

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA**

**FACULTAD DE CIENCIAS MARINAS**



**DINAMICA SEDIMENTARIA EN PLAYA  
MUJERES CAUNCUN QUINTANA ROO, MÉXICO.**



TESIS

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
O C E A N O L O G O

PRESENTA:

GUSTAVO ALEJANDRO CUAPANTECA  
GALLEGOS.

ENSENADA B. C.

AGOSTO DE 2007

## RESUMEN.

Se realizó un estudio sedimentario en Playa Mujeres Quintana Roo, México, en el mes de Enero del 2006, con el fin de poder determinar las características texturales de los sedimentos así como la corriente litoral de Playa Mujeres. El trabajo de campo consistió en levantamiento de perfiles de playa a lo largo de la zona de estudio y la toma de muestras de sedimento correspondiente a cada perfil topográfico realizado (muestra de duna, berma, cara de playa y rompiente). A cada muestra de sedimento se le obtuvo la media, moda, clasificación con la ayuda de un instrumento denominado Laser Scattering Particle Size Distribution Analyzer (modelo LA-910). La corriente litoral se infirió a partir de los criterios de Sunamura y Horikawa (1971). Se estableció que los sedimentos presentes en playa mujeres son principalmente arenas medias a finas ricas en carbonatos bien clasificadas y que la corriente litoral principalmente va de sur a norte.

**DINAMICA SEDIMENTARIA EN PLAYA  
MUJERES CAUNCUN QUINTANA ROO, MÉXICO.**

**TESIS**

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE  
OCEANOLOGO**

**PRESENTA**

**GUSTAVO ALEJANDRO CUAPANTECA GALLEGOS**

**APROBADO POR**

  
**Presidente del Jurado**

**M.C. Rigoberto Guardado France**



**Sinodal Propietario**

**Dr. Rafael Hernández Walls**



**Sinodal Propietario**

**Oc. Eduardo gil Silva**

DEDICO ESTA TESIS....

A MI FAMILIA.....

A MI MADRE OLGA GALLEGOS QUE ES EL PILAR MAS FUERTE DE MI VIDA QUE ME HA ENSEÑADO QUE CON ESFUERZO TODO ES POSIBLE Y QUE LOS SACRIFICIO REALIZADOS PARA LA BUSQUEDA DE UN SUEÑO TIENEN SU FRUTO..... GRACIAS POR EL AMOR Y APOYO QUE SIEMPRE ME HAS BRINDADO MAMA.

A MIS HERMANAS, IVONE Y MARIANA QU SIEMPRE HAN ESTADO AHÍ PRESENTES EN TODOS LOS MOMENTOS Y QUE HAN DADO TANTO DE ELLAS PARA QUE YO ESTE AQUÍ.... GRACIAS POR SER COMO SON, VA POR USTEDES TAMBIEN...

A MIS ABUELOS ESUSTOLIO Y JOAQUINA QUE SIEMPRE SE ACUERDAN DE MI Y POR EL APOYO QUE ME HAN DADO Y HA MI MAMA POR QUE USTEDES SON UNICOS.

Y NO MENOS IMPORTANTES A TODAS MIS TIAS Y TIOS QUE SIMPRE SE ACUERDAN DE MI GRACIAS.

Agradecimientos académicos.

A mi director de Tesis el M.C. Rigoberto Guardado France por su apoyo, amistad y paciencia para poder sacar adelante este trabajo.

Al Dr. Rafael Hernández Walls por aceptar ser parte de este trabajo como sinodal.

Al Oc. Eduardo Gil Silva por ser mi sinodal, asesor en gran parte de este trabajo y sobre todo gracias por su amistad que me ha brindado y también por el conocimiento que compartió con migo.

Al Dr. Walter Daessle Heuser por permitirme utilizar el laboratorio de Geoquímica para el análisis de la muestras de este trabajo.

A todos los profesores del área de geología que nos brindad parte de su conocimiento día a día.

Agradecimientos Personales.

A todos con los que he compartido lo últimos 6 años de mi vida aquí en Ensenada a todas la buenas personas que me he encontrado y que me han abierto las puertas de su hogar a todos los buenos amigos con los que compartí la mayor de las veces momentos agradables y por los no tan agradables también por que de todos ellos aprendemos siempre.

Gracias a la familia Ramírez Arellano que siempre me abrieron sus puertas desde que llegue y sobre todo a la tía Carmen.

A la familia Sánchez Media al señor Rigo y la señora Cristina que siempre me han abierto las puertas de su casa.

A la todos mis amigos y compañeros de la generación en la Facultad de Ciencias Marinas, Rigoberto, Mikel, Duarte, Bruno, Mónica, Jazmín, Anahi, violeta, Magui, Paola, Natalie, Lilian, chana, Andrea, Bere, Roxana, Luis, Maxu, Jose Manuel. A Ivonne por su apoyo y amistad, a mi compañero de casa de los últimos años Leo por las horas de estudio en el play jaja...,

Mmm y a todos los que estuvieron y presentes en estos años y han sido parte de esta historia llamada Ciencias Marinas, que aquí no termina tan solo se cierra un capítulo de nuestras vidas.

A todos los profesores de la Facultad de Ciencias Marinas que son parte fundamental en la formación de todos los Oceanólogos.

## INDICE

1. INTRODUCCION .....	1
2. ANTECEDENTES.....	5
2.1 GENERALES.....	5
2.2 PARTICULARE.....	8
3. OBJETIVOS.....	11
3.1 GENERALES.....	11
3.2 PARTICULARE.....	11
4. AREA DE ESTUDIO.....	12
5. METODOLOGIA Y ANALISIS DE DATOS.....	14
5.1 PERFILES.....	14
5.2 MUESTREO.....	15
5.3 ANALISIS DE MUESTRAS.....	15
5.4 CORRIENTE LITORAL... ..	16
6. RESULTADOS.....	17
6.1 MEDIA.....	17
6.2 MODA.....	22
6.3 CLASIFICACION.....	23
6.4 CORRIENTE LITORAL.....	26
7. DISCUSIONES.....	28
8. CONCLUSIONES.....	35
9. REFERENCIAS.....	36

## 1. INTRODUCCION.

La línea de costa, que se define como el límite natural entre tierra, agua y el aire cuenta con una serie de rasgos que constituyen ambientes de gran fragilidad pero con un gran potencial para el desarrollo de las actividades humanas. Entre estos rasgos, las playas ofrecen diferentes servicios ambientales a la población. Las playas son consideradas formas geológicas las cuales se forman por la acumulación de sedimentos no consolidados por efecto de la dinámica del oleaje, (Dolan, 1977).

En general las playas presentan cambios cíclicos que están relacionados con la época del año y las características del oleaje que arriba a estas. (Bird 1996; Sánchez 2005).

Los principales cambios del perfil de playa se presentan de manera estacional y se conocen como perfil de verano (periodo de calma) y perfil de invierno (periodo de tormenta) (Bascom 1951, Winant et al., 1975, Komar 1976), el perfil de verano se caracteriza por tener una berma ancha y plana con pendiente suave hacia el mar, mientras que un perfil de invierno se caracteriza por no tener berma y presentar una pendiente mayor es decir una disminución en del ancho de playa. En condiciones de invierno se intensifica la energía del oleaje así como el flujo de retorno, de tal manera que durante este proceso gran parte de arena presente en la playa y

dunas, es transportada mar adentro detrás de la zona de rompiente, donde es depositada en aguas relativamente profundas formando barras de arena. Esto resulta en una erosión o retroceso de la playa lo que para la infraestructura construida sobre la franja costera

En algunos casos el comportamiento de una playa es enteramente dominada por eventos de tormenta, (Bokuniewicz, 1998). En estos casos las playas actúan como amortiguadores naturales, absorbiendo la energía al cambiar su configuración. Existen ocasiones en que las playas recuperan la morfología previa al evento de tormenta pero a veces los daños son irreparables. (Bird. 1996).

Por lo antes expuesto, es evidente que cuando se pretende construir infraestructura en la zona costera es de suma importancia realizar estudios sobre dinámica sedimentaria en los que se definan la dirección del transporte de sedimento a fin de evaluar los posibles efectos que las obras de protección tendrán en la costa de tal manera que se busque que los impactos sean mínimos (Guardado 1997, Posada 2007).

El tamaño del sedimento que compone la playa es una de las propiedades físicas que se utilizan para estimar niveles de energía y dirección de transporte del sedimento. (Boggs 1995, Lugo 2004).

Uno de los criterios más utilizados para inferir la dirección de transporte litoral son los propuestos por de Sunamura y Horikawa (1971), Este criterio considera que al existir un aporte de sedimento de cierto tamaño a la playa (río, cantil, etc.), en el momento que es transportado por la corriente litoral, sufre una degradación física que resulta en una disminución en tamaño. Por lo anterior el identificar este tipo de patrones en un análisis de variación en el valor de media de muestras de arena a lo largo de la permite estimar direcciones de transporte litoral.

El uso de los perfiles de playa para estimar la variación de la línea de costa y cuantificar los cambios en el volumen de sedimento y por ende en la morfología de una zona en particular también es una práctica común (Castillón, 1988).

La demanda de la zona costera para el desarrollo industrial, habitacional y turístico ha crecido considerablemente, siendo este ultimo sector, el más demandante de desarrollos integralmente planificados que han modificado la vocación natural del suelo y de igual manera ha provocado una alteración en el ámbito costero, por lo tanto, el manejo correcto de esa zona implica un conocimiento amplio de los procesos resultantes de la interacción del viento, olas, corrientes, mareas, sedimentos y otros fenómenos de la línea de costa, (Dolan, 1977).

Una de las zonas que se encuentra dominada por la actividad turística en México es el estado de Quintana Roo donde se han desarrollado diversos complejos turísticos hoteleros, y de servicios como lo son las marinas, y es por estas y otras múltiples acciones que la actividad humana ha ejercido sobre el medio físico que se ha hecho necesario realizar estudios sobre la dinámica costera existente. A fin de prever posibles efectos sobre la misma.

En Playa Mujeres, Quintana Roo, se ha planeado la edificación de un mega complejo turístico que incluye la construcción de una marina con sus respectivas obras de protección costera.

Playa Mujeres, Quintana Roo, por ubicarse en una zona de bajas profundidades en el Caribe Mexicano, se encuentra protegido del oleaje fuera de la costa por la presencia de Isla Mujeres, esta se encarga de mitigar el oleaje provocado entre ella y la playa del continente presentándose así una zona de velocidad reducida causada por el oleaje, sin embargo no está exenta de tormentas tropicales y huracanes que son las que año con año afectan esta región del país. En el área de Quintana Roo, los sedimentos predominantes son de origen biogénico los cuales están compuestos principalmente de derivados de organismos marinos tanto plantas como animales.

El objetivo del presente estudio es definir la dinámica sedimentaria en playa Mujeres, Quintana Roo, previa a la construcción de las obras de protección de la marina a fin de prever impactos en la franja costera.

## **2. ANTECEDENTES**

### **2.1 Generales.**

Sunamura y Horikawa (1971), determinaron el sentido del transporte litoral a partir de las variaciones de las características de los sedimentos en arena de playa, comparando el tamaño medio de los sedimentos y el coeficiente de clasificación a lo largo de la playa. Encontraron que el tamaño de sedimento disminuye y la clasificación mejora en la dirección del transporte litoral.

Baca (1981), realiza estudios en Bahía Todos Santos, Ensenada, B. C. basándose en parámetros textuales obtiene el patrón general de corrientes en la Bahía de Todos Santos las corrientes litorales, determinado que la dirección de éstas en la región de Punta Banda tienen una tendencia norte con respecto a

la Bahía mientras que para el noroeste Punta San Miguel es hacia el sur.

Castillón (1988), cuantifica el volumen de sedimento depositado y erosionado en la Bahía Todos Santos en presencia de espigones y rompeolas, concluyendo que el efecto de el espigón sobre la deriva litoral así como la modificación del patrón de arribo del oleaje por la presencia del rompeolas provoca cambios en el perfil de playa, dando como resultado depositación en la parte norte y erosión en la parte sur del espigón.

Dooren (1991) determina el volumen de sedimentos depositados en la parte no protegida del rompeolas del Puerto de Ensenada, compara los volúmenes de sedimento obtenidos a partir de perfiles topográficos y determina los parámetros textuales de los sedimentos y la dirección de la corriente litoral.

Motolinia (1996), Realiza en Bahía Concepción B.C.S., hace la caracterización granulométrica de los sedimentos a partir de la comparación de parámetros textuales, utiliza graficas binarias para la diferenciación de los ambientes de sedimentación y aplica en criterio de Sunamura y Horikawa (1971) para determinar la dirección del transporte sedimentario.

Mendoza (2001), desarrollo un modelo diseñado para utilizarse solo para playas arenosas, capaz de describir el riesgo a la erosión costera por oleaje de tormenta para la zona de Rosarito B.C., tomando en cuenta los parámetros de peligrosidad y vulnerabilidad.

Lugo (2004), hace estudios en la playa de la Misión B.C., donde analiza datos de perfiles de playa y análisis granulométrico, compara los perfiles para obtener los volúmenes de arena y el sentido en que es transportado el sedimento. Aplica el método de kraus para predecir el estado de los perfiles resultando que la playa es vulnerable a procesos erosivos.

Félix (2004), lleva acabo estudios en una playa de Puerto Vallarta Jalisco, México donde analizó muestras de sedimento y trato datos para poder obtener parámetros estadísticos con los cuales infiere corrientes litorales y la estimación de la dinámica sedimentaria y el efecto de las obras de protección sobre esta y determinó que no existen cambios estacionales de oleaje y que los principales cambios ocurren bajo condiciones extremas de tormenta y la corriente litoral predominante es de Norte a Sur.

Nieves (2005), establece dos campañas de muestreo en playa el salado Puerto Vallarta, Jalisco, para conocer la dinámica sedimentaria en las que determina volúmenes de sedimento así

como los parámetros textuales mediante la comparación de los perfiles de playa y la dirección de la corriente litoral utilizando los criterios de Sunamura y Horikawa (1971), y determina que para condiciones de calma los perfiles son más amplios y abundantes en sedimento mientras que en periodo de tormenta ocurre lo contrario, y que la corriente litoral en octubre es de sur a norte y en el mes de abril la dirección es predominante al sur .

Guardado (1997), realizó estudios sobre la funcionalidad de las obras de protección costera de Marina Coral Ensenada B.C., encontró que el rompeolas y el enrocamiento de Quintas Papagayo tienen problemas de erosión lateral, erosión en la base, salida de elementos, fracturamiento y rebase de la estructura por oleaje en épocas de tormenta, mientras que el espigón no presentó ningún problema estructural, Los problemas de erosión existen por las modificaciones en la aproximación y altura de oleaje ocasionadas por la introducción de obras costeras.

## 2.2 Particulares.

Aún cuando son pocos trabajos que podemos encontrar sobre dinámica sedimentaria del área de estudio, estos son de zonas aledañas a playa mujeres.

Muchos de los trabajos encontrados para la zona de estudio se encuentran relacionados a trabajos que involucran a la flora y a la fauna marina que habita en esta región, a continuación describiremos algunos trabajos que nos pueden indicar las condiciones de esta región del país.

Nolasco y Carranza 1988, estudiaron muestras de sedimentos litorales superficiales de Quintana Roo, con el objeto de caracterizarlas regionalmente desde el punto de vista textural y composicional, encontraron que los sedimentos predominantes eran calcarenitas medias y finas moderadamente bien clasificadas libres de sedimentos terrígenos lo que propicia la existencia de sedimentos calcáreos.

UNAM (2004) realizó estudios en Playa Mujeres, Quintana Roo, con respecto a la variación de la línea de costa, donde se tomaron muestras de sedimentos de la playa, con el fin de llevar a cabo análisis sedimentarios así como de información del oleaje para determinar el comportamiento morfológico e hidrodinámico de la playa, determinaron que el oleaje predominante en el año proviene del Este, Noreste y Sureste, el transporte litoral es bajo y que los sedimentos predominantes pertenecen al grupo SP del Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS), es decir presentan apariencia uniforme o predominancia a un tamaño y se debe a las bajas corrientes que existen durante todo el año.

Posada (2007), realizó estudios usando un modelo a escala distorsionada para predecir el posible efecto que tendrá sobre la dinámica costera la construcción de escolleras como obras protección asociadas a una marina. En este trabajo se propone la orientación óptima considerando la dirección de las corrientes y el patrón de dispersión de los sedimentos.

### **3. OBJETIVOS.**

#### **3.1 General**

- Establecer la dinámica sedimentaria de Playa Mujeres, Quintana Roo, México.

#### **3.2 Particular**

- Determinar las características textuales de los sedimentos
- Determinar la dirección de la corriente litoral.

#### 4. ÁREA DE ESTUDIO.

El estado de Quintana Roo se localiza en región oriental de la Península de Yucatán, colinda con Campeche y Yucatán. Las coordenadas geográficas del estado son al Norte  $21^{\circ} 37'$  de latitud, al sur sobre el paralelo  $17^{\circ} 49'$  de latitud norte, al este en el meridiano  $86^{\circ} 44'$  de longitud oeste. Y al oeste  $89^{\circ} 24'$  de longitud oeste.

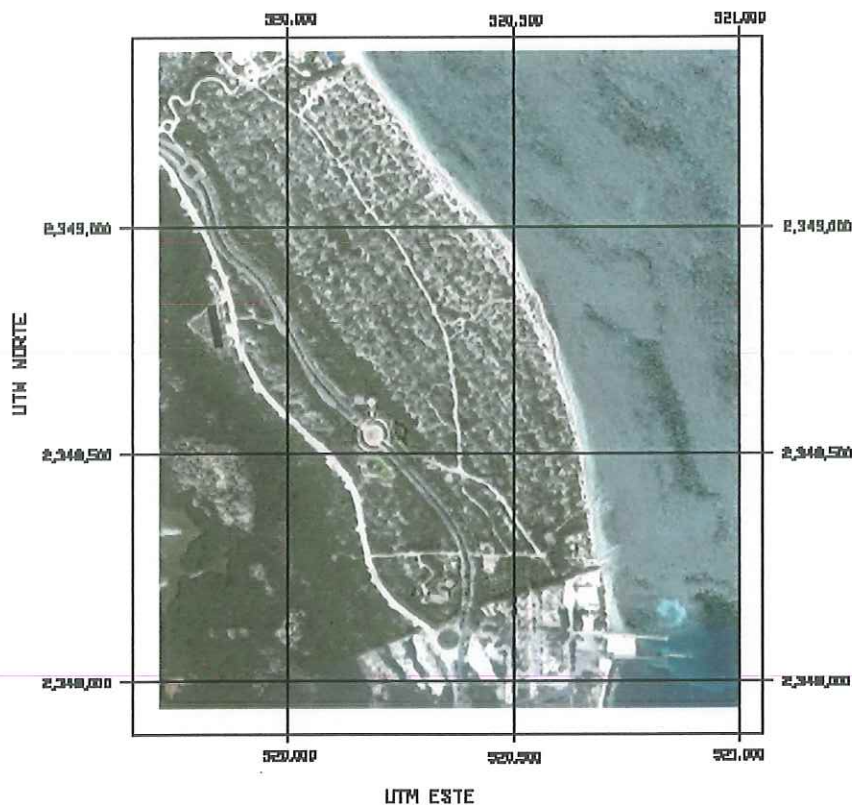


Figura 1. Área de ubicación Playa Mujeres, Quintana Roo, México.

El estado se divide en tres regiones: zona norte, zona maya y zona sur, siendo la zona norte perteneciente al municipio de Isla Mujeres donde se encuentra Playa Mujeres. Esta se ubica en el litoral del Caribe mexicano colindando al norte con el municipio de Cancún y frente a ella se encuentra Isla Mujeres.

Sus suelos están formados por rocas calcáreas y una delgada capa de tierra fértil que permite la existencia de la selva, en la que abundan árboles de maderas preciosas.

El relieve del estado de Quintana Roo es prácticamente plano, con algunas colinas de tamaño pequeño y numerosas hondonadas; la altura promedio es de 10 metros sobre el nivel del mar (msnm). Las principales elevaciones son los cerros: Charro (230 msnm), Gavilán (210 msnm), Nuevo Becar (180 msnm) y El Pavo (120 msnm).

El clima cálido subhúmedo con lluvias periódicas en verano se distribuye en toda la zona continental de Quintana Roo y en las islas Contoy y Mujeres; su temperatura media anual varía entre 24° y 28°C y la precipitación total anual, entre 700 y más de 1 500 mm.

La época de secas comprende de febrero a mayo, y la de lluvias de mayo a octubre, aunque con frecuencia se prolonga hasta enero, en forma de chubascos.

## **5. METODOLOGIA Y ANALISIS DE DATOS.**

### **5.1 Perfiles.**

El trabajo de campo consistió en realizar el levantamiento topográfico de perfiles de playa en la localidad de Playa Mujeres, Quintana Roo, durante el mes de Enero del 2006.

Se levantaron 20 perfiles de playa a lo largo de la zona de estudio, con una separación entre ellos de 50m paralelos a la orientación de la playa que es de de sur a norte. La longitud de los perfiles se definió utilizando el siguiente criterio; iniciar a una distancia aproximada de 50 m tierra adentro a partir de la línea de vegetación y culminar en dirección al mar hasta llegar a una profundidad de 1.0 m.

El levantamiento se realizó utilizando una estación total topográfica Top Con modelo GTS-226 en conjunto con un GPS (posicionador geográfico satelital) Garmin XL 48. Las posiciones geográficas de los puntos se reportan en unidades transversales de mercator (UTM), el datum utilizado para el posicionamiento fue

Nad 27 México, la altura de los perfiles es con referencia al nivel medio del mar (NMM).

Los programas utilizados al realizar el procesamiento de datos fueron los siguientes; programa para el GPS; G7twin, y para el procesamiento de datos; Excel, Surfer 8.0 y Autocad.

## 5.2 Muestreo.

En cada uno de los perfiles se tomaron cuatro muestras de sedimento, las cuales denominamos como duna, berma, cara de playa y rompiente, las muestras se obtuvieron de manera manual y se colocaron en bolsas de plástico debidamente etiquetadas para ser analizadas posteriormente.

## 5.3 Análisis de Muestras.

El análisis de las muestras consistió en determinar sus parámetros texturales, es decir, las características físicas del sedimento para lo cual se utilizó un instrumento denominado Láser Scattering Particle Size Distribution Analyzer (modelo LA-910), el cual nos da los parámetros requerido para el desarrollo de los resultados como lo es la media, moda, desviación estándar.

#### 5.4 Corriente Litoral.

Utilizando los criterios de Sunamura y Horikawa (1971) se obtuvo la dirección del transporte litoral los cuales son usando la media y la dispersión del sedimento, siendo estos los siguientes:

- A) el tamaño de sedimento y el valor de la dispersión disminuya.
- B) El tamaño de sedimento aumente y el valor de dispersión disminuya.
- C) El tamaño de sedimento disminuya y el valor de dispersión sea constante.
- D) El valor de la dispersión disminuya y el tamaño de sedimento se constante.

## **6. RESULTADOS.**

Las muestras de arena presentan alto contenido de carbonato de calcio y una tonalidad clara. Los resultados del análisis granulométrico y parámetros texturales de los sedimentos (media, moda, coeficiente de variabilidad y corrientes, se muestran a continuación.

### **6.1 Media.**

En general los valores de media obtenidos para las distintas muestras (Duna, Berma, Cara de Playa y Rompiente) corresponden a tamaños de arenas medias (250-400 $\mu$ m) de acuerdo a la clasificación de Wentworth como se muestra en la Tabla 1, excepto para los perfiles 9, 12, 15,18 y 20 donde se presentan arenas finas (125-210  $\mu$ m).

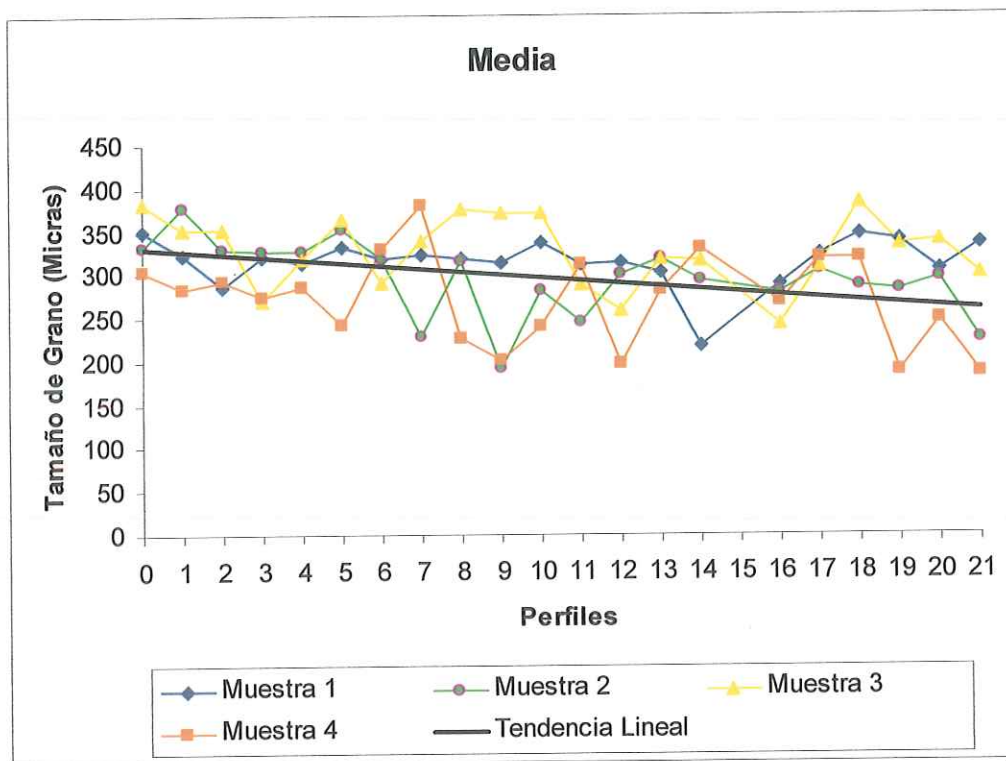
A pesar de ser muy homogéneo el tamaño de grano en la zona de estudio, la tendencia es que dentro del rango de arenas medias, se presentan arenas más gruesas en la zona de dunas mientras que las más finas se presentan en la zona de rompiente (Figura 2).

**TABLA 1.** Muestra las cuatro muestras tomadas de cada perfil así como su valor numérico en micras con respecto a su media en cada caso.

# DE PERFIL	MUESTRA 1 Duna	MUESTRA 2 Berma	MUESTRA 3 Cara de Playa	MUESTRA 4 Rompiente	Clasificación Wentworth
P-20	335	226	300	187	ARENA FINA
P-19	306	296	340	248	ARENA MEDIA
P-18	340	282	336	188	ARENA FINA
P-17	346	288	383	320	ARENA MEDIA
P-16	323	306	311	319	ARENA MEDIA
P-15	290	280	244	269	ARENA FINA
P-14	218	293	316	331	ARENA MEDIA
P-13	302	318	318	283	ARENA MEDIA
P-12	315	300	260	197	ARENA FINA
P-11	313	246	290	313	ARENA MEDIA
P-10	337	283	371	241	ARENA MEDIA
P-9	315	192	371	203	ARENA FINA
P-8	320	317	376	227	ARENA MEDIA
P-7	324	229	339	380	ARENA MEDIA
P-6	320	319	292	331	ARENA MEDIA
P-5	333	354	364	243	ARENA MEDIA
P-4	314	328	318	286	ARENA MEDIA
P-3	321	328	271	276	ARENA MEDIA
P-2	286	331	354	294	ARENA MEDIA
P-1	323	379	353	285	ARENA MEDIA
P-0	351	332	383	305	ARENA MEDIA

En la figura 3 se puede observar la variación del tamaño del sedimento a largo de los tres subambientes presentes en la zona de playa; Duna, Cara de Playa y Rompiente, siendo evidente que la menor variabilidad en el tamaño de grano corresponde al campo de dunas.

En el caso de la berma (muestra 2) se observa un patrón variable en cuanto a los tamaños de grano encontrando las mayores variaciones en los perfiles 8, 10 y 13, mientras que las muestras correspondientes a la cara de la playa (muestra 3) y zona de rompiente (muestra 4) presentan gran variabilidad a lo largo de toda la zona de estudio.



**FIGURA 2.** Comportamiento de la distribución de los tamaños grano de medias para los cuatro puntos muestreados de cada perfil para Playa Mujeres.

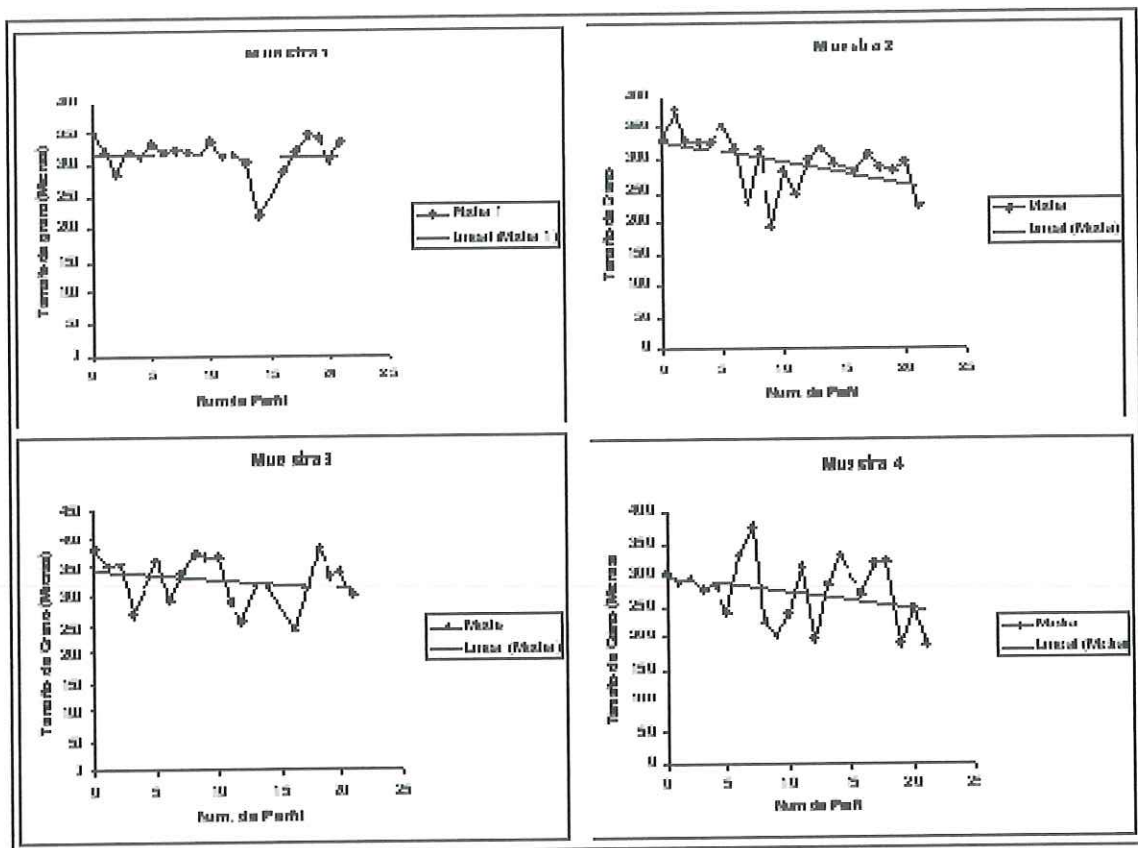
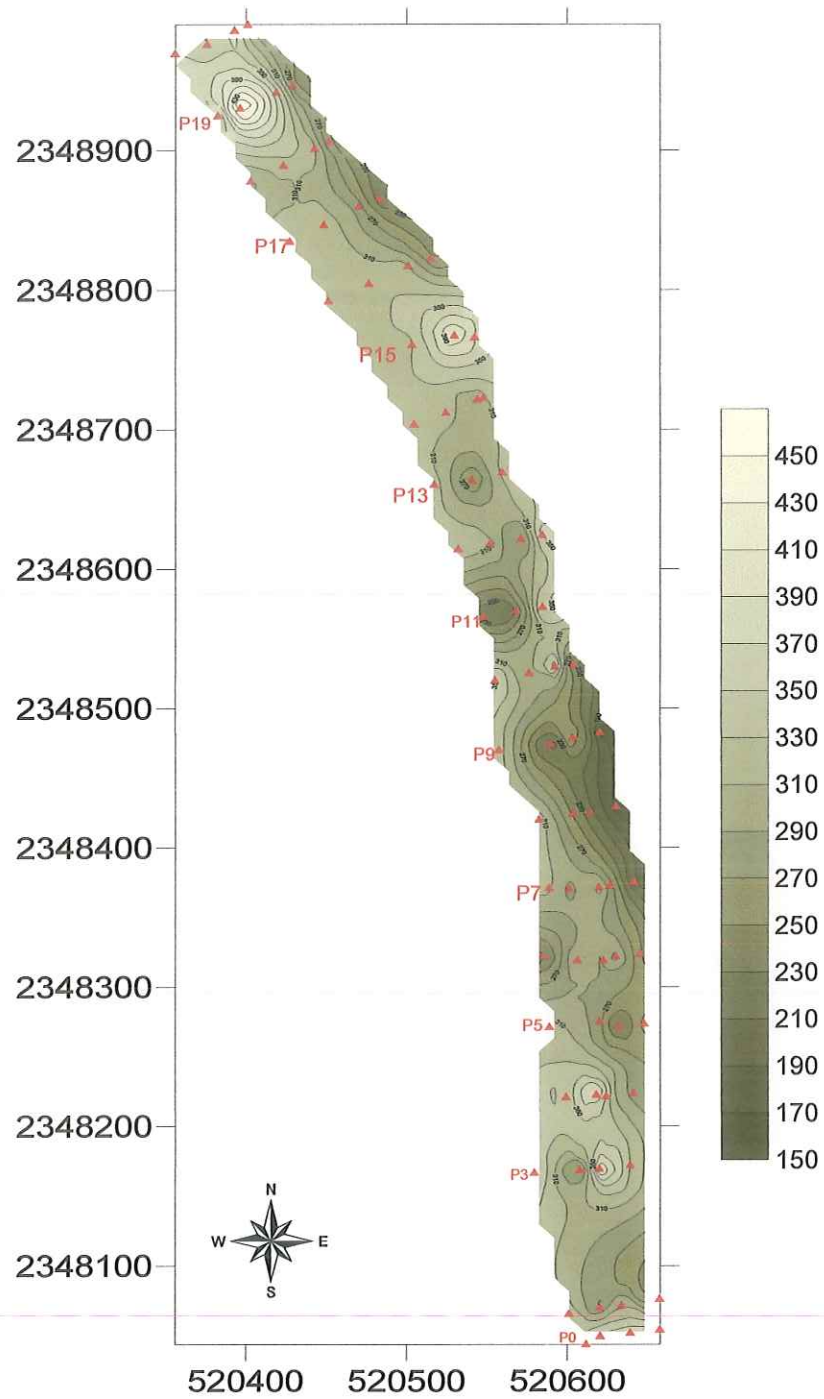


Figura 3. Muestra la variación de la media en cada uno de los perfiles de la zona de estudio, duna (muestra 1), berma (muestra 2), cara de playa (muestra 3), rompiente (muestra 4).

Al analizar la distribución espacial del valor de media (figura 4), podemos observar que los puntos donde se presentan arenas finas se encuentran en los perfiles 7, 9, 16 y 17 (en zona de rompiente) y en los perfiles 8 y 11 (en zona de duna).



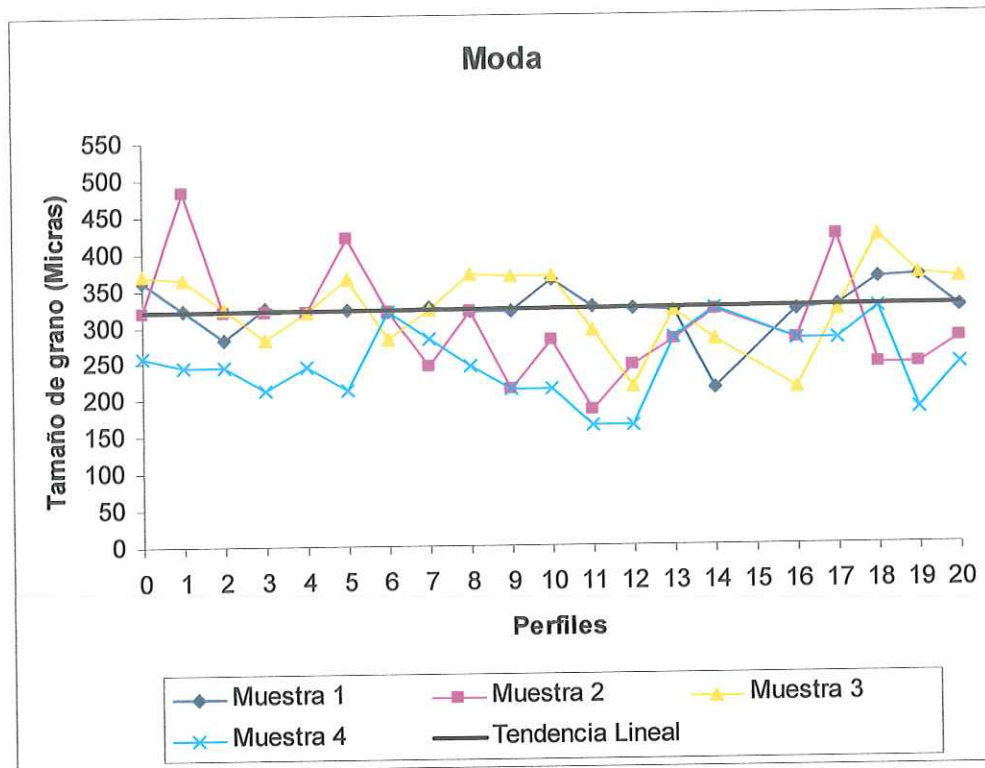
**FIGURA 4.** Distribución espacial de Media en escala de Micras, para Playa Mujeres.

## 6.2 Moda.

Los tamaños de partícula con mayor frecuencia en el área de estudio corresponden a las muestras de arenas de 321 $\mu$ m (figura 5). Los valores de moda correspondientes a la zona de rompiente presentan una mayor variabilidad al compararlos con la variación que se presenta en la zona de dunas y cara de playa (Tabla II).

**TABLA 2** Resultado de análisis granulométrico para el tamaño de grano de cada uno de los perfiles realizados para la Moda.

# DE PERFIL	MUESTRA 1 Duna	MUESTRA 2 Berma	MUESTRA 3 Cara de Playa	MUESTRA 4 Rompiente
P-0	326	263	317	214
P-1	323	280	363	245
P-2	365	245	368	186
P-3	362	245	421	323
P-4	326	421	319	280
P-5	319	280	214	280
P-6	214	321	280	323
P-7	319	280	321	284
P-8	323	245	218	163
P-9	324	186	293	163
P-10	361	280	367	214
P-11	321	214	368	214
P-12	321	321	369	245
P-13	324	245	323	284
P-14	320	321	282	321
P-15	323	421	366	214
P-16	320	321	319	245
P-17	324	321	282	214
P-18	284	321	324	245
P-19	323	483	364	245
P-20	361	321	370	260



**FIGURA 5.** Comportamiento de la distribución de los tamaños grano de Moda para los cuatro puntos muestreados de cada perfil para Playa Mujeres

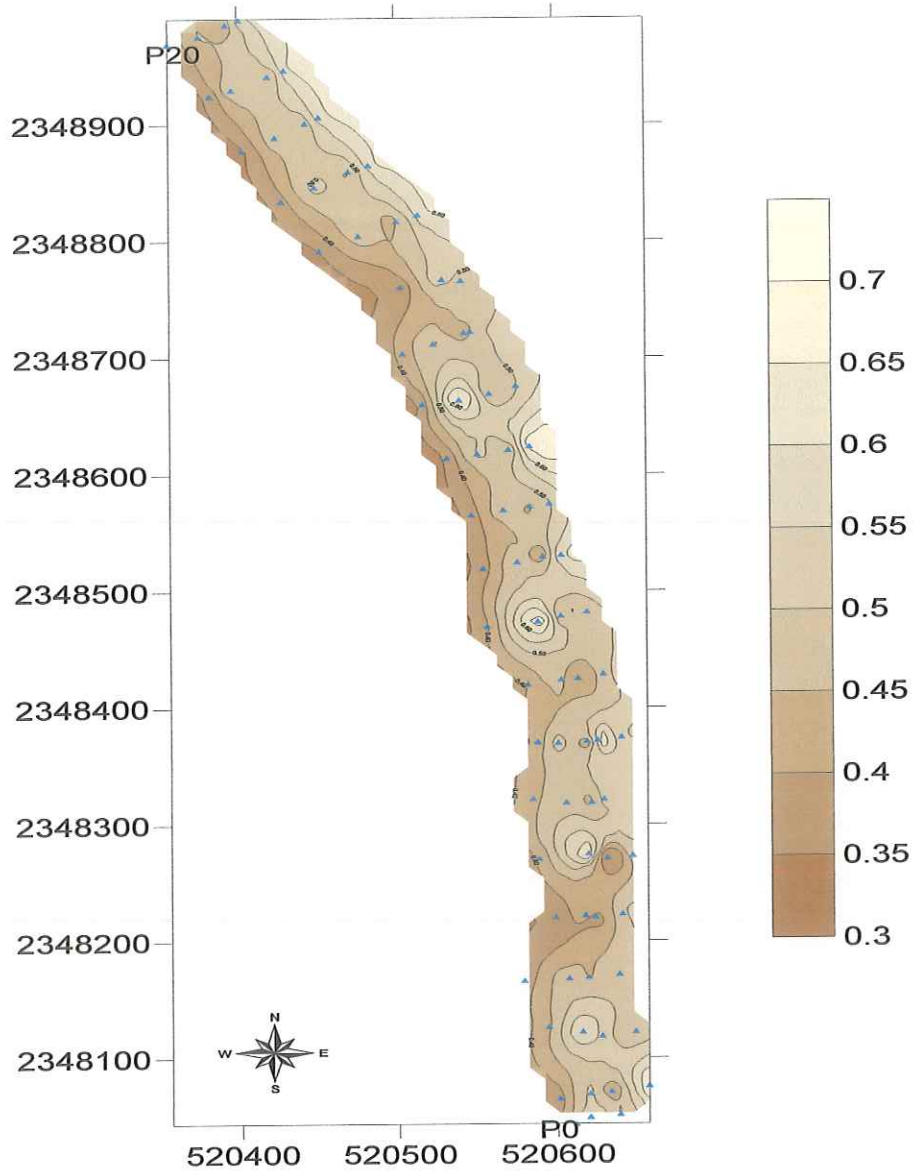
### 6.3 Clasificación.

Se presenta una clara tendencia hacia los sedimentos bien sorteados ( $0.35-0.50\phi$ ) con algunos pequeños cambios en los perfiles 2 y 8 que corresponden a sedimentos muy bien clasificados ( $>0.35 \phi$ ), (tabla3).

Tabla 3. Muestra los promedios de sorteamiento de los perfiles de la zona de estudio.

Perfil	$\bar{\phi}$	Sorteamiento
1	0.49	Bien Sorteado
2	0.52	Muy bien sorteado
3	0.50	Bien Sorteado
4	0.45	Bien Sorteado
5	0.41	Bien Sorteado
6	0.46	Bien Sorteado
7	0.47	Bien Sorteado
8	0.51	Muy bien sorteado
9	0.43	Bien sorteado
10	0.49	Bien sorteado
11	0.47	Bien sorteado
12	0.45	Bien sorteado
13	0.49	Bien sorteado
14	0.45	Bien sorteado
15	0.46	Bien sorteado
16	0.46	Bien sorteado
17	0.48	Bien sorteado
18	0.47	Bien sorteado
19	0.47	Bien sorteado
20	0.44	Bien sorteado

La distribución espacial de los valores de clasificación de playa mujeres se muestra en la figura 6. Se puede observar de manera general una zonación de dichos valores que coincide con los medios ambientes de rompiente, cara de playa y dunas.



**Figura 6,** Muestra la distribución espacial de la clasificación de los sedimentos de la zona de estudio.

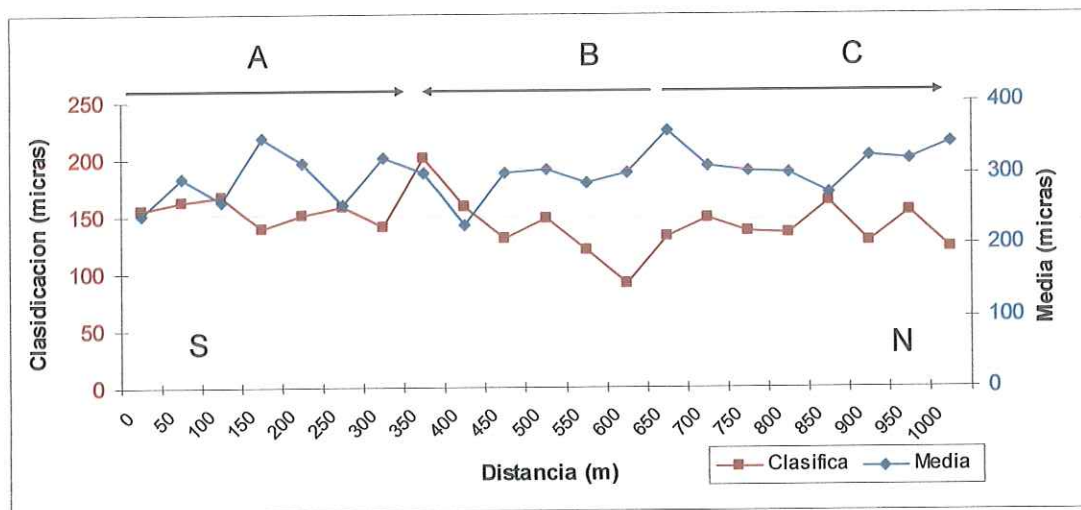
## 6.4 Corriente litoral

Los resultados se observan en la figura 7 y 8 donde se observan 3 patrones de dirección de la corriente litoral.

Corriente litoral **A** que va del perfil 1 al 8 (sur a norte paralela a la línea de costa).

Corriente litoral **B** con dirección norte a partir del perfil 15 en dirección sur hasta el perfil 8 donde converge con la corriente **A**.

Corriente litoral **C** que va de sur a norte paralela a la costa a partir del perfil 15 hasta el 20.



**Figura 7.** Dirección de las corrientes litorales en Playa Mujeres inferida a partir del valor de media y clasificación.



Figura 8. Patrón de corrientes en Playa Mujeres.

## 7. DISCUSIONES.

Playa Mujeres Quinta Roo, se caracteriza por contar con sedimentos principalmente biogénicos (carbonatados) de origen marino de color claro. Esta condición permite que el sedimento sea movido con cierta facilidad por las corrientes costeras. Debido a que la playa se encuentra protegida por Isla Mujeres, se puede esperar que en la zona de estudio los niveles de energía no sean muy altos y se mantenga cierta homogeneidad en las condiciones oceanográficas lo que se refleje en una distribución de sedimentos muy poco variable tanto en tamaño como en la clasificación. Al analizar el comportamiento de los valores de media nos percatamos que de manera general la variación en el tamaño de grano es pequeña al igual que los valores de clasificación. En el caso de la zona de dunas como es de esperarse para este tipo de ambientes, la variación en tamaño de grano y su clasificación es mínima debido a que el medio de transporte (viento) se mantiene sin demasiadas variantes, lo anterior se comprueba en la Tabla 1 donde los valores de media nos indica que estas poseen una clasificación de arenas medias a todo lo largo del área de estudio (figura 9).

Tabla I. Escala de tamaño de grano modificada de Udden-Wentworth. (Wentworth, 1935).

Nombre	Escala Wentworth	Escala phi	Escala U.S. Standard		Escala Tyler	Udden-Wentworth			Fracción Litificado
			mm	Malla		Malla	Clase	Grado	
U.S. Standard	mm	$\phi$	mm	Malla	Malla	Clase	Grado	Fracción No litificado	Fracción Litificado
Grava	4096	-12.00	4096	-	-	Canto-Brecha	Muy grueso	Grava	Conglomerado
	2048	-11.00	2048	-	-		Grueso		
	1024	-10.00	1024	-	-		Medio		
	512	-9.00	512	-	-		Fino		
	256	-8.00	256	-	-	Guijarro	Grueso		
	128	-7.00	128	-	-		Fino		
	64	-6.00	64	-	-	Guija	Muy grueso		
	32	-5.00	32	-	-		Grueso		
	16	-4.00	16	-	-		Medio		
	8	-3.00	8	-	-		Fino		
4	-2.00	4	5	5	Granulo	Muy fino			
	-1.75	3.36	6	6					
	-1.50	2.83	7	7					
	-1.25	2.38	8	8					
Arena	2	-1.00	2	10	9	Arena	Muy gruesa	Arena	Arenisca
		-0.75	1.68	12	10				
		-0.50	1.41	14	12				
		-0.25	1.18	16	14				
	1	0.00	1	18	16	Arena	Gruesa		
		0.25	0.814	20	20				
		0.50	0.707	25	24				
		0.75	0.595	30	28				
	1/2	1.00	0.5	35	32	Arena	Media		
		1.25	0.420	40	35				
		1.50	0.354	45	42				
		1.75	0.297	50	48				
	1/4	2.00	0.250	60	60	Arena	Fina		
		2.25	0.210	70	65				
		2.50	0.177	80	80				
2.75		0.149	100	100					
1/8	3.00	0.125	120	115	Arena	Muy fina			
	3.25	0.105	140	150					
	3.50	0.088	170	170					
	3.75	0.074	200	200					
Limo	1/16	4.00	0.063	230	250	Limo	Grueso	Lodo	Lutita o Lodolita
		4.25	0.053	270	270				
		4.50	0.044	325	325				
		4.75	0.037	400	400				
	1/32	5.00	0.031	-	-				
	1/64	6.00	0.0156	-	-	Limo	Medio		
1/128	7.00	0.0078	-	-	Limo	Fino			
1/256	8.00	0.0039	-	-	Limo	Muy fino			
Arcilla	1/512	9.00	0.00200	-	-	Arcilla	Gruesa		
	1/1024	10.00	0.00098	-	-	Arcilla	Media		
	1/2048	11.00	0.00049	-	-	Arcilla	Fina		
	1/4096	12.00	0.00024	-	-	Arcilla	Muy fina		

Figura 9. Escala de tamaño de grano de Udden-Wentworth.

Para la zona de rompiente y cara de playa, a pesar de que se observa poca variación tanto en media como en clasificación, esta se puede atribuir a la variación de la energía del oleaje y niveles de marea. En general, los resultados nos indican la presencia de un medio ambiente relativamente estable.

El patrón de corrientes (sur a norte) encontrado en la mayor parte de la costa (Figura 7 y 8) es congruente con el ángulo de arribo del oleaje observado durante las campañas de campo (SE) excepto la contracorriente encontrada entre los perfiles 8 y 15 (norte a sur). Esta contracorriente puede atribuirse a la forma de la costa ya que en campo se detectó un proceso de difracción de oleaje asociado a una saliente arenosa lo que pudo traer consigo una contracorriente (figura 10).

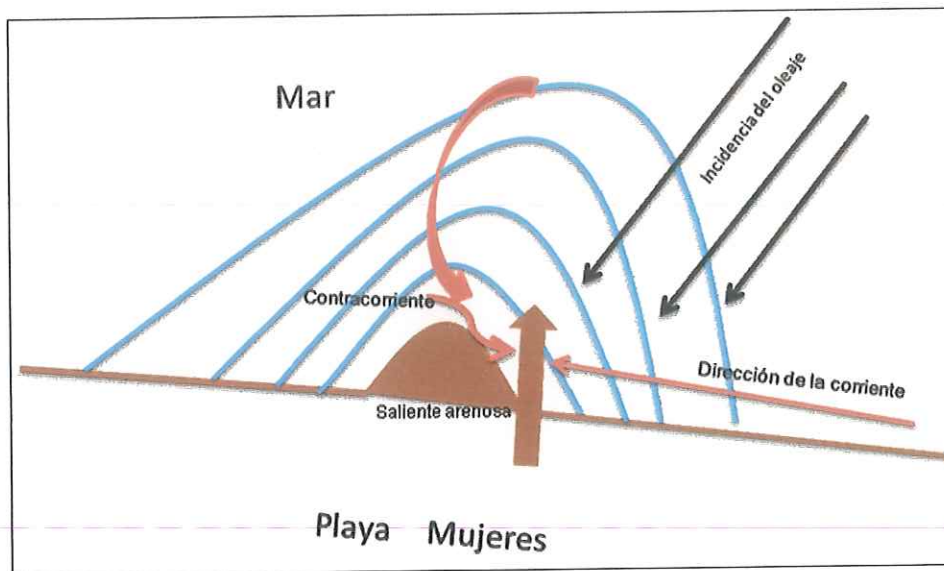
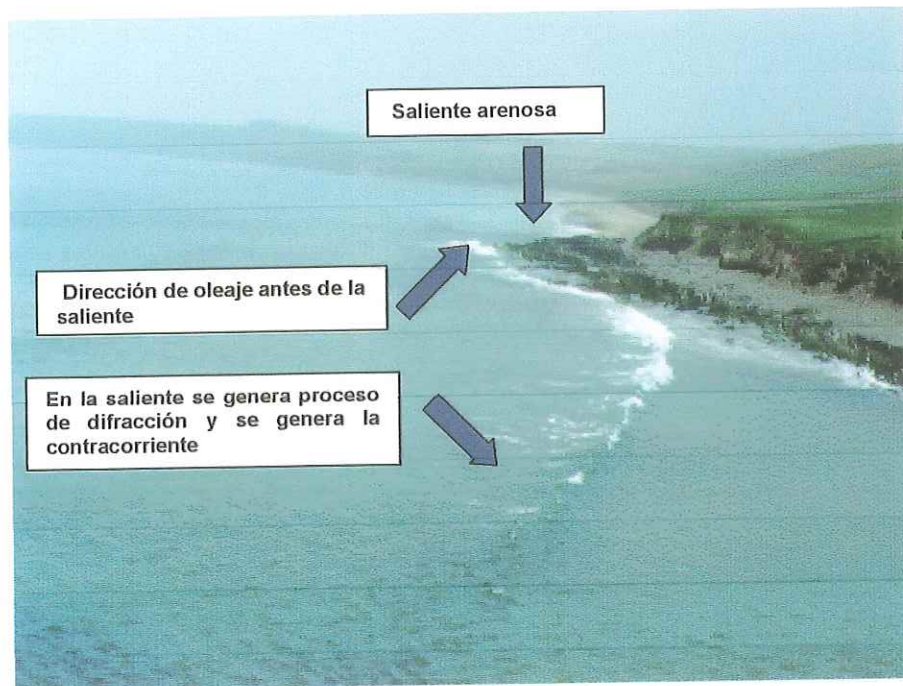


Figura 10. Contracorriente generada por la saliente rocosa, provocada por la difracción del oleaje en Playa Mujeres.

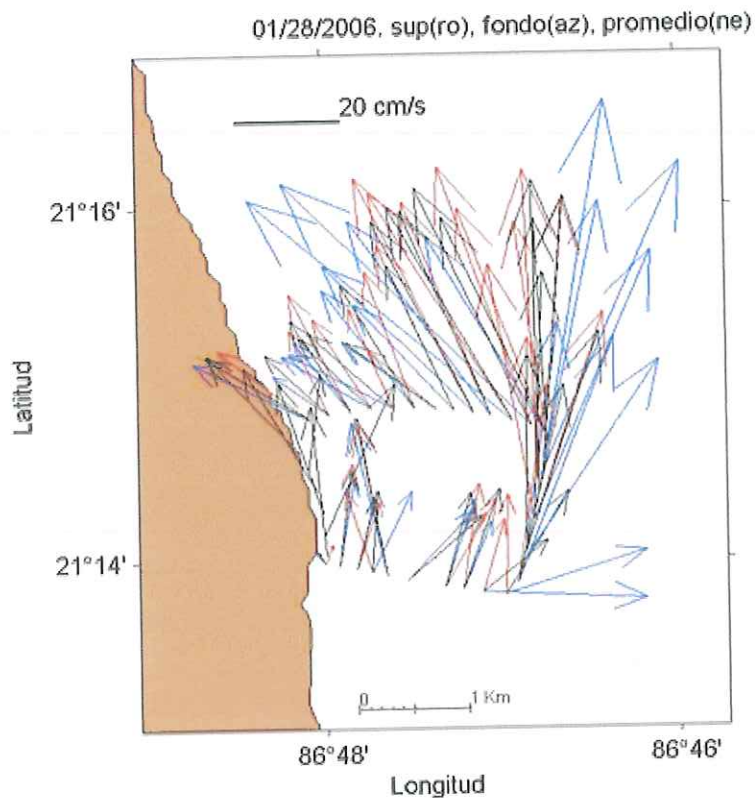


**Figura 11.** Ejemplo de las condiciones de difracción que generan la contra corriente.

Es importante mencionar la existencia de un canal de mareas que sirve como interconexión entre la zona de inundación tras las dunas y la playa muy cercano al perfil 15. Durante el refluo el canal transporta sedimento grueso a la cara de la playa lo que produce una variación en el patrón general de distribución a lo largo de la costa y a su vez este sedimento más grueso sirve como trazador de esta contracorriente.

Mejia A. 2006, realizó estudios de las corrientes en Playa Mujeres, utilizando un perfilador acústico (ADCP) para medir el perfil de velocidades de la corriente en la zona donde obtuvo que

la corriente se presenta de manera uniforme hacia el sureste alejado de la línea de costa a los 300m con velocidad promedio de 50 cm/s la cual va disminuyendo a la isóbata de los 2.5 m y conforme se acerca a la línea costera con una velocidad de 20 cm/s la dirección se mantiene hacia el norte desviándose hacia al noroeste, la Figura 11 muestra la dirección y la velocidad de la corriente en la vertical, del área estudiada.



**Figura 11.** Representan las corrientes medidas con el ADCP, La corriente superficial (Rojo), la corriente de fondo (azul) y la corriente promedio en toda la columna (negro)

Al comparar de los resultados obtenidos utilizando los criterios de Sonamura y Horikawa (1971) con los resultados obtenidos por Mejía, 2006. percibimos una concordancia (corriente principal sur a norte), excepto en la zona aledaña al perfil 15 donde se detecta una contracorriente. Lo anterior se puede deber a lo siguiente; que el modelo matemático aplicado usando información del ADCP considera información instantánea mientras que los parámetros granulométricos reflejan información promediada en el tiempo y que las mediciones hechas con ADCP son realizadas a cierta distancia de la costa ya que la embarcación que lleva en sensor no puede acercarse demasiado a la orilla. Esto último puede ocasionar que existan zonas costeras donde no se puedan detectar variaciones pequeñas en la dirección de las corrientes.

El comportamiento de los sedimentos en la figura 3 indican que el comportamiento de la arenas, la de duna (muestra 1) tienen una tendencia homogénea a lo largo de la playa a excepción de la media de duna correspondiente a el perfil 14 donde posiblemente este es mas fino. Esto se debe a que el principal aportador de sedimento a la zona de duna es la cara de playa mediante la acción del viento que es un agente selectivo del material que es transportado y lleva desde partículas finas hasta partículas de tamaño arena.

En las muestras correspondientes a cara de playa (muestra 3) y rompiente (muestra 4) las variaciones en los tamaños de grano son atribuibles a la dinámica costera propia de un ambiente de playa donde el oleaje y las mareas son el control principal sobre la granulometría (figura 4).

Con relación a la clasificación encontramos que los sedimentos se encuentran bien clasificados (tabla 3 y figura 6) lo que nos indica las condiciones de energía del medio son poco variantes. Esto también está evidenciado por la poca variabilidad en el tamaño del sedimento. Analizando la ubicación geográfica de Playa Mujeres nos percatamos que Isla Mujeres que se encuentra frente a ella funciona como un filtro de oleaje de aguas profundas de tal manera que el oleaje que arriba a la zona de estudio es de baja altura y por ende energía lo que resulta en un medio muy estable excepto en eventos de alta energía como es el caso de huracanes.

## 8. CONCLUSIONES.

- Playa mujeres es una playa recta arenosa protegida, lo que permite que las condiciones oceanográficas no sean muy variantes.
- Los sedimentos presentes en Playa Mujeres son sedimentos carbonatados en el rango de arenas finas a medias.
- La dirección principal de la corriente litoral es de sur a norte.

## 9. REFERENCIAS.

- Bascom W. (1951). The relationship between sand size and beach face slope. *Trans. Am. Geophys. Union* 32: 866-874.
- Barrera-Gaona, J. A., (1998). Patrón de dispersión de sedimentos en la Bahía de Todos Santos B. C., México. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias Marinas. UABC. 54pp.
- Baca-Chacón, C. (1981). Procedencia de minerales pesados en la Bahía de Todos Santos, Baja California. México. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias Marinas. UABC. 50pp.
- Bird, E. (2001), *Costal Geomorphology, an introduction*. John Wiley and Sons, Chichester, 322pp.
- Castillon-Álvarez, R. C., (1988). Transporte de sedimento y su efecto sobre el perfil de playa en Bahía de Todos Santos B. C., México Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias Marinas. UABC. 57pp.
- Dolan, R., (1977). *Beach Processes and Coastal Hydrodynamics*. Dowden Hutchinson & Ross. 383 P.
- Dooren-Osio, K. V., Cuantificación del volumen de sedimento depositado frente al rompeolas (lado no protegido) del Puerto de Ensenada, B. C. Tesis de licenciatura. Facultad de Ciencias Marinas. UABC. 63pp.
- Sánchez-Aldana López, J. A., (2005). Caracterización y comportamiento de la playa Boca de Tomates, en Bahía de Banderas, Jalisco-Nayarit México. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias Marinas. UABC.
- Komar P. D. (1976), *Beach processes and sedimentation*, Ed. Prentice-Hall. 449p.
- Félix-Delgado, A (2004). Análisis de las características granulométricas y físicas en presencia de estructuras de protección en una playa de Puerto Vallarta Jal., México. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias Marinas. Universidad Autónoma de Baja California. 58pp.

- Guardado- France, R., (1997). Funcionalidad de las obras de protección costera construidas en la Bahía de Todos Santos, B.C., México. Tesis de Maestría. Facultad de Ciencias Marinas. UABC.
- Folk., R.L. (1974). Petrology of Sedimentary Rocks. Austin, Texas. Hemphill publishing company. 182pp.
- Lascano-Venegas H. (1997), variación del perfil de playa bajo condiciones de tormenta en la zona de playas de Tijuana, B.C. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias Marinas. UABC. 54pp.
- Lizarraga-Arciniega, J.R., (1972). Estudio de los movimientos cíclicos de la playa de Bahía de todos Santos, B.C. por medio de mediciones transversales. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias Marinas. UABC. 31pp.
- Lugo-Ibarra, K., (2004). Caracterización sedimentológica y estimación de cambios estacionales de la playa La Misión, Baja California. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias Marinas. UABC. Ensenada B.C. 65pp.
- Mejia A. (2006). Estudio de corrientes marinas en playa Mujeres Quintana Roo, México, Reporte Técnico no Publicado
- Mendoza-Ponce, E. T., Modelo de riesgo a la erosión costera por oleaje de tormenta caso estudio playas de Rosarito, Baja California, México. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias Marinas. UABC. 89pp.
- Nieves-Cardoso, C., (2005). Dinámica sedimentaria en playa El Salado, Puerto Vallarta, Jal., México. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias Marinas. UABC.43pp.
- Nolasco-Montero, E. y A. Carranza-Edwards, (1998). Estudio sedimentológico regional de playas de Yucatán y Quintana Roo, México. An. Inst. Cienc. del Mar y Limnol., Universidad Nacional Autónoma. México, 15(2):49-66.

- Sánchez –López, J. A., (2005). Caracterización y comportamiento de la Playa Boca de Tomates en Bahía de Banderas, Jalisco- Nayarit, México. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias Marinas. UABC. 58pp.
- Sunamura, T., y Horikawa, K., (1971). Predominant direction of litoral transport along kujyukuri beach, Japan. Coastal Engineering in Japan. 14: 107-117.
- Posada-Ayala, I.H. (2007). Modificación de la dinámica sedimentaria asociada a la construcción de una marina en playa Mujeres, Quintana Roo, México. Unidad Audiovisual. Facultad de Ciencias Marinas. UABC.
- UNAM, (2004). Estudio de evaluación de los efectos en la variación de la línea de playa por remoción de pastos marinos en playa Mujeres, Quintana Roo. Reporte técnico no publicado.
- Viera-Arouca, R. 2004. Determinación de los cambios en las playas Municipales de Ensenada y su situación Actual. Tesis de Licenciatura. UABC. 102pp.