



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE CIENCIAS MARINAS

Departamento de Pesquerías y Biología Marina

**Impacto del Uso Recreativo sobre la Fauna Macrobentónica
de las Playas Arenosas de la Bahía de La Paz**

Tesis para obtener el grado de Maestra en Ciencias con Especialidad en Manejo de
Recursos Marinos

Presenta:

Paula Eliana Angeloni del Castillo

Esta tesis corresponde a los estudios realizados con una beca otorgada por la
Secretaría de Relaciones Exteriores
del Gobierno de México

Este trabajo está dedicado muy especialmente a mi familia que representa símbolos positivos que me ayudan siempre. Mis padres (Renée, Tito, Jorge y Loida), símbolos de amor y aprendizaje, mis hermanos, símbolos de bondad y pureza y mis abuelos, símbolos de sabiduría.

También a ustedes, los que lean esta tesis.

AGRADECIMIENTOS

Quisiera comenzar por agradecer muy especialmente a mi tutor, Gustavo De la Cruz Agüero por el conocimiento que me fue transmitido con tanta humildad y paciencia. Además, en los dos años de esta maestría, he podido contar con su respaldo y ayuda incondicional siempre que lo fue necesario. Sé que este tipo de profesores está en peligro de extinción y me siento muy afortunada de haber podido ser tesista de uno de ellos.

A Richard Brusca y Marco Medina por su invaluable aporte en la identificación de los organismos, sin los cuales este trabajo hubiese sido un dolor de cabeza mucho más grande aún, y nunca hubiese podido ser realizado en el plazo que se realizó.

A los revisores del escrito: Gustavo De la Cruz Agüero, Juan Elorduy, Enrique Nava, Oscar Olguin y Arturo Tripp.

A Diego Lercari, por sus aportes y comentarios sobre el trabajo. Y también a Omar Defeo por iniciarme en este tema, incentivar-me, apoyarme y enseñarme.

Muchísimas gracias a las personas que me ayudaron en los muestreos y separación de organismos: Minerva Torres, Alejandra Chavez, Dinora Herrero, Ivonne Tovar, Jorge Castillejos, Adrián González, Víctor Cota, “las chiquilinas” Isaura, Yadira y Geraldine, y a los capitanes, Chuy, Don Enrique y Martín.

A los que solucionaron todos los problemas logísticos; a la comunidad de CICIMAR en general, pero especialmente a Humberto Ceseña, Irene Rochin, el personal de la biblioteca, el del laboratorio de Oceanología y el de Edad y Crecimiento.

Al apoyo ofrecido por la Secretaría de Relaciones Exteriores (SRE), y el Programa Institucional de Formación de Investigadores (PIFI) a través del proyecto “Ecología de la Macrofauna Bentónica de las Playas Arenosas de la Bahía de La Paz, B.C.S.”. Y a las facilidades prestadas por la Dirección del ANP “Zona de Reserva y Refugio de Aves Migratorias y Fauna Silvestre - Islas del Golfo de California”.

Y gracias a Diego por el apoyo contra viento y marea durante todo este tiempo.

Bueno, les guste o no, aquí está parte del trabajo de todos ustedes...

ÍNDICE

Glosario.....3
 Referencias bibliográficas.....6
 Lista de figuras.....7
 Lista de tablas.....10
 Resumen.....12
 Abstract.....13
 Introducción.....14
 Uso de las playas.....14
 Comunidades macrobentónicas de las playas arenosas.....15
 Relaciones fauna-sedimento.....16
 Impactos en el bentos.....18
 Antecedentes.....22
 Sustratos blandos.....22
 Justificación.....26
 Objetivos.....28
 Objetivos específicos.....28
 Área de estudio.....29
 Sitios de muestreo.....30
 Uso de las playas.....31
 Materiales y métodos.....34
 Datos físicos.....34
 Datos biológicos.....35
 Análisis de datos.....38
 Resultados.....42
 Factores físicos.....42
 Organismos.....48
 Análisis.....67
 Patrones físicos.....67
 Patrones biológicos.....68

Diferencias entre la isla y la península.....	73
Diferencias entre invierno y verano.....	75
Conclusiones.....	77
Implicaciones para el manejo.....	78
Recomendaciones y sugerencias para análisis futuros.....	82
Bibliografía.....	84

GLOSARIO

Abrasión. Acción de pulido del oleaje y los sedimentos suspendidos sobre la costa y sus organismos.

Actividades recreativas. Actividades humanas con fines de esparcimiento. En las playas de la zona de estudio consisten en caminar, correr, acampar, “snorquelear”, nadar, remar en kayak, navegar lanchas, circular en automóviles, etc.

Antropogénico. Efecto ocasionado o derivado de las actividades del hombre.

Bentónicos, organismos. Organismos que viven en o sobre la superficie del fondo.

Cara de la playa. Frente de playa o zona de vaivén de las olas. Franja que va de la línea de agua al límite superior de la marea alta, parte expuesta de la zona intermareal.

Compactación. Proceso por el cual las partículas de los sedimentos depositados se empacan o comprimen quedando estrechamente unidas; disminuye la porosidad, incrementa la densidad y se expelle el agua.

Depositívoros. Organismos que se alimentan de materia orgánica depositada en el sedimento.

Detritívoros. Organismos que se alimentan de detritus.

Disturbio. Alteración o perturbación ⁽⁵⁾.

Diversidad. Característica de la comunidad que refleja simultáneamente el número de especies y cómo se distribuye la abundancia entre ellas.

Dunas litorales. Montículos de arena de origen eólico, detrás de la línea de costa.

Epifauna. Organismos bentónicos que habitan sobre la superficie.

Erosión. Proceso físico que consiste en el desprendimiento, transporte y depositación de las partículas individuales del suelo.

Filtradores. Organismos marinos que obtienen su alimento filtrando el agua para extraer la materia orgánica como fuente de energía.

Granulometría. Estudio del tamaño y las características texturales de los componentes sedimentarios.

Impacto. En este texto esta palabra es empleada para referirse a los efectos de las actividades humanas en el ecosistema o en los mismos humanos. Los impactos pueden ser negativos o positivos. Si son negativos también se utilizó como sinónimo de disturbio o perturbación antrópica.

Infauna. Organismos bentónicos que habitan enterrados en el sedimento.

Infraestructura turística. En este caso se refiere a estacionamientos, restaurantes, hoteles, palapas en la playa, malecones, etc.

Línea de costa. Línea de intersección entre la tierra firme y el mar.

Macrobentos. Organismos bentónicos más grandes que 0.5 o 1 mm (según los autores) (p.e. poliquetos, moluscos, lenguados).

Mareas. Ascensos y descensos periódicos del nivel del mar ocasionados por la acción gravitatoria de la luna y del sol sobre los océanos de la Tierra.

Perturbación. Un evento que resulta en un cambio de la estructura de la comunidad o que tenga la potencialidad de hacerlo ⁽⁷⁾. Alteración o trastorno de un movimiento o del curso de un fenómeno, provocados por alguna causa exterior ⁽⁵⁾.

Playa. Franja de la zona litoral compuesta por sedimentos no consolidados (cantos, guijarros, arenas) que se extienden desde el nivel más profundo a que llegan los sedimentos movidos por las olas de tormenta, hasta la parte más alta que alcanzan las olas en la orilla (generalmente la base de las dunas litorales).

Playas reflectivas. Se caracterizan por presentar arena gruesa, períodos cortos de “swash” (barrido, oleaje), las olas rompen directamente en la cara de la playa, pendiente pronunciada, alta penetrabilidad, bajo contenido de materia orgánica y poca retención de agua por parte del sedimento.

Playas disipativas. Están caracterizadas por arenas finas, pendiente suave, zona de “surf” (rompiente) amplia donde se disipa la energía de la ola, poca penetrabilidad y alto contenido de agua en el sedimento.

Resiliencia. Habilidad de un ecosistema para regresar a su estado normal después de que ha cesado una perturbación.

Sedimento. Materia orgánica e inorgánica, en partículas, que se acumula de una manera suelta, sin consolidar.

Sedimentos terrígenos. Sedimentos derivados de la erosión de la superficie de la tierra o continente.

Sedimentos carbonatados o biogénicos. Sedimentos de origen biótico, generalmente conchas de moluscos, restos de corales y algas coralinas.

Zona intermareal. Área comprendida entre las mareas alta y baja, en donde los organismos bentónicos son cubiertos por el mar y expuestos al aire periódicamente.

Zona submareal o sublitoral. Región marina que se extiende desde el nivel promedio de bajamar hasta los 200 m de profundidad o hasta el extremo de la plataforma continental. En algunas ocasiones se considera hasta la profundidad a la cual las plantas fotosintéticas pueden crecer.

Zona supramareal o supralitoral. Zona de la costa arriba del promedio del nivel alto de la marea.

Referencias bibliográficas

1. De la Lanza, G., C. Cáceres, S. Adame, S. Hernández, 1999. *Diccionario de Hidrología y Ciencias Afines*. Plaza y Valdés, México, 286 pp.
2. Defeo, O., J. Gomez & D. Lercari, 2001. Testing the swash exclusion hypothesis in sandy beach populations: the mole crab *Emerita brasiliensis* in Uruguay. *Marine Ecology Progress Series*, 212: 159-170.
3. Macías-Regalado, E., 2000. *Glosario de Términos en Ciencias del Mar*. Universidad Nacional Autónoma de México, 335 pp.
4. McArdle, S.B. & A. McLachlan, 1992. Sand beach ecology: swash features relevant to the macrofauna. *Journal of Coastal Research*, 2: 398-407.
5. *Pequeño Larousse Técnico*, 1976. Editorial Larousse, París, 1056 pp.
6. Seco, R. 2001. *Peligros Litorales*. Apuntes de curso. Maestría en Manejo Sustentable de Zonas Costeras. Universidad Autónoma de Baja California Sur (mimeógrafo), 48 pp.
7. Southerland, J., 1978. Effect of *Schizoporella* (Ectopora) Removal on the fouling community at Beaufort, North Carolina, USA. John P. Sutherland. p155 – 176. *Ecology of Marine Benthos*. The Belle W. Baruch Library in Marine Science Number 6, C. Coull. (Eds), 467 pp.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Relación entre la pendiente, la altura de oleaje, el tamaño de grano, resuspensión del sedimento, abrasión y patrones de la comunidad macobentónica intermareal.....18

Figura 2. Localización de las playas estudiadas dentro de la Bahía de La Paz, B.C.S, México.....30

Figura 3. Extracción del núcleo, tamizado en campo y medición de la penetrabilidad36

Figura 4. Estaciones de muestreo en cada transecto dentro de la zona intermareal.....37

Figura 5. Distribución de las frecuencias de tamaño de grano en cada playa para la temporada de invierno.....43

Figura 6. Distribución de las frecuencias de tamaño de grano en cada playa para la temporada de verano.....44

Figura 7. Diámetro medio de arena y penetrabilidad en la cara de la playa.....45

Figura 8. Relación entre la penetrabilidad y la pendiente con el tamaño de grano en la zona intermareal de las playas estudiadas.....46

Figura 9. Penetrabilidad en centímetros y tamaño de grano en unidades phi de las localidades, para las estaciones de invierno y verano.....48

Figura 10. Abundancia de los principales taxa por playa, en ambas temporadas.....55

Figura 11. Abundancia total por playa (invierno y verano).....57

Figura 12. Riqueza específica y diversidad por playa para la temporada de invierno.....58

Figura 13. Riqueza específica y diversidad por playa para la temporada de verano.....58

Figura 14. Riqueza específica y diversidad por playa (para invierno y verano juntos).....59

Figura 15. Relación entre el número promedio de cangrejos por playa y su nivel de uso, grano medio y penetrabilidad de la zona intermareal.....60

Figura 16. Análisis de clasificación con coeficiente de Bray-Curtis usando los datos transformados mediante raíz cuarta. Temporada de verano.....62

Figura 17. Análisis de clasificación con coeficiente de Bray-Curtis usando los datos transformados mediante raíz cuarta. Temporada de invierno.....62

Figura 18. Análisis de clasificación con coeficiente de Bray-Curtis usando los datos transformados mediante raíz cuarta. Temporada invierno y verano juntas.....63

Figura 19. Análisis de coordenadas principales con datos transformados mediante raíz cuarta y distancia de Bray Curtis. Temporada de invierno y verano juntas.....63

Figura 20. Análisis de componentes principales de los parámetros (arena media en escala Wentworth y en unidades phi, nivel de uso y penetrabilidad del sedimento) con los datos sin transformar.....64

Figura 21. NMDS de la macrofauna (sin transformar). Datos de cada transecto en cada localidad para invierno y verano.....65

Figura 22. Análisis de clasificación para las temporadas de invierno y verano separadas utilizando el coeficiente de Bray-Curtis y datos transformados mediante raíz cuarta.....66

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Grano medio de las localidades expresado en unidades phi, con la desviación estándar y el sesgo de la distribución del grano, penetrabilidad del sedimento y pendiente de la cara de la playa por muestreo.....46

Tabla 2. Tipo de sedimento, en la escala Wentworth, para las playas estudiadas en las dos temporadas y grano medio en unidades phi.....46

Tabla 3. Diferencia entre el tamaño de grano y la penetrabilidad en invierno y verano (unidades phi y cm, respectivamente).....47

Tabla 4. Lista de taxa al más bajo nivel taxonómico, por playa.....49

Tabla 5. Abundancia de los grupos principales de organismos durante el invierno y el verano.....51

Tabla 6. Riqueza, diversidad (Índice de Shannon-Wiener), equidad de Pielou, redundancia, y abundancia total para las playas en las dos estaciones.....51

Tabla 7. Resultados del ANOSIM de una vía para diferencias entre pares de localidades, basado en similitud de Bray-Curtis y abundancias de la macrofauna transformadas mediante raíz cuadrada.....53

Tabla 8. Dominancia acumulada en porcentajes para las playas estudiadas. Se representó el porcentaje acumulado hasta el 80 %.....54

Tabla 9. Riqueza, Diversidad (Índice de Shannon-Wiener), equidad de Pielou, Redundancia y abundancia total (invierno y verano) de la península y la isla.....55

Tabla 10. Las playas según su uso y ubicación geográfica ordenadas de mayor a menor valor de diversidad, riqueza y abundancia.....56

Tabla 11. Riqueza específica, diversidad de Shannon- Wiener, equidad de Pielou, redundancia y abundancia, por playa, en invierno.....56

Tabla 12. Riqueza específica, diversidad de Shannon- Wiener, equidad de Pielou, redundancia y abundancia, por playa, en verano.....57

Tabla 13. Diferencia entre invierno y verano en la riqueza específica, diversidad de Shannon-Wiener, equidad de Pielou, redundancia, y abundancia.....59

Tabla 14. Las playas con sus niveles de uso, los hoyos de cangrejo promedio por transecto en invierno y verano, y las observaciones.....60

Tabla 15. Peso en gramos, área de contacto en centímetros cuadrados y presión ejercida en gramos por centímetro cuadrado, por diferentes actividades humanas en las playas arenosas.....80

RESUMEN

La zona intermareal es un nexo crítico entre el sistema terrestre y el marino. La comunidad bentónica intermareal contiene diversos organismos que reciclan nutrientes y son presa de gran número de aves y peces de la región costera. A pesar de que las playas arenosas cubren la mayor parte de la zona intermareal en el mundo y que están experimentando una presión antropogénica muy grande, éstas han sido objeto de escasos estudios ecológicos. Como las actividades humanas muchas veces constituyen una perturbación en los ambientes naturales, evaluar los impactos que éstas producen es crucial para un manejo apropiado de las zonas costeras. Con este fin, el bentos de fondos blandos está siendo muy utilizado como indicador de perturbaciones ambientales tales como la contaminación en diversos ambientes lodosos, pero aun no para evaluar los impactos producidos por actividades recreativas en playas arenosas. El presente trabajo estudia la comunidad macrobentónica de las playas arenosas del sureste de la Bahía de La Paz y compara los principales atributos de la estructura de esta comunidad con respecto al nivel de uso recreativo que tengan. Se escogieron dos playas de bajo, dos de alto y otras dos de mediano uso antropogénico que fueron muestreadas en la temporada invernal (febrero del 2002) y al final de la temporada de verano (septiembre 2002). La colecta de organismos se realizó por medio de núcleos de 15 cm de diámetro hasta 20 cm de profundidad a lo largo de 2 transectos perpendiculares a la línea de costa. Los transectos se dividieron en cuatro estaciones desde la marca de marea alta a la línea de marea mínima; en cada estación se tomaron tres réplicas. También fueron medidas variables físicas como pendiente de la cara de la playa, tamaño de grano y penetrabilidad del sedimento. Los análisis sugieren una gran diversidad de organismos en el área y una clara evidencia de la influencia del nivel de uso, así como del tamaño de grano del sedimento (relacionado a la exposición al oleaje) y la estacionalidad, en la estructura de la comunidad. Factores físicos como el tamaño de grano del sedimento parecen influir primariamente en la composición y abundancia de los organismos; sin embargo, las playas más visitadas por la población presentan menor diversidad.

ABSTRACT

The intertidal zone is a critical nexus between the marine and terrestrial systems. Sandy beaches cover the largest part of this zone around the world. The benthic organisms which inhabit this zone recycle nutrients and provide food for birds and fish of the coastal region. Sandy beaches exhibit a great anthropogenic pressure, and yet there are few studies concerning sandy beaches, and the associated infaunal communities are poorly understood. Since human activity usually causes a perturbation in natural environments, evaluation of the impact is crucial for an appropriate coastal management. The measurement of changes in the structure of macrobenthic infaunal communities is widely used for detecting and monitoring anthropogenic impacts, like pollution on the sea bed environment. Nevertheless, these type of studies have not been used to assess the impact of recreational activities on sandy beaches. The present study attempts to describe the macrobenthic community of sandy beaches in La Paz bay and compare the main attributes of each community in relation to their level of human use. Two localities each of low, moderate and high human disturbance were chosen. Samples were collected in winter (February 2002) and at the end of summer (September 2002). Samples were taken from 15 cm diameter cores, 20 cm deep, along two transects at each site. Each transect was divided into four stations from the low tide to the high tide mark, with three replicate samples each. Parameter such as grain size, beach slope and penetrability were also taken. Results show that there is high diversity of organisms in the whole area, and that grain size, related to beach exposure, as well as the level of use influenced the structure of this community, with regard to richness, diversity and abundance. Physical factors such as grain size seemed to be the prime influence for the composition and abundance of organisms, however more visited beaches tended to show lower diversity index.

INTRODUCCIÓN

Uso de las playas

Las playas arenosas cubren las tres cuartas partes del sistema intermareal en el mundo (Short, 1999) y han estado sujetas a un gran desarrollo y a diferentes actividades que por lo general se han ido dando sin demasiada planificación. Existe, a nivel mundial, un aumento de las actividades que se realizan en la costa, debido a la tendencia del crecimiento de ciudades en la zona litoral y por el auge del turismo en esta zona. Los ecosistemas de playas arenosas, por lo tanto, reciben cada vez más una variedad de impactos antropogénicos como son la contaminación, forestación inapropiada, extracción de arena, explotación de especies costeras, infraestructura y turismo intensivo (Brown & McLachlan, 1990). Frente a las consecuencias que esto implica, en numerosos países ha surgido la necesidad de planificar el desarrollo, bajo el lema de Gestión Integrada de la Zona Costera y, muchas veces, establecer zonas de protección dentro de un plan de manejo costero. Baja California Sur no escapa a esta tendencia; esto se ve reflejado, entre otras cosas, en la elaboración de proyectos como el de Ordenamiento Territorial Ecológico Marítimo de la Bahía de La Paz y en el Plan de Manejo de la Isla Espíritu Santo.

Uno de los problemas que se enfrenta a la hora de planificar un manejo o desarrollo es evaluar cuales son los impactos (positivos o negativos) que produce cada actividad antropogénica y estimar cuál es la capacidad del medio para recuperarse luego de un disturbio (resiliencia). A su vez, es importante también poder evaluar las propias medidas del manejo para saber en qué magnitud se cumplen los objetivos deseados.

La zona intermareal es el área entre las marcas de marea más alta y más baja, y es la única porción del ambiente marino regularmente expuesta al aire. La franja que va desde las dunas litorales a la zona submareal es una zona variable en extensión (desde unos pocos metros hasta cientos de metros) donde existe un gran intercambio de materiales (arena, agua subterránea, spray marino y materia orgánica viva y muerta) en ambos sentidos (Brown & McLachlan, 1990). Esta franja, a su vez, está siendo

fuertemente usada y modificada por la actividad humana. Según Saunders *et al.* (2000), las presiones ejercidas en las playas por las actividades recreativas incluyen impactos potencialmente negativos, provocados por las instalaciones recreativas (restaurantes, estacionamientos), ciertas actividades (buceo de aguas superficiales, recolección de organismos, alquiler de lanchas) y por la compactación y erosión que causa el hombre con el pisoteo y circulación de vehículos. Es esencial un entendimiento de las respuestas del ecosistema a las diferentes perturbaciones para un manejo apropiado del sistema (Lercari *et al.*, 2002). Por lo tanto, son necesarios programas específicos de muestreo en la costa para monitorear los disturbios causados por las actividades humanas en las comunidades bentónicas de sustrato blando cercanas a la costa (English *et al.*, 1997). Con el fin de comenzar a evaluar los posibles impactos causados por las actividades recreativas de manera cualitativa y cuantitativa, este trabajo pretende explorar la utilización de los organismos bentónicos infaunales de las playas arenosas como indicadores de la condición de las mismas.

Comunidades macrobentónicas de las playas arenosas

La macrofauna de playas arenosas la componen los organismos invertebrados que quedan retenidos por una malla de 0.5 a 1 mm o más (Holmes & McIntyre, 1971).

El macrobentos de playas de sustrato blando está principalmente constituido por bivalvos, crustáceos y poliquetos. En la zona cercana al límite con la zona submareal también pueden encontrarse equinodermos. La mayoría de la macrofauna intermareal vive en agujeros que hacen en la arena y se quedan en ellos cuando la marea baja. Este período de exposición representa un estrés fisiológico para estos organismos debido principalmente a la desecación, posible shock térmico, exposición al aire y cese de la alimentación (Peterson, 1998). La mayoría de estos organismos son activos al subir la marea, sobre todo los filtradores y los detritívoros (Southward, 1975). Cuando están cubiertos por agua, los organismos quedan expuestos a la acción del oleaje y la resuspensión del sedimento por lo que muchos animales continuamente construyen y modifican sus cuevas en esos momentos (Peterson, 1998).

Los anélidos poliquetos constituyen entre el 35 y el 65 % de las especies de animales macroscópicos marinos de fondos blandos. En Baja California Sur hasta el momento, se han reportado más de 765 especies (Salazar, 1988) y en la Bahía de La Paz, se han registrado unas 85 especies (Bastida, 1991). Los poliquetos son importantes modificadores del sustrato, regulan efectivamente el reclutamiento de otros organismos y junto con otros organismos de la comunidad renuevan nutrientes y funcionan como verdaderos barrenderos de las playas ya que se alimentan de organismos muertos y detritus (Salazar, 1988).

Relaciones fauna- sedimento

Entre los principales factores que controlan a las playas están el relieve de la franja adyacente a la playa, el tipo y cantidad de material que la forma y el carácter de la interacción olas-playa. El diámetro de los sedimentos puede ser muy variado, pero depende en gran medida de la fuente de aporte de material sedimentario y del grado de exposición de la playa al oleaje. El perfil de una playa depende básicamente de dos factores: el diámetro de los sedimentos que la componen y de las características del oleaje. El perfil de equilibrio de una playa está directamente relacionado con la energía de ola en la rompiente y guarda una correlación directa con el tamaño de grano de los sedimentos. Existe una buena correlación entre el diámetro de la arena y la pendiente de la playa: a mayor tamaño de grano del sedimento, mayor pendiente de la playa. A su vez, la pendiente será mayor cuanto más expuesta esté la playa. Por lo tanto, la pendiente y el tamaño de grano son datos útiles y fáciles de medir en estos ambientes (Seco, 2001).

La intensidad de la ola determinará el grado de selección del sedimento superficial y la proporción de arena, limo y arcilla que podamos encontrar (Wu, 1998). Las costas con mayor acción de corrientes litorales y de marea pueden resuspender y transportar arenas más finas, dejando depositadas las más gruesas, mientras que las arenas más finas y mejor seleccionadas se encontrarán en áreas más protegidas (Elliot, 1978). A su vez, las características del sedimento son claves en la estructura de la comunidad bentónica de fondos blandos (Peterson, 1998). Las playas arenosas son hábitats físicamente rigurosos en los cuales los patrones comunitarios han sido

correlacionados con factores físicos tales como el tamaño de grano, la pendiente de la playa y procesos de “swash” o de batido de las olas (McLachlan *et al.*, 1993, 1995; Defeo *et al.*, 2001). Las asociaciones faunísticas, por lo tanto, varían con la exposición de la playa al oleaje (Rakocinski *et al.*, 1991); una consecuencia de las variaciones en la intensidad de la energía de ola es la creación de gradientes en el diámetro promedio de grano del sedimento que podrá afectar la organización de las comunidades (Peterson, 1998). Sin embargo, no puede dejarse de lado otros elementos, como la concentración de alimento, la densodependencia y las interacciones tróficas, que también pueden influir (Wu, 1998; Defeo, 2001). Las playas protegidas tienen menor energía de oleaje que implica una menor resuspensión de sedimento y abrasión; tienen arenas finas con mayor contenido de materia orgánica en sus sedimentos, facilitando la alimentación de los depositívoros. Al bajar la marea tienen mayor compactación, permitiendo una mejor retención del agua y materia orgánica. Por otro lado, las comunidades de playas reflectivas expuestas a alta energía de oleaje están compuestas por unas pocas especies adaptadas. En estos ambientes, una gran proporción de la energía existente en los organismos intermareales se gasta en mantener la posición en la masa móvil de sedimentos (Carter, 1988). En playas reflectivas, el impacto de las olas en la zona intermareal es mayor, dificultando la permanencia de los organismos en el sustrato y la supervivencia por la alta abrasión; además cuando la marea está baja, existe gran precolación y bajo contenido de agua y materia orgánica en el sedimento, dificultando aún más la supervivencia de los organismos intermareales (Fig. 1).

En este contexto, la Hipótesis de Exclusión del Swash (SEH en inglés) ha ganado amplia aceptación en el mundo entero, para explicar el control de la abundancia y diversidad de especies de macrofauna de playas arenosas (a nivel de comunidades), por el clima de “swash”, determinado por la altura de la ola y la pendiente de la cara de la playa o zona intermareal. Esta hipótesis predice un incremento consistente de la riqueza de especies, abundancia y biomasa, desde condiciones reflectivas a condiciones disipativas (Defeo *et al.*, 2001). La riqueza de especies macrobentónicas muestra un incremento lineal, mientras que la abundancia se incrementa de manera logarítmica desde condiciones reflectivas a disipativas (McArdle & McLachlan, 1992). Según Barnes (1997), en playas protegidas con poca pendiente pueden encontrarse unos 8000 organismos por metro cuadrado y unas 24 especies. En playas muy reflectivas, donde la

tasa de mortalidad de los organismos es alta debido a la abrasión y la escasa retención de alimento y agua en el sedimento, puede encontrarse una sola especie de isópodo, pocas de anfípodos y una o dos especies de poliquetos (Barnes, 1997) o ninguna especie en la zona intermareal (McLachlan *et al.*, 1995).

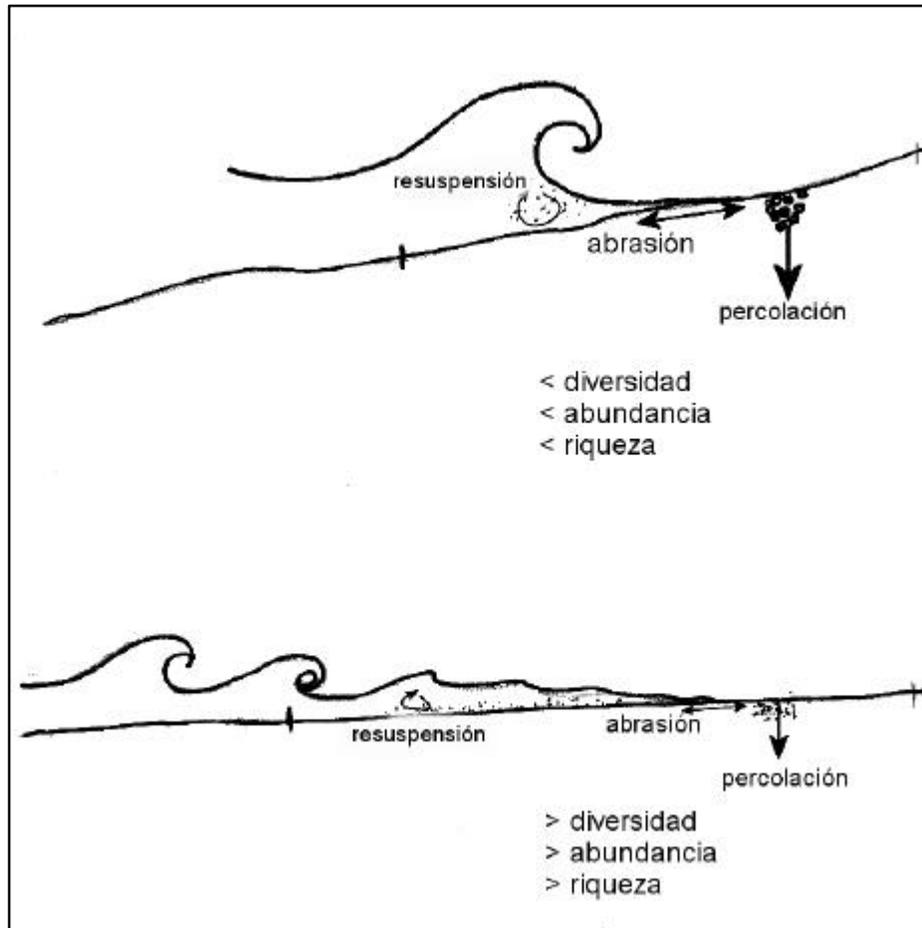


Figura 1. Relación entre la pendiente, la altura de oleaje, el tamaño de grano, resuspensión del sedimento, abrasión y patrones de la comunidad macrobentónica intermareal.

Impactos en el bentos

La macrofauna bentónica es un componente importante en la cadena trófica marina (Jean & Fruguet, 1994): los organismos intermareales son muy importantes en la regeneración de nutrientes a la columna de agua. A su vez, la infauna constituye una fuente importante de alimento para los peces que se alimentan en el fondo (Holmes & McIntyre, 1971), gasterópodos y equinodermos durante la marea alta (Peterson, 1998);

y aves marinas y animales terrestres como cangrejos, zorros y coyotes durante la marea baja (Wu, 1998; Peterson, 1998).

A pesar de su importancia potencial, se conoce muy poco sobre las consecuencias de los disturbios naturales o inducidos por el hombre, en la estructura y dinámica de las comunidades de playas arenosas (Lercari *et al.*, 2002). Los pocos estudios existentes han sido generalmente a nivel de poblaciones, de corto plazo (Jaramillo *et al.*, 1996) y univariados, con un énfasis preponderante en las variaciones de la abundancia (Peterson *et al.*, 2000). Sin embargo, las aproximaciones a niveles superiores, que impliquen análisis comunitarios con técnicas multivariadas más apropiadas para ilustrar las respuestas de la fauna a los disturbios, no han sido consideradas (Lercari *et al.*, 2002).

En las playas arenosas, el tamaño de grano, que afecta la porosidad y la compactación del sedimento, parece ser el principal factor que determina las poblaciones bentónicas. Es por lo tanto probable que los organismos que habitan la zona litoral se vean afectados por el pisoteo, ya que la presión humana ejerce compactación y resuspensión de sedimento. El efecto dependerá de la naturaleza del sitio, del tipo de suelo y del tipo y nivel de las actividades recreativas (Saunders *et al.*, 2000).

La vida marina en la zona intermareal está soportada por las capas subyacentes que determinan la resiliencia a la presión del suelo. En fondos blandos, el peso de la persona se dispersa en un área mayor que si fuera sobre un fondo rocoso, resultando en una menor presión unitaria. Sin embargo, las comunidades encontradas en estos hábitats pueden ser muy vulnerables, inclusive a bajos niveles de actividades, particularmente las que viven en las capas más superficiales de la arena (Saunders *et al.*, 2000). Por otro lado, la depredación es un factor también importante. Según Carter (1988), las aves pueden llegar a consumir más de 50 bivalvos por hora en la zona intermareal, o el 20 % del total de la población de invertebrados intermareales (Brown & McLachlan, 1990); y está demostrado que la presencia humana afecta a la presencia de aves (Raffaelli *et al.*, 1996). Por lo tanto, teniendo en cuenta que puede existir un cierto balance entre los impactos positivos y los negativos aplicados a la comunidad bentónica y que esta fauna es muy plástica (Peterson *et al.*, 2000; Schoeman *et al.*, 2000), la presencia humana

puede no necesariamente causar un impacto negativo en la comunidad del bentos. Por otra parte, si los disturbios son puntuales y no son muy intensos, o el sistema presenta una alta resiliencia, se puede recuperar en los intervalos entre los eventos de disturbio. Además, la recuperación también puede ocurrir si el intervalo entre los disturbios es largo (Keough & Quinn, 1998).

La zona intermareal es el área donde los usuarios de la playa tienen mayor influencia. Como los organismos que habitan esta zona son poco móviles y dependen del sustrato, reflejan condiciones ambientales locales (Bilyard 1987, citado por Wu 1998). También reflejan rápidamente los cambios del ambiente, por el corto ciclo de vida de las especies de estas comunidades. A su vez, se presentan en grandes abundancias y son fáciles de muestrear (Lenat *et al.*, 1980 citado por Wu, 1998). La estructura de las comunidades bentónicas pueden responder a muchos tipos de estrés porque incluyen organismos con un amplio rango de tolerancias fisiológicas, tipos de alimentación e interacciones tróficas y una alta diversidad de requerimientos ecológicos (Wu, 1998; Jean & Fruget, 1994). Por todas estas razones, han sido ampliamente usados como indicadores de estatus ambiental (Wu, 1998). Los cambios en la diversidad y la proporción de densidad de ciertos organismos (p.e. oligoquetos y moluscos) determinan condiciones ambientales (Engle *et al.*, 1994). Sobre esta base se han elaborado índices bentónicos de condiciones ambientales según la diversidad (índice de Shannon Wiener), la abundancia de oligoquetos y la proporción de moluscos bivalvos, poliquetos y anfípodos en la abundancia béntica total (Engle & Sommers, 1999).

La Bahía de La Paz tiene un alto potencial turístico y ofrece un excelente panorama para abrir el campo al estudio de los impactos producidos por las actividades recreativas en sus playas. Las playas dentro de la bahía tienen condiciones oceanográficas similares y el oleaje que llega a sus costas es de baja energía, a diferencia de las playas expuestas al océano abierto. Por esto, puede suponerse que los procesos físicos en la bahía son menos importantes que en playas expuestas al océano abierto. A su vez, en la bahía se dan distintos tipos de uso en las diferentes playas, ya sea debido a los diferentes grados de acceso que tengan, o a las restricciones que se

establecen en el plan de manejo en el caso de la isla Espiritu Santo. Esto permite establecer comparaciones en playas cercanas entre sí pero con diferentes niveles de uso, donde los procesos físicos seguramente no juegan un papel tan importante como en playas muy expuestas.

ANTECEDENTES

Sustratos blandos

Los estudios sobre comunidades de fondos blandos en la zona intermareal son pocos. La mayoría de los trabajos en bentos intermareal se han dirigido a sustratos rocosos mientras que las playas arenosas con su infauna asociada son menos conocidas (Wu, 1998). Este hecho reside en que:

- En la arena no se ven los organismos y es necesario excavar, fijar y separar los organismos del sedimento.
- Muchos organismos de la superficie se mueven rápidamente y los que se entierran pueden hacerlo también rápidamente.
- La colecta de pequeños animales trae problemas en el momento del procesamiento de las muestras (separación del sedimento), así como por la separación arbitraria de macro y meiofauna.
- La manipulación es muy delicada porque suelen ser organismos blandos que se rompen fácilmente.
- El sustrato es móvil y es casi imposible o poco práctico, realizar experimentos.

Sin embargo, se cuenta con algunos textos a nivel de comunidades bentónicas de playas arenosas como son los de:

- J. Gray, *The Ecology of Marine Sediments*, 1981.
- A. Brown & A. McLachlan, *Ecology of Sandy Shores*, 1990.
- R. Carter, *Coastal Environments*, 1988.

En la década de los setenta se inician algunas investigaciones que vinculan la infauna costera con las perturbaciones naturales o antropogénicas. Así, Holmes & McIntyre (1971) ya reconocían que la epifauna ha sido la más estudiada y que ha habido un fuerte contraste con los estudios de la infauna hasta el momento, a pesar de que la infauna es considerablemente importante en la cadena alimenticia. A su vez,

pronostican que “el estudio del bentos en los próximos años puede llevar a encontrar posibles especies indicadoras de polución”. Simon & Dauer (1978) estudiaron la colonización del hábitat luego de una defaunación (el 97 % del total de individuos) en un hábitat arenoso intermareal, causada por una marea roja en Florida en 1971, la cual mató muchos peces. Las condiciones anaeróbicas resultantes fueron consideradas la principal causa de la mortalidad masiva. El área había sido bien estudiada previamente, permitiendo la comparación. Encontraron que la fauna se recuperó rápidamente en términos de número de especies y composición, existiendo diferentes habilidades de recolonización entre los distintos taxa. Los poliquetos fueron los colonizadores más tempranos en términos de número de especies y de individuos. Los moluscos y los anfípodos fueron más lentos y además significativamente afectados por patrones estacionales de reproducción y de dispersión. Sólo los poliquetos, algunos crustáceos y el total de la fauna mostraron patrones de colonización que indican una aproximación al valor de equilibrio. Orth (1978), en su trabajo con vegetación como estabilizador del sedimento, concluyó que la estabilidad del sedimento como un factor limitante, está poco estudiada, pero seguramente juega un papel importante en el establecimiento y el mantenimiento de la infauna.

Sin embargo, el auge de los trabajos que utilizan a los macroinvertebrados como indicadores biológicos surge en los años 90, donde se utiliza a la comunidad como indicadora de la calidad ambiental, sobre todo en estuarios cercanos a ciudades. Jean & Fruget (1994) tomaron algunas especies de macroinvertebrados dulceacuícolas para hacer bioensayos con contaminantes tóxicos y materia orgánica, encontrando que las especies elegidas permitían apreciar la toxicidad de las aguas y del sedimento. Engle *et al.* (1994, 1999) establecieron índices bentónicos para los estuarios del norte del Golfo de México a partir de la diversidad esperada y el porcentaje de poliquetos capitélidos, oligoquetos, bivalvos y anfípodos en la abundancia total. Según estos autores, el índice bentónico hallado mostró ser un indicador útil y válido de las condiciones estuarinas, y una herramienta simple para evaluar la salud de la comunidad de macroinvertebrados. Lindergarth & Hoskin (2001) estudiaron los patrones de distribución de la macrofauna de sedimentos blandos en un estuario en zonas urbanizadas y no urbanizadas, encontrando diferencias en la estructura de las comunidades bentónica de las dos zonas.

En cuanto a estudios que relacionan directamente la comunidad bentónica de playas arenosas con impactos humanos recreativos, Brown & McLachlan (1990) estudiaron la vegetación de las dunas y encuentran que el uso de vehículos o construcciones en las dunas es más impactante que el pisoteo de las personas, aunque la magnitud de este impacto está logarítmicamente relacionada con el número de pasos de los visitantes. A su vez, mencionan que se conoce muy poco de los efectos del pisoteo por los humanos en la fauna intermareal, aunque el pisoteo es seguramente la actividad recreativa más perjudicial, particularmente en la zona supramareal. Carter (1982), estudiando dunas en playas de Irlanda, ya había encontrado que la degradación aumenta conforme aumenta la presión de pisoteo y que en un cierto punto, aunque no siga la presión, las dunas pueden no recuperarse y seguir degradándose debido a la pérdida de cobertura y la erosión. Keough y Quinn (1998), llevaron a cabo un experimento de pisoteo sobre rocas intermareales, en Australia, durante 6 años. Encontraron respuestas de la comunidad de acuerdo a la frecuencia de los disturbios y a su intensidad, pero no de una manera muy consistente. Tampoco encontraron un efecto acumulativo del pisoteo sobre la comunidad de rocas intermareales. Incorporaron la idea de que los disturbios naturales son estocásticos, pero los antropogénicos en cuanto a las actividades recreativas son en pulsos regulares y predecibles. Moffett *et al.* (1998), investigaron el impacto de distintas intensidades de pisoteo en cuatro especies macrobentónicas de playas arenosas, pero éste se limita a 4 especies solamente. Encontraron que la almeja *Donax serra* y el misidáceo *Gastrosacus psammodytes* son impactados en todos los niveles de intensidad de pisoteo, mientras *Donax sordidus* y el isópodo *Eurydice longicornis* son afectados sólo con altas intensidades de pisoteo.

En general, los estudios sobre la fauna bentónica de playas arenosas se refieren fundamentalmente a los cambios en la comunidad según la exposición al oleaje y luego con otras variables, como temperatura y salinidad, concentración de materia orgánica o de metales pesados en aguas y sedimentos. El resultado de estos conocimientos es que dados ciertos parámetros sedimentológicos, se puede predecir a priori el tipo de arreglo faunístico que ocurrirá en cierto sitio (Whitlatch, 1977). Es interesante notar por otra parte, que algunos de los trabajos recientes encuentran variaciones estacionales no explicadas por las variables estudiadas. Esto podría deberse, entre otras cosas, a que no

se tuvo en cuenta la afluencia estacional de visitantes a las playas. Los mayores y más recientes aportes sobre ecología de playas arenosas los han realizado; McLachlan con sus trabajos en Australia, Sudáfrica y Estados Unidos (McLachlan, 1990, 1985, 1980); Jaramillo en Chile (Jaramillo *et al.*, 1993) y Defeo en Uruguay (Defeo *et al.*, 1995, 2001, 2002). A su vez, otros autores también exploran la importancia de los factores biológicos y antropogénicos en la estructura de poblaciones o comunidades (Lercari *et al.*, 2002; James & Fairweather, 1996; Moffett *et al.*, 1998).

Los trabajos realizados en la Bahía de La Paz y el Golfo de California son de tipo taxonómico y están enfocados a los grupos principales de invertebrados bentónicos. Así, tenemos el trabajo de Salazar Vallejo *et al.* (1988) que estudiaron los poliquetos de México y Bastida Zavala (1991) que se enfocó a los poliquetos del sureste de la Bahía de La Paz. Ambos trabajos son guías útiles para la identificación de los poliquetos encontrados en la zona. En relación a grupos taxonómicos generales, el texto de Brusca (1980) constituye hasta la fecha la guía más completa de los invertebrados intermareales que se encuentran en el Golfo de California.

Holguin y García (1997) anotan que la zona intermareal rocosa del litoral de la Bahía de La Paz no tiene una riqueza faunística alta. Esto se debería a la topografía de pendiente suave que presentan las costas de la bahía y por ser un área protegida de la energía del oleaje. Según diversos autores estas condiciones son las que favorecen el desarrollo de comunidades de sedimento blando, por lo que es interesante poder estudiar cómo se comporta la infauna de las playas arenosas de la bahía.

JUSTIFICACIÓN

Dentro del aumento de la población mundial actual, se observa un incremento en la tendencia a vivir en zonas costeras (Miller & Ditton, 1986) y el Estado de Baja California Sur no escapa a esta realidad. En los últimos 30 años, la población de la ciudad de La Paz aumentó en un 360 % y su municipio alberga a más de un 46 por ciento de los habitantes del Estado de Baja California Sur (Anónimo, 1990). El turismo en el mundo se ha convertido en una industria de billones de dólares en las últimas décadas y su influencia ha transformado las sociedades costeras y el medio ambiente (Miller & Ditton, 1986); esta actividad también juega un papel importante en la economía de la región y se prevé que aumente en el correr de los próximos años. Las actividades recreativas en las costas están aumentando enormemente y están claramente dirigidas a costas arenosas, incluyendo playas arenosas (Brown & McLachlan, 1990). Las playas arenosas son fuente de numerosos recursos para los humanos, por ser espacios naturales abiertos, paisajes marino-terrestres estéticos, por ser lugares donde se realizan deportes, y por poseer aguas limpias, peces, mariscos, conchas, etc. (James, 2000), de los cuales la población puede hacer uso sin ningún costo directo adicional. A su vez, existe una reciente demanda por parte del público por un desarrollo turístico sin costos ambientales (Miller & Ditton, 1986).

En la utilización sostenible del recurso, es importante tener en cuenta las posibles consecuencias negativas de la sobreexplotación o del mal uso de las playas, y que la población local depende de ecosistemas litorales saludables para el desarrollo de ciertas actividades y la llegada de insumos turísticos. En este aspecto, uno de los objetivos necesarios es proveer de información clara y detallada con respecto a los impactos de las actividades humanas a los tomadores de decisiones. A su vez, luego de que se tomen medidas como poner en funcionamiento planes de manejo, es muy importante poder evaluar y dar seguimiento a estas medidas.

El efecto de las actividades humanas en las playas (e.g. pisoteo intenso y tránsito de vehículos) sobre la comunidad intermareal, es más bien poco o nada conocido (Brown & McLachlan, 1990; James, 2000; Moffett *et al*, 1998). La falta de conocimiento

de las interacciones entre el sistema socio-cultural y el sistema natural de las playas puede resultar en cambios inaceptables del ambiente natural de las playas. Esto es más probable que ocurra a través de una pobre planeación, que no considere los efectos del uso de las playas en el sistema natural; la falta de información disponible sobre estas interacciones puede exacerbar la situación (James, 2000). Obtener información detallada y cuantitativa sobre el estado y la dinámica de la biota de las playas y el uso de éstas por los humanos, desarrollar herramientas para un buen monitoreo, así como modelos predictivos, es un proceso complejo y lleva mucho tiempo. La investigación básica y la interdisciplinaria, llevada a cabo por universidades y otros centros de investigación, es la vía más recomendable para el entendimiento del problema (James, 2000). Se requiere de información sobre el ambiente biofísico de las playas para el manejo y, hasta el presente, nuestro conocimiento sobre el ambiente físico está bien desarrollado mientras que del lado biológico está pobremente desarrollado, sobre todo en sustratos blandos (James, 2000).

En este contexto, la Bahía de La Paz no cuenta con estudios ecológicos de la macrofauna bentónica en la zona intermareal de sus playas arenosas. El presente trabajo provee un conocimiento de la composición, distribución y abundancia de los organismos intermareales en la Bahía de La Paz, comienza a evaluar las posibles perturbaciones causadas por las actividades recreativas en las playas y propone líneas de base para futuros estudios de impacto ambiental en esta zona, así como para la toma de decisiones con respecto al manejo.

OBJETIVOS

Este estudio evalúa la fauna intermareal de la Bahía de La Paz y los procesos que controlan las comunidades de estas playas arenosas. Asimismo comienza a evaluar alguna posible relación entre la actividad recreativa humana en la zona litoral y la estructura de la comunidad.

Objetivos específicos

- Elaborar una lista de los taxa de macroinvertebrados bentónicos de las playas arenosas de la región de estudio.
- Caracterizar y describir los patrones de abundancia, diversidad y similitud de la comunidad bentónica litoral de las localidades estudiadas.
- Evaluar los posibles impactos causados por las actividades recreativas humanas en la macrofauna intermareal de las playas arenosas del sureste de la Bahía de La Paz.
- Proveer de información útil para el Ordenamiento Ecológico de la Bahía y el Plan de Manejo del Complejo Insular Espíritu Santo.

ÁREA DE ESTUDIO

El estudio se enmarca en la Bahía de La Paz, ubicada sobre la margen suroriental de la península de Baja California, México. Esta bahía está limitada hacia el norte y oriente por las aguas del Golfo de California y las islas Espíritu Santo y Partida (Fig. 2). Tiene forma elíptica, con su eje mayor orientado en dirección nornoroeste-sursureste. El relieve del margen costero está caracterizado por lomeríos bajos de topografía abrupta con predominio de procesos erosivos en los márgenes oriental y occidental, mientras que en el límite sur el relieve es de planicies y valles con predominio de procesos de depósito. La pendiente del fondo marino es de ligera a moderada en su parte sur y abrupta en su parte norte. La comunicación oceanográfica con el Golfo de California es muy activa a través del Canal de San Lorenzo (boca secundaria) en el sureste de la bahía y entre isla Partida y punta Cabeza de Mechudo (boca principal) al norte (Alvarez *et al.*, 1997). La isla Espíritu Santo constituye parte del límite oriental de la Bahía de La Paz; tiene una superficie de 86.09 km², y está separada de la península por el Canal de San Lorenzo, de aproximadamente 8 km de ancho (Anónimo, 2000). La humedad relativa oscila entre 66 y 72 %, se presenta un régimen de lluvias en verano, con una precipitación total anual de 220 mm, siendo septiembre el mes más lluvioso. La evaporación total anual es de 2387 mm, ocasionando un clima árido o desértico (González, 1998). Las temperaturas y salinidades son prácticamente iguales horizontalmente en toda la bahía y el rango de marea es aproximadamente de un metro (Jiménez *et al.*, 1997).

Desde el punto de vista geológico, el área de estudio dentro de la bahía corresponde a la formación denominada Comondú, tiene una edad que va del Mioceno Superior al Plioceno con un espesor superior a los 500 m. Está formada por areniscas y conglomerados volcanoclásticos, tobas reolíticas, laháres andesíticos y flujos de lava (Álvarez *et al.*, 1997). Los depósitos sedimentarios de la bahía son de distinto origen. En la parte norte y occidental de la bahía, los sedimentos son predominantemente terrígenos, mientras que en la parte sur y sureste los sedimentos son carbonatados. Los carbonatos de La Paz representan una de las pocas fábricas de carbonatos a lo largo de la costa Pacífica de Norteamérica; una plataforma continental lo suficientemente ancha

permite que los sedimentos carbonatados se formen y se acumulen en las playas en forma de bolsillo (Halfar *et al.*, 2001). La composición de estos sedimentos biogénicos es principalmente de materiales derivados de rodolitos (algas rojas coralinas), pequeñas cantidades de corales y restos de moluscos (Halfar *et al.*, 2000).

Sitios de muestreo

Se escogieron 6 playas arenosas de sedimentos carbonatados en la región sureste de la Bahía de La Paz. Tres de estas playas se ubican en la porción continental de la península: Tecolote (24° 20' Latitud Norte y 110° 18' Longitud Oeste), Playa del Amor o San Lorenzo (24° 20' Latitud Norte y 110° 19' Longitud Oeste) y Caimancito (24° 12' Latitud Norte y 110° 18' Longitud Oeste). Las otras tres playas fueron seleccionadas en la isla Espíritu Santo: Bahía San Gabriel (24° 26' Latitud Norte y 110° 21' Longitud Oeste), el Candelero (24° 30' Latitud Norte y 110° 23' Longitud Oeste) y el Mezteño (24° 31' Latitud Norte y 110° 23' Longitud Oeste).

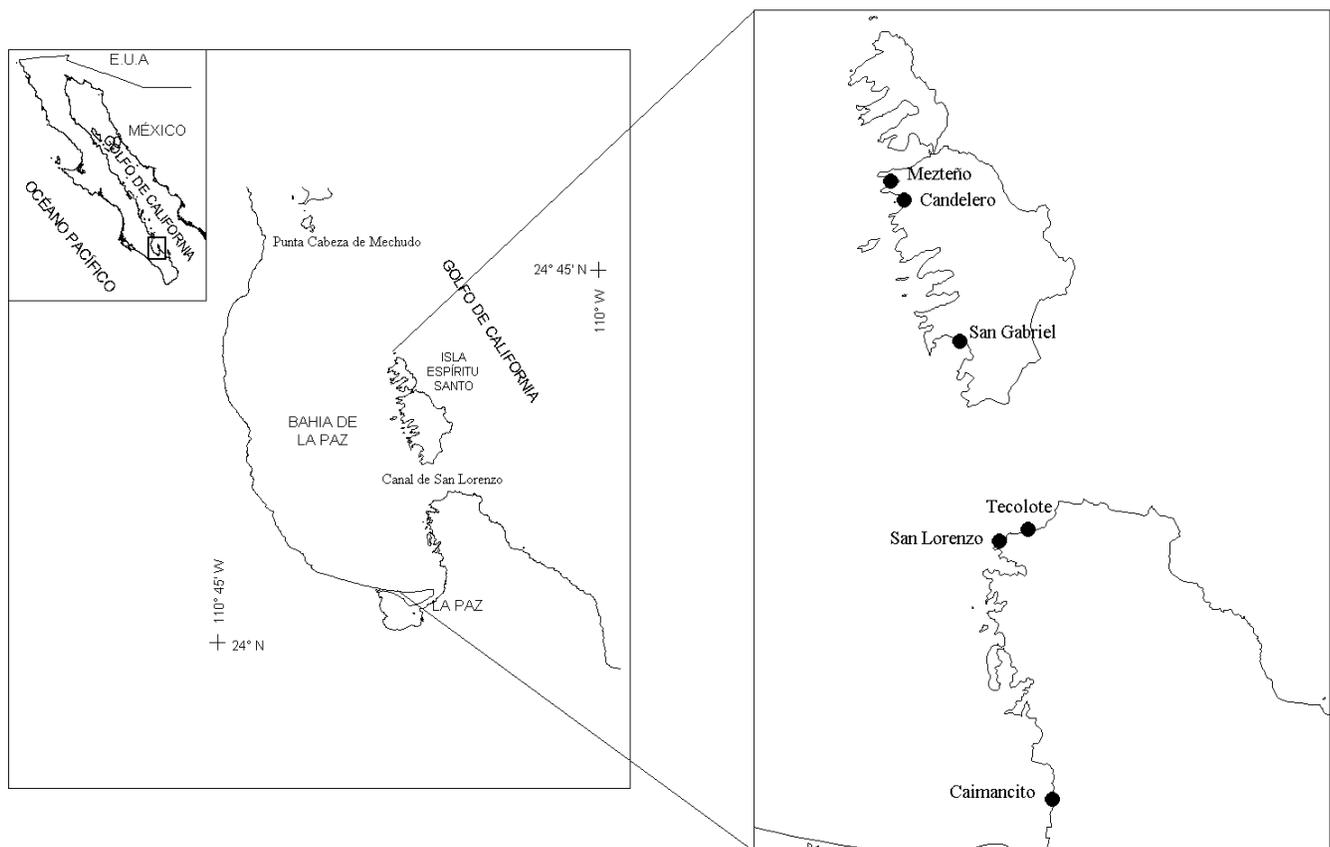


Figura 2. Localización de las playas estudiadas dentro de la Bahía de La Paz, B.C.S., México.

Uso de las playas

El nivel de intensidad en el uso de cada playa fue estimado considerando aspectos como accesibilidad, infraestructura turística, popularidad, y la opinión consensuada de varias personas encuestadas al respecto. En el caso de las playas en la isla Espíritu Santo, se contó además con la opinión de personal de la “Zona de Reserva y Refugio de Aves Migratorias y Fauna Silvestre - Islas del Golfo de California” basada en los registros de la frecuencia de visitantes en cada playa. De esta manera, 2 playas son de bajo uso (San Lorenzo y Bahía San Gabriel), dos de mediano uso (Caimancito y Mezteño) y 2 de alto uso antrópico (Tecolote y Candelero). Así, contamos con playas en cada nivel de uso tanto en la isla Espíritu Santo, como en la península.

Tecolote

Es una playa larga, expuesta al oleaje del norte, pero disipativa. Presenta algunas dunas móviles con vegetación más o menos dañada por el tránsito de vehículos en la parte oriental, mientras que en su parte occidental las dunas fueron afectadas casi en su totalidad por construcciones (restaurantes) y un estacionamiento. Esta playa atrae gran número de visitantes de la ciudad de La Paz en el verano y Semana Santa; en el invierno llegan a ella turistas con casas rodantes provenientes mayormente de los Estados Unidos y Canadá. Los accesos a esta playa son por el mar con embarcaciones, o por tierra firme con carretera pavimentada que llega hasta esta localidad. A su vez, el tránsito de vehículos por la playa y las dunas es muy frecuente.

Caimancito

Es una playa de menores dimensiones, contenida entre salientes rocosas y con arena media. Actualmente no presenta dunas, hay en ella un restaurante con sombrillas que llegan hasta el límite superior de la zona intermareal. En esta playa la arena es rastrillada frecuentemente a efectos de remover la basura. Las visitas suelen ser casi exclusivamente en verano, durante los fines de semana. La circulación de vehículos en

esta playa es imposible y se accede a ella caminando a través del área de estacionamiento al que se llega por carretera pavimentada.

San Lorenzo o Playa del Amor

Está ubicada al occidente del Tecolote, justo al sur de la Punta San Lorenzo. Es una playa expuesta contenida entre salientes rocosas, con pendiente bastante pronunciada y arena gruesa. Su acceso es únicamente desde el mar con una lancha o eventualmente caminando, pero está rodeada por cerros y no existe camino o ruta para acceder a ella, por lo que esta playa es muy poco frecuentada.

La isla Espíritu Santo es un área protegida y cuenta con un plan de manejo que restringe actividades y accesos. El número de visitantes registrados (que van a pasar el día o acampar) por año es aproximadamente de 25000 personas, según registros de permisos en las oficinas de la Reserva. La isla no cuenta con ningún tipo de construcciones en sus dunas ni es posible el tránsito de vehículos en ella.

Candelero

Es una playa del lado occidental de la isla, en forma de bolsillo, con arena media a fina. Esta playa es de las más visitadas, tanto en invierno como en verano, por campistas o usuarios diurnos en Espíritu Santo debido a su belleza, fácil acceso por barco, por presentar un pequeño manglar detrás de las dunas y por sus islotes cercanos a la costa que la hacen muy atractiva para practicar buceo.

Mezteño

Es también una playa en forma de bolsillo, del lado occidental de la isla, con arena media. A pesar de que también recibe visitantes todo el año, el número de visitantes que recibe es sensiblemente menor al de Candelero ya que las personas se dirigen preferentemente a la playa del Candelero.

San Gabriel

Otra playa de bolsillo del lado occidental de la isla. Contiene un manglar en su parte oriental y sus arenas son finas. Esta playa es la menos visitada entre las estudiadas debido a que, situada en el fondo de una bahía de muy poca pendiente y por lo tanto muy somera, cualquier embarcación se queda varada con un mínimo descenso de marea. Por otro lado, existe el inconveniente de una gran abundancia de mosquitos que no hacen de ésta un lugar muy atractivo para acampar.

MATERIALES Y METODOS

En el mes de octubre del 2001 se realizaron muestreos prospectivos en el área de la Bahía de La Paz para definir las playas que serían muestreadas, la escala de trabajo, el tamaño de los cuadrantes y el número de muestras. Estos se realizaron en el marco del proyecto “Ordenamiento Ecológico de la Bahía de La Paz”. Seleccionadas las localidades, se realizó un muestreo durante la temporada invernal (febrero del 2002) y otro al final de la temporada de verano (septiembre del 2002).

Datos físicos

El perfil de la playa fue medido en la “cara de la playa”, es decir, en la zona intermareal que está expuesta al aire en ese momento (de la primera berma a la línea de agua), entre dos personas con la ayuda de un nivel, un estadal y una cinta métrica siguiendo la metodología de Southward (1975). La pendiente se expresó como una razón, es decir, como una proporción entre la altura de la playa sobre la distancia en la horizontal.

Se tomó una muestra de arena dentro del transecto (ver datos biológicos y Fig. 4) en la cara de la playa, de aproximadamente 200 g para análisis granulométrico. La arena fue posteriormente secada en un horno a 60 °C durante unas 24 horas, homogeneizada y tamizada en un Rotap durante un lapso de 7 minutos para estimar la distribución del diámetro de grano. El sedimento se clasificó de acuerdo a la escala Wentworth a 1 phi (Folk, 1966). Existe una distribución continua del tamaño de partícula de los sedimentos, pero para aplicar un análisis de frecuencias se debe convertir la variable a una serie discreta (Holmes & McIntyre, 1971). Existen varias escalas arbitrarias, pero la de Wentworth es la más usada (Holmes & McIntyre, 1971). Esta es una escala geométrica para disminuir la variación de los rangos, que pueden ser de micrómetros para granos pequeños, a decímetros para los grandes. Los análisis determinan las frecuencias dentro de cada intervalo. Una transformación logarítmica de esta escala produce una serie aritmética llamada phi, donde $\phi = -\log_2$ del diámetro de la partícula en milímetros; las unidades phi son inversas al tamaño de grano. La ventaja de este

procedimiento radica en las gráficas y en el tratamiento estadístico (Holmes & McIntyre, 1971). La escala mencionada define la separación del tipo de sedimento en arcilla, arena muy fina, fina, media, gruesa y muy gruesa, y guijarros. Se obtuvo el tamaño medio de grano, que indica cuál es el diámetro preponderante en una muestra. Se usó la desviación estándar (DE) como una medida del grado de dispersión en el tamaño de la partícula; sedimentos con poca dispersión son considerados como “bien seleccionados”. También se calculó el sesgo, que describe la no asimetría en la curva de distribución. El signo negativo refleja un sesgo hacia los sedimentos de mayor diámetro, lo cual indica una mayor cantidad de sedimentos gruesos. Un sesgo positivo, hacia los finos, indica una mayor cantidad de sedimentos finos. Con un valor del sesgo entre 0.1 y -0.1 , se considera que la distribución es simétrica.

En el lugar también se tomó la posición con un GPS Magellan NAV5000 y se midió la penetrabilidad del sedimento con un penetrómetro. El penetrómetro (varilla de madera calibrada de 70 cm con pesos en uno de sus extremos) se dejaba caer libremente tres veces, desde una misma altura (1.5 m), en el límite de la marea alta de todas las playas a muestrear (Fig. 3C). Se calcularon los promedios para cada playa.

Datos biológicos

La metodología empleada para la colecta de organismos está fundamentada en el hecho de que los organismos bentónicos muestran una zonación perpendicular a la costa relacionada con el nivel de marea (Peterson, 1998). Durante la marea baja, la mayoría de los animales intermareales están en reposo, la mayor actividad se da sólo cuando los cubre el mar. Además, los organismos infaunales se distribuyen en los primeros 15 cm o hasta los 30 cm según el caso, pero la mayoría se encuentran entre los primeros 5-10 cm de la superficie (Holmes y McIntyre, 1971).

Las muestras fueron tomadas a mano con nucleadores de PVC con 15 cm de diámetro y un área de 176.6 cm^2 , enterrados hasta una profundidad de 20 cm (Fig. 3A).



A



B



C

Figura 3. Extracción del núcleo (A), tamizado en campo (B) y medición de la penetrabilidad (C).

Se efectuaron 2 transectos perpendiculares a la línea de costa en cada playa separados entre sí entre 50 y 100 m, abarcando desde la línea de marea alta hasta el límite superior de la zona submareal (Fig. 4). Las unidades de muestreo en cada transecto fueron tomadas en 4 estaciones (niveles) cada una: una en la zona superior del swash (línea de marea) que se denominó estación A ; 2 en la zona húmeda o zona de swash (estaciones B y C); y una en la zona sumergida (cerca del límite con el submareal) llamada estación D (Fig. 4). En cada estación se tomaron 3 núcleos de sedimentos separados a una distancia aproximada de 1 metro (alineados con la línea de costa). De esta manera, en cada playa se tomaron 24 núcleos cubriendo un área total de 4239 cm² por sitio.

Las muestras fueron lavadas en el lugar con agua de mar y un tamiz con malla de 1 mm (Fig. 3B) y fijadas en formol al 10 %. Luego, en el laboratorio, los organismos se separaron del sedimento mediante lavado por arrastre con la ayuda de una bomba sumergible. Los organismos se preservaron en alcohol al 70% para su posterior identificación y fueron identificados hasta el mayor nivel taxonómico posible.

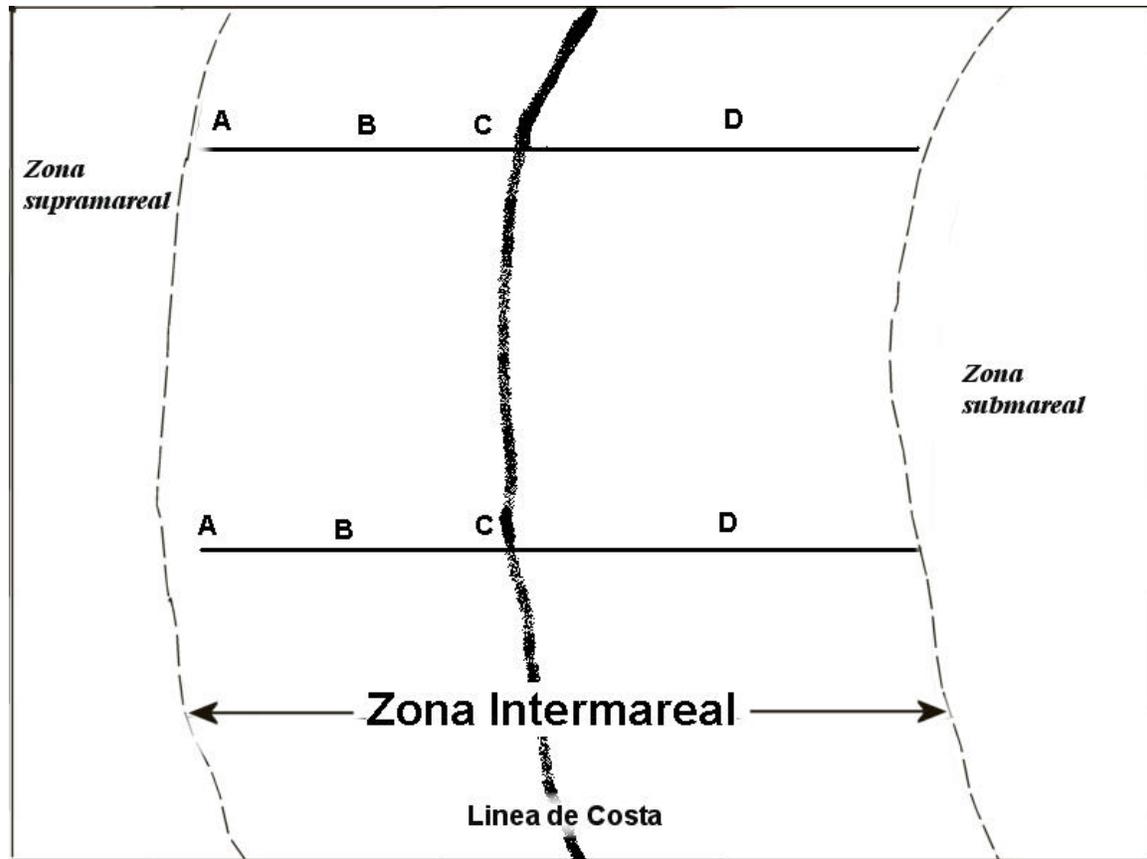


Figura 4. Estaciones de muestreo (A, B, C y D) en cada transecto dentro de la zona intermareal. En cada estación se tomaron 3 núcleos separados a una distancia de un metro entre sí, alineados con la línea de costa.

Así mismo, se estimó la cantidad de cangrejos mediante cuatro transectos de 1 m de ancho, perpendiculares a la línea de costa, considerando todo el ancho de la playa

(desde la línea de agua hasta la base de la primer duna). Se contaron todos los hoyos mayores a 1 cm de diámetro que cayeran dentro de estos transectos.

Por otro lado, se anotaron observaciones de huellas de organismos que puedan aparecer como babisuris, coyotes, tortugas etc.

Análisis de Datos

La lista de especies y la densidad de los especímenes encontrados permitieron describir las comunidades muestreadas. Los índices de diversidad han sido ampliamente usados para integrar la complejidad de una comunidad en una simple medida (Magurran, 1988). Los índices usados fueron los más comunes en la literatura y son:

1) El índice de Shannon-Wiener (H'). Los valores de este índice son dependientes de la riqueza de especies (i.e. el número de especies) y de la equidad (distribución de la abundancia entre las especies).

$$H' = - \sum P_i (\log_2 P_i)$$

Donde P_i es la proporción de la abundancia de la especie i (n_i) en la comunidad (N), es decir: $P_i = n_i/N$.

2) Equitatividad o equidad de Pielou (E). Se refiere a como están distribuidos los organismos entre las especies. Un valor cercano a uno refleja una mejor repartición del número de individuos en cada especie. Es útil para comparar diferentes comunidades con distinta riqueza de especies.

$$E = H' / \log_2 S$$

Donde S es el número de especies y $\log_2 S$ equivale a la diversidad máxima posible (H_{max}).

3) La Redundancia de Patten (R), que contempla además el valor mínimo de diversidad (H_{min}) y es inversa a la equidad.

$$R = H_{\max} - H' / H_{\max} - H_{\min}$$

Para el análisis de variancia que involucra la composición de las comunidades, Clarke (1993) desarrolla una aproximación paralela al modelo basado en la prueba de Mantel llamado ANOSIM (Analysis Of SIMilarities), el cual comprende el análisis de una vía, el de dos vías y el de diseño anidado de ANOVA. La mayor diferencia entre el modelo basado en la prueba de Mantel y el ANOSIM es que el último es no paramétrico. El estadístico de ANOSIM (R), tiene la ventaja de ser un valor absolutamente interpretable que puede ser comparable en diferentes pruebas. Un porcentaje de significación menor o igual al 5 % refleja diferencias significativas. En el presente trabajo se utilizó este análisis con distancia de Bray-Curtis y datos transformados a raíz cuadrada.

Para facilitar la detección de patrones en la estructura comunitaria, se utilizaron técnicas multivariadas de clasificación y ordenación que han mostrado ser muy útiles para estudios o monitoreos de especies benthicas. Estas permiten considerar la identidad de las especies, a diferencia de los índices de diversidad que están limitados a una expresión numérica de la distribución de abundancia de las especies (English *et al.*, 1997). Las matrices de similitud son la base de los métodos multivariados que discriminan un sitio de otro (ANOSIM), los que agrupan sitios entre sí (Clasificación) y los métodos de ordenación (i.e. PCA). La matriz de similitud describe la relación entre todos los pares de muestras a través de índices de similitud (Wu, 1998). La distancia relativa entre dos elementos muestra la disimilaridad entre ellos.

Se realizó un análisis de escalamiento no métrico (non metric multidimensional scaling- NMDS) que es un análisis de ordenación no paramétrico, de amplia aceptación en estudios ambientales, que permite discriminar entre sitios de acuerdo a la composición cuantitativa de especies en las comunidades (Clarke, 1993; Wu, 1998). La función de similitud de las distancias es una función métrica que pone a las muestras en un espacio Euclideo. Encuentra las disimilitudes y las distancias entre las muestras en un espacio ordenado y prueba la bondad del ajuste a través de un análisis de regresión hasta que encuentra la mejor configuración. Se aplicó el Análisis de Coordenadas

Principales (PCoA) al total de las observaciones para observar las afinidades y diferencias entre sitios y con qué gradiente ambiental se relacionan estas diferencias. Por su parte, el análisis de componentes principales (PCA) se aplicó con los datos del tamaño de grano promedio, el tipo de sedimento en escala Wentworth, la penetrabilidad y el nivel de uso de cada playa. Se ha recomendado que los métodos de ordenación sean utilizados en conjunto con análisis de agrupamiento para presentar un panorama más completo de los resultados (Clarke & Warwick, 1994). Los conglomerados resultantes agrupan las muestras de mayor similitud, y tienen la ventaja de ser fácilmente interpretables. Los análisis se realizaron a partir de los datos transformados a raíz cuarta y utilizando el coeficiente de Bray-Curtis y unión media no ponderada. Para estos análisis se eliminaron las especies que aparecían en una sola localidad o las que presentaban abundancias menores al 0.01 % promedio global, de acuerdo con las recomendaciones de Clarke y Warwick (1994).

Para el análisis de varianza se estimó separadamente la abundancia de los diferentes grupos taxonómicos para cada núcleo y luego se calculó la abundancia media por réplicas en cada sitio. Esta abundancia media por lo tanto contiene los datos de un núcleo de cada estación por transecto. Para el análisis de escalamiento no métrico se calcularon los totales por transecto, y para el resto de los análisis e índices se utilizaron los datos totales por playa. Se calcularon los descriptores totales por playa en cada temporada (un dato por playa en cada época del año) y por playa en las dos temporadas (un dato por playa). Las abundancias de organismos también están expresadas en totales y por lo tanto se refieren a un área total cubierta de 4 239 cm² por sitio en cada época del año.

Para los análisis que requerían asignar un valor a los niveles de uso, se estableció una escala de valores discretos del 1 al 6, donde las playas con mayor uso ocuparon los menores valores y viceversa. Siguiendo con este razonamiento, se asignó un menor puntaje a las playas de la península respecto a las de la isla que tenían el mismo valor de uso (i.e. alto, medio o bajo). De esta manera, Tecolote tiene el valor 1, Candelero el valor 2, Caimancito valor 3, Mezteño valor 4, San Lorenzo valor 5 y San Gabriel valor 6. En los casos donde se estudiaba la temporada de invierno y verano por separado, en el invierno, la playa el Caimancito ocupó el lugar de Mezteño en el ranking debido a

que en la primera el uso que se le da a la playa es casi nulo en esa temporada mientras que los campamentos durante el invierno en Mezteño son comunes.

El análisis de los datos fue realizado con el programa ANACOM (De La Cruz-Agüero, 1994) y el paquete PRIMER (Clarke y Warwick, 1994).

RESULTADOS

Factores físicos

En general, la distribución de frecuencias de los sedimentos mostró una moda entre 1 y 2 phi, correspondiendo a la categoría de arena media (Figs. 4 y 5). Las playas que se salieron de esta generalidad son: el Tecolote en verano (moda en 6 phi) y San Gabriel en las dos temporadas, que tienen su moda entre 3 y 6 phi. A su vez, San Lorenzo en el verano presentó una moda hacia los sedimentos más gruesos (Figs. 4 y 5).

En cuanto al tamaño de grano promedio, la mayoría de las playas tiendieron a las arenas medias y finas, a excepción de San Lorenzo que presentó arena más gruesa. En el invierno, Tecolote y San Gabriel tuvieron arena fina, Caimancito, Candelero y Mezteño arena media, y San Lorenzo es el único que tuvo arena gruesa. En el verano, este esquema se mantuvo excepto para San Gabriel que pasa a tener arena media, y Candelero que presentó arena fina. Tres de las playas presentaron mayor tamaño de grano en invierno (Tecolote, Caimancito y Candelero) mientras que San Gabriel, San Lorenzo y Mezteño mostraron presentar un menor tamaño de grano promedio en invierno (Tabla 1). San Lorenzo presentó las arenas más gruesas tanto en invierno como en verano mientras que las más finas las tuvieron San Gabriel en invierno y Tecolote en el verano (Fig. 7).

La mayor desviación estándar la presentaron las playas de San Lorenzo y Caimancito. El mayor valor de desviación estándar (1.61) lo mostraron los sedimentos de San Lorenzo en el invierno (Figs. 4 y 5, Tabla 1). El menor valor de desviación estándar (0.39) (mejor selección) lo presentó Tecolote en el verano (Figs. 4 y 5, Tabla 1). En el muestreo de invierno, San Gabriel presentó una buena selección de sedimento (baja DE) y un sesgo hacia los gruesos (debido a restos de concha). En el verano esta playa presentó mayor desviación estándar y un sesgo hacia los sedimentos finos (Figs 4 y 5, Tabla 1).

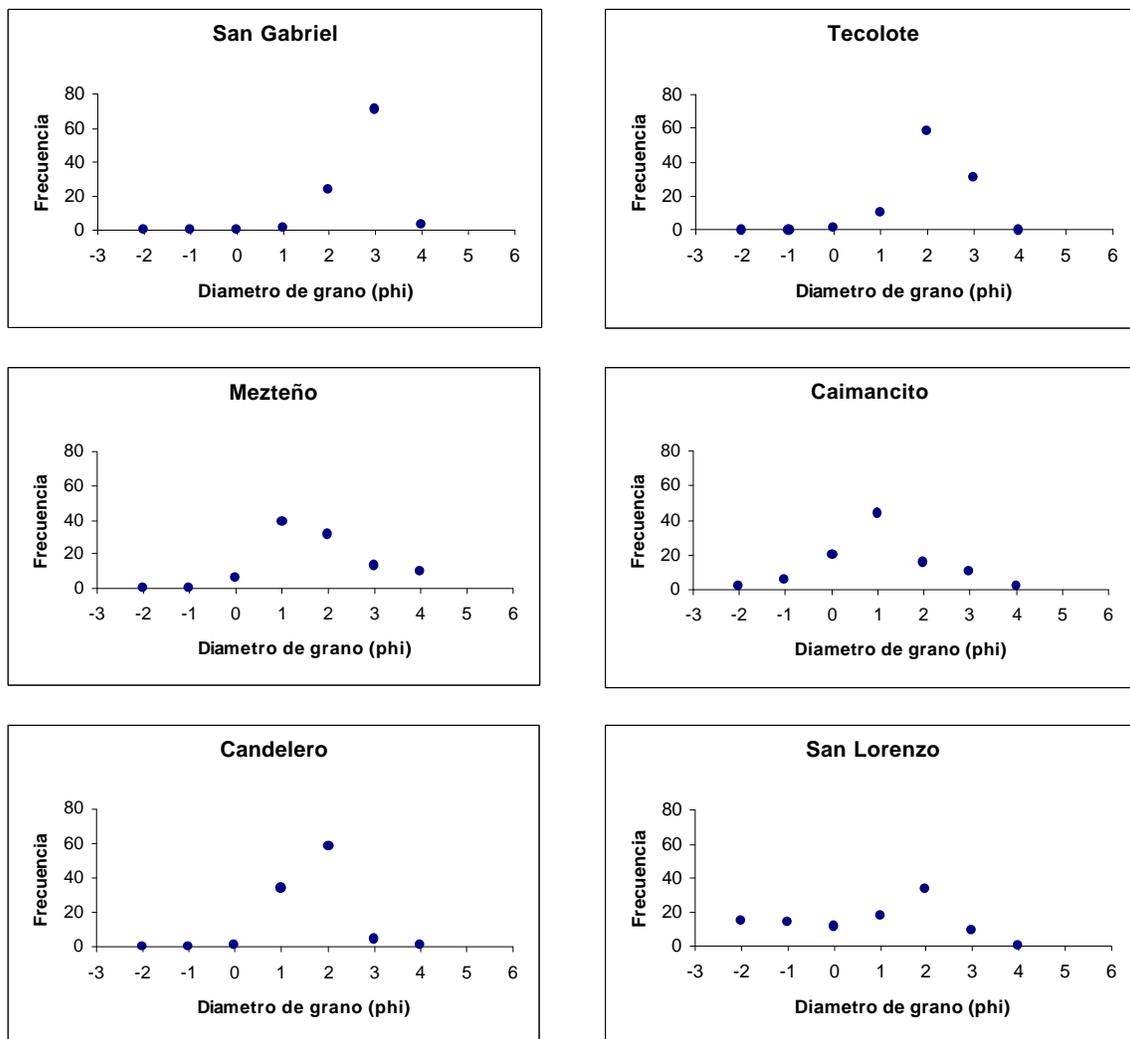


Figura 5. Distribución de las frecuencias de tamaño de grano en cada playa para la temporada de invierno.

En las figuras 5 y 6 puede observarse que en general, la curva de distribución de frecuencias en la temporada de verano tendió a desplazarse ligeramente hacia la derecha, es decir, hacia los sedimentos finos.

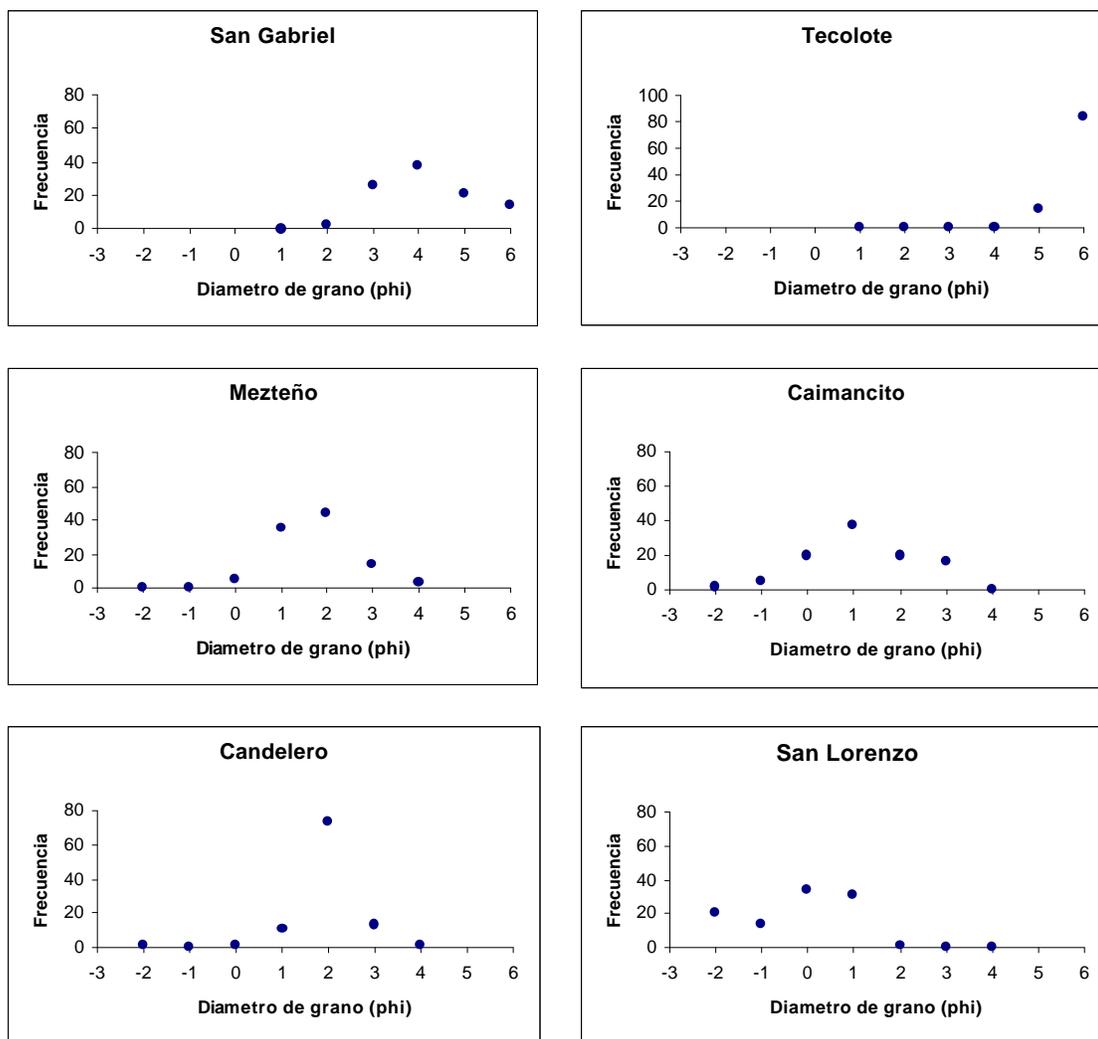


Figura 6. Distribución de las frecuencias de tamaño de grano en cada playa para la temporada de verano.

La mayor pendiente se registró en Candelero (0.1433) durante el invierno y la menor en San Gabriel (0.0095) en la misma temporada (Tabla 1). Las pendientes en el verano se hacen menos pronunciadas (excepto en San Gabriel y Tecolote), mostrando un panorama general de playas más disipativas en la temporada estival (Tabla 1). Si bien la tendencia es a que disminuya la pendiente con el tamaño de grano, la relación se ajusta pobremente a una recta para las estaciones muestreadas (Fig. 8A). La relación entre penetrabilidad y tamaño de grano parece ser más fuerte (Fig. 8B).

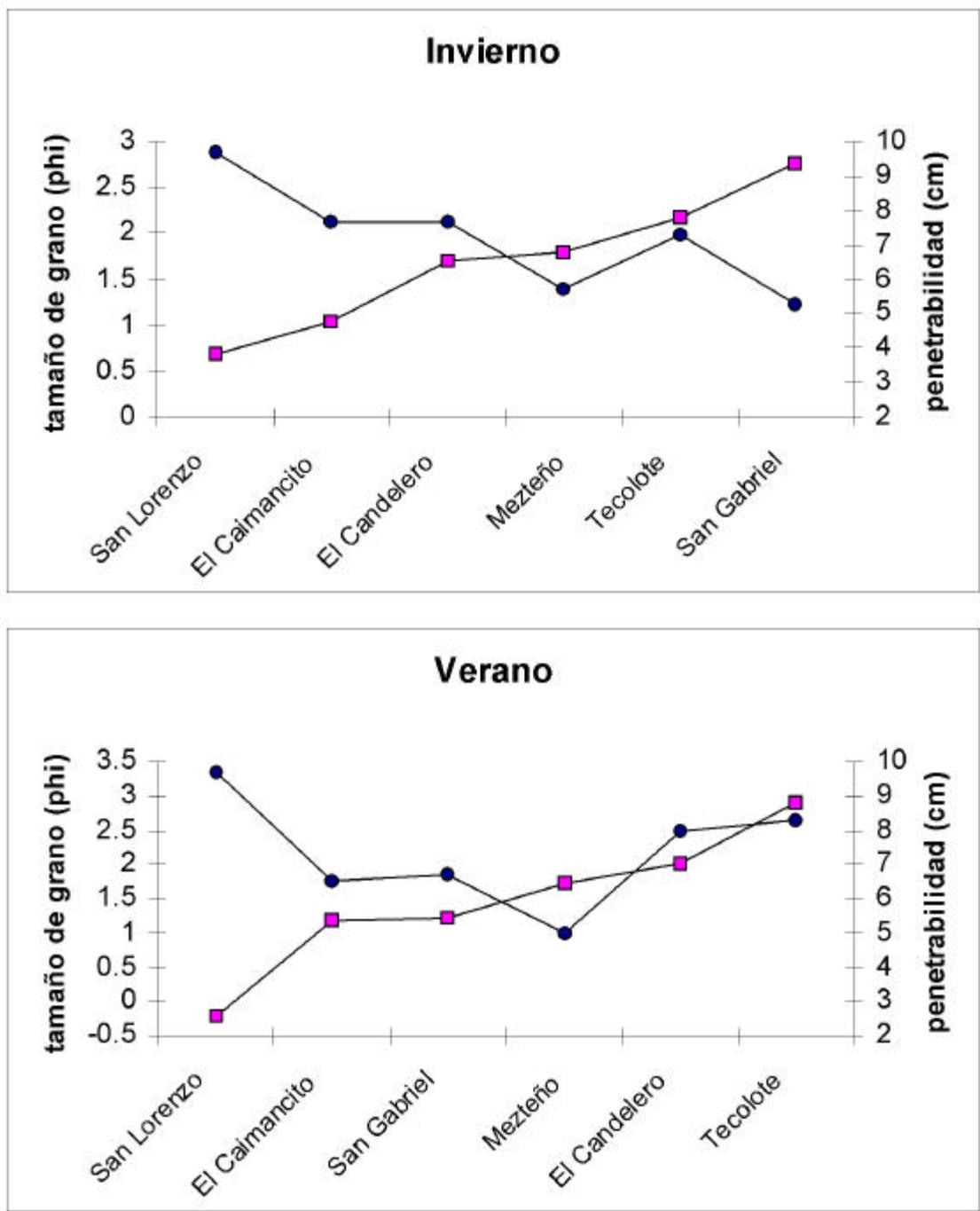


Figura 7. Diámetro medio de arena (cuadrados) y penetrabilidad (círculos) en la cara de la playa para invierno y verano. Las localidades están ordenadas de a cuerdo al tamaño de grano del sedimento (de mayor a menor diámetro).

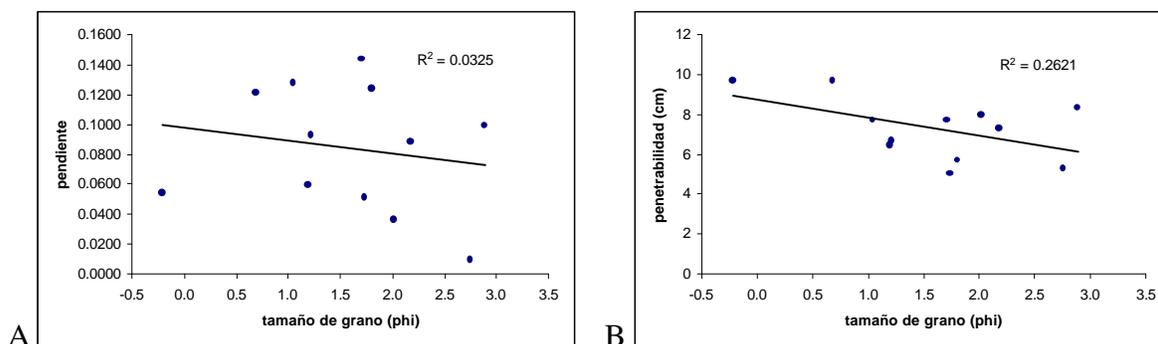


Figura 8. Relación entre la penetrabilidad y la pendiente con el tamaño medio de grano en la zona intermareal de las playas estudiadas.

Tabla 1. Grano medio de las localidades expresado en unidades phi, con la desviación estándar y el sesgo de la distribución del grano, penetrabilidad del sedimento (cm) y pendiente de la cara de la playa por muestreo.

	Grano medio		Desviación estándar		Sesgo		Penetrabilidad		Pendiente	
	invierno	verano	invierno	verano	invierno	verano	invierno	verano	invierno	verano
San Lorenzo	0.7	-0.2	1.61	1.12	-3.9E-05	-4.2E-05	9.7	9.7	0.1213	0.045
El Caimancito	1.0	1.2	1.16	1.16	0.5E-05	-1.42E-05	7.7	6.5	0.1277	0.0593
El Candelero	1.7	2.0	0.63	0.66	3.1E-05	-12.6E-05	7.7	8.0	0.1433	0.0367
El Mezteño	1.8	1.7	1.08	0.87	4.5E-05	1.2E-05	5.7	5.0	0.1245	0.0510
San Gabriel	2.8	1.2	0.57	1.05	-16E-05	3.2E-05	5.3	6.7	0.0095	0.0928
Tecolote	2.2	2.9	0.67	0.39	-6.7E-05	-11.9E-05	7.3	8.3	0.0883	0.0992

Tabla 2. Grano medio del sedimento en promedio para los dos muestreos en unidades phi y tipo de sedimento en la escala Wentworth para las playas estudiadas en las dos temporadas.

	Media (phi)	Grano medio invierno	Grano medio verano
San Lorenzo	0.25	Arena gruesa	Arena muy gruesa
El Caimancito	1.10	Arena media	Arena media
El Candelero	1.58	Arena media	Arena fina
El Mezteño	1.75	Arena media	Arena media
San Gabriel	2.00	Arena fina	Arena media
Tecolote	2.55	Arena fina	Arena fina

San Gabriel y San Lorenzo presentaron las mayores variaciones en el tamaño de grano entre las temporadas de invierno y verano (1.6 y 0.9 phi respectivamente, ver Tabla 3 y Fig. 9) y ambas tuvieron diámetro de arenas más grueso en verano (Tabla 1). Tecolote, Caimancito y Candelero tuvieron arena más gruesa en invierno (Tablas 1 y 3, Fig. 9B). Las mayores variaciones en penetrabilidad también se registraron en San Gabriel (1.4 cm) y luego en Caimancito (1.2 cm); en la primera se registró mayor penetrabilidad en verano mientras que en la segunda la penetrabilidad fue mayor en el invierno. San Lorenzo no cambia su penetrabilidad de invierno a verano. Solo Caimancito y Mezteño presentaron mayor penetrabilidad en invierno que en verano, mientras que San Gabriel, Tecolote y Candelero tuvieron mayor penetrabilidad en verano (Tablas 1 y 3, Fig. 9A).

Tabla 3. Diferencia del tamaño de grano y de la penetrabilidad, entre invierno y verano (unidades phi y cm respectivamente).

Invierno - verano	Grano medio	Penetrabilidad
Tecolote	-0.7	-1.0
San Gabriel	1.6	-1.4
San Lorenzo	0.9	0.0
El Caimancito	-0.2	1.2
El Candelero	-0.3	-0.3
El Mezteño	0.1	0.7

En ambas temporadas, Tecolote presentó arena fina mientras que San Lorenzo presentó en ambas temporadas el mayor tamaño de grano, correspondiendo a la categoría de arenas gruesas y muy gruesas (Tabla 2 y Fig. 9). Sin embargo la playa del Candelero presentó un cambio, de arena media en invierno a fina en verano, a pesar de que su cambio en unidades phi fue de tan solo 0.3 (Tabla 2 y 3, Fig. 9).

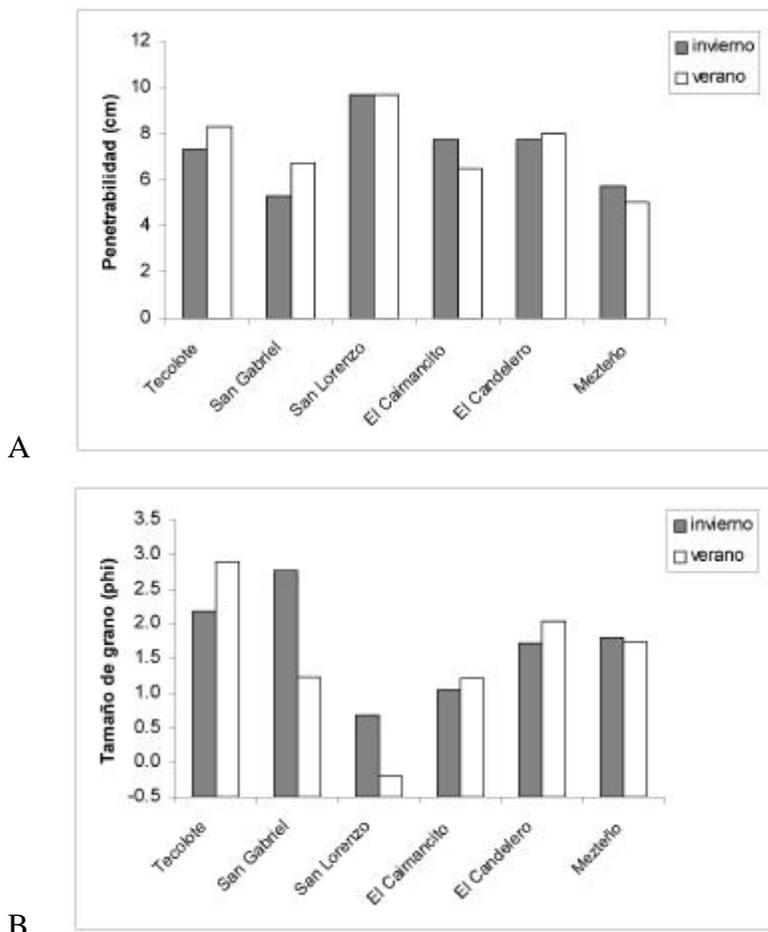


Figura 9. Penetrabilidad en centímetros (A) y tamaño de grano en unidades phi (B) de las localidades, para las estaciones de invierno y verano.

Organismos

Se encontraron 29 573 organismos pertenecientes a 85 OTU (Operational Taxonomic Units, Rohlf, 1993) diferentes en total para las seis playas estudiadas durante las dos épocas del año. Los poliquetos fueron la clase dominante (22 872 individuos), aunque los isópodos y anfípodos también se encontraron bien representados con 2 342 y 1 519 individuos, respectivamente. Los poliquetos y anfípodos tuvieron el mayor número de taxa (Tabla 4). Los 85 taxa u OTU, pertenecieron a 11 phyla diferentes. Los phyla encontrados para las seis playas estudiadas fueron: Annelida,

Arthropoda, Cnidaria, Echiuroidea, Chordata, Mollusca, Nematelminthes, Nemertea, Platyhelminthes, Protozoa y Sipunculoidea.

Tabla 4. Lista de taxa al más bajo nivel taxonómico, por playa. * No identificados aun o no ciertos de pertenecer al taxa dado.

OTU	Phylum	Caimancito	Candelerero	Mezteño	San Gabriel	San Lorenzo	Tecolote	Suma
Amphinomidae	Annelida		1		1			2
Anémona	Cnidaria				21			21
Anfípodo	Arthropoda			1				1
Anfípodo 1	Arthropoda	1	22	7	121	1		152
Anfípodo 10	Arthropoda	5	5					10
Anfípodo 10'	Arthropoda					1		1
Anfípodo 12	Arthropoda		4	3		1		7
Anfípodo 13	Arthropoda		14	26	1			41
Anfípodo 14	Arthropoda		1	4	1			6
Anfípodo 14'	Arthropoda		22	5				27
Anfípodo 15	Arthropoda		1	2		1		4
Anfípodo 16	Arthropoda		22	3				25
Anfípodo 17	Arthropoda		6					6
Anfípodo 18	Arthropoda				83			83
Anfípodo 18'	Arthropoda				3			3
Anfípodo 19	Arthropoda				57			57
Anfípodo 2	Arthropoda				2			2
Anfípodo 20	Arthropoda				2			2
Anfípodo 4	Arthropoda	1	9	4	116			130
Anfípodo 5	Arthropoda	3	39	21	244	170		477
Anfípodo 6	Arthropoda		21	77	328			426
Anfípodo 9	Arthropoda	28	4	10	6			48
Anfípodo 9'	Arthropoda	3	2	1				6
Anthuridae	Arthropoda		3	7	67			77
Arabellidae	Annelida	2	18	8	4		1	33
Arenicollidae	Annelida			3			1	4
Bivalvo	Mollusca	6	419	108	189		7	729
Branchiopoda	Arthropoda			29				29
Callianasa	Arthropoda	5	39	126	1		3	174
Capitellidae	Annelida	1	2	91	22		15	131
Caprellidae	Arthropoda	2	1		1			4
Caridea	Arthropoda				9			9
Cirolana	Arthropoda	10	134	388	5	19	193	749
Cirratulidae	Annelida		1		337			338
Anfioxo	Chordata		1					1
Crustáceo 1	Arthropoda	1						1

Tabla 4. Continuación

OTU	Phylum	Caimancito	Candelero	Mezteño	San Gabriel	San Lorenzo	Tecolote	Suma
Crustáceo 2	Arthropoda			1				1
Crysopteridae	Annelida	1						1
Ctenodrilidae	Annelida		1					1
Cumacea	Arthropoda		43		3			46
Decápoda	Arthropoda				1			1
Dorvellidae	Annelida		49	114	5			168
Echiuroidea	Echiuroidea		1				4	5
Eunicidae	Annelida			59	32			91
Eurilana	Arthropoda	14	35	153	3	38	55	298
Excírolana	Arthropoda	9	72	112	562	296		1051
Gamaroidea	Arthropoda		1					1
Gimnosphaeroma	Arthropoda	7	53	4	81	20	2	167
Glyceridae	Annelida	33	25	1		37	13	109
Grapsidae	Arthropoda		1					1
Harpacticoidea	Arthropoda	2	9	1				12
Hippidae	Arthropoda	1	1	4		2	5	13
Lacydiniidae *	Annelida				11			11
Lumbrineridae	Annelida	301	5992	1171	3474	173	5	11116
Maldanidae	Annelida		2	116	117			235
Mysidacea	Arthropoda				5			5
Nemathelminthes	Nemathelminthes	58	586	139	114	30	5	932
Nemertea 1	Nemertea	24	215	21	5	35		300
Nemertea 2	Nemertea	37	153	6	9	2		207
Nemertea *	Nemertea						1	1
Nephtyidae	Annelida		1	1	8			10
Nereidae	Annelida	3	2	8	40			53
Opheliidae	Annelida	14	37	26	165	17	6	265
Opheliidae *	Annelida				13			13
Orbiniidae	Annelida			13	106			119
Ostracoda	Artropodo			64	1			65
Oweniidae	Annelida			69	12			81
Paleomonidae	Arthropoda				20			20
Peracárido	Artropodo		12					12
Pez	Chordata				1			1
Pisionidae	Annelida	454	27	49	11	95	16	652
Poliqueto 1	Annelida	1	3	16	12			32
Poliqueto 2	Annelida				3			3
Poliqueto 3	Annelida		2		2			4
Portunidae	Annelida		1					1
Protodrilidae	Annelida	627	5152	668	6	54	3	6510
Protozoa	Protozoa	2						2
Sabellidae	Annelida				1			1
Sipunculoidea	Sipunculoidea		1	110			1	112

Tabla 4. Continuación

OTU	Phylum	Caimancito	Candelero	Mezteño	San Gabriel	San Lorenzo	Tecolote	Suma
Spionidae	Annelida	4	13	21	334		2	374
Syllidae	Annelida	1057	602	740	48	45	5	2497

Syllidae *	Annelida		1			1
Turbellaria	Platyhelminthes	18	90	24	10	142
Tylidae	Annelida				1	1
Veneridae	Annelida				12	12

Los anfípodos fueron más abundantes en el invierno (casi 3 veces más) mientras que los isópodos lo fueron en el verano (más de 4 veces más). Los nemátodos aumentaron ligeramente en el verano mientras que los poliquetos lo hicieron en el invierno (Tabla 5).

Tabla 5. Abundancia de los grupos principales de organismos durante invierno y verano.

OTU	Verano	invierno
Anfípodos	400	1102
Isópodos	1883	367
Nemátodos	581	331
Poliquetos	10124	12628

Tabla 6. Riqueza (S), abundancia, diversidad (H', Índice de Shannon-Wiener), equidad de Pielou (E) y redundancia (R) total para las playas en las dos estaciones.

	S	Abundancia	H'	E	R
Caimancito	33	2735	2.57	0.51	0.51
Candelero	55	13974	2.28	0.39	0.62
Mezteño	48	4635	3.77	0.68	0.33
San Gabriel	56	6839	3.09	0.53	0.48
San Lorenzo	20	1047	3.20	0.74	0.27
Tecolote	20	343	2.43	0.56	0.50
TOTAL	85	29573	3.36	0.52	0.48

Los mayores valores de riqueza específica y abundancia se encontraron en la isla Espíritu Santo (Tablas 6 y 9). En esta se encontraron de 48 a 56 OTU diferentes y se contaron entre 4635 y 13974 organismos. La playa de San Gabriel es la que obtuvo el mayor número de especies (56) mientras que el menor valor lo presentaron las playas

del Tecolote y San Lorenzo. Para el lado peninsular los valores son de 20 y 33 OTU y el número de organismos osciló entre 343 y 2735 (Tabla 6).

En cuanto al índice de diversidad de Shannon- Wiener, la diversidad total fue de 3.4 bits/individuo (Tabla 6). La máxima se registró en el Mezteño, mientras que la mínima en el Candelero. Los mayores valores (entre 3.8 y 3.1 bits/indiv) estuvieron en las playas de menor uso (San Lorenzo, San Gabriel y Mezteño). Las tres playas de menor uso también tuvieron los menores valores del índice de redundancia (entre 0.27 y 0.48). Por otro lado, las playas más usadas (Tecolote, Caimancito y Candelero) tienen los menores valores de diversidad (entre 2.3 y 2.6 bits/indiv) y los mayores valores de redundancia (entre 0.50 y 0.62) (Tabla 6, Fig. 14). Este esquema se repite para los valores de equidad, salvo para Tecolote que muestra una mayor equidad que San Gabriel. El mayor valor de abundancia correspondió a Candelero debido a la gran cantidad de poliquetos (Protodrillidae y Lumbrineridae) encontrados en uno de los transectos en la estación de invierno que hacen cuenta por más de 5000 individuos cada uno en esa oportunidad. Esto también reduce considerablemente los valores de diversidad y equidad para el Candelero (Tabla 6), y para la isla en general (Tabla 9). En el caso de la abundancia, también puede observarse que los valores son mayores en la isla que en la península y que Tecolote tiene el menor valor de este factor, siendo éste de uno o dos órdenes de magnitud menor que el resto de las playas (Tabla 6, Figs. 12 y 13).

El análisis ANOSIM de una vía mostró diferencias significativas entre sitios, con un R global de 0.64. A su vez, el Tecolote fue significativamente diferente a las otras cinco playas, mientras que el Caimancito fue diferente de Candelero y San Gabriel (Tabla 7).

Tabla 7. Resultados del ANOSIM de una vía para diferencias entre pares de localidades, basado en similitud de Bray-Curtis y abundancias de la macrofauna transformadas mediante raíz cuadrada. Las diferencias significativas entre pares de localidades están marcadas con asterisco.

	Candelero	Mezteño	San Gabriel	San Lorenzo	Tecolote
Caimancito	2.9 *	8.6	2.9 *	5.7	2.9 *
Candelero		17.1	10.0	10.0	2.9 *
Mezteño			5.7	5.7	2.9 *
San Gabriel				5.7	2.9 *
San Lorenzo					2.9 *

En la Tabla 8 y Figura 9, se puede observar que los poliquetos suelen dominar en las comunidades estudiadas, con excepción de San Lorenzo y Tecolote, donde los isópodos fueron el grupo dominante. En la isla domina la familia Lumbrineridae mientras que en Caimancito lo hace Syllidae. La Tabla 8 permite visualizar que San Gabriel, el Mezteño y San Lorenzo fueron las playas que tuvieron mayor número de OTU que representan el 80 % de la abundancia. Las playas de mayor uso (Candelero, Tecolote y Caimancito) tuvieron menor número de OTU para el mismo porcentaje de dominancia acumulado. El mayor número de taxa para el porcentaje acumulado mencionado lo presenta la playa el Mezteño (playa de uso intermedio en la isla), mientras que el menor número lo presenta Candelero (la playa de mayor uso en la isla). El Tecolote presenta el mayor valor de dominancia simple (56 %) debido a la alta preponderancia de isópodos cirrolánidos en esta localidad (Tabla 8).

Tabla 8. Dominancia acumulada en porcentajes para las playas estudiadas. Se representa el porcentaje acumulado alrededor de 80 % en cada localidad.

Caimancito	%	Candelerero	%	Mezteño	%	San Gabriel	%	San Lorenzo	%	Tecolote	%
Syllidae	39	Lumbrineridae	43	Lumbrineridae	25	Lumbrineridae	51	Excirolana	28	Cirolana	56
Protodrillidae	62	Protodrillidae	79	Syllidae	41	Excirolana	59	Lumbrineridae	45	Eurilana	72
Pisionidae	68	Syllidae	84	Protodrillidae	56	Cirratulidae	64	Anfípodo 5	61	Pisionidae	77
Lumbrineridae	89			Cirolana	64	Spionidae	68	Pisionidae	70	Capitellidae	81
				Eurilana	67	Anfípodo 6	73	Protodrillidae	75		
				Nematodo	70	Anfípodo 5	77	Syllidae	80		
				Callianasa	73	Bivalvo	80				
				Maldanide	75						
				Dorvellide	78						
				Excirolana	80						

Los anfípodos fueron un componente importante en la comunidad de las playas estudiadas, con excepción de Tecolote donde no se registró ninguno (Tabla 4, Fig. 10).

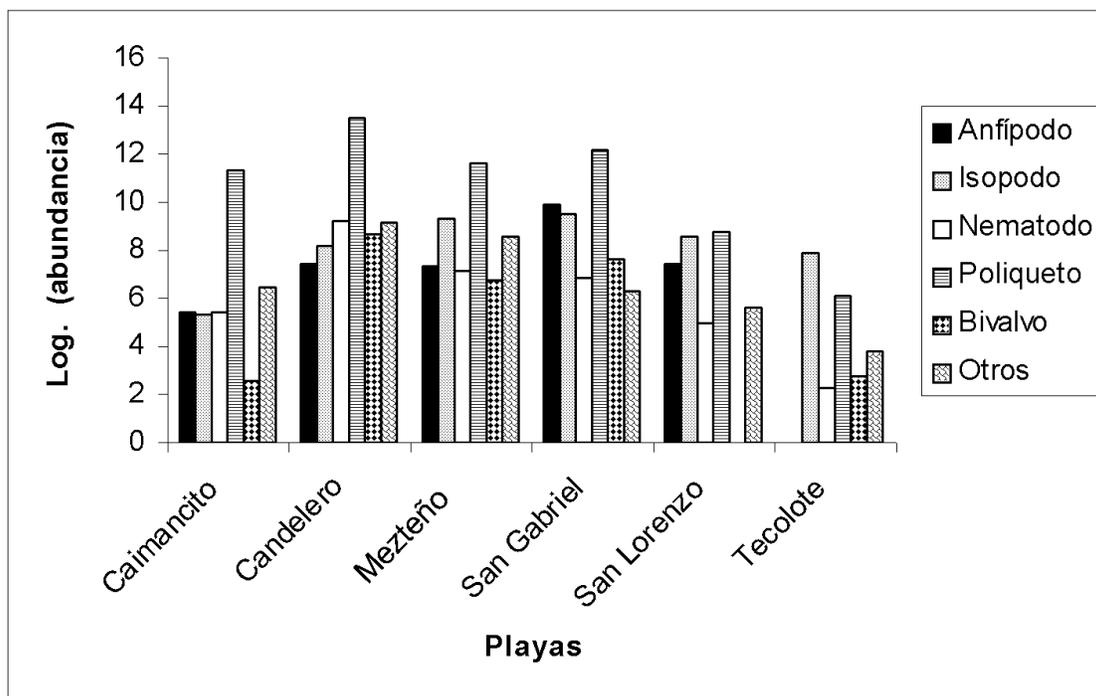


Figura 10. Abundancia de los principales taxa por playa en ambas temporadas.

Tabla 9. Riqueza, Diversidad (Índice de Shannon-Wiener), equidad de Pielou, redundancia y abundancia total (invierno y verano) de la península y la isla.

	S	H'	E	R	Abundancia
Península	40	3.324	0.625	0.385	4125
Isla	81	3.196	0.503	0.501	25448

Ordenando los valores de diversidad, riqueza y abundancia por playa y de mayor a menor, se encontró el mismo orden, tanto para la riqueza como para la abundancia de organismos (Tabla 10). En cuanto a la diversidad, los tres valores más altos se presentaron en las dos playas de bajo uso y la de mediano uso en la isla. Los menores valores de H' los tienen las playas de alto uso y la de mediano uso en la península. En cuanto a abundancia y riqueza, los 3 mayores valores están en la isla, mientras que los 3 menores están en la península. El mayor valor de abundancia se obtuvo en la playa de alto uso de la isla (Candelerero) y el menor valor en la playa de alto uso de la península (Tecolote).

Tabla 10. Las playas, según su uso y ubicación geográfica, ordenadas de mayor a menor valor de diversidad, riqueza y abundancia.

Ranking (de mayor a menor)	Diversidad	Riqueza y Abundancia
1	mediano uso – isla	alto uso – isla
2	Poco uso – península	poco uso – isla
3	Poco uso – isla	mediano uso – isla
4	mediano uso - península	mediano uso - península
5	alto uso – península	poco uso – península
6	alto uso – isla	alto uso - península

La riqueza fue mayor en invierno para todas las localidades, excepto para Tecolote (Tablas 11, 12 y 13). La diversidad siempre fue mayor en invierno. La mayor variación en diversidad se dio en San Gabriel (2.4), luego en Tecolote (0.9) y Mezteño (0.8) (Tabla 13). La abundancia solió ser mayor en verano, con excepción de dos playas de la isla (Candelero y Mezteño) que mostraron un valor de abundancia de organismos menores en el verano.

Tabla 11. Riqueza específica (S), Abundancia (Ab), Diversidad de Shannon- Wiener (H'), Equidad de Pielou (E) y Redundancia (R), por playa en invierno.

	S	Ab	H'	E	R
Caimancito	28	1041	2.28	0.474	0.561
Candelero	49	8500	1.98	0.351	0.659
Mezteño	46	3153	3.72	0.673	0.338
San Gabriel	50	2657	4.00	0.708	0.305
San Lorenzo	18	236	3.25	0.778	0.264
Tecolote	13	87	2.74	0.739	0.368
Total	82	15674	3.43	0.54	0.466

Tabla 12. Riqueza específica (S), Abundancia, Diversidad de Shannon- Wiener (H'), Equidad de Pielou (E) y Redundancia (R) por playa en verano.

	S	Ab	H'	E	R
Caimancito	18	1694	1.850	0.444	0.573
Candelero	25	5474	1.960	0.422	0.586
Mezteño	22	1482	2.910	0.652	0.361
San Gabriel	21	4182	1.593	0.363	0.647
San Lorenzo	13	811	2.826	0.764	0.247
Tecolote	17	256	1.855	0.454	0.638
Total	37	13899	2.564	0.492	0.512

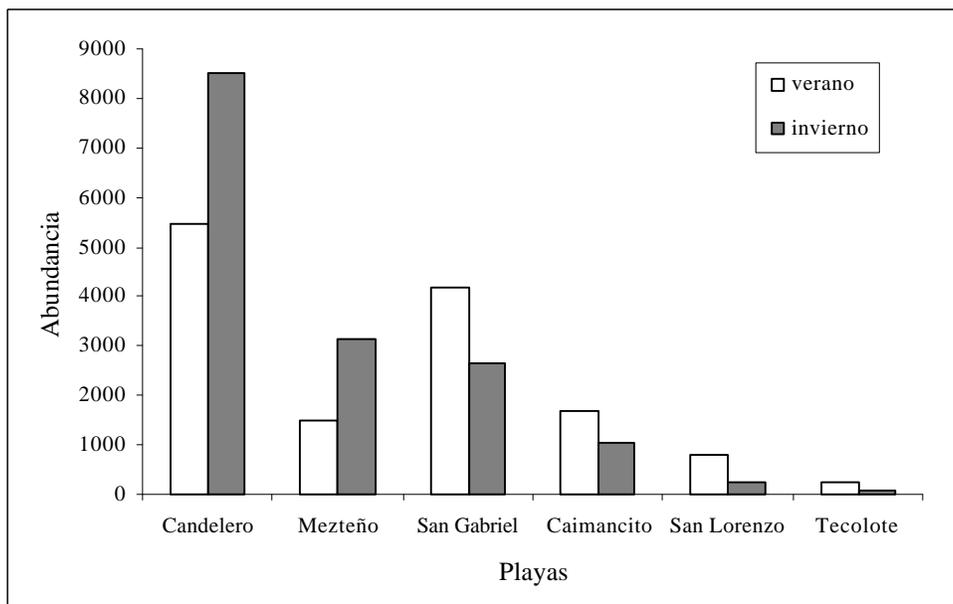


Figura 11. Abundancia por playa en invierno y verano.

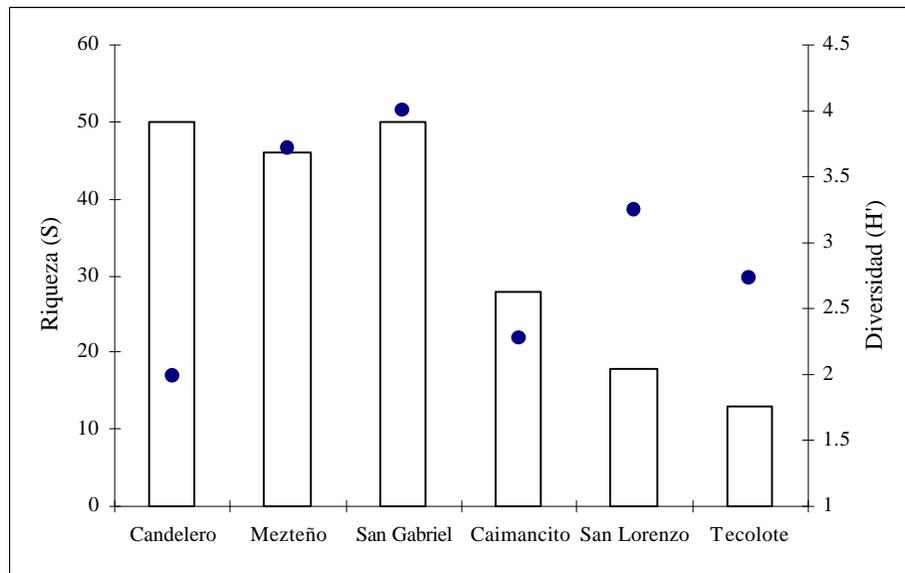


Figura 12. Riqueza específica (en barras) y diversidad (en puntos) por playa para la temporada de invierno.

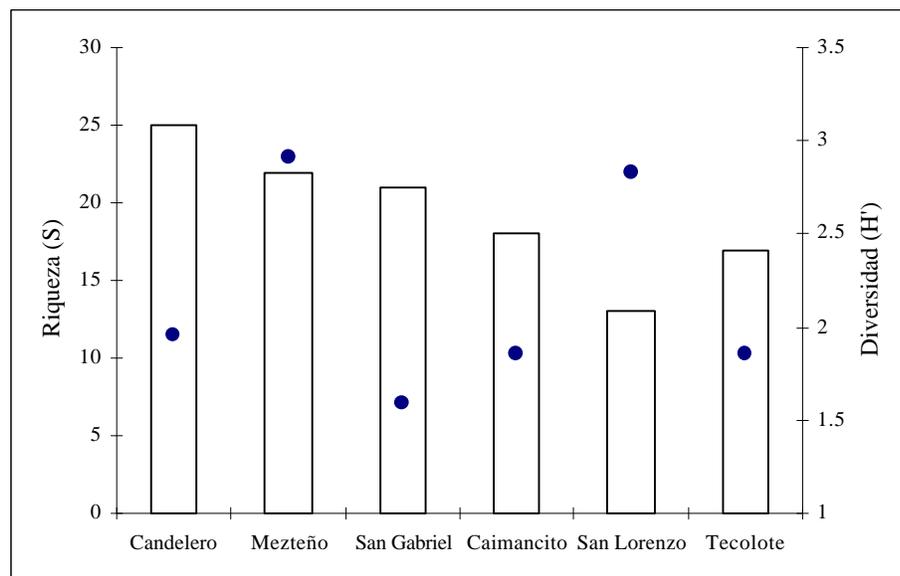


Figura 13. Riqueza específica (barras) y diversidad (puntos) por playa para la temporada de verano.

Candelero tuvo baja diversidad pero alta riqueza específica relativa a las demás localidades, mientras que Tecolote tuvo baja diversidad y baja riqueza (Figura 13). En Mezteño hubo una alta diversidad y riqueza con respecto a las demás playas, mientras que en San Lorenzo existe, comparativamente, una alta diversidad pero menor riqueza (Figura 12 y 13).

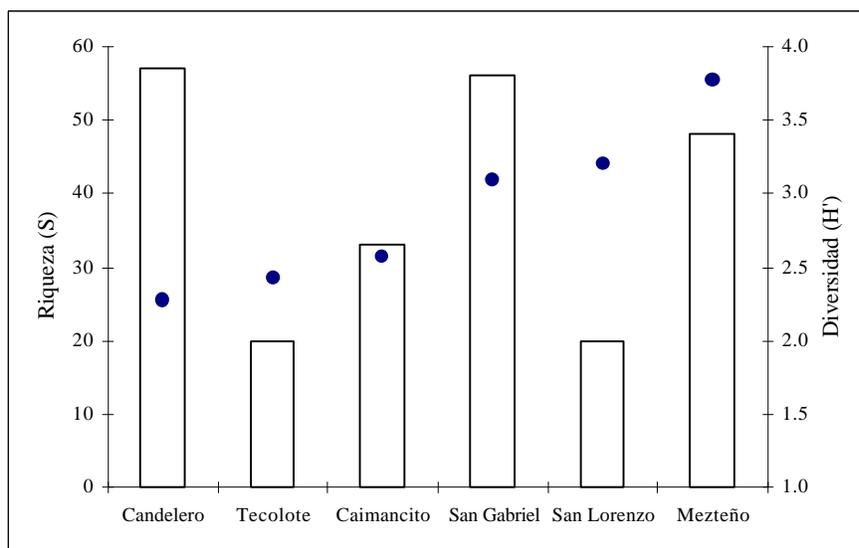


Figura 14. Riqueza específica (puntos) y diversidad por playa (barras), para invierno y verano juntos. Las localidades están ordenadas de acuerdo a su riqueza específica, de menor a mayor.

Tabla 13. Diferencia entre invierno y verano en la riqueza específica (S), diversidad de Shannon- Wiener (H'), equidad de Pielou (E), redundancia (R), y abundancia (Ab).

invierno – verano	S	H'	E	R	Ab
Caimancito	10	0.427	0.03	-0.012	-653
Candelero	24	0.02	-0.071	0.073	3026
Mezteño	24	0.808	0.021	-0.023	1671
San Gabriel	29	2.403	0.345	-0.342	-1525
San Lorenzo	5	0.419	0.014	0.017	-575
Tecolote	-4	0.88	0.285	-0.27	-169
Total	45	0.869	0.048	-0.046	1775

El número de cangrejos no mostró una aparente relación con el nivel de uso de las playas, ni con la penetrabilidad. La mayor correlación (aunque no significativa) se encontró con el diámetro medio de grano (Tabla 14 y Fig. 15). Las únicas huellas que se pudieron observar fueron las de un coyote en la playa San Lorenzo en el invierno (Tabla 14).

Tabla 14. Las playas con sus niveles de uso y los hoyos de cangrejo promedio por transecto en invierno y verano, y las observaciones (de la estación de invierno).

	Nivel de uso	Cangrejos invierno	Cangrejos verano	Observaciones
Tecolote	Alto	1	1	
Caimancito	Medio	0	2	
San Lorenzo	Bajo	4	6	Huellas de coyote
Candelero	Alto	4	3	
Mezteño	Medio	3	5	
San Gabriel	Bajo	1	4	

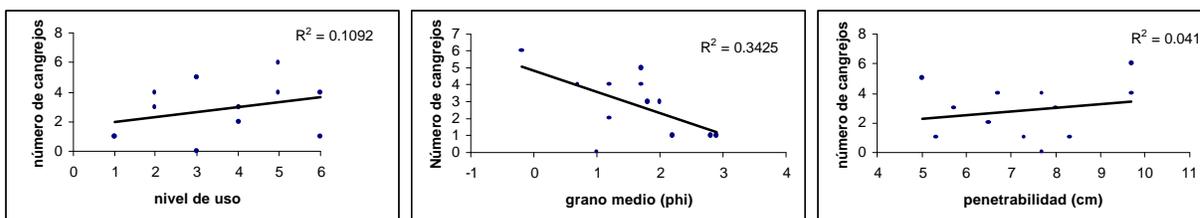


Figura 15. Relación entre el número promedio de cangrejos por playa y su nivel de uso, grano medio y penetrabilidad de la zona intermareal.

En el análisis de agrupamiento de los datos de verano, la playa del Tecolote forma un grupo, las playas de la isla forman otro grupo y las restantes de la península otro. Las mayores similitudes se dieron entre Candelero y Mezteño (0.215 del coeficiente de Bray Curtis). Estas dos playas se unen con la restante de la isla, San Gabriel, en un valor de 0.309. Caimancito y San Lorenzo lo hacen en un valor de 0.285 y éstas se unen con las playas de la isla en un nivel del coeficiente de 0.338 (Fig. 16).

En el invierno se distinguen a grandes rasgos dos grupos, el de las playas de la isla y el de las playas de la península. Dentro del grupo de la isla se forma otro subgrupo con Candelerero y Mezteño que se unen a un nivel de 0.289 de distancia. En el grupo de la península, Caimancito y San Lorenzo se unen formando un grupo a una distancia de 0.414, quedando Tecolote menos a fin con una distancia de 0.512 del índice usado (Fig. 17).

En el análisis de agrupamiento de las estaciones de verano e invierno juntas (Fig. 18) la playa del Tecolote forma un grupo, las playas restantes de la península forman otro, y las playas de la isla el tercer grupo. Dentro de este último, Candelerero y Mezteño se unen a un nivel de 0.244; Caimancito y San Lorenzo lo hacen a una distancia de 0.297; San Gabriel se une con las restantes playas de la isla a un nivel de 0.330, y todas se unen entre sí, dejando excluida a Tecolote, a un nivel de 0.445.

Para el Análisis de Coordenadas Principales (PCoA) con base en la abundancia (Fig. 19), el eje I podría interpretarse como relacionado con el grado de perturbación del ambiente, debido a que en su extremo izquierdo se sitúa San Gabriel que representa la playa menos afectada, mientras que en el derecho se encuentra el Tecolote, la cual representa la playa más afectada por el uso recreativo, mientras que las comunidades infaunales de la playa del Caimancito ocupan un lugar intermedio. Al mismo tiempo, en este eje, las playas relacionadas geográficamente aparecen más cercanas entre sí. Con respecto al eje II, este parece representar una tendencia del efecto del tamaño de grano sobre la estructura comunitaria, ya que las playas con grano fino se encuentran en la parte inferior y las playas con arenas más gruesas, en la parte superior. También éste eje muestra una segregación de las comunidades de invierno ubicándolas hacia la parte superior y las de verano en la parte inferior. Esta separación es menos notoria para las comunidades de Tecolote (Fig. 19).

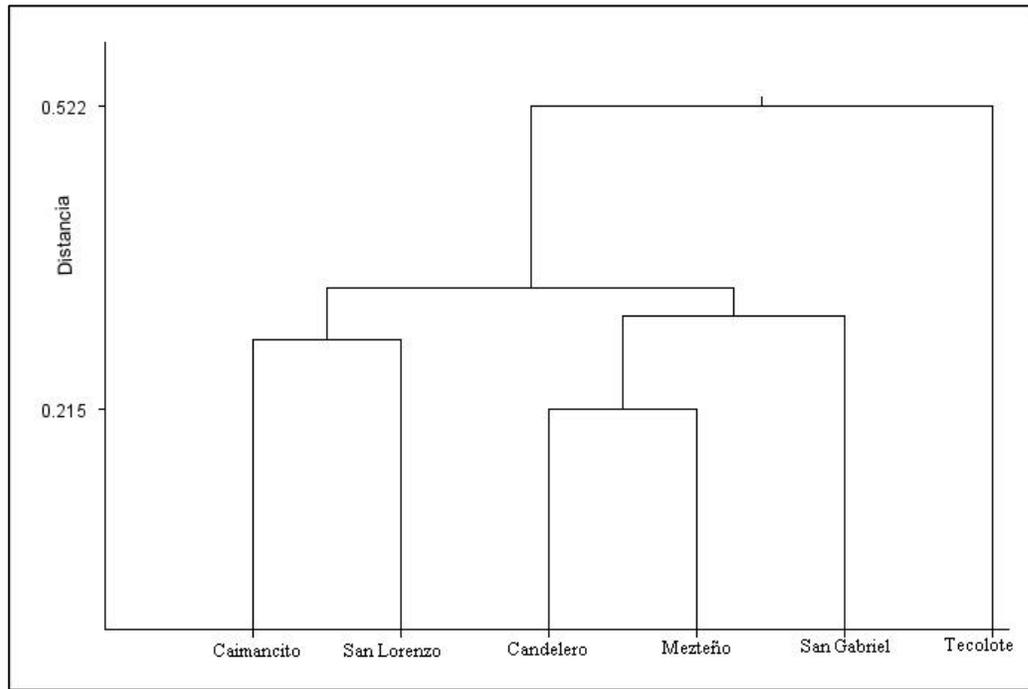


Figura 16. Análisis de agrupamientos con coeficiente de Bray-Curtis usando los datos transformados mediante raíz cuarta. Temporada de verano.

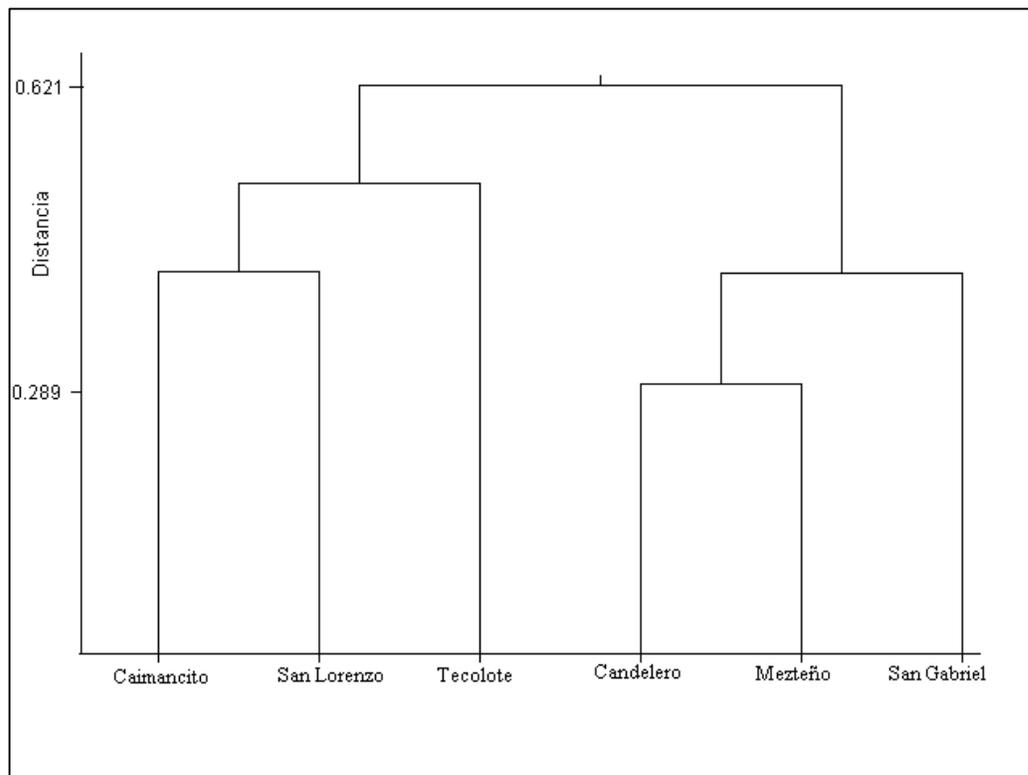


Figura 17. Análisis de agrupamientos con coeficiente de Bray-Curtis usando los datos transformados mediante raíz cuarta. Temporada de invierno.

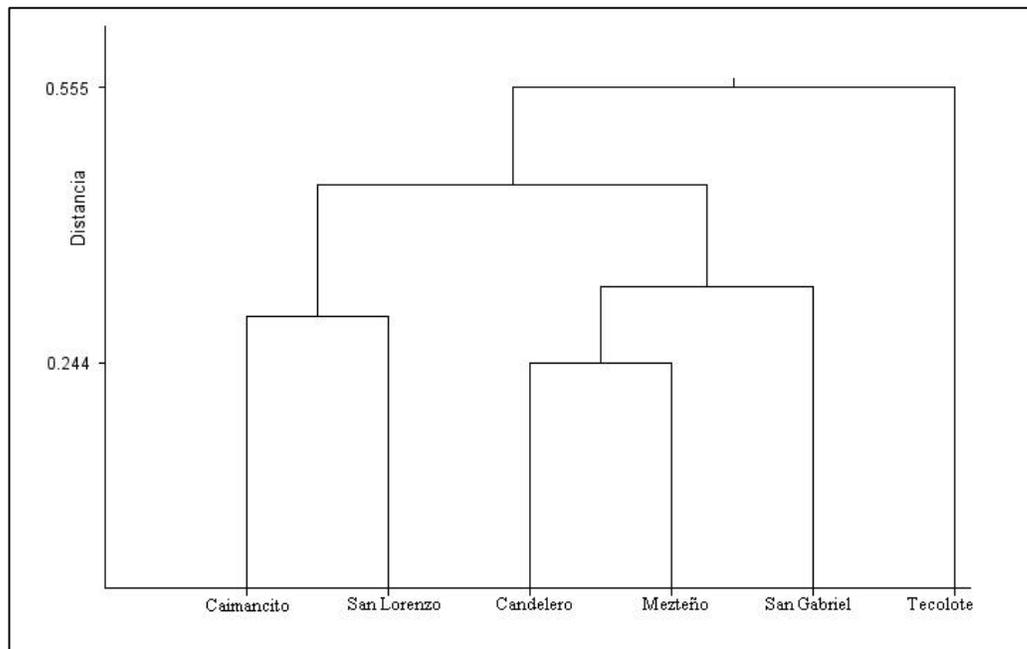


Figura 18. Análisis de agrupamientos con coeficiente de Bray-Curtis usando los datos transformados mediante raíz cuarta. Temporada de invierno y verano juntas.

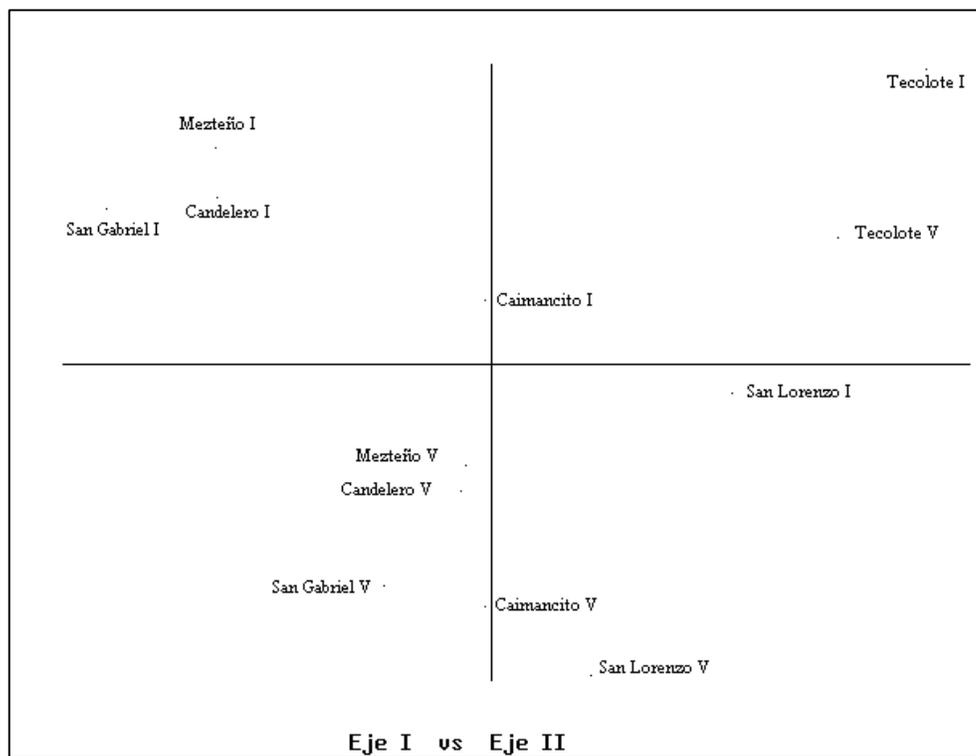


Figura 19. Análisis de Coordenadas Principales de las abundancias, con datos transformados mediante raíz cuarta y distancia de Bray Curtis. Temporada de invierno (I) y verano (V) separadas.

La Figura 20 muestra que según el PCA, las distancias entre las variables físicas de las playas en invierno y verano no son grandes, excepto para el caso de San Gabriel, lo cual se debe al cambio en el tamaño de arena que sufrió esta playa en el verano. Las playas se ordenan en el eje I por el tamaño de grano, de los más gruesos a la izquierda, a los más finos a la derecha. El eje II ordena a las playas de las menos perturbadas en su extremo inferior a las más perturbadas hacia su extremo superior, así como según su penetrabilidad, de las de menor penetrabilidad en el extremo inferior a las de mayor penetrabilidad en el extremo superior.

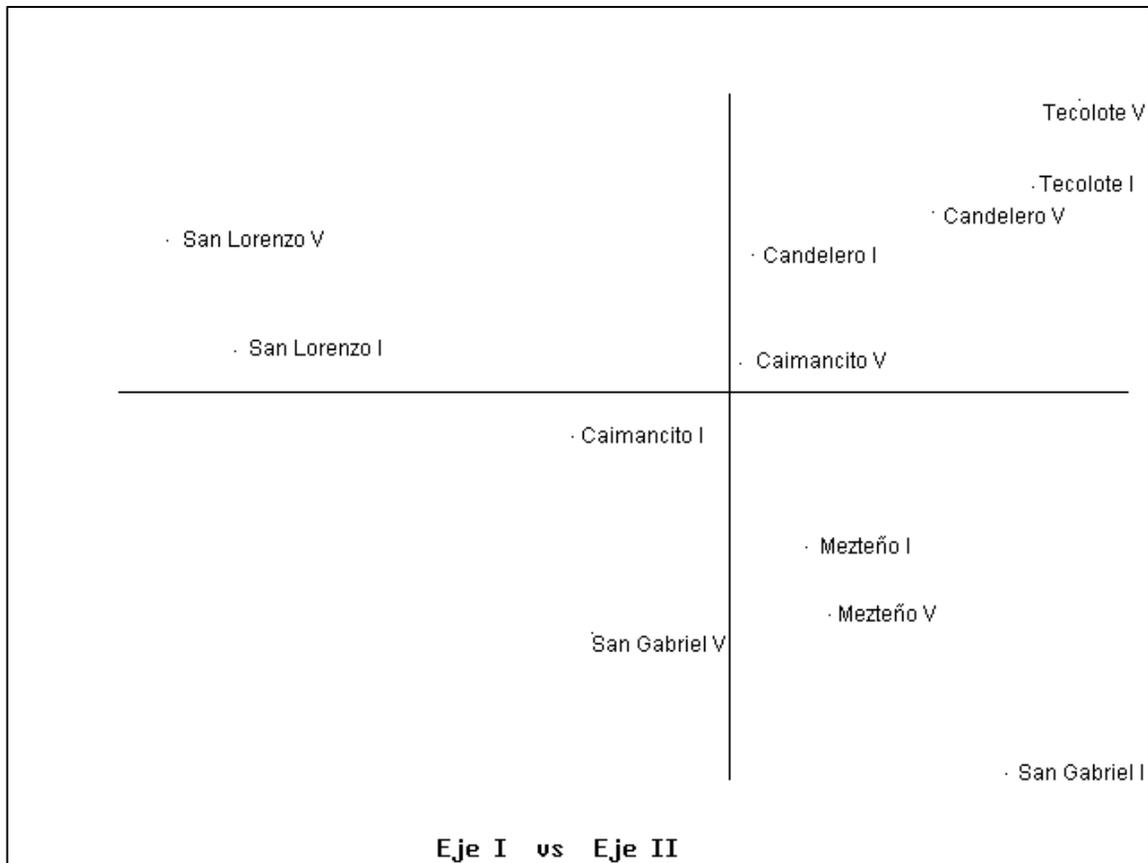


Figura 20. PCA de las variables arena media (en escala Wentworth y en unidades phi), nivel de uso y penetrabilidad del sedimento, con los datos sin transformar. Las letras V e I corresponden a verano e invierno respectivamente.

Según el Análisis de Escalamiento no métrico (NMDS) de la macrofauna (Fig. 21), las diferencias entre transectos de una misma localidad en una misma época del año, suelen ser menores que entre las diferentes playas. Las distancias entre Tecolote y San Gabriel son máximas. A su vez, las comunidades de arenas finas están en el extremo superior, mientras que las de arenas gruesas se ubican en la parte inferior. A diferencia del PCA de variables físicas, la Figura 20 muestra además una clara segregación de las playas por épocas de año.

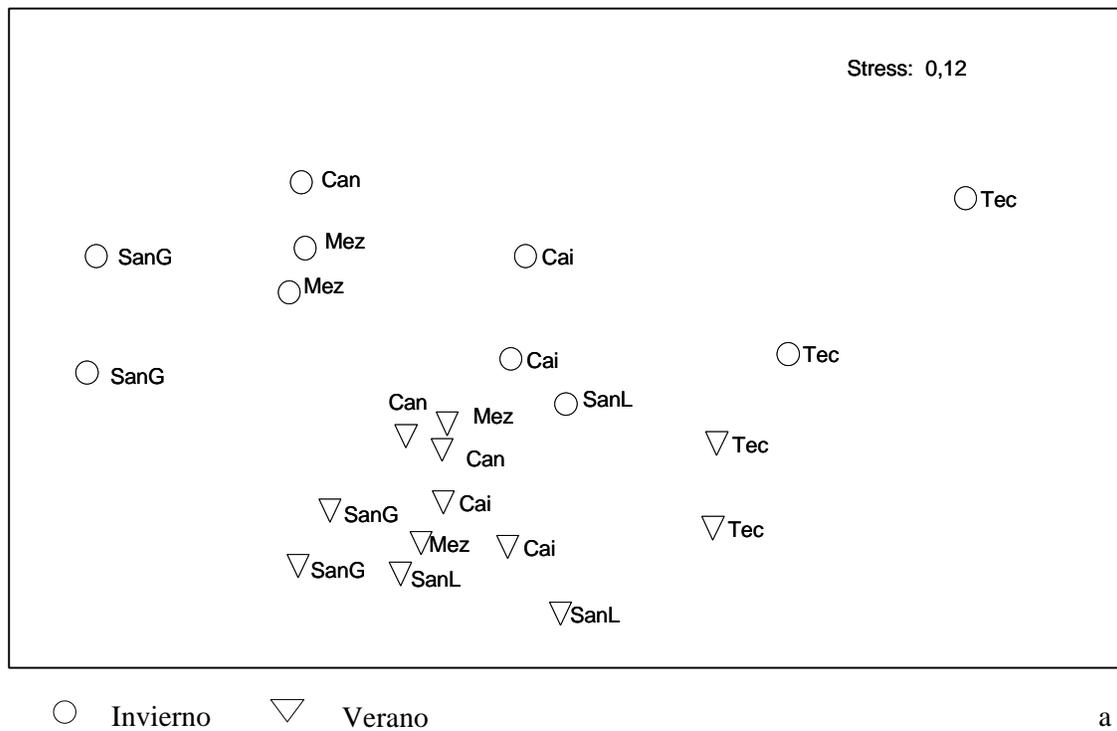


Figura 21. NMDS de la macrofauna (sin transformar). Datos de cada transecto en cada localidad para invierno y verano.

En el análisis de agrupamiento con datos de invierno y verano separados (Fig. 22) se observan 4 grupos; el de la playa el Tecolote (0.321), el de las playas de la isla en invierno (0.434), el de las playas restantes de la península en invierno (0.438), y el de todas las playas en verano sin contar el Tecolote (0.409). Dentro del último grupo, se agrupan las playas de la península de bajo y mediano uso, con un valor del coeficiente de 0.321 y las de la isla de alto y mediano uso (0.287). Las mayores similitudes se encontraron entre las playas del Candelero y Mezteño en la isla, tanto en invierno como en verano (0.278 y 0.287 de coeficiente de Bray Curtis).

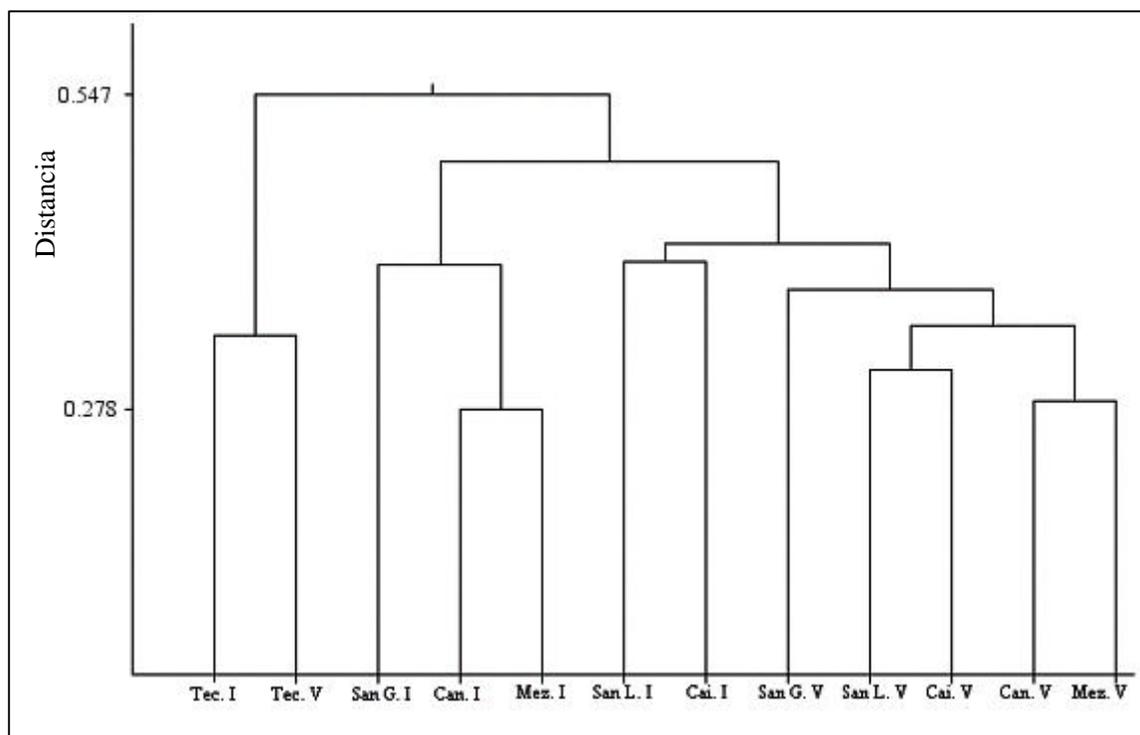


Figura 22. Análisis de agrupamiento para las temporadas de invierno (I) y verano (V), utilizando el coeficiente de Bray-Curtis y datos transformados a raíz cuarta.

ANÁLISIS

Patrones físicos

Las arenas más finas mostraron estar mejor seleccionadas (menor desviación estándar), coincidiendo con lo encontrado por Carranza (2001); éstas, además, suelen presentar menor penetrabilidad, mientras que la playa de arena más gruesa (San Lorenzo) tiene la mayor desviación estándar y la mayor penetrabilidad (Tabla 1). La relación inversa entre el diámetro de la arena y la penetrabilidad parece ser más marcada con diámetros menores, entre 1 y 3.5 phi (Fig. 8).

La curva de distribución de frecuencias del tamaño de grano en la temporada de verano tiende a desplazarse ligeramente hacia la derecha, es decir, hacia los sedimentos finos (Figs. 5 y 6). De la misma manera, las pendientes en el verano se hacen menos pronunciadas (excepto en San Gabriel y Tecolote) mostrando un panorama general de playas más disipativas en la temporada estival (Tabla 1). En este punto, llama la atención el comportamiento de San Gabriel que mostró aumentar considerablemente su pendiente, su penetrabilidad y su tamaño de grano en el verano (Tablas 1 y 3). Además, la diferencia en el tamaño de grano entre invierno y verano es sólo significativa en el caso de San Gabriel (Fig. 9). Esto pudo haber estado relacionado con el hecho de que en el momento del primer muestreo (invierno) la marea estaba muy baja, mientras que en el segundo muestreo (verano), la marea estaba casi en su máximo nivel, con la línea de agua casi a la altura de la duna litoral. Como esta playa presenta una amplia planicie de marea debido a su baja pendiente, la observación en el segundo muestreo está sesgada. La variación en la intensidad de oleaje desde la zona más alta de la playa a la más baja, produce un decremento del tamaño de grano con la disminución de la elevación en la pendiente de la playa (Peterson, 1998). Además, en la zona cercana a las dunas los procesos marinos dejan de tener importancia y son reemplazados por los procesos eólicos que transportan otro tipo de sedimentos; esto se ve reforzado por la menor selección que presenta la arena de San Gabriel en verano. Esta mayor desviación estándar puede reflejar el límite superior de la zona intermareal, donde existen procesos eólicos y marinos. El nivel de la marea no se tuvo en consideración y esto influyó en la

identificación de patrones físicos, tales como la relación entre la pendiente y el tamaño de grano, donde si bien la tendencia es a que disminuya la pendiente con el tamaño de grano, la correlación en nuestros datos es bastante pobre (Fig. 8A). Por otro lado, la relación entre penetrabilidad y tamaño de grano parece ser más fuerte aunque no significativa (Fig. 8B).

En cuanto a la clasificación, se puede considerar que las playas con menor pendiente, menor penetrabilidad y arenas más finas como San Gabriel y Tecolote son típicamente disipativas, mientras que San Lorenzo es la playa más reflectiva, y las restantes playas ocupan una posición intermedia en este gradiente.

Patrones biológicos

Debido a la gran diversidad de organismos y falta de taxónomos expertos disponibles, los organismos no fueron identificados hasta el nivel de especie sino que los taxa fueron reconocidos a distintos niveles taxonómicos. Por ejemplo, a nivel de familia para los poliquetos, género para isópodos y filum para nemátodos y nemertinos. Lindegarth (2001) usa familia para poliquetos, órdenes o clases para crustáceos y clases para moluscos, mientras que otros autores emplean niveles de clasificación más generales aún para detectar impactos en la macrofauna. Numerosos trabajos de impacto o de monitoreo que se abordan a niveles de comunidades de organismos pequeños trabajan de esta manera, con unidades taxonómicas operacionales (OTU). Además, diversos autores ya demostraron que en el estudio de los efectos de disturbios antropogénicos en las comunidades bentónicas, se obtienen resultados muy similares trabajando tanto a nivel de especies como a niveles taxonómicos de familias e incluso fila (Warwick & Clark, 1993).

La riqueza (85 OTU) y diversidad (3.4 bits/indiv.) totales encontradas en el área de estudio fueron altas. A efectos de comparación, Dexter (1983) recolectó sólo 78 especies a lo largo de 84 playas en New South Wales, Australia (citado por Wu, 1998).

En la literatura, el grado de exposición al oleaje muestra ser el principal factor que controla la diversidad y abundancia de organismos en las playas, donde el factor clave es cuan disipativa al oleaje es una playa (Nelson, 1993). La altura de la ola y la pendiente son las variables principales que controlan la macrofauna intermareal (McLachlan 1993, 1995 citado por de Defeo, 2001; Wu, 1998). Las playas muy expuestas pero disipativas tienen las mayores densidades de organismos (Nelson, 1993). Sin embargo, el presente trabajo sugiere que pueden existir otros factores que influyen en la estructura de la comunidad, como puede ser el nivel de uso de las playas. Esto se hace muy evidente en la playa el Tecolote que, siendo la playa más expuesta y disipativa pero con el mayor nivel de uso, presenta los menores valores de riqueza, diversidad y abundancia. Esta tendencia se ve reforzada en los análisis multivariados que muestran a esta playa segregada de las demás. Tales diferencias se reflejan además en que en esta playa dominan organismos diferentes a los que dominan en las otras playas estudiadas y no presenta grupos bien representados en las demás comunidades como son los anfípodos y los nemátodos. Como Tecolote es la única playa en la que la circulación de vehículos por la cara de la playa es común, podría suponerse que este factor contribuye en determinar las diferencias con los demás sitios.

De acuerdo a la Hipótesis de la Exclusión del Swash, las playas con poca pendiente y arenas más finas tienen mayor diversidad y abundancia de organismos. Cabría esperar que San Gabriel y Tecolote presentaran las mayores diversidades y abundancias, mientras que San Lorenzo debería presentar la más baja diversidad y abundancia, con respecto a las demás. Sin embargo, éste no fue el caso; las dos playas que presentaron menor diversidad total fueron Candelero y Tecolote, la primera con arena media y pendiente alta, y la segunda, con arena fina y pendiente baja, pero ambas con alto uso humano. Por su parte, San Lorenzo (playa de bajo uso) mostró tener el mayor valor de diversidad dentro de las playas de la península, a pesar de ser la playa con mayor tamaño de grano. Por lo tanto, el hecho de haber considerado también el nivel de uso de las playas permitió una mejor explicación de los patrones observados que la que se pudiera hacer solo con los factores físicos convencionales.

El nivel de uso también mostró relación con la dominancia en las comunidades. San Gabriel, el Mezteño y San Lorenzo (las playas de menor uso) son las playas que tienen mayor número de OTU que representan el 80 % de la abundancia relativa acumulada. Las playas de mayor uso (Candelero, Tecolote y Caimancito) tuvieron menos número de OTU para el mismo porcentaje acumulado de dominancia. El mayor número de taxa para dicho porcentaje acumulado lo presentó la playa el Mezteño (playa de uso intermedio en la isla), mientras que el menor número lo presentó Candelero (la playa de mayor uso en la isla). El Tecolote (playa de alto uso en la península) presentó el mayor valor de dominancia simple (56 %) debido a la alta preponderancia de isópodos cirolánidos, cuya abundancia es menos importante en el resto de las playas consideradas (Tabla 8).

Coincidiendo con diversos autores, el índice de Shannon–Wiener puede ser un útil indicador del estado de salud de una comunidad (Krebs, 1985; Margalef, 1980; Ricklefs, 2000). En este estudio, la playa más usada de la isla tiene el menor valor de diversidad al igual que la más usada en la península. Las tres playas de menor uso tienen los menores valores del índice de redundancia (entre 0.27 y 0.48), mostrando que existe mayor equitatividad en las comunidades de estas playas, independientemente del número de especies. Las tres playas de mayor uso (Tecolote, Candelero y Caimancito) tienen, en conjunto, los menores valores de diversidad (entre 2.3 y 2.6 bits/individ) y los mayores valores de redundancia (entre 0.50 y 0.62); sin embargo, entre ellas, estos valores no parecen reflejar directamente el nivel de uso que presentan ya que Tecolote parece ser más diversa que Caimancito y Candelero (Tabla 6). Esto último también es válido respecto al valor de equidad de Pielou, reflejando que en Tecolote el número de individuos por especie es más homogéneo. El bajo número de especies y/o el sedimento fino en esta playa pueden ser la causa de esta mayor equidad.

Por otro lado, si se compara riqueza y abundancia de Caimancito con San Lorenzo, ambas playas en la península, parece que el efecto del tamaño de grano influye más que el nivel de disturbio antropogénico (Tablas 1, 6 y Fig. 11). Sin embargo, en términos de la diversidad de Shannon-Wiener, San Lorenzo se encuentra por encima de Caimancito en cualquiera de las dos temporadas (Tabla 6 y Figs. 12, 13 y 14).

En cuanto a San Gabriel, los resultados mostraron que, contrariamente a lo esperado por la SEH o por el bajo nivel de uso de esta playa, los valores de abundancia y diversidad no fueron los más altos. Esto seguramente está relacionado con el problema de muestreo de verano, debido a que las muestras fueron tomadas con la marea alta, y la riqueza en esa ocasión (21 OTU) fue mucho menor que en el invierno (50 OTU). La otra explicación está relacionada tal vez a una alta concentración de materia orgánica en esta playa durante la temporada de verano, relacionada con la alta productividad del manglar cercano y la baja pendiente y arena fina, que haya provocado condiciones de poco oxígeno para la infauna. A este respecto, Gray (1981) encuentra que playas de poca pendiente y arenas muy finas tienen mayor compactación, dificultando la penetración de los organismos y disminuyendo la tensión de oxígeno y la cantidad de meiofauna en el sedimento, por lo que la abundancia de la macrofauna se puede ver reducida. Por otro lado, si bien no se han hecho estimaciones de biomasa, en San Gabriel se pudo observar que los organismos de esta playa son considerablemente más grandes que en el resto de las localidades. Un factor que se podría relacionar con este hecho, es la penetrabilidad, ya que siendo mínima en San Gabriel, los organismos que se desarrollan ahí podrían tener una ventaja siendo más grandes, o bien alcanzan tallas mayores en relación a la menor perturbación de la playa. Los resultados muestran que las relaciones entre las variables consideradas distan de ser lineales o simples.

Contrariamente al índice de Shannon–Wiener, los valores de abundancia no reflejaron directamente el nivel de uso de las playas (Tabla 6, Fig. 11). Si bien los valores son mayores en la isla que en la península y que Tecolote tiene el menor valor de este factor, Caimancito tiene mayor abundancia que San Lorenzo. Además, el mayor valor de abundancia corresponde a Candelero, la playa con mayor nivel de uso en la isla. Esto se debió a la gran cantidad de poliquetos (Protodrillidae y Lumbrineridae) encontrados en uno de los transectos en la estación de invierno, que hacen cuenta por más de 5000 individuos en un total de 8500 en esa oportunidad.

En las comunidades estudiadas dominaron los poliquetos, con excepción de San Lorenzo y Tecolote, donde los isópodos fueron el grupo dominante. Esto puede ser reflejo de la mayor exposición de estas dos playas, coincidiendo con otros trabajos en

los que se reporta este patrón (Defeo *et al.*, 2001; Holland, 1978; Wu, 1998). En playas expuestas predominan los isópodos y anfípodos mientras que en playas protegidas predominan los poliquetos. Holland (1978) lo atribuye en parte al hecho de que en la medida en que decrece la movilidad del sedimento, los espacios intersticiales se llenan de pequeñas partículas de sedimento y otras sustancias como detritus y materia orgánica. Los organismos tipo suspensívoros no se verían favorecidos en este tipo de ambiente (más arcilloso), mientras que los depositívoros como los poliquetos sí. En los sedimentos arenosos los suspensívoros dominan porque el agua que se mueve en los intersticios libremente, renovándose el contenido de materia orgánica con cada ciclo de marea. Sin embargo, Tecolote, a pesar de ser una playa abierta y expuesta al oleaje del norte, es de arena fina y baja pendiente (disipativa). Esta playa presentó la mayor proporción de isópodos, pero no se encontraron anfípodos en ella. Debido al alto uso que presenta esta playa es posible suponer que el pisoteo no sea favorable para organismos blandos, como son los poliquetos, mientras que los isópodos no se ven tan afectados debido a su exoesqueleto quitinoso, pudiendo sacar ventaja de esto frente a otros organismos y por ello ser más abundantes. A su vez, los anfípodos son colonizadores más lentos (Simon & Dauer, 1978), y podrían ser organismos más sensibles al pisoteo ya que no fueron registrados en la playa el Tecolote. Estos organismos son más frágiles que los isópodos y suelen ser los más abundantes en la zona por encima de la línea de agua (zona de swash) (James & Fairweather, 1996; Dahl, 1952 citado en James & Fairweather, 1996). Siendo ésta la zona más afectada por el pisoteo y tránsito de vehículos, tal vez no sea sorprendente que no se encuentren anfípodos en Tecolote.

Si bien distintas especies de macrofauna pueden diferir en su sensibilidad a los disturbios (humanos o naturales), sus respuestas no son siempre predecibles ya que no están plenamente entendidas aún. En su trabajo en Australia, Lindegarth & Hoskin (2001) encuentran que los sílidos, copépodos y espiónidos son característicos de zonas urbanas. En el presente trabajo en la Bahía de La Paz, no se encontró esta relación. Si bien los sílidos presentaron la mayor abundancia en la playa más cercana a la ciudad de La Paz (Caimancito), también fueron abundantes en las playas de Candelero y Mezteño

de la isla Espíritu Santo y los espionidos fueron uno y dos órdenes de magnitud más abundantes en la isla que en la península (Tabla 4).

Los poliquetos Spionidae han sido reportados como indicadores de alta concentración de materia orgánica en otros trabajos (Lercari *et al.*, 2002; Gianuca, 1985), y representaron un 5 % de la abundancia total en la playa de San Gabriel. Los poliquetos tubícolas, como los espionidos, son depositívoros y han sido definidos como tolerantes a la contaminación (Patrick & Palavage, 1994) y al exceso de materia orgánica (Grall & Glémarec, 1997). Si bien se pueden encontrar en condiciones normales, su abundancia se puede ver estimulada por aportes de materia orgánica (Lercari *et al.*, 2002). San Gabriel no es una playa que pueda presentar grandes aportes antropogénicos de materia orgánica, pero sin embargo, presenta un importante manglar adyacente que seguramente es fuente de materia orgánica para esta playa.

En cuanto a los cangrejos, aunque se piensa que pueden ser aplastados por el tránsito de vehículos en la noche, o indirectamente, cuando están en sus cuevas durante el día (Brown & McLachlan, 1990), en la Bahía de La Paz, el nivel de uso no parece afectar el número individuos. Otros autores han notado un cambio en la conducta de *Ocypode*, presentando hábitos más nocturnos en playas usadas para la recreación (Brown & McLachlan, 1990). Como en las playas estudiadas esta familia es muy común, podría ser interesante saber si esto sucede también en las playas de la Bahía de La Paz.

Diferencias entre la isla y la península

Las comunidades en la isla han mostrado ser diferentes a las de la península de acuerdo a los análisis multidimensionales y los índices utilizados. En general, la isla Espíritu Santo presenta mayores valores de abundancia, diversidad y riqueza específica comparada con las playas de la península. Sin embargo, no se puede establecer categóricamente si esto se debe principalmente al efecto insular o a las diferencias en el nivel de uso. Álvarez –Arellano y Murillo-Jiménez (1989) proponen un modelo de tres cuerpos de agua: el canal de San Lorenzo, que incluye las playas de la península de este

estudio, caracterizado por una gran variabilidad anual en las variables hidrológicas (salinidad, temperatura y oxígeno disuelto) y por una intensa mezcla producida por las corrientes de marea en dicho canal. Otro cuerpo de agua sería el del noroeste de la bahía, con las condiciones más estables de los parámetros hidrológicos, sugiriendo una gran influencia de las aguas del Golfo de California que se introducen por la amplia boca del norte de la bahía. El tercero incluye las playas de la isla objeto de este estudio, el cual es de tipo transicional, ubicado entre los otros dos cuerpos y abarcando la parte occidental de la Isla Espíritu Santo.

Por otro lado, la distancia entre la isla y la península es relativamente pequeña (poco más de 8 km) y tanto la isla como la península reciben la afluencia de las aguas del Golfo y las de la bahía. Jiménez *et al.* (1997) reportan que la salinidad y temperatura del agua superficial prácticamente no varían en la Bahía de La Paz. Además el tipo de uso y el estado de las playas difiere grandemente entre la isla y la península. Si bien los análisis multifactoriales sugieren que el factor geográfico es importante, distinguiendo las playas de la isla de las del continente, los análisis de clasificación también muestran que las similitudes entre las comunidades de la isla son mayores que entre las del continente. La similitud dentro de estos dos grupos (isla y península) se relaciona seguramente con el uso y el tipo de grano en los sedimentos. En las playas de la isla incluidas en este trabajo, tanto los usos como el tamaño de grano no difieren grandemente entre ellas, mientras que el menor grado de similitud en las playas del continente se debería a una mayor diferencia de estas características en las playas consideradas. Sin embargo, el NMDS nos muestra que las diferencias entre Tecolote (playa de alto uso en la península) y San Gabriel (playa de bajo uso en la isla) son máximas a pesar de ser dos playas de arena fina. Esto último sugiere que el impacto del uso recreativo que se produce en las playas de la isla es menor. En este punto es importante recordar que la isla, siendo un Área Protegida, a pesar de recibir alto número de visitantes y campamentistas, no contiene construcciones permanentes en sus dunas ni permite la circulación de vehículos en ella. Por lo tanto el tipo de uso es diferente, y el efecto del uso puede estar enmascarado dentro del efecto geográfico.

El análisis de coordenadas principales (PCoA) nos permite reconocer asociaciones de macroinvertebrados (Rakocinski *et al.*, 1991). Estas asociaciones corresponderían a estructuras de comunidades bentónicas diferentes entre playas degradadas y no degradadas si es que existe un impacto negativo en la comunidad (Lindgarth & Hoskin, 2001). En nuestro caso, el eje principal representó el nivel de perturbación en el medio, en un extremo se encuentra la playa de mayor uso en la península y en su otro extremo la playa menos usada de la isla (Fig. 19). La playa de San Lorenzo se ubica cercana al extremo derecho junto a Tecolote, seguramente no por el uso que tenga en este caso, sino por ser una playa de tipo reflectiva, con arena gruesa que implica alta abrasión y resuspensión durante la marea alta y una alta desecación durante la marea baja, por lo tanto también un ambiente hostil. El eje II parece representar un efecto de la granulometría junto con un efecto de la estacionalidad, ya que en la porción inferior se ubican todas las playas durante la estación de verano. Esto no es tan evidente para el Tecolote, y esto puede deberse al hecho de que el efecto del uso en esta playa es más fuerte que el efecto del cambio de la temperatura y/o la salinidad que se da en el verano.

Diferencias entre invierno y verano

Los análisis multivariados y los índices utilizados muestran que el efecto de la estacionalidad parece ser importante en la estructura de la comunidad estudiada. Las comunidades de la isla y la península fueron más parecidas entre sí en el verano (Figs. 12, 13, 16, 17 y 19), a excepción del Tecolote. La disminución de la diversidad y riqueza en verano implican seguramente que la infauna se ve afectada por cambios ambientales (i.e. salinidad, temperatura). Sin embargo, la abundancia total por playas suele aumentar en el verano; esto puede ser por el hecho de que en el verano las especies oportunistas toman ventaja de las condiciones que son desfavorables para otras especies. La precipitación en el área se registra en verano, y otros trabajos reportan que cambios en la salinidad tienen efectos negativos en la estructura de las comunidades intermareales (Lercari *et al.*, 2002; Nelson, 1993).

Finalmente, el hecho de que las comunidades estudiadas difieran en las dos épocas de muestreo no es explicado por los factores ambientales y antropogénicos medidos. En el análisis de PCA de parámetros ambientales no se aprecian notables diferencias entre invierno y verano para los factores estimados (diámetro del grano de arena, penetrabilidad y nivel de uso), excepto para Caimancito y San Gabriel; sin embargo, en el NMDS y PCoA de las abundancias, existe una clara diferenciación entre las comunidades de invierno y de verano. Sin embargo en estos análisis, las diferencias entre playas con diferentes niveles de uso muestran ser más importantes en la determinación de la estructura de la comunidad tanto en invierno como en verano.

CONCLUSIONES

Las playas arenosas requieren de prácticas de manejo específicas para evitar su degradación mientras éstas continúen utilizándose por sus servicios recreativos. Existe una necesidad urgente de examinar y entender el ecosistema costero desde un punto de vista físico y biológico y diseñar políticas de manejo y restauración para ser aplicadas en sitios específicos (Wilcock & Carter, 1997, citado en Moffett *et al.*, 1998). Para esto también es esencial un entendimiento de los impactos humanos. Este es el primer estudio que trata de investigar los efectos de las actividades recreativas en la macrofauna intermareal de las playas arenosas de la Bahía de La Paz.

Con excepción de San Lorenzo, las playas estudiadas dentro de la Bahía de La Paz suelen ser de tipo disipativas con arenas de finas a medias. Esta característica se hizo más pronunciada en la temporada de verano.

La riqueza y diversidad total encontradas en el área de estudio fueron altas. Mostrando que en general el área tiene condiciones favorables para el desarrollo de esta fauna y/o que aun está poco perturbada.

El presente trabajo encuentra que existen diferencias en las playas debido al uso, claramente en el caso de Tecolote. De acuerdo con los resultados, el tipo y nivel de uso de las playas afectan la composición de las comunidades infaunales, disminuyendo su diversidad y riqueza principalmente. Las playas más usadas y con mayores accesos presentaron los menores valores de diversidad, equidad y riqueza. Además en los estudios multivariados las comunidades se ordenan en el eje principal de acuerdo a un gradiente de nivel de uso. Sin embargo, existen factores adicionales que determinan la diferenciación entre las playas, tales como el tamaño de grano y la separación geográfica entre las localidades. Los cambios ambientales de una época del año a otra, también influyen en la estructura de las comunidades, ya sea debido al efecto de los factores físicos (temperatura, precipitación) o relacionado con las estrategias biológicas de las especies encontradas.

En la isla no se pudieron apreciar diferencias notables entre las playas consideradas como de alto y mediano uso. Los resultados sugieren que los impactos producidos en la comunidad infaunal de la isla son menores en relación a los de la península. Sin embargo para comprobarlo sería necesario contar con playas de igual tamaño de grano pero con diferentes niveles de uso, tanto en la isla como en la península.

El nivel de uso parece afectar principalmente la diversidad de la comunidad infaunal. Coincidiendo con varios autores, el presente trabajo encuentra que el valor de diversidad de Shannon-Wiener es el mejor indicador relacionado con el nivel de disturbio o salud del ambiente. Su valor mostró ser alto en sitios no perturbados y más bajo en los sitios más perturbados.

Implicaciones para el manejo

El uso recreativo de las playas ha mostrado tener un marcado efecto en algunos miembros de la fauna, inhibiendo la alimentación y reproducción de aves costeras (James, 2000) y ahuyentando a los peces hacia aguas más profundas, mientras que algunos crustáceos como los cangrejos *Ocypode* presentan hábitos más nocturnos evitando la presencia humana en las playas (Brown & McLachlan, 1990). Saunders *et al.* (2000) estiman que el pisoteo y la circulación de vehículos pueden causar compactación y erosión en las playas, mientras que el “snorqueleo”, kayak, botes y el pisoteo en aguas someras provocan un aumento de turbidez que podría provocar un impacto potencial, aunque se considera mínimo. Este trabajo demostró que la fauna intermareal se ve afectada en su abundancia, diversidad y riqueza de especies por la magnitud del uso recreativo.

Por otro lado, pudimos registrar la presencia de coyotes en una playa de bajo uso (San Lorenzo) a pesar de que ésta está próxima a la playa más usada de la región. Aunque el impacto causado por las actividades recreativas pueda ser grande, este efecto es de carácter local. Esto también se vio reflejado en la similitud entre las comunidades

por su proximidad geográfica. Los resultados obtenidos en éste y otros estudios permiten suponer que, protegiendo una playa o restringiendo el acceso en una playa vecina a una muy usada, permitiría que no se vea demasiado afectada la fauna costera de la región. Los recursos existentes en el área podrían ser utilizados por la infauna bentónica y por otras especies tales como aves, peces e inclusive mamíferos mayores (como lo muestra el caso de las huellas encontradas en San Lorenzo), atenuando en cierta medida los efectos generalizados del uso recreativo de las playas en la localidad. Además estas zonas menos alteradas pueden ser a su vez un recurso para pescadores y otros usuarios que busquen sitios mas prístinos.

El pisoteo y el tránsito de vehículos ejercen una fuerza sobre el suelo que puede resultar en la compactación del sedimento. La magnitud de la presión y sus características determinarán la naturaleza del impacto (Saunders *et al.*, 2000) (Tabla 15). En sustratos arenosos, el peso aplicado se disgrega a lo largo de un área mayor a la cual es aplicada el peso; además, los vehículos pueden desestabilizar el sedimento superficial y hacerlo más vulnerable a la erosión por los procesos naturales. Por lo tanto, los vehículos que acceden a estas áreas tienen el potencial de causar daños significativos a estas comunidades (Saunders *et al.*, 2000). En el presente trabajo, los resultados obtenidos en Tecolote, parecen indicar que el tránsito de vehículos por la playa y dunas constituyen un impacto significativo para la fauna estudiada. Por otro lado, la presencia de vehículos en la playa afecta también negativamente a las aves costeras (Saunders *et al.*, 2000), el desove de tortugas marinas, la vegetación de las dunas (Brown & McLachlan, 1990) y la vista panorámica, además de ser un elemento de riesgo de accidentes para las personas que hacen uso de las playas. Por lo tanto es recomendable se tomen las medidas de regulación y normatividad que prohíba este tipo de uso (tránsito vehicular en dunas y playas) y en todo caso, sancionen a los infractores.

Por otro lado, habría que tener en cuenta que los cambios producidos por acciones humanas en las dunas también podrían afectar indirectamente a la comunidad intermareal, ya que existe una constante interacción entre el sistema de dunas y la playa propiamente dicha. Las dunas y sus playas son sistemas terrestres y marinos discretos, controlados por el viento y por las olas respectivamente y a pesar de que las

interacciones entre estos son cuantitativamente pequeñas, son interdependientes e interactúan (Brown & McLachlan, 1990).

Tabla 15 . Peso en gramos, área de contacto en centímetros cuadrados y presión ejercida en gramos por centímetro cuadrado por diferentes actividades humanas en las playas arenosas. Tomado de Liddle 1997 citado en Saunders *et al.*, 2000.

Actividad	Promedio del peso total (g)	Área de contacto con el suelo (cm ²)	Presión ejercida (g/cm ²)
Hombre descalzo	73 000	262	279
Hombre calzado	73 000	406	180
Bicicleta	229 000	114	2008
Auto	1 282 000	855	1500
Toyota 4x4 con 4 personas	2 500 000	1 483	1686

Si bien no se puede impedir a la gente que asista a las playas ya que estas son una fuente muy importante de esparcimiento, relajación y cultura, se puede planificar en cierta medida cuales son las playas que se podrían usar más, los tipos de acceso y desarrollo óptimo y las actividades que se pueden desarrollar en las playas. A su vez en el manejo o planeación, también se deben de tener en cuenta los beneficios que pueden tener las actividades recreacionales e involucrar a la comunidad en el proceso de planificación e implementación. Los beneficios ambientales que Saunders *et al.* (2000) mencionan a este respecto son: una importancia económica creciente, los participantes de la recreación disfrutan del ambiente circundante, lo conocen y pueden reportar sus cambios, los usuarios pueden ser activos en campañas de recuperación. Para muchas personas éste es el único o el principal contacto con la naturaleza que tienen y esto puede ser un catalizador en las acciones y conocimiento ambiental. Por último, atraen dinero de fundaciones conservacionistas.

Los accesos son la primera forma de control y pueden relacionarse con la capacidad de carga de una playa. Los usuarios de las playas suelen distribuirse en “parches” a lo largo de las playas, con mayores agregaciones cerca de los accesos y facilidades (James, 2000). En un estudio llevado a cabo en Sud África se vio que las playas con más infraestructura reciben el mayor número de visitantes, sobre todo de mayor poder adquisitivo (Ruyck *et al.*, 1997). Limitando los accesos a una playa, es una manera de posponer los efectos negativos del uso recreativo. Por lo tanto, para efectos de manejo, se puede planificar el desarrollo ubicando los accesos y facilidades, así como donde no hacerlo, preservando así la fauna del lugar por un lado y a su vez permitiendo que las personas interesadas por playas más naturales y sus recursos tengan la posibilidad de hacer usufructo de éstas. Facilidades y accesos bien planificados junto con educación ambiental que enfatice la sensibilidad de las playas arenosas a las alteraciones son imperativos para evitar o minimizar los impactos ecológicos en las playas arenosas (Ruyck *et al.*, 1997).

Este trabajo proveyó líneas de base para identificar áreas más resistentes o más sensibles a los impactos recreativos, para así poder designar áreas de acceso amplio o restringido en un plan de manejo. En tal caso es importante considerar que las playas protegidas son las más propicias para albergar mayor diversidad y densidad de organismos bentónicos y pelágicos en etapas tempranas de vida.

RECOMENDACIONES Y SUGERENCIAS PARA ANÁLISIS FUTUROS

Como se mencionó anteriormente, el presente trabajo constituye una primera aproximación para tratar de estimar los efectos del uso recreativo en la Bahía de La Paz. Sin embargo, para poder diferenciar el efecto del tamaño de grano del nivel de uso, lo ideal sería poder contar con playas de distinto nivel de uso pero con igual tamaño de grano (arena media, fina o gruesa). Así mismo, sería interesante completar la información con censos de personas en las playas escogidas para cuantificar el nivel de uso. A su vez, repetir esta metodología en la mismas épocas en un año “normal” sería bueno ya que este trabajo se basa en datos colectados justo después del acto del 11 de septiembre del 2002 en Nueva York, y esto parece haber influenciado en la zona de estudio, disminuyendo el número de visitantes norteamericanos que acuden normalmente. Tal vez, si se repite el muestreo en próximos años, los contrastes entre playas visitadas y playas no visitadas sean aún mayores.

Los ambientes costeros reciben grandes entradas de materia orgánica y nutrientes terrestres, y en ellos, los ciclos biogeoquímicos juegan un rol muy importante (Bolam *et al.*, 2002). Por lo tanto, una de las preguntas que queda planteada y que es de gran interés, es como afectaría una reducción en la diversidad de la comunidad bentónica en las funciones del ecosistema. Un intento de resolver esta incógnita ha sido el trabajo de Bolam *et al.*, 2002. En sus experimentos encontraron que los cambios en biomasa y riqueza de especies tuvieron tan solo efectos significativos en el consumo de oxígeno (ver Bolam *et al.*, 2002 para otros ejemplos), pero sus experimentos fueron limitados, tanto en espacio como en el tiempo.

En cuanto a la metodología, la cantidad de arena muestreada por playa fue suficiente para los estudios granulométricos (también según Gray, 1981 para el estudio de macrofauna, una simple muestra de 50-100g de arena es suficiente para valorar el tamaño de grano). Sin embargo para efectos estadísticos, hubiese sido más representativo coleccionar más muestras por playa para poder aplicar análisis de ANOVA y ver si las diferencias entre playas son significativas en cuanto al tamaño de grano. Lo mismo se puede aplicar para las pendientes.

La playa San Lorenzo no ha sido un buen control para los objetivos planteados pues, a pesar de ser una playa de bajo uso en la península, es la única que presentó arena gruesa dentro de todas las playas estudiadas y es muy factible que su menor diversidad o abundancia se deba a este factor. San Gabriel, por otra parte, tampoco ha sido un control ideal, por el hecho de ser una playa ubicada en el extremo sur de la isla, muy protegida, y por presentar un manglar importante a diferencia de las demás. Pero en este trabajo, se consideró que San Gabriel es la única playa del lado occidental de la isla realmente de bajo uso, y que San Lorenzo cuenta con la ventaja de ser muy poco usada por su inaccesibilidad por tierra y de estar contigua a Tecolote, lo que facilita la comparación entre ellas.

Como está citado en el texto, también se considera más apropiado realizar los muestreos a niveles de marea similares para evitar grandes variaciones en las pendientes, tamaño de grano del sedimento y en el número de organismos colectados, sobretodo en playas con zona intermareal muy ancha.

En cuanto a la colecta de macrofauna, los nucleadores tienen un alto desempeño y tienden a ser muy confiables en cuanto a la similitud de cantidad muestreada. El nucleador utilizado en este trabajo (15 cm de diámetro, 176.6 cm²) mostró ser eficiente en su manipuleo y coleccionar suficiente cantidad de organismos. Cuanto más grande es la unidad, más posibilidad de captar animales grandes, cuanto más réplicas más información acerca de un área. Sin embargo existe un compromiso entre el tamaño del núcleo, el número de réplicas y el tiempo disponible para la identificación de los organismos que debe ser optimizado. A su vez, el diseño de tres réplicas en dos transectos perpendiculares a la costa mostró ser representativo de las comunidades de cada playa ya que las diferencias entre playas fueron mayores que las variaciones entre transectos de una misma playa.

BIBLIOGRAFÍA

Álvarez, A.D., H. Rojas & J.J. Prieto, 1997. Geología de la Bahía de La Paz y áreas adyacentes. *La Bahía de La Paz, Investigación y Conservación*. Universidad Autónoma de Baja California Sur, Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas y Scripps Institution of Oceanography. Urbán, J. & M. Ramírez (Eds), 13-29.

Anónimo, 1990. *Estadísticas Históricas de México*. Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática, 1: 504 pp.

Anónimo, 2000. *Programa de Manejo Complejo Insular del Espíritu Santo*. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas, 175 pp.

English, S., C. Wilkinson & V. Baker, 1997. *Survey Manual for Tropical Marine Resources*. 2° edition, Australian Institute of Marine Science, 390 pp.

Barnes, R.S.K., 1997. *The Coastline*. John Wiley & Sons Ltd, 356 pp.

Barros, F., A.J. Underwood & M. Lindegarth, 2001. The influence of rocky reefs on the structure of benthic macrofauna in nearby soft-sediments. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 52: 191-199.

Bastida, J.R., 1991. *Poliquetos (Annelida: Polychaeta) del Sureste de la Bahía de La Paz, B.C.S., México: Taxonomía y Aspectos Biogeográficos*. Tesis de licenciatura, Universidad Autónoma de Baja California Sur, México, 158 pp.

Bolam, S.G., T.F. Fernandes & H. Huxham, 2002. Diversity, biomass and ecosystem processes in the marine benthos. *Ecological Monographs*, 72 (4): 599-615.

Brown, A.C. & A. McLachlan, 1990. *Ecology of Sandy Shores*. Elsevier Science Publishers B.V., 328 pp.

Brusca, R., 1980. *Common Intertidal Invertebrates of the Gulf of California*. University of Arizona Press, 513 pp.

Carranza, A., 2001. Grain size and sorting in modern beach sands. *Journal of Coastal Research*, (17) 1: 38-52.

Carter, R.W.G., 1982. Recreation pressure and environmental change in a small beach/dune complex at Tyrella, Co. Down. *Irish Journal of Environmental Science*, 1 (2): 62-70.

Carter, R.W.G., 1988. *Coastal Environments*. Academic Press Ltd, 617 pp.

Clarke, K.R., 1993. Non-parametric multivariate analyses of changes in community structure. *Australian Journal of Ecology*, 18: 117-143.

Clarke, K.R. & R.M. Warwick, 1994. *Change in Marine Communities: An Approach to Statistical Analysis and Interpretation*. Plymouth Marine Laboratory, UK, 144pp.

Dauer, D.M. & W.G. Coner, 1980. Effects of moderate sewage input on benthic polychaete population. *Estuarine and Marine Science*, 10: 335-346.

Defeo, O. & A. de Alava, 1995. Effects of human activities on long-term trend in sandy beach populations: the wedge clam *Donax hanleyanus* in Uruguay. *Marine Ecology Progress Series*, 123: 73-82.

Defeo, O., J. Gómez & D. Lercari, 2001. Testing the swash exclusion hypothesis in sandy beach populations: the mole crab *Emerita brasiliensis* in Uruguay. *Marine Ecology Progress Series*, 212: 159-170.

Defeo, O. & R.S. Cardoso, 2002. Macroecology of population dynamics and life history traits of the mole crab *Emerita brasiliensis* in Atlantic sandy beaches of South America. *Marine Ecology Progress Series*, 239: 169-179.

De la Cruz-Agüero, G., 1994. *Sistema para el ANálisis de COMunidades (ANACOM)*, versión 3.0. Departamento de Pesquerías y Biología Marina, CICIMAR-IPN, México, 99 pp.

Elliot, T., 1978. *Sedimentary Environments and Facies*. Elsevier, New York.

Engle, V.D., J.K. Summers & G.R. Gaston, 1994. A benthic index of environmental condition of Gulf of Mexico estuaries. *Estuaries*, 17: 372-384.

Engle, V.D. & J.K. Summers, 1999. Refinement, validation, and application of a benthic condition index for the northern Gulf of Mexico estuaries. *Estuaries*, 3A: 624-635.

Folk, R.L., 1996. Sorting in some carbonate beaches of México. *Transactions of the New York Academy of Sciences*, Ser. II, 25: 222-244.

Gianuca, N.M., 1985. *The Ecology of Sandy Beach in Southern Brasil*. Ph.D. Tesis. University of Southampton, UK, 330 pp.

González, A.F., 1998. *Ecología de la Comunidad de Peces Asociada al Manglar del Estero el Conchalito, Ensenada de La Paz, Baja California Sur, México*. Tesis de Maestría en Ciencias con Especialidad en Manejo de Recursos Marinos, Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, La Paz, B.C.S., México, 126 pp.

Grall, J. & M. Glémarec, 1997. Using biotic indices to estimate macrobenthic community perturbations in the Bay of Brest. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 44: 43-53.

Gray, J., 1981. *The Ecology of Marine Sediments*. Cambridge University Press, 177 pp.

Halfar, J., L. Godinez & J. Opingle, 2000. Microfacies analysis of recent carbonate environments in the southern Gulf of California, Mexico - a model for warm-temperate to subtropical carbonate formation. *PALAIOS*, 15: 323-342.

Halfar, J., L. Godinez, G.A. Goodfriend, D.A. Muccciarone, J.C. Ingle & P. Holden, 2001. Holocene-late Pleistocene non-tropical carbonate sediments and tectonic history of the western rift basin margin of the southern Gulf of California. *Sedimentary Geology*, 144: 149-178.

Holland, A.F., 1978. The community biology of intertidal macrofauna inhabiting sandbars in the north inlet area of South Carolina, USA. *Ecology of Marine Benthos*. The Belle W. Baruch Library in Marine Science, Coull C. (Ed), 6: 423-438.

Holmes, N.A. & A.D. McIntyre, (Eds) 1971. *Methods for the Study of Marine Benthos*. IBP Handbook, 16: 323 pp.

Holguín, O.E. & F.A. García, 1997. Lista anotada de las especies de moluscos colectadas en la Bahía de La Paz, B.C.S. *La Bahía de La Paz, Investigación y Conservación*. Universidad Autónoma de Baja California Sur, Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas y Scripps Institution of Oceanography. Urban, J. & M. Ramírez (Eds), 93-117.

James, R.J. & P.G. Fairweather, 1996. Spatial variation of intertidal macrofauna on a sandy ocean beach in Australia. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 43: 81-107.

James, R.J., 2000. From beaches to beach environments: linking the ecology, human-use and management of beaches in Australia. *Ocean & Coastal Management*, 43: 495-514.

Jaramillo, E. & A. McLachlan, 1993. Community and population responses of the macroinfauna to physical factors over a range of exposed sandy beaches in south-central Chile. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 37: 615-624.

Jaramillo, E., H. Contreras & P. Quijón, 1996. Macroinfauna and human disturbance in a sandy beach of south-central Chile. *Revista Chilena de Historia Natural*, 69: 614-655.

Jean, G. & F. Fruget, 1994. Aquatic macroinvertebrates as ecotoxicological indicators. *Verhandlungen der Internationalen Vereinigung für Limnologie*, 25: 2004-2007.

Jiménez, A.R., M. Obeso & D.A. Salas, 1997. Oceanografía física de la Bahía de La Paz, B.C.S. *La Bahía de La Paz, Investigación y Conservación*. Universidad Autónoma de Baja California Sur, Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas y Scripps Institution of Oceanography. Urban, J. & M. Ramírez (Eds), 31-41.

Keough, M.J. & G.P. Quinn, 1998. Effects of periodic disturbances from trampling on rocky intertidal algal beds. *Ecological Applications*, 8 (1): 141-161.

Krebs, C.J., 1985. *Ecología: Estudio de la Distribución y la Abundancia*. Harla, 753 pp.

Lercari, D., O. Defeo & E. Celentano, 2002. Consequences of a freshwater canal discharge on the benthic community and its habitat on an exposed sandy beach. *Marine Pollution Bulletin*, 44: 1397-1404.

Lindgart, M. & M. Hoskin, 2001. Patterns of distribution of macro-fauna in different types of estuarine, soft sediment habitats adjacent to urban and non-urban areas. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 52: 237-247.

Magurran, A.E., 1988. *Ecological Diversity and its Measurement*. Princeton University Press, Princeton, NJ., 179pp.

McArdle, S.B. & A. McLachlan, 1992. Sand beach ecology: swash features relevant to the macrofauna. *Journal of Coastal Research*, 2: 398-407.

McLachlan, A., 1980. Exposed sandy beaches as semi-closed ecosystems. *Marine Environmental Research*, 4: 59-63.

McLachlan, A., 1985. The biomass of macro- and interstitial fauna on clean and wrack-covered beaches in Western Australia. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 21: 587-599.

McLachlan, A., 1990. Dissipative beaches and macrofauna communities on exposed intertidal sands. *Journal of Coastal Research*, 6: 657-664.

Margalef, R., 1980. *Ecología*. Omega, 951 pp.

Miller, M.L. & R.B. Ditton, 1986. Travel, tourism and marine affairs. *Coastal Zone Management Journal*, 14: 1-19.

Moffett, M.D., A. McLachlan, P.E.D. Winter & A.M.C. De Ruyck, 1998. Impact of trampling on sandy beach macrofauna. *Journal of Coastal Conservation*, 4: 87-90.

Nelson, W.G., 1993. Beach restoration in the southeastern US: environmental effects and biological monitoring. *Ocean & Coastal Management*, 19: 157-182.

Orth, R.J., 1978. The importance of sediment stability in seagrass communities. *Ecology of Marine Benthos*. The Belle W. Baruch Library in Marine Science, Coull C. (Ed), 6: 281-300.

Peterson, C.H., 1998. Intertidal zonation of marine invertebrates in sand and mud. *American Scientist*, 79: 236-249.

Peterson, C.H., D.H.M., Hickerson & G. Jhonson, 2000. Short-term consequences of nourishment and bulldozing on the dominant large invertebrates of a sandy beach. *Journal of Coastal Research*, 16: 368-378.

Raffaelli, D. & S. Hawkins, 1996. *Intertidal Ecology*. Chapman & Hall, 356 pp.

Rakocinski, C., R.W. Heard, T. Simons & D. Gledhill, 1991. Macroinvertebrate associations from beaches of selected barrier islands in the Northern Gulf of Mexico: important environmental relationships. *Bulletin of Marine Science*, 48 (3): 689-701.

Ricklefs, R.E., 2000. *Ecology*. W.H. Freeman, 822 pp.

Riffell, S.K., K.J. Gutzwiller & S.H. Anderson, 1996. Does repeated human intrusion cause cumulative decline in avian richness and abundance? *Ecological Applications*, 6 (2): 492-505.

Rohlf, F.J., 1993. *Numerical Taxonomy and Multivariate Analysis System*. Applied Biostatistics, 240 pp.

Ruyck, A.M.C., A.G. Soares & A. McLachlan, 1997. Human recreational patterns on beaches with different levels of development. *Transactions of the Royal Society of South Africa*, 52 (2): 257-276.

Salazar S.I., J.A. de Leon & H. Salaices, 1988. *Poliquetos (Annelida: Polychaeta) de México*. Universidad Autónoma de Baja California Sur, 212 pp.

Saunders, C., J. Selwyn, S. Richardson, V. May & C. Heeps, 2000. *A Review of the Effects of Recreational Interactions within UK European Marine Sites*. UK CEED Marine in association with Bournemouth University, Center for Coastal Conservation and Education, 265 pp.

Seco, R. 2001. *Peligros Litorales*. Apuntes de curso. Maestría en Manejo Sustentable de Zonas Costeras. Universidad Autónoma de Baja California Sur (mimeógrafo), 48 pp.

Southward, A.J., 1975. *Life on the Sea-Shore*. Harvard University Press, 153 pp.

Schoeman, D.S., A., McLachlan & J.E. Dugan, 2000. Lessons from a disturbance experiment in the intertidal zone of an exposed sandy beach. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 50: 869-884.

Short, A. D., 1999. *Handbook of Beach and Shoreface Morphodynamics*. Wiley and Sons, UK.

Simon, J.L. & D.M. Dauer, 1978. Reestablishment of a benthic community following natural defaunation. *Ecology of Marine Benthos*. The Belle W. Baruch Library in Marine Science Number 6, C. Coull. (Ed), 138-153.

Southerland, J., 1978. Effect of *Schizoporella* (Ectopora) removal on the fouling community at Beaufort, North Carolina, USA. *Ecology of Marine Benthos*. The Belle W. Baruch Library in Marine Science, C. Coull (Eds), 6: 155-176.

Warwick, R.M., 1993. Environmental impact studies on marine communities: Pragmatical considerations. *Australian Journal of Ecology*, 18: 63-80

Warwick, R.M. & K.R. Clark, 1993. Comparing the severity of disturbance. A meta-analysis of marine macrobenthic community data. *Marine Ecology Progress Series*, 3: 221-231.

Whitlatch, R.B., 1977. Seasonal changes in the community structure of the macrobenthos inhabiting the intertidal sand and mud flats of Barnstable Harbor, Massachusetts. *Biological Bulletin*, 152: 275-294.

Wu, J., 1998. *The Distribution of Benthic Infauna in the Nearshore Zone of Adelaide's Northern Metropolitan Coast*. Thesis of the Masters of Ecology and Management, University of Adelaide, Australia, 71 pp.