acerca de la depositación y de la influencia de los aportes, en este caso existen tres diferencias marcadas, la primera la muestra E que fueron depósitos por arrastre-rodamiento, para lo cual fue transportado por un ambiente fluvial, lo segundo, las muestras y curvas que representan mayormente saltación, con influencia marina y la tercera la cual muestra una depositación por suspensión en un ambiente de baja energía.

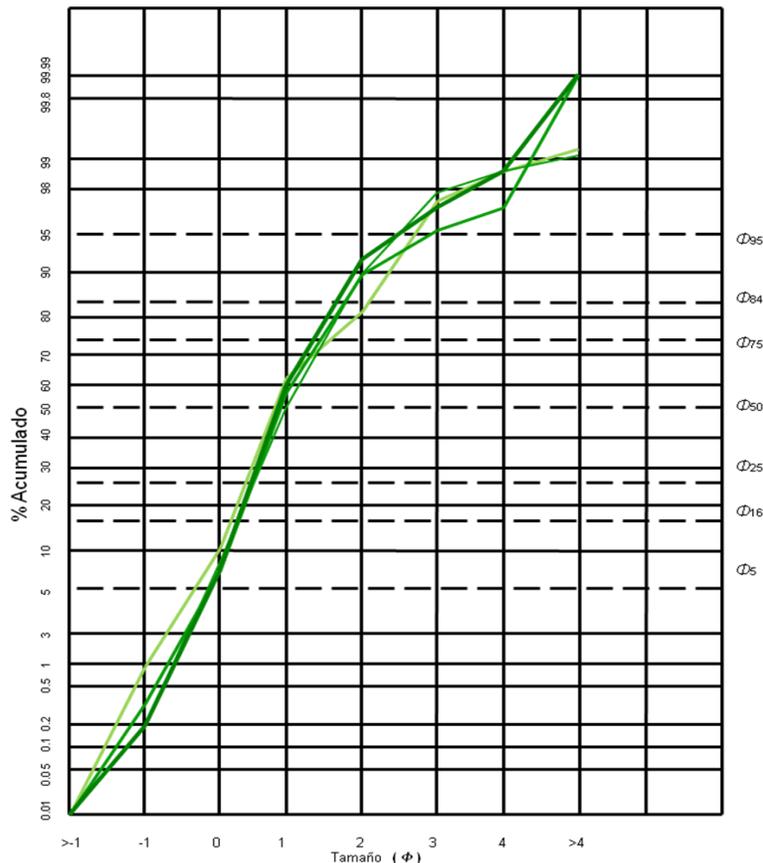


Fig. B34 En el esquema se muestran las curvas acumulativas de las muestras D1M2, D1M3, D1M7 y D1M8 de la Terraza Capri en donde se graficó el porcentaje acumulado en peso contra el tamaño de grano phi.

Muestra D1M2

Peso inicial = 100 (grs.)		
ϕ	Peso (grs.)	Peso acumulado (grs.)
-1	0.2	0.2
0	7.8	8
1	42.6	50.6
2	40.3	90.9
3	7.4	98.3
4	0.4	98.7
finos	0.3	99.

Fig. B35 En la tabla se muestra el peso de la muestra en base a el tamaño de grano phi así como su peso acumulado de la muestra D1M2 de la Terraza Capri.

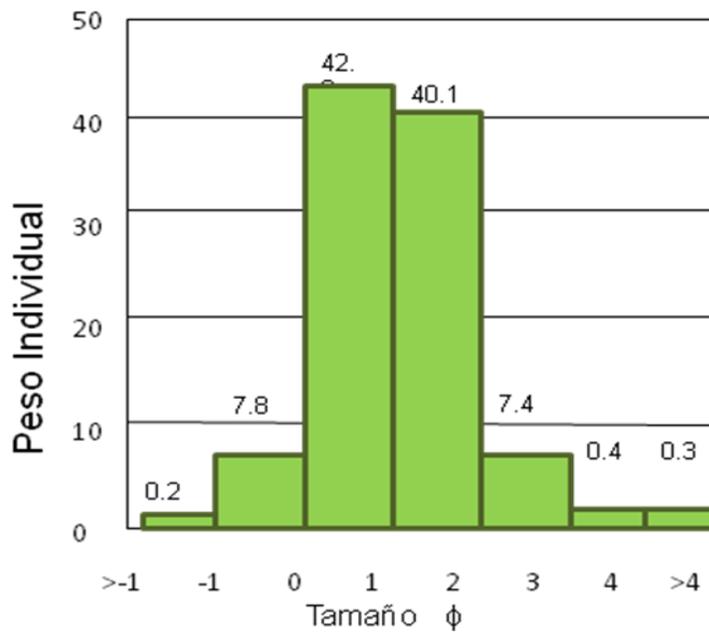


Fig. B36 En la gráfica se muestra el peso individual contra el tamaño de grano phi de la muestra D1M2 de la Terraza Capri.

Cuartiles	Percentiles
Φ_{95}	2.5 Φ
Φ_{84}	1.8 Φ
Φ_{75}	1.5 Φ
Φ_{50}	1.0 Φ
Φ_{25}	0.6 Φ
Φ_{16}	0.3 Φ
Φ_5	-0.8 Φ

Fig.B37 En la tabla se muestra los cuartiles y percentiles respectivos de la muestra D1M2 de la Terraza Capri.

Datos Granulométricos:

Parámetros	Término descriptivo	Madurez
Moda Mo= 0.50ϕ	Arena gruesa	
Mediana Md= 1.00ϕ	Arena media	
Promedio Gráfico Mz= 1.03ϕ	Arena media	
Desviación Estandar $\sigma_1= 0.87$	Moderadamente Seleccionada	Submadura
Asimetría Sk= -0.01	Simétrica	
Curtosis $K_G= 1.5$	Leptocúrtica	

Fig. B38 En la tabla se exponen los resultados granulométricos en base a los parámetros, términos descriptivos y madurez de la muestra D1M2 de la Terraza Playa Coral.

Muestra "D1M3

Peso inicial = 100 (grs.)		
ϕ	Peso (grs.)	Peso acumulado (grs.)
-1	0.9	0.9
0	10	10.9
1	51	61.9
2	21.1	83
3	14.6	97.6
4	1.1	98.7
finos	0.4	99.1

Fig. B39 En la tabla se muestra el peso de la muestra en base a el tamaño de grano phi así como su peso acumulado de la muestra D1M3 de la Terraza Capri.

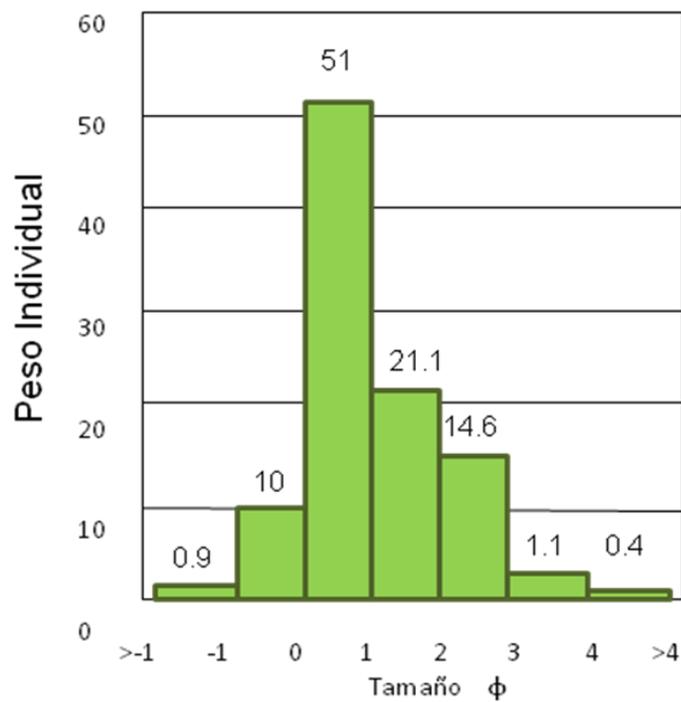


Fig. B40 En la gráfica se muestra el peso individual contra el tamaño de grano phi de la muestra D1M3 de la Terraza Capri.

Cuartiles	Percentiles
Φ_{95}	2.7 Φ
Φ_{84}	2.1 Φ
Φ_{75}	1.5 Φ
Φ_{50}	0.9 Φ
Φ_{25}	0.4 Φ
Φ_{16}	0.2 Φ
Φ_5	-0.7 Φ

Fig.B41 En la tabla se muestra los cuartiles y percentiles respectivos de la muestra D1M3 de la Terraza Capri.

Datos Granulométricos:

Parámetros	Término descriptivo	Madurez
Moda Mo= 0.5	Arena gruesa	
Mediana Md= 0.9	Arena gruesa	
Promedio Gráfico Mz= 1.06	Arena gruesa	
Desviación Estandar $\sigma_1= 0.77$	Moderadamente Seleccionada	Submadura
Asimetría Sk= 0.16	Positivamente Sesgada	
Curtosis $K_G= 1.26$	Leptocúrtica	

Fig. B42 En la tabla se exponen los resultados granulométricos en base a los parámetros, términos descriptivos y madurez de la muestra D1M3 de la Terraza Playa Coral.

Muestra "D1M7"

Peso inicial = 100 (grs.)		
ϕ	Peso (grs.)	Peso acumulado (grs.)
-1	0.3	0.3
0	6.1	6.4
1	50.9	57.3
2	33.4	90.7
3	5	95.7
4	1.2	96.9
finos	3.1	100

Fig. B43 En la tabla se muestra el peso de la muestra en base a el tamaño de grano phi así como su peso acumulado de la muestra D1M7 de la Terraza Capri.

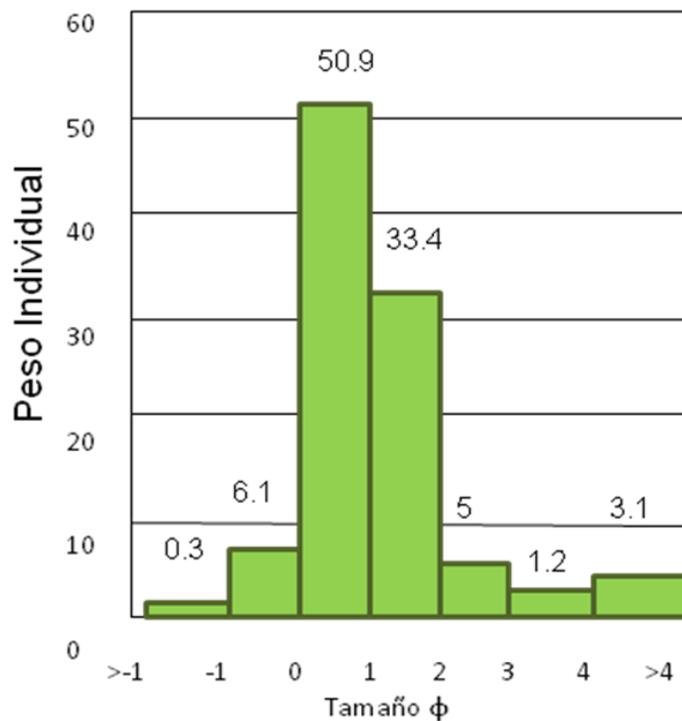


Fig. B44 En la gráfica se muestra el peso individual contra el tamaño de grano phi de la muestra D1M7 de la Terraza Capri.

Cuartiles	Percentiles
Φ_{95}	2.9 Φ
Φ_{84}	1.7 Φ
Φ_{75}	1.4 Φ
Φ_{50}	0.9 Φ
Φ_{25}	0.5 Φ
Φ_{16}	0.3 Φ
Φ_5	-0.1

Fig.B45 En la tabla se muestra los cuartiles y percentiles respectivos de la muestra D1M7 de la Terraza Capri.

Datos Granulométricos:

Parámetros	Término descriptivo	Madurez
Moda Mo= 0.5	Arena gruesa	
Mediana Md=0.9	Arena gruesa	
Promedio Gráfico Mz=0.96	Arena gruesa	
Desviación Estandar $\sigma_1= 0.91$	Moderadamente Seleccionada	Submadura
Asimetría Sk= 0.11	Positivamente Sesgada	
Curtosis $K_G= 1.68$	Muy Leptocúrtica	

Fig. B46 En la tabla se exponen los resultados granulométricos en base a los parámetros, términos descriptivos y madurez de la muestra D1M7 de la Terraza Playa Coral.

Muestra "D1M8

Peso inicial = 100 (grs.)		
ϕ	Peso (grs.)	Peso acumulado (grs.)
-1	0.2	0.2
0	6.8	7
1	54.5	61.5
2	31.8	93.2
3	4.6	97.8
4	0.8	98.9
finos	1.3	100

Fig. B47 En la tabla se muestra el peso de la muestra en base a el tamaño de grano phi así como su peso acumulado de la muestra D1M8 de la Terraza Capri.

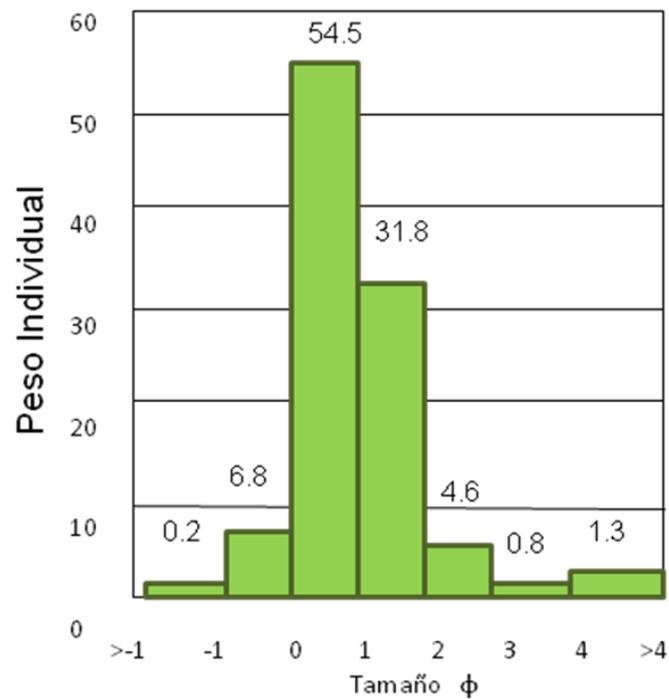


Fig. B48 En la gráfica se muestra el peso individual contra el tamaño de grano phi de la muestra D1M8 de la Terraza Capri.

Cuartiles	Percentiles
Φ_{95}	2.4 Φ
Φ_{84}	1.7 Φ
Φ_{75}	1.5 Φ
Φ_{50}	0.9 Φ
Φ_{25}	0.5 Φ
Φ_{16}	0.3 Φ
Φ_5	-0.8 Φ

Fig.B49 En la tabla se muestra los cuartiles y percentiles respectivos de la muestra D1M8 de la Terraza Capri.

Datos Granulométricos:

Parámetros	Término descriptivo	Madurez
Moda	Arena gruesa	
Mediana Md= 0.9	Arena media	
Promedio Gráfico Mz= 0.96	Arena media	
Desviación Estandar $\sigma_1= 0.83$	Moderadamente Seleccionada	Submadura
Asimetría Sk= 0.039	Simétrica	
Curtosis $K_G= 1.31$	Leptocúrtica	

Fig. B50 En la tabla se exponen los resultados granulométricos en base a los parámetros, términos descriptivos y madurez de la muestra D1M8 de la Terraza Playa Coral.

Resultados de las muestras de arena depósitos recientes.

Los valores que arrojan los estudios sedimentológicos resultan de una media phi de 0.96 a 1.06, con datos de desviación estandar de 0.77 a 0.91 que ubican a la terraza Capri con sedimentos moderadamente seleccionados, con una asimetría de -0.01 a 0.839 con una tendencia simétrica a positivamente sesgada (gruesos) y con valores de curtosis que van de 1.26 a 1.68, donde las curvas tienen una propensión a ser leptocúrticas.

En base a lo observado en las curvas y los datos granulométricos, se puede inferir que el depósito fue mayormente por saltación, esto debido a un ambiente de alta energía, influenciado claramente por el oleaje del mar sobre la costa.

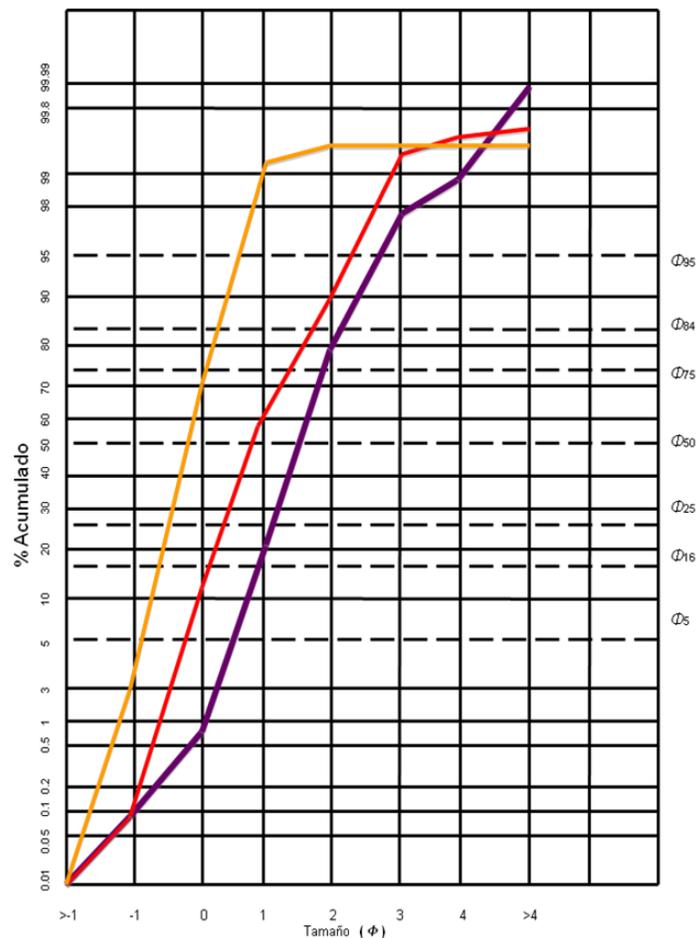


Fig. B51 En el esquema se muestran las curvas acumulativas de las muestras de arenas recientes pertenecientes a las Playas Punta Colorada, Playa Coral y Playa Zicatela en donde se graficó el porcentaje acumulado en peso contra el tamaño de grano phi.

Muestra "A", Playa Zicatela.

Peso inicial = 100 (grs.)		
ϕ	Peso (grs.)	Peso acumulado (grs.)
-1	0.1	0.1
0	0.5	0.6
1	19.6	20.2
2	58.9	79.1
3	19.7	97.8
4	1.1	98.9
finos	0.1	99.9

Fig. B52 En la tabla se muestra el peso de la muestra en base a el tamaño de grano phi así como su peso acumulado de la muestra A de Playa Zicatela.

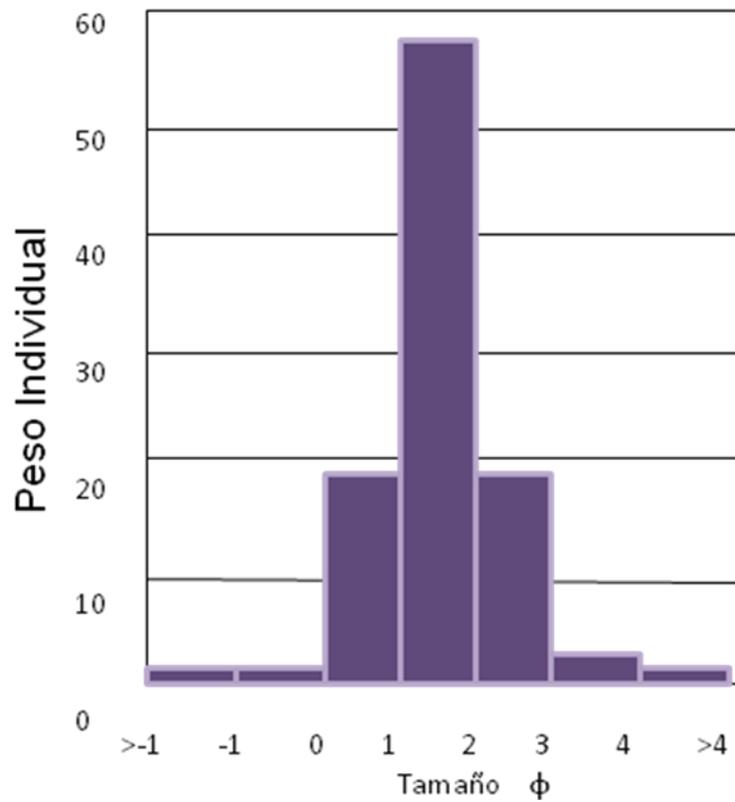


Fig. B53 En la gráfica se muestra el peso individual contra el tamaño de grano phi de la muestra A de Playa Zicatela.

Cuartiles	Percentiles
Φ_{95}	2.7 Φ
Φ_{84}	2.3 Φ
Φ_{75}	1.8 Φ
Φ_{50}	0.5 Φ
Φ_{25}	0.3 Φ
Φ_{16}	0.1 Φ
Φ_5	0.5 Φ

Fig.B54 En la tabla se muestra los cuartiles y percentiles respectivos de la muestra A de Playa Zicatela.

Datos Granulométricos:

Parámetros	Término descriptivo	Madurez
Moda Mo= 1.50ϕ	Arena media	
Mediana Md= 0.50ϕ	Arena gruesa	
Promedio Gráfico Mz= 0.96ϕ	Arena gruesa	
Desviación Estandar $\sigma_1= 0.65$	Moderadamente bien Seleccionada	Submadura
Asimetría Sk= 0.41	Muy Positivamente Sesgada	
Curtosis K_G= 1.8	Muy Leptocúrtica	

Fig. B55 En la tabla se exponen los resultados granulométricos en base a los parámetros, términos descriptivos y madurez de la muestra A de Playa Zicatela.

Muestra "B", Playa Punta Colorada

Peso inicial = 100 (grs.)		
ϕ	Peso (grs.)	Peso acumulado (grs.)
-1	0.9	0.9
0	11.5	12.4
1	47	59.4
2	31.1	90.5
3	8.7	99.2
4	0.3	99.5
finos	0.1	99.6

Fig. B56 En la tabla se muestra el peso de la muestra en base a el tamaño de grano phi así como su peso acumulado de la muestra B de Playa Punta Colorada.

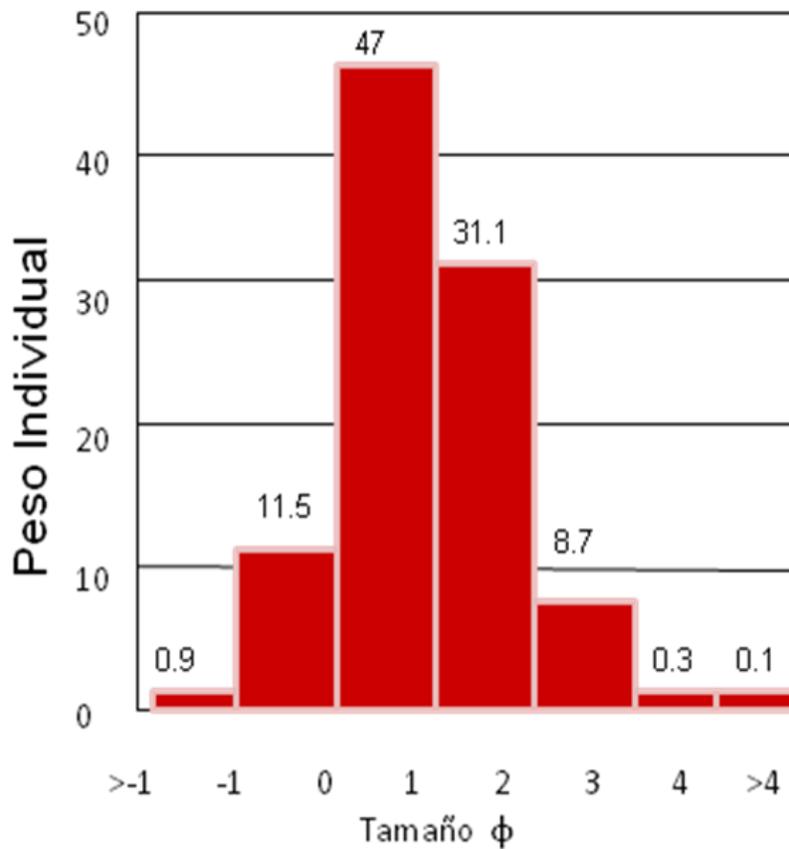


Fig. B57 En la gráfica se muestra el peso individual contra el tamaño de grano phi de la muestra B de Playa Punta Colorada.

Cuartiles	Percentiles
Φ_{95}	2.3 Φ
Φ_{84}	1.7 Φ
Φ_{75}	1.3 Φ
Φ_{50}	0.8 Φ
Φ_{25}	0.3 Φ
Φ_{16}	0.2 Φ
Φ_5	-0.8 Φ

Fig.B58 En la tabla se muestra los cuartiles y percentiles respectivos de la muestra B de Playa Punta Colorada.

Datos Granulométricos:

Parámetros	Término descriptivo	Madurez
Moda Mo= 0.5	Arena gruesa	
Mediana Md= 0.8	Arena gruesa	
Promedio Gráfico Mz= 0.9	Arena gruesa	
Desviación Estandar $\sigma_1= 0.84$	Moderadamente bien Seleccionada	Submadura
Asimetría Sk= 0.075	Simétrica	
Curtosis $K_G= 1.27$	Leptocúrtica	

Fig. B59 En la tabla se exponen los resultados granulométricos en base a los parámetros, términos descriptivos y madurez de la muestra B de Playa Punta Colorada.

Muestra "C", Playa Coral

Peso inicial = 100 (grs.)		
ϕ	Peso (grs.)	Peso acumulado (grs.)
-1	3.1	3.1
0	66.8	70.9
1	28.3	99.2
2	0.3	99.5
3	0	99.5
4	0	99.5
finos	0	99.5

Fig. B60 En la tabla se muestra el peso de la muestra en base a el tamaño de grano phi así como su peso acumulado de la muestra C de Playa Coral.

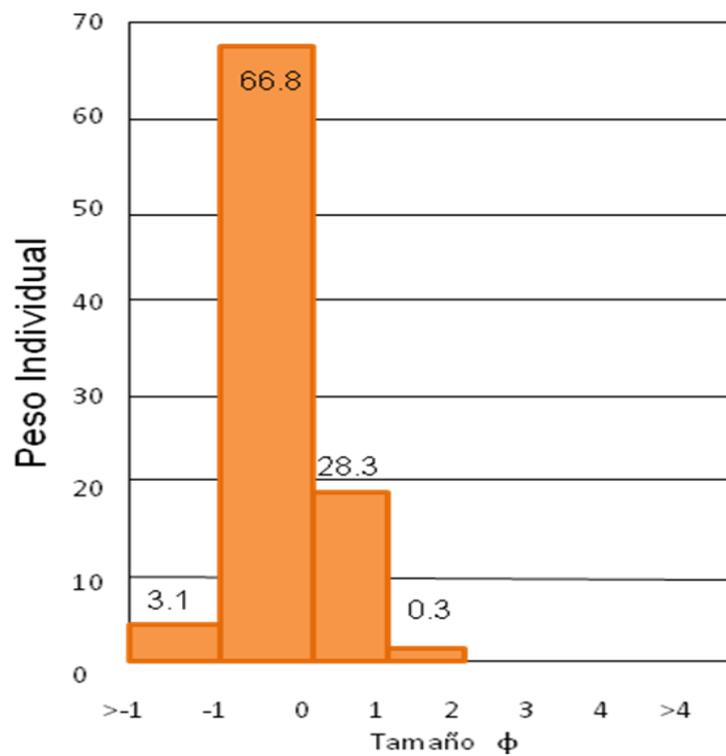


Fig. B61 En la gráfica se muestra el peso individual contra el tamaño de grano phi de la muestra B de Playa Punta Colorada.

Cuartiles	Percentiles
Φ_{95}	0.6 Φ
Φ_{84}	0.3 Φ
Φ_{75}	0.1 Φ
Φ_{50}	-0.8 Φ
Φ_{25}	-0.5 Φ
Φ_{16}	-0.3 Φ
Φ_5	-0.2 Φ

Fig.B62 En la tabla se muestra los cuartiles y percentiles respectivos de la muestra C de Playa Coral.

Datos Granulométricos:

Parámetros	Término descriptivo	Madurez
Moda Mo= - 0.50ϕ	Arena muy gruesa	
Mediana Md= -0.80ϕ	Arena muy gruesa	
Promedio Gráfico Mz= -0.26ϕ	Arena gruesa	
Desviación Estandar $\sigma_1= 0.27$	Muy bien Seleccionada	Madura
Asimetría Sk= 2.58	Muy Positivamente Sesgada	
Curtosis K_G= 0.54	Leptocúrtica	

Fig. B63 En la tabla se exponen los resultados granulométricos en base a los parámetros, términos descriptivos y madurez de la muestra C de Playa Coral.

Resultados de las muestras de arena de Valdeflores

Los valores de las muestras de Playa Zicatela, Playa Coral y Playa Punta Colorada arrojan los siguientes resultados, de media phi los valores se encuentran entre -0.26 y 0.96, los valores de desviación estandar de 0.27 a 0.65 esto es moderadamente seleccionados, en asimetría los datos son de 0.075 a 2.58, siendo positivamente sesgado (gruesos), y una curtosis de 0.54 a 1.8, lo cual indica que las curvas son leptocúrticas.

Sustentado en el análisis previamente establecido, se infiere que en base a el comportamiento de las curvas y los datos estadísticos, las Arenas de Playa de Puerto Escondido, tienen un depósito de arrastre-rodamiento y saltación mayormente, esto puede claro resultar de la influencia del oleaje además de sistemas fluviales.

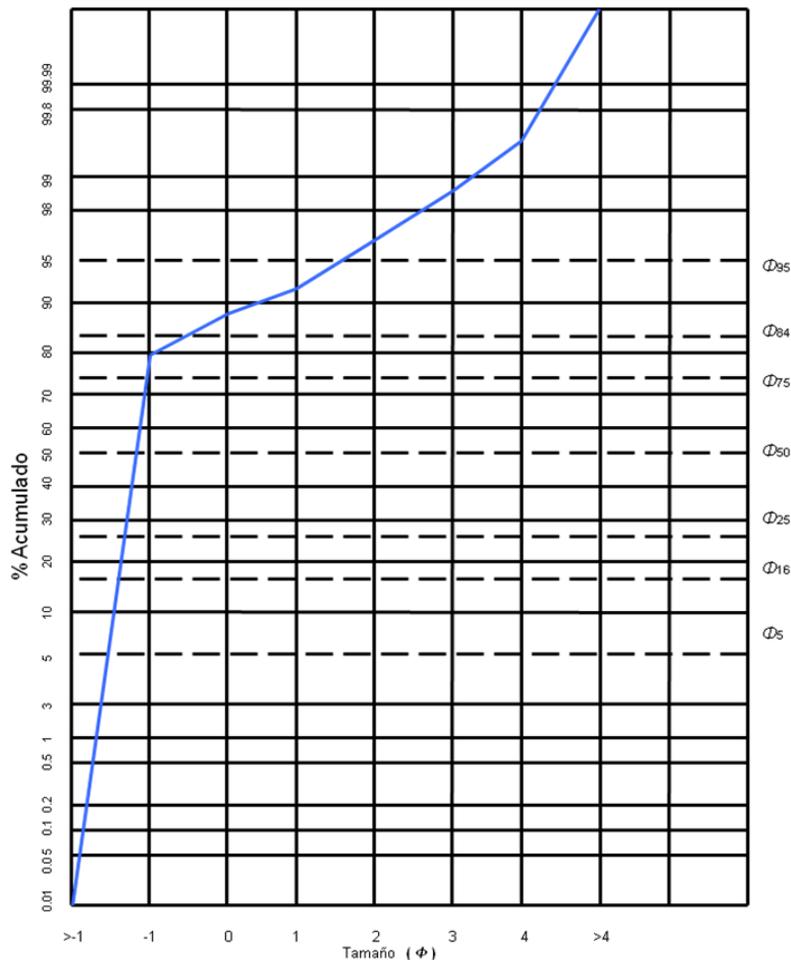


Fig. B64 En el esquema se muestran la curva acumulativa de la muestra de arena perteneciente a Valdeflores en donde se graficó el porcentaje acumulado en peso contra el tamaño de grano phi.

Muestra A Valdeflores

Peso inicial = 100 (grs.)		
ϕ	Peso (grs.)	Suma acumulada (grs.)
-1	80.5	80.5
0	6.6	87.7
1	5.5	92.6
2	3.7	96.3
3	2.2	98.5
4	1	99.5
finos	0.5	100

Fig. B65 En la tabla se muestra el peso de la muestra en base a el tamaño de grano phi así como su peso acumulado de la muestra A de Valdeflores.

Φ_{95}	1.7
Φ_{84}	-0.5
Φ_{75}	-1
Φ_{50}	-1.1
Φ_{25}	-1.2
Φ_{16}	-1.3
ϕ_5	-0.5

Fig.B66 En la tabla se muestra los cuartiles y percentiles respectivos de la

Datos	Termino descriptivo	Madurez
Desviación Estandar $\sigma_1 = 0.68$	Moderadamente bien seleccionada	Madura
Asimetría $S_k =$	Muy Positivamente Sesgada	
Curtosis $K_G = 0.54$	Leptocúrtica	

muestra A de Valdeflores.

Fig. B63 En la tabla se exponen los resultados granulométricos en base a los parámetros, términos descriptivos y madurez de la muestra A de Valdeflores.

Resultado y discusión

Los valores determinados para la muestra Valdeflores son, de una desviación estandar de 0.68 moderadamente bien seleccionada, con una asimetría de 0.41 muy positivamente sesgada (gruesos), y una curtosis de 0.54 leptocúrtica.

En base a lo expuesto anteriormente se determino que los sedimentos fueron transportados por arrastre-rodamiento, en un ambiente fluvial.

APÉNDICE
DE CONTENIDO
PALEONTOLÓGICO

Species /taxa	Habitat		Sustrate	
	Intertidal	Subtidal	Hard	Soft
<i>Acar rostrae</i> (Berry, 1854)	*		*	
<i>Americardia guanacatensis</i> (Hertlein & Strong, 1947)	*	*	*	
<i>Anadara (Rasia) formosa</i> (Sowerby, 1833)	*			*
<i>Arca (Arca) pacifica</i> (Sowerby, 1833)	*			*
<i>Arca</i> sp.	NA	NA	NA	NA
<i>Barbatia (Calloarca) alternata</i> (Sowerby, 1833)	*	*	*	
<i>Carditamera affinis</i> (Sowerby, 1833)	*	*	*	
<i>Cardites crassicostata</i> (Sowerby, 1825)	*			*
<i>Codakia distinguenda</i> (Tyron, 1872)	*		*	
<i>Crassostrea columbiensis</i> (Hanley, 1846)				
<i>Crassostrea prismatica</i> (Gray, 1825)	*		*	
<i>Crassostrea</i> sp.	NA	NA	NA	NA

<i>Chama buddiana</i> C.B. Adams, 1852		*	*	
<i>Chama corallina</i> Olsson, 1871		*	*	
<i>Chama</i> sp.	NA	NA	NA	NA
<i>Chione (Chione) compta</i> (Broderip, 1835)	*			*
<i>Chione (Chione) subimbricata</i> (Sowerby, 1835)	*			*
<i>Chione (?Chione) tumens</i> (Verril, 1870)	*			*
<i>Choromytilus palliopunctatus</i> (Carpetner, 1857)	*		*	
<i>Donax (Ampichaena) kindermanii</i> (Philippi, 1847)	*			*
<i>Donax (Paradonax) gracilis</i> (Hanley, 1835)	*			*
<i>Donax</i> sp.	NA	NA	NA	NA
<i>Globivenus isocardia</i> (Verril, 1870)	*		*	
<i>Glycymeris (Axinactis) delessertii</i> (Reeve, 1843)	*			*
<i>Glycymeris (Tucetona) canoa</i> Pilsbry & Olson, 1941	ND	ND	ND	ND

<i>Hyotissa hyotis</i> (Linnaeus, 1758)	*		*	
<i>Lima tetrica</i> Gould, 1851	*			*
<i>Lunarca brevifrons</i> (Sowerby, 1833)	*			*
<i>Mytella</i> sp.	NA	NA	NA	NA
<i>Periglypta multicostata</i> (Sowerby, 1835)	*			*
<i>Pitar (Hysteroconcha) roseus</i> (Broderip & Sowerby, 1829)	*			*
<i>Pseudochama dalli</i> Bernard, 1976	*		*	
<i>Spondylus calcifer</i> Carpenter, 1857	*		*	
<i>Spondylus leucacanthus</i> Broderip, 1833	*	*	*	
<i>Spondylus princeps</i> Broderip, 1833	*		*	
<i>Tivella (Tivella) byronensis</i> (Gray, 1828)	*			*
<i>Trachycardium (Dallocardia) senticosum</i> (Sowerby, 1833)	*			*
<i>Trachycardium</i> sp.	NA	NA	NA	NA
<i>Trigonicardia (Americardia) guanacatensis</i> (Hertlein & Strong, 1947)	*			*

Gastropoda	Intertidal	Subtidal	Hard	Soft
<i>Agaronia propatula</i> (Conrad, 1849)	*			*
<i>Agaronia testacea</i> Lamarck, 1811	*			*
<i>Agaronia</i> sp.	NA	NA	NA	NA
<i>Anachis (Anachis) scalarina</i> (Sowerby, 1832)	*			*
<i>Anachis</i> sp.	NA	NA	NA	NA
<i>Architectonica (Architectonica)</i> <i>nobilis</i> (Röding, 1798)	*			*
<i>Bulla (Bulla) gouldiana</i> Pilsbry, 1895	*			*
<i>Bursa (Bursa) rugosa</i> (G.B. Sowerby, 1835	*			*
<i>Calliostoma aequisculptum</i> Carpenter, 1865	*		*	
<i>Calliostoma mcleani</i> Shasky & Campbell, 1964	*		*	
<i>Cancellaria coronadensis</i> Durham, 1950	ND	ND	ND	ND
<i>Cantharus (Pollia) elegans</i> (Griffith & Pidgeon, 1834 ex Gray, MS)	*		*	

<i>Cantharus (Polia) sanguinolentus</i> (Duclos, 1833)	*	*	*	
<i>Cerithium</i> sp.	NA	NA	NA	NA
<i>Collumbella strombiformis</i> Lamarck, 1822	*		*	
<i>Conus (Asprella) arcuatus</i> Broderip & Sowerby, 1839	*	*		*
<i>Conus (Chelyconus) purpurascens</i> Sowerby, 1833	*		*	
<i>Conus (Conus) brunneus</i> Wood, 1828	*		*	
<i>Conus (Conus) gladiator</i> Broderip, 1833	*		*	
<i>Conus (Leptoconus) regularis</i> Sowerby, 1833	*			*
<i>Crepidula aculeata</i> (Gmelin, 1791)	*		*	
<i>Crepidula lessonii</i> (Broderip, 1834)	*		*	
<i>Crucibulum (Crucibulum)</i> <i>scutellatum</i> (Wood, 1828)	*		*	
<i>Crucibulum (Crucibulum) spinosum</i> (Sowerby, 1824)	*		*	

<i>Cymatium (Monoplex) keenae</i> (Beu, 1970)	*	*		*
<i>Cypraecassis (Levenia) coarctata</i> (Sowerby, 1825)	*			*
<i>Diodora inaequalis</i> (Sowerby, 1835)	*		*	
<i>Distorsio (Distorsio) constricta constricta</i> (Broderip, 1833)	*			*
<i>Fissurella (Cremides) decemcostata</i> McLean, 1970	*		*	
<i>Fisurella (Cremides) nigrocincta</i> Carpenter, 1856	*		*	
<i>Harpa crenata</i> Swainson, 1822	*			*
<i>Hipponix grayanus</i> Menke, 1853		*	*	
<i>Jenneria pustulata</i> (Ligthfoot, 1786)		*	*	
<i>Latirus concentricus</i> Reeve, 1847	*			*
<i>Mancinella tuberculata</i> (Sowerby, 1832)	*			*
<i>Mauritia arabicula</i> (Lamarck, 1811)	*			*
<i>Mitra (Nebularia) lens</i> Wood, 1828		*		*
<i>Muricopsis (Muricopsis) zeteki</i> Hertlein & Strong, 1951		*	*	

<i>Morum (Morum) tuberculosum</i> (Reeve, 1842)	*		*	
<i>Nassarius sp.</i>	NA	NA	NA	NA
<i>Natica (Natica) caneloensis</i> Hertlein & Strong, 1955	*			*
<i>Natica (Natica) idiopoma</i> Pilsbry & Lowe, 1932	*			*
<i>Natica (Naticarius) grayi</i> (Philippi, 1852)	*			*
<i>Neorapana muricata</i> (Broderip, 1832)	*		*	
<i>Nerita sp.</i>	NA	NA	NA	NA
<i>Oliva (Strephona) incrassata</i> (Lighthfoot, 1786)	*			*
<i>Olivella (Olivella) gracilis</i> (Broderip & Sowerby, 1829)	*			*
<i>Olivella sp.</i>	NA	NA	NA	NA
<i>Pilosabia pilosa</i> (Deshayes, 1832)		*	*	
<i>Stramonita biserialis</i> (Blainville, 1832)	*		*	
<i>Strombina (Strombina) bonita</i>		*		*

Strong & Hertlein, 1937				
<i>Tegula (Agathistoma) eiseni</i> Jordan, 1936		*	*	
<i>Terebra tuberculosa</i> Hinds, 1844	*			*
<i>Terebra</i> sp.	NA	NA	NA	NA
<i>Tripsycha</i> sp.	NA	NA	NA	NA
<i>Trivia (Pusula) fusca</i> (Sowerby, 1832 ex Gray, MS)	*			*
<i>Trivia (Pusula) radians</i> (Lamarck, 1811)	*			*
<i>Turritela leucostoma</i> Valenciennes, 1832	*			*
<i>Vermetus (Thylaeodus) indentatus</i> (Carpenter, 1857)	*		*	
<i>Zonaria (Zonaria) annettae</i> Dall, 1909	*			*
Cirripedia				
<i>Megabalanus peninsularis</i> (Pilsbry, 1916)	*		*	
Echinodermata				
<i>Eucidaris cf thouarsii</i>	*		*	