

TESIS DEFENDIDA POR
Anelena Cristina Campuzano Hernández
Y APROBADA POR EL SIGUIENTE COMITÉ

Dra. Sharon Zinah Herzka Llona
Director del Comité

Dr. Oscar Sosa Nishizaki
Miembro del Comité

Dr. Benjamín Barón Sevilla
Miembro del Comité

Dr. Axayácatl Rocha Olivares
*Coordinador del programa de posgrado
en Ecología Marina*

Dr. David Hilario Covarrubias Rosales
Director de Estudios de Posgrado

8 de abril de 2010

**CENTRO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Y DE EDUCACIÓN SUPERIOR
DE ENSENADA**



**PROGRAMA DE POSGRADO EN CIENCIAS
EN ECOLOGÍA MARINA**

**Función de un sistema estuarino para subadultos y adultos del lenguado de
California *Paralichthys californicus***

TESIS

que para cubrir parcialmente los requisitos necesarios para obtener el grado de
MAESTRO EN CIENCIAS

Presenta:

ANELENA CRISTINA CAMPUZANO HERNÁNDEZ

Ensenada, Baja California, México, abril de 2010.

RESUMEN de la tesis de **Anelena Cristina Campuzano Hernández**, presentada como requisito parcial para la obtención del grado de MAESTRO EN CIENCIAS en **Ecología Marina**. Ensenada, Baja California. Abril de 2010.

Función de un sistema estuarino para subadultos y adultos del lenguado de California *Paralichthys californicus*

Resumen aprobado por:

Dra. Sharon Zinah Herzka Llona

Los estuarios proveen ventajas a los juveniles de peces marinos en comparación con los hábitats costeros. Entre ellas, destaca una mayor disponibilidad de alimento que sustenta tasas altas de crecimiento y hábitat protegido y complejo asociado a tasas de depredación más bajas. El lenguado de California, *Paralichthys californicus*, es facultativo en el uso de estuarios durante la fase juvenil temprana, ya que solo una fracción de la población inmigra a zonas estuarinas. Las larvas se asientan en la costa o cerca a la boca de bahías protegidas a los ca. 10 mm de longitud estándar (LE). La inmigración estuarina ocurre a los 10 – 70 mm LE. Luego de la fase juvenil temprana, los residentes de los estuarios emigran a zonas semiprotegidas costeras a tallas entre los 140 - 200 mm LE. Aunque según las descripciones del ciclo de vida de esta especie el hábitat de subadultos y adultos ≥ 200 mm LE es costero, diversos estudios reportan la captura de subadultos y adultos dentro de sistemas estuarinos. Se desconoce si los subadultos y adultos son residentes de los estuarios o si reingresan a estos sistemas luego de habitar zonas costeras. Empleando un sistema estuarino (el Estero de Punta Banda) y hábitat costero adyacente (Bahía de Todos Santos) en Baja California, México, como sistema modelo, evalué la función de sistemas estuarinos para subadultos y adultos del lenguado de California. En los muestreos hechos durante la pre-emigración estuarina (junio-julio), la post-emigración estuarina (septiembre-octubre) y el pico en la reproducción (febrero), se capturaron un total de 865 lenguados, de los cuales el 31% tuvieron tallas ≥ 200 mm LE (20 % en el estero y 11 % en la costa). Hubo un mayor índice de llenado estomacal en subadultos y adultos capturados en el estero que en la costa durante el verano y otoño, mientras que en invierno el éxito en la alimentación fue similar entre hábitats. Esto sugiere que hay un mayor éxito en la alimentación dentro de sistemas estuarinos durante las épocas principales de crecimiento. No hubo evidencia de actividad reproductiva dentro del estero, lo cual es consistente con el comportamiento reproductivo descrito para esta especie. Para evaluar si los lenguados ≥ 200 eran residentes o inmigrantes

recientes, se analizó la composición isotópica de carbono ($\delta^{13}\text{C}$) y nitrógeno ($\delta^{15}\text{N}$). El análisis de razones isotópicas para inferir uso de hábitat se basa en la premisa de que las señales isotópicas correspondientes a sistemas estuarinos y costeros son diferentes, y que estas diferencias se reflejan en los tejidos de consumidores. Se analizaron dos tejidos con tasas de recambio isotópico diferentes (sangre y músculo). La composición isotópica de la sangre refleja la composición del alimento ingerido en escalas de tiempo cortas, mientras que el músculo refleja periodos más largos. No se pudo evaluar el uso de hábitat en función de valores de $\delta^{15}\text{N}$ ya que se observó una relación con la talla. La comparación de los valores de $\delta^{13}\text{C}$ en sangre y músculo de peces capturados en el estero y en la costa adyacente indica que la mayoría de subadultos y adultos capturados en el Estero de Punta Banda son residentes. Por lo tanto, el lenguado de California tiene una estrategia de vida alterna que no se ha descrito anteriormente, en la cual algunos subadultos y adultos permanecen en sistemas estuarinos por un período más largo de tiempo y hasta tallas más grandes que lo documentado en estudios previos, probablemente para propósitos alimenticios.

Palabras Claves: *Paralichthys californicus*, Estero de Punta Banda, isótopos estables

ABSTRACT of the thesis presented by **Anelena Cristina Campuzano Hernández** as a partial requirement to obtain the MASTER OF SCIENCE degree in Marine Ecology. Ensenada, Baja California, México. Abril de 2010.

Assessment of estuarine habitat utilization by subadult and adult California halibut *Paralichthys californicus*

Estuaries provide advantages to juvenile marine fish compared with coastal habitats, including higher food availability associated with faster growth rates and providing protected and complex habitats linked with lower predation rates. California halibut (*Paralichthys californicus*) juveniles are considered facultative in their use of estuaries; only a fraction of the population immigrates to estuaries during the juvenile stage. Early juveniles settle in coastal areas or close to the mouth of estuaries at ca. 10 mm standard length (SL). Estuarine immigration of early juveniles occurs at 10 – 70 mm SL. Estuarine residents emigrate to semiprotected coastal zones between 140-200 mm SL. According to descriptions of the life cycle of this species, the habitat used by subadults and adults ≥ 200 mm SL is coastal. However, some studies report the capture of subadults and adults in estuarine systems, albeit in lower abundance than juveniles < 200 mm SL. Whether fish ≥ 200 mm SL captured within estuaries are residents or recent immigrants is not known, and the functions estuarine habitat serves for subadults and adults have yet to be determined. Using an estuarine system (Punta Banda Estuary) and adjacent coastal habitat (Todos Santos Bay) in Baja California, Mexico, as a model system, I evaluated the function of estuaries serve for subadult and adult California halibut and whether they are residents or whether they immigrate at larger sizes. Sampling was conducted in both habitats during the period preceding estuarine emigration (June-July), during the peak in emigration (September-October) and during the reproduction season (February). A total of 865 halibut were captured, of which 31% were subadults and adults ≥ 200 mm SL (20% in the estuary and 11% in adjacent coastal habitat). Indices of stomach fullness were higher in the estuary than along the coast during summer and autumn, while in winter gut fullness was similar in both habitats. This suggests there is higher feeding success within estuarine systems during the seasons of higher growth. There was no evidence of reproductive activity within the estuary, which is consistent with the reproductive behavior described for this species. To evaluate whether fish ≥ 200 mm SL captured within estuaries are residents or recent immigrants, I analyzed the isotopic composition of carbon ($\delta^{13}\text{C}$) and nitrogen ($\delta^{15}\text{N}$) of the tissues of subadults and adults captured in the estuary and adjacent coastal habitat. This approach relies on the premise that the isotopic

composition of food sources in estuarine and coastal habitat differs and is reflected in the soft tissues of juveniles. Blood and muscle, which have different rates of isotopic turnover, were measured because the isotopic composition of blood integrates a shorter feeding period than that of muscle. It was not possible to evaluate habitat utilization based on $\delta^{15}\text{N}$ values because there was a relationship with size that confounded the interpretation of isotopic values. The $\delta^{13}\text{C}$ values of blood and muscle were similar and indicated that most subadults and adults captured in the estuary were residents. California halibut may therefore have an additional and previously undescribed life history strategy in which some subadults and adults ≥ 200 mm SL remain in estuaries for extended periods of time, probably for feeding purposes. The advantages that this alternative life history strategy serves at the population level and its importance relative to the utilization of coastal has yet to be determined.

Key words: Estuarine habitat, California halibut, stable isotope ratios

*A mis padres: Alfonso y Beatriz
por ayudarme a alcanzar una meta más.
Los amo*

Agradecimientos

A mi directora de tesis, Sharon Z. Herzka, por su entrega en este trabajo, por compartir sus conocimientos conmigo y por su incondicional amistad.

Al Dr. Oscar Sosa y al Dr. Benjamín Barón por aceptar estar en mi comité, por su gran apoyo, aportes y comentarios durante la realización de este trabajo.

Un agradecimiento especial al Dr. Benjamín Barón y Juan Pablo Lazo por facilitarme las instalaciones de los laboratorios de reproducción y de nutrición. A la técnica Yanet Guerrero por ayudarme con la preparación y montaje de los cortes histológicos. A los Mcs. Fernando García y Marisol Simón Díaz por acogerme en sus laboratorios y apoyarme en cada cosa que necesitaba.

A los integrantes del laboratorio de ecología pesquera: Oscar Sosa, por siempre llegar con una sonrisota a alegrarnos el día y por ese colombiano que llevas por dentro; a Carmencita, por estar pendiente de la logística en las salidas de campo. Gracias por su ayuda en campo a Andrea, Bertha, Jonksito y Erick (aunque una raya no le dejó ayudar), a los marineros Iván y Demetrio, por hacer más divertida cada salida de campo. A Juan Pablo, Luis, Erick y Andre por colaborar en el procesamiento de las muestras. A Karina y Erick por sus comentarios en las presentaciones y en el manuscrito. Especialmente quiero agradecerle al Mc. Francisco López, mi gordito, gracias por compartir tus conocimientos conmigo, por ayudarme en los muestreos, en el procesamiento de las muestras, gracias por esa entrega y que a pesar de la distancia estuviste muy pendiente hasta la culminación de este proyecto.

A mi familia en Colombia: papás, gracias por apoyarme en todo, por su amor y paciencia, y sobre todo por haberme convencido de que soy una “berraquita” gracias a ustedes he logrado cumplir con una meta que propuse hace 12 años, los amo papitos. A mis hermanos: Andrés Felipe y a Manolo que desde lejos me divertía con sus “locuritas”. A mis tías Higia y Hera, a mi tío chito y a mis primitos del alma Hualber y Cristhian por su cariño y estar siempre pendiente de mi.

A mi familia en Ensenada: Wencel y Sashenka, agradezco su colaboración incondicional, mis sobrinitas Iyari y Abril, fueron el motivo para sonreír cada mañana en esta última etapa de la maestría. A la tía Rosita por su cariño y ser tan atenta conmigo. A mi colonia colombiana, Andrea, Diana, Pili, Vladi, Constanza, Magno, Andrea S, Mafe, Martica, y Érica porque me hicieron mucho más amena mi estancia lejos de casa.

A mis amigos: Juan Pablo, fuiste muy importante en todo este proceso, gracias por tu cariño, por tantos buenos momentos y por todas aquellas palabritas terminadas en “e”, te quiero mucho. A Cruz, un gran amigo, gracias por estar a mi lado cuando

más lo necesitaba y por compartir tantas cosas buenas conmigo. A Ericksito, te convertiste en una persona muy importante para mí, gracias por compartirme tus conocimientos, por sacarme una sonrisa a diario y por tu cariño. A mis amigos en la samaria: Elenis, Carlos, Heyder, Angie, Erika y Harold, gracias por mantener esta bonita amistad, los adoro.

Al CICESE, a todos sus profesores y personal administrativo en especial a Varuní, gracias por tu colaboración, por hacer los procesos administrativos más fáciles y por tu cariño y atención hacia mí.

Al CONACyT por el apoyo económico brindado durante el desarrollo de mi maestría.

Contenido

	Página
I. Introducción	1
II. Hipótesis	9
III. Objetivos	10
III.1 Objetivo general	10
III.2 Objetivos específicos	10
IV. Materiales y métodos	11
IV.1 Área de estudio	11
IV.2 Captura de subadultos y adultos	14
IV.3 Análisis de abundancia relativa	16
IV.4 Obtención de muestras en el laboratorio	16
IV.5 Análisis de contenido estomacal	17
IV.6 Éxito relativo en el nivel de alimentación	17
IV.7 Análisis del estado reproductivo	20
IV.8 Preparación de muestras para análisis isotópico	21
IV.9 Estimación de la tasa de recambio isotópico	22
V. Resultados	25
V.1. Distribución de frecuencia de longitudes	25
V.2. Abundancia relativa	26
V.3. Índices de éxito alimentario	28
V.4. Hábitos alimentarios	31
V.5. Estado reproductivo	32
V.6. Análisis isotópico	33
V.6.1. Estimación de la tasa de recambio isotópico	41
VI. Discusión	44
VI.1. Distribución de frecuencia de tallas y abundancia relativa	45
VI.2. Estado reproductivo	47
VI.3. Análisis isotópico	48
VI.3.1. Modelo de recambio	49
VII. Conclusiones	52
VII. Literatura citada	54

Lista de figuras

Figura		Página
1	Área de estudio en la costa Pacífico de Baja California, México, que abarcó la Bahía de Todos Santos y las tres zonas del Estero de Punta Banda: zona externa, zona media y zona interna	13
2	Distribución de frecuencia de longitudes de lenguados de California	26
3	Abundancia relativa de lenguados de California mayores de 200 mm LE capturados en la Bahía de Todos Santos y en la zonas externa, central e interna del Estero de Punta Banda	27
4	Índice de repleción de lenguados de California (<i>Paralichthys californicus</i>) mayores a 200 mm LE (longitud estándar) en las cuatro zonas de muestreo	29
5	Coefficiente de vacuidad de lenguados de California (<i>Paralichthys californicus</i>) \geq 200 mm LE (longitud estándar) capturados en la Bahía de Todos Santos y en el Estero de Punta Banda en Baja California, México	30
6	Valores de $\delta^{13}\text{C}$ en músculo y sangre vs longitud estándar (LE) de lenguados de California capturados en junio-julio, septiembre-octubre y febrero en la zona externa, central e interna del Estero de Punta Banda y en la Bahía de Todos Santos	38
7	Valores de $\delta^{13}\text{C}$ de músculo y sangre vs. longitud estándar (LE) de lenguados de California capturados en junio-julio, septiembre-octubre y febrero en la zona central e interna del Estero de Punta Banda y en la Bahía de Todos Santos (BTS)	38
8	Valores de $\delta^{15}\text{N}$ de a) músculo y b) sangre vs. longitud estándar (LE) de lenguados de California capturados en junio-julio 08, septiembre-octubre 08 y febrero 09 en la zona externa, central e interna del Estero de Punta Banda y en la Bahía de Todos Santos	39

Lista de figuras (continuación)

Figura		Página
9	Correlación de valores de $\delta^{13}\text{C}$ de músculo y sangre de lenguados de California capturados en el Estero de Punta Banda y en la Bahía de Todos Santos en junio-julio 08, septiembre-octubre 08 y febrero 09	41
10	Modelo de recambio isotópico para lenguados de California sujetos a un cambio de dieta simulado a diferentes tallas. Se usó un modelo de dilución simple, en el cual solo el crecimiento contribuye al recambio isotópico. El recambio está expresado en función del tiempo necesario para llegar hasta un 90% de equilibrio isotópico con una nueva fuente de alimento	43
11	Modelo de recambio isotópico para lenguados de California sujetos a un cambio de dieta simulado a diferentes tallas. Se utilizó la constante de recambio $c = -4$ para sangre propuesta por Buchheister, 2008. El recambio está expresado en función del tiempo necesario para llegar hasta un 90% de equilibrio isotópico con una nueva fuente de alimento	43

Lista de tablas

Tabla		Página
I	Fechas en las cuales se llevaron a cabo los muestreos para la captura de lenguados de California en el Estero de Punta Banda (EPB) y en Bahía de Todos Santos (BTS), número de arrastres, y parámetros fisicoquímicos medidos en cada sitio	15
II	Número de muestras analizadas por sitio e intervalo de talla	21
III	Resultados del ANOVA de dos vías para evaluar el efecto de la fecha y la zona de muestreo sobre la abundancia relativa de lenguados de California ≥ 200 mm LE capturados en el Estero de Punta Banda y la Bahía de Todos Santos en Baja California, México	28
IV	Resultados del ANOVA empleado para evaluar el índice de repleción obtenido de lenguados de California ≥ 200 mm LE capturados en el Estero de Punta Banda y la Bahía Todos de Santos en Baja California, México	30
V	Cuantificación de la dieta del lenguado de California ≥ 200 mm LE mediante el porcentaje del índice de importancia geométrico	32
VI	Porcentaje de estado de madurez de lenguados de California	33
VII	Valores de $\delta^{13}C$, $\delta^{15}N$ y C:N de músculo y sangre de subadultos y adultos del lenguados de California	35

I. Introducción

Muchas especies de peces marinos exhiben un ciclo de vida en el cual los adultos desovan en la costa, los huevos tienen una etapa planctónica y las larvas y/o juveniles tempranos utilizan los sistemas estuarinos como hábitat de crianza antes de emigrar a zonas costeras durante la etapa subadulto o adulta (Allen 1988, Kramer 1991a). Los estuarios proveen de ciertas ventajas a los juveniles, estas ventajas se ven reflejadas en las altas tasas de crecimiento en comparación con las que se registran en las zonas costeras (Kramer, 1991a; Rosenberg, 1982). Proveen una mayor abundancia de alimento, temperaturas favorables para el crecimiento y una disminución en el riesgo de depredación en comparación con las zonas costeras como resultado de una mayor complejidad del hábitat disponible (Kramer, 1990, 1991b; Madon, 2002). Sin embargo, pocos estudios se han enfocado en la función que tienen los sistemas estuarinos para las etapas subadultas (juveniles tardíos) y adultas (tallas mayores a la talla media de madurez sexual) de especies cuyo ciclo de vida involucra la emigración estuarina luego de la utilización de hábitat de crianza.

El lenguado de California, *Paralichthys californicus*, es una especie de importancia comercial y recreacional, tanto en México como en EUA (Barsky, 1990; Helvey y Witzig, 1990). Entre las especies de la familia Paralichthyidae, el lenguado de California es la que alcanza un mayor tamaño. Se han capturado organismos que pesan hasta 32 kg y que miden 1.5 m (Frey, 1971). Se distribuye desde Quillayute River, Washington, Estados Unidos, hasta Bahía Magdalena en Baja California Sur (Moser y Watson, 1990). Es una especie de longevidad cercana a los 30 años (Pattison y MacAllister, 1990).

El lenguado de California cambia sus requerimientos de hábitat a través de su ciclo de vida. Cuando es adulto, habita en fondos arenosos hasta 185 m de profundidad (Haaker, 1975). Los machos maduran a tallas más pequeñas que las hembras; la talla media de primera madurez de los machos es de 230 mm de longitud total (LT), mientras que las hembras maduran a una talla media de 470 mm LT (Love y Brooks, 1990). El lenguado de California se reproduce cerca de la costa y puede desovar a lo largo del año (Moser y Watson, 1990), aunque la principal época de reproducción es de febrero a agosto (Allen 1988; Kramer 1990). Luego del desove, los huevos eclosionan en aproximadamente dos días a una talla de 2 mm de longitud estándar (LE) (Gadomski *et al.*, 1990). Las larvas son transportadas por corrientes hacia zonas costeras someras (Kramer 1990), donde ocurre la transición de la etapa planctónica a la etapa demersal (asentamiento), aunque también pueden asentarse en zonas expuestas (Allen y Herbinson 1990). Según los estudios realizados hasta la fecha, el lenguado de California no completa su ciclo de vida dentro de los sistemas estuarinos, ya que no se ha reportado evidencia de actividad reproductiva o la presencia de larvas o huevos (Beltran-Felix *et al.*, 1986; Castro-Longoria y Grijalva-Chon, 1988).

Después del asentamiento, los juveniles tempranos pueden inmigrar a los sistemas estuarinos y permanecen ahí por uno o dos años o pueden permanecer en la zona costera, por lo cual se considera que el lenguado de California utiliza los estuarios de manera facultativa según la clasificación de Able y Fahay (1998). El uso de los sistemas estuarinos por juveniles del lenguado de California ha sido documentado en diversos sistemas del sur de California (Haaker, 1975, Valle *et al.*, 1999; Fodrie y Levin, 2008) y en Baja California (Hammann y Ramírez-González, 1990; Hammann y Rosales-Casián, 1990; Rosales-Casián, 1996; Rosales-Casián, 2004).

Kramer (1991a) también reportó que el lenguado de California usa los sistemas estuarinos como zonas de crianza y encontró una mayor densidad de

juveniles de 21-60 mm LE en estas zonas protegidas que en la costa. Más recientemente, Fodrie y Mendoza (2006) y Fodrie y Levin (2008) evaluaron la distribución de los juveniles dentro de los sistemas estuarinos y a lo largo de la costa del condado de San Diego y concluyeron que ambos tipos de hábitats contribuyen al stock de adultos. Se estima que la producción de subadultos provenientes de zonas de crianza estuarinas y costeras es similar, a pesar de que la densidad de juveniles tempranos es mucho mayor dentro de sistemas estuarinos (Forrester y Swearer, 2002; Fodrie y Levin, 2008). Con base en estudios que han evaluado la emigración estuarina en función de la abundancia y frecuencias de tallas, esta ocurre entre los 140-200 mm LE (Haaker 1975, Allen 1988, Sandoval-Muy 1996, Rosales-Casián 1997, López-Rasgado y Herzka 2009).

La mayoría de los individuos > 200 mm LE son capturados en la costa abierta (Allen y Herbinson, 1990; Kramer, 1990a), lo cual es consistente con la talla de emigración reportada en la literatura. Sin embargo, varios estudios han reportado la presencia de individuos > 200 mm LE en sistemas estuarinos (Allen y Herbinson, 1990; Hammann y Ramírez 1990; Hammann y Rosales-Casián 1990, López-Rasgado y Herzka, 2009; Herzka *et al.*, 2009). Esto sugiere que una subpoblación del lenguado de California puede exhibir una estrategia de vida que no está bien documentada. En particular, es posible que (1) los juveniles tempranos que han inmigrado a sistemas estuarinos permanezcan en ellos por un periodo mayor al descrito en la literatura, emigrando a zonas costeras a tallas > 200 mm LE o, (2) que luego de haber emigrado o habitado en zonas costeras inmigren a los sistemas estuarinos. La presunta variabilidad en el ciclo de vida del lenguado de California, lo hacen una especie modelo para estudiar la función que tienen los sistemas estuarinos durante las fases subadulto y adulto.

Una de las ventajas que pueden proveer los sistemas estuarinos para los individuos ≥ 200 mm LE es una mayor disponibilidad de presas en comparación con zonas costeras. Varios estudios han evaluado los hábitos alimentarios de

lenguado de California, tanto en sistemas estuarinos como en zonas costeras y la mayoría se han enfocado en los juveniles. Sandoval-Muy (1995) evaluó los hábitos alimentarios del lenguado de California en el Estero Punta Banda y en la Bahía Todos Santos y encontró que en la zona costera los individuos entre 31 y 255 mm LE se alimentaban principalmente de crustáceos durante el invierno y verano, mientras que en el sistema estuarino se alimentaban mayormente de peces. Navarro-Mendoza (1985) reportó que los lenguados de California de tallas de 110 – 310 mm LT capturados en el Estero de Punta Banda se alimentaban mayormente de peces y crustáceos, pero también incluían en su dieta a otros grupos como los cnidarios, molluscos, anélidos y artrópodos. En su estudio, los lenguados presentaron un mayor índice de vacuidad en invierno que en primavera, por lo cual concluyó que en invierno la ingestión de alimento es menor que en primavera. Otros estudios han abarcado un rango más amplio de tallas. Plummer *et al.* (1983) encontraron que para juveniles de 124 – 476 mm LE de la zona costera de California, las presas más importantes fueron las anchovetas y misidáceos, los cuales constituían más de un 90% del índice de importancia relativa (IIR). Plummer *et al.* (1983) también reportaron la presencia de dos individuos del lenguado *Pleuronichthys verticalis* en el estomago de un lenguado de California de 820 mm LE. Wertz y Domeier (1997) reportaron que para tallas < 300 mm LE, el grupo taxonómico más importante en la dieta fue el de los peces. Los organismos de tallas entre 300 y 399 mm LE, se alimentaron principalmente de peces planos del género *Citharichthys*, mientras que los de tallas entre 400-599 mm LE se alimentaron de anchovetas y de sardinas. Por último, los adultos más grandes (> 600 mm LE) se alimentaban de sardinas y anchovetas, así como de otras especies de peces como *Ophidion scrippsae*, *Genyonemus lineatus*, *Scomber japonicus* y *Trachurus symmetricus*. De acuerdo con estos estudios, la dieta del lenguado de California varía en función de su hábitat (sistemas estuarinos o costeros), de la época del año y del tamaño del organismo.

Existen varias técnicas para estudiar la migración de peces entre sistemas estuarinos y costeros, como lo son el análisis de abundancias y frecuencia de tallas y los estudios de marcaje y recaptura. Sin embargo, no es posible distinguir entre la residencia estuarina y la inmigración a tallas > 200 mm LE únicamente con base en estudios de abundancia y frecuencias de tallas, y los estudios de marcaje y recaptura involucran un nivel de esfuerzo alto y pueden resultar en una tasa de recaptura muy baja (Herzka *et al.*, 2009). Una herramienta con la cual se puede distinguir entre la residencia y la inmigración estuarina se basa en el análisis de isótopos estables de carbono en los tejidos de los peces (Herzka y Holt, 2000; Herzka *et al.*, 2001; 2002). Esta herramienta ha sido usada para trazar movimientos migratorios de diversos taxa (Hobson, 1999), incluyendo insectos (Wassenaar y Hobson, 1998), aves (Hobson y Bairlein, 2003) y peces (Kline *et al.*, 1998).

El análisis de la composición isotópica se basa en la premisa de que los animales que habitan en zonas costeras y que forman parte de la cadena alimentaria cuya base es el fitoplancton, difieren en su composición isotópica de aquellos cuya fuentes de carbono son principalmente las plantas bentónicas de los sistemas estuarinos (France, 1995, Deegan y Garrit, 1997). Esto se debe a diferencias en la abundancia relativa de ^{13}C y ^{12}C en la base de la cadena alimentaria de cada ecosistema, que es consecuencia de diferencias taxonómicas en las fuentes de producción primaria, las rutas fotosintéticas de diferentes taxa, y la composición isotópica del carbono inorgánico disuelto. En general, los productores primarios de los sistemas estuarinos presentan valores más enriquecidos (con una mayor abundancia relativa) en ^{13}C que la zona costera. En consumidores, la composición isotópica de la base de la cadena alimentaria se refleja en la composición isotópica de sus tejidos (DeNiro y Epstein 1979, 1981). Los isótopos son átomos del mismo elemento que tienen el mismo número de protones y electrones, pero que difieren en el número de neutrones, por lo que su masa es diferente. Los isótopos estables no poseen radioactividad, lo cual implica

que tienen un núcleo estable (Sharp, 2007). Debido a que la diferencia absoluta en la composición isotópica entre muestras naturales es muy baja y difícil de medir con precisión, la abundancia relativa de los isótopos estables de un elemento se reportan con respecto a estándares universales, y es expresada en partes por mil:

$$\delta (\text{‰}) = (R_{\text{muestra}} - R_{\text{est}}) / R_{\text{est}} \times 1000 \quad (1)$$

donde la composición isotópica δ (delta; ‰) está expresado en partes por mil, R_{sample} es la razón entre el isótopo pesado y el ligero en la muestra y R_{standard} es la razón entre el isótopo pesado y el ligero en un estándar. El estándar utilizado para reportar valores de $\delta^{13}\text{C}$ de materia orgánica es el Vienna PeeDee Belemnite (VPDB) y el estándar usado para reportar valores de $\delta^{15}\text{N}$ es el nitrógeno atmosférico (Sulzman, 2007).

Durante la transferencia de biomasa entre niveles tróficos, hay una diferencia en los valores isotópicos entre el consumidor y la presa. Esta diferencia se conoce como fraccionamiento o enriquecimiento trófico (DeNiro y Epstein, 1979; 1981; Vander Zanden y Rasmussen, 2001). En el caso de los valores de $\delta^{13}\text{C}$, el fraccionamiento se debe a la discriminación del ^{12}C durante la respiración, lo cual lleva a un enriquecimiento en ^{13}C en los tejidos del consumidor con respecto a la dieta (DeNiro & Epstein, 1978). En cuanto al nitrógeno, los procesos que causan fraccionamiento son cinéticos (i.e, discriminación isotópica causada por diferencias en la tasa de reacción de compuestos químicamente idénticos pero que contienen diferentes isótopos). El fraccionamiento ocurre durante la deaminación y transaminación de aminoácidos nitrogenados. Durante estos procesos metabólicos, los animales eliminan preferencialmente el ^{14}N y retienen ^{15}N en sus tejidos, lo cual hace que el consumidor tenga valores más enriquecidos en ^{15}N que su dieta (Shoeninger & DeNiro, 1984). El fraccionamiento en los valores de $\delta^{15}\text{N}$ de un consumidor con respecto a su alimento es aproximadamente 3-4‰, por lo cual el análisis de la composición isotópica de

nitrógeno es útil en la estimación del nivel trófico de un consumidor (DeNiro & Epstein 1981; Shoeneringer & DeNiro, 1984; Post, 2002).

Al migrar de un sistema estuarino hacia un sistema costero, o viceversa, cambian las fuentes de carbono predominantes y/o el nivel trófico. La composición isotópica de los tejidos de un pez cambia de manera gradual hasta llegar al equilibrio con las nuevas fuentes de alimento (Fry y Arnold 1982, Hesslein *et al.*, 1993, Herzka, 2005) por lo tanto se puede diferenciar entre un organismo residente del sistema estuarino (tendría señal isotópica consistente con la del sistema estuarino) y un inmigrante reciente.

El proceso por el cual el organismo cambia la composición isotópica de sus tejidos de manera gradual hasta llegar a un equilibrio con las nuevas fuentes de alimento se denomina recambio isotópico. La tasa de recambio isotópico está relacionada con la actividad metabólica y las tasas de crecimiento de que cada tejido. Los tejidos que son metabólicamente más activos (i.e. hígado y sangre) presentan tasas de recambio isotópico más rápidas que aquellos cuyo metabolismo es más lento (i.e. músculo) (Tieszen *et al.* 1983; Hobson & Clark, 1992; Buchheister, 2008). Así mismo, individuos con tasas de crecimiento altas llegan a un equilibrio isotópico con una nueva fuente de alimento más rápidamente (Herzka, 2005).

Varios estudios han estimado la tasa de recambio isotópico en tejidos en peces (Gaston y Suthers, 2004 y Guelinckx *et al.*, 2007) y particularmente en peces planos (Bosley *et al.*, 2002). Un estudio, sobre una especie del mismo género que el lenguado de California, fue realizado por Buchheister y Latour (2009 sometido), ellos midieron el recambio isotópico en juveniles de *Paralichthys dentatus* (130-255 mm LE) bajo condiciones de laboratorio, y encontraron que era más rápida en el hígado y en la sangre que en músculo. Estimaron un tiempo medio de recambio (el tiempo que se requiere para llegar al 50% del cambio

isotópico entre la composición inicial y final) de 10-20 días para el hígado, 22-44 días para sangre y 49-107 días para el músculo. Esto indica que el hígado y la sangre integran la composición del alimento en una ventana de tiempo corta, con la cual se puede distinguir si un lenguado ha inmigrado recientemente a un sistema estuarino, mientras que el músculo, por tener una tasa de recambio más lenta, permite detectar la inmigración durante una ventana de tiempo más larga (aprox. 3 meses).

El objetivo principal de este trabajo es evaluar la función que tiene un sistema estuarino en los lenguados de California subadultos y adultos, para lo cual se buscará si hay evidencia de actividad reproductiva dentro del sistema estuarino y se comparará la cantidad de alimento de los lenguados del sistema estuarino con los de la zona costera, con el fin de saber si la alimentación es mayor dentro del sistema estuarino. Por otro lado, con base en el análisis de la composición isotópica de sus tejidos se evaluará la hipótesis que los lenguados subadultos y adultos capturados dentro del sistema estuarino son residentes o inmigrantes recientes.

II. Hipótesis

No hay evidencia de desove en los lenguados subadultos y adultos ≥ 200 mm LE del lenguado de California en un sistema estuarino modelo.

El nivel de alimentación de individuos ≥ 200 mm LE en el sistema estuarino es mayor que en la costa adyacente.

La composición isotópica de tejidos de individuos ≥ 200 mm LE es indicativa de la utilización de sistemas estuarinos por periodos más prolongados (hasta tallas mayores) que los descritos en la literatura.

III. Objetivos

III.1 Objetivo general

Evaluar la función ecológica que tiene un sistema estuarino modelo, el Estero de Punta Banda, para los subadultos y adultos (≥ 200 mm LE) del lenguado de California.

III.2 Objetivos específicos

Evaluar si hay evidencia de desove en adultos del lenguado de California capturados en un sistema estuarino modelo.

Estimar y comparar la cantidad de alimento presente en los estómagos de los individuos ≥ 200 mm LE capturados dentro del sistema estuarino y en la costa adyacente.

Evaluar la composición isotópica de los tejidos de los lenguados subadultos y adultos capturados dentro de un sistema estuarino para discernir si son residentes o inmigrantes recientes.

IV. Materiales y métodos

IV.1 Área de estudio

La Bahía de Todos Santos se localiza frente a la Ciudad de Ensenada, Baja California, entre 31° 43' y 31° 54' N y 116° 26' y 116° 49'W. Abarca un área de 116 km² y cerca del 80% de la bahía presenta una profundidad menor a los 50 m. La parte norte y sur de la bahía se caracterizan por sus costas rocosas, mientras que la región central es arenosa.

El Estero de Punta Banda se encuentra en el margen sureste de la Bahía de Todos Santos. El estero está ubicado entre los 31° 42' y 31 47' N y 116° 37' y 116° 39'W (Figura 1). Tiene forma de “L” y está conectado a la bahía por medio de una sola boca ubicada en el extremo noroeste. El estero tiene aproximadamente 11 km de longitud y 800 m de ancho y está separado de la bahía por una barra de arena de 7.5 km de longitud (Acosta-Ruiz y Álvarez-Borrego, 1974). A lo largo del sistema, hay un canal principal de 7.6 km de largo, de mayor profundidad que el resto del estero, en el cual las mayores profundidades se encuentran cerca de la boca (8-9 m con respecto a la bajamar media inferior; Pritchard *et al.*, 1978).

Los estudios de la hidrografía del Estero de Punta Banda indican que bajo condiciones normales, la evaporación excede a la precipitación y a las descargas de agua dulce en conjunto (Acosta Ruíz y Álvarez-Borrego, 1974; Celis Ceseña y Álvarez Borrego, 1975). En consecuencia, por lo general, la salinidad del estero aumenta desde la boca hacia la cabeza. Sin embargo, durante la temporada de lluvias que ocurren en el invierno de algunos años, los aportes de agua dulce pueden exceder las pérdidas por evaporación (Pritchard *et al.*, 1978).

Las corrientes más fuertes se encuentran en la boca del estero, y su velocidad disminuye hacia la cabeza del sistema. Las corrientes son principalmente de marea y están orientadas a lo largo del eje del canal principal (Pritchard *et al.*, 1978). En cuanto al sedimento, existe un flujo neto hacia afuera de estero que se considera suficiente para mantener la condición natural de autodragado en la región de la boca. Sin embargo, hacia el interior del estero el transporte de sedimento resulta considerablemente menor que en la región de la boca, y es prácticamente nulo en la región de la cabeza (Ortiz e Hinojosa, 2003).

La flora algal está representada por 20 géneros y 26 especies. Las especies que se consideran más representativas por su distribución amplia y alta abundancia son las algas verdes *Enteromorpha clarathara* variedad *clarathara*, *Enteromorpha clarathara* variedad *crinita*, *Enteromorpha fleuxosa*, *Rhizoclonium riparium* y el alga roja *Gracilaria verrucosa* (Aguilar-Rosas, 1982; Castillo-Álvarez, 1990). Algunos de los hábitats más representativos del Estero de Punta Banda son los humedales, los fondos arenosos y lodosos y las praderas de pastos marinos de la especie *Zostera marina* (Aguilar-Rosas, 1980).

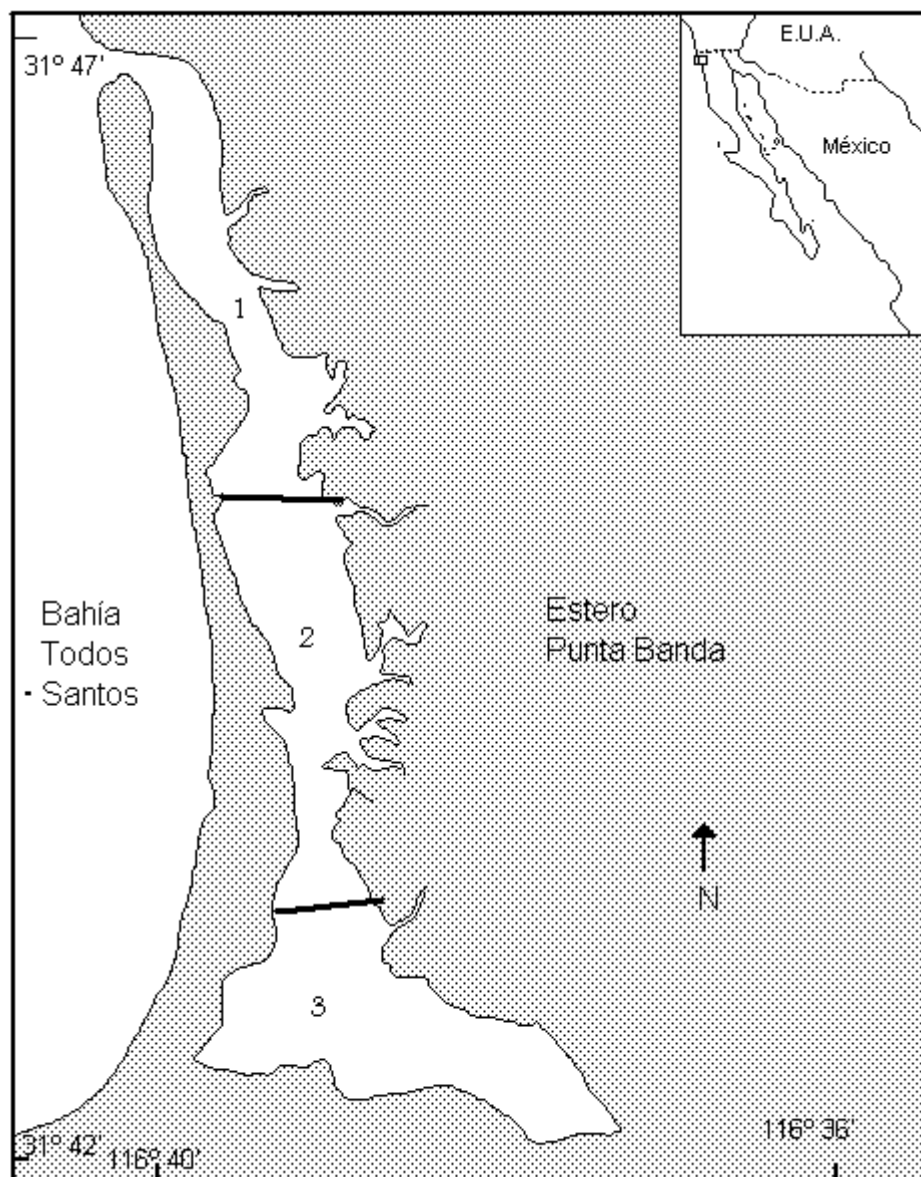


Figura 1. Área de estudio en la costa Pacífico de Baja California, México, que abarcó la Bahía de Todos Santos y las tres zonas en las que fue dividido el Estero de Punta Banda: zona externa (1), zona media (2) y zona interna (3)

IV.2 Captura de subadultos y adultos

Para capturar subadultos y adultos del lenguado de California (organismos ≥ 200 mm de longitud estándar, LE), se realizaron tres muestreos con duración de cuatro días cada uno (Tabla I). Los muestreos se llevaron a cabo en (1) junio-julio 2008, durante la época que precede al pico de la emigración estuarina de juveniles tardíos (140-200 mmLE) y cuando se ha registrado la mayor abundancia de subadultos en el Estero de Punta Banda (Herzka *et al.*, 2009, López-Rasgado y Herzka, 2009), (2) septiembre-octubre 2008, durante la época posterior al pico en la emigración estuarina de juveniles tardíos de 140 a 200 mm LE (López-Rasgado y Herzka, 2009) y (3) febrero 2009, durante la época principal en la cual ocurre la reproducción (Lavenberg *et al.*, 1986; Moser y Watson, 1990).

Para los arrastres se usó un chango camarero de 7.6 m de apertura, 9.5 m de largo y 2.0 y 0.5 cm de luz de malla en el cuerpo y el copo, respectivamente (Fodrie y Mendoza 2006; López-Rasgado y Herzka, 2009). Los arrastres del estero se hicieron a lo largo del canal principal debido a que los lenguados más grandes tienden a capturarse a mayor profundidad (Kramer, 1991a, Fodrie y Mendoza 2006). Además, los muestreos abarcaron todo el estero, debido a que los lenguados ≥ 200 mm LE se capturan tanto en la zona externa, como en la central y la interna. Los muestreos se hicieron en fechas en las cuales la variación en el nivel de marea fue limitada (< 75 cm). Durante el primer día de muestreos en el estero, los arrastres se hicieron desde la cabeza hacia la boca en una misma dirección, mientras que al siguiente día se hicieron en dirección contraria, para minimizar la influencia del nivel marea y de la dirección de la corriente sobre las estimaciones de la abundancia. En la bahía, los arrastres se hicieron en la parte sur hacia la boca del estero a profundidades de 5 y 10 m (Hamman y Ramírez, 1990).

Cada arrastre tuvo una duración de 10 minutos a una velocidad promedio de 3 km h⁻¹. Durante cada arrastre, se registraron las coordenadas geográficas iniciales y finales y la distancia recorrida con un GPS (marca Garmin eTrex, E.U.A), así como la temperatura, salinidad y oxígeno disuelto con un multianalizador YSI85 (Yellow Spring Instrument Inc. E.U.A) y la profundidad de cada arrastre con un sensor de profundidad (Garmin Fishfinder,). La LE de todos los lenguados capturados se midió con un ictiómetro con precisión de 1 mm. Los individuos < 200 mm LE se regresaron vivos al agua, mientras que los ≥ 200 mm LE se guardaron en bolsas de plástico con cierre (Ziploc) rotuladas con el número del arrastre y se colocaron sobre hielo para su transporte al laboratorio.

Tabla I. Calendario de los muestreos para la captura de lenguados de California en el Estero de Punta Banda (EPB) y en Bahía de Todos Santos (BTS), número de arrastres, y parámetros fisicoquímicos medidos en cada sitio. Los números representan valores promedios ± una desviación estándar.

	Fecha	Sitio	Número de arrastres	Temperatura °C	Salinidad ups	Oxígeno disuelto mg/l
Muestreo 1	23-jun-08	EPB	19	24.65 ± 1.89	35.71 ± 1.35	5.64 ± 1.33
	27-jun-08	EPB	16	24.38 ± 1.25	36.91 ± 1.57	5.03 ± 1.10
	11-jul-08	EPB	16	22.76 ± 1.30	32.94 ± 1.09	5.28 ± 1.24
	18-jul-08	BTS	14	21.58 ± 0.12	31.95 ± 0.06	6.46 ± 0.19
Muestreo 2	24-sep-08	EPB	16	23.66 ± 0.56	35.33 ± 0.92	5.14 ± 0.40
	25-sep-08	EPB	16	24.99 ± 1.65	35.81 ± 1.00	4.19 ± 0.56
	01-oct-08	BTS	15	20.26 ± 0.46	33.74 ± 0.07	*
	02-oct-08	BTS	12	20.31 ± 0.39	33.76 ± 0.08	*
Muestreo 3	04-feb-09	BTS	16	14.88 ± 0.25	35.59 ± 0.04	6.75 ± 0.44
	05-feb-09	BTS	6	14.98 ± 0.08	35.55 ± 0.18	5.67 ± 0.14
	11-feb-09	BTS	14	15.40 ± 0.25	30.84 ± 0.20	8.12 ± 0.38
	12-feb-09	EPB	12	14.95 ± 0.47	30.87 ± 0.28	7.63 ± 0.28

IV.3 Análisis de abundancia relativa

Para estimar la abundancia relativa, primero se calculó el área de cada arrastre (m^2) multiplicando el ancho de la boca de la red (7.6 m) por la distancia de cada arrastre. Para estandarizar la abundancia a número de individuos $1000 m^{-2}$, se utilizó la siguiente fórmula:

$$\text{Abundancia relativa (individuos} \geq 200 \text{ mm LE } 1000 m^{-2}) = (1000 \times N) / A \quad (2)$$

Donde N = Total de individuos por arrastre

$$A = \text{Área en } m^2$$

Para cada arrastre se calcularon las abundancias relativas y se promediaron por zonas y sitios, se expresaron como promedios \pm error estándar. Se realizó un análisis de varianza (ANOVA) para evaluar la significancia de las posibles diferencias en la abundancia relativa entre la bahía y el estero, para lo cual, los datos se transformaron con la función $\log(x+1)$ para cumplir con los supuestos de normalidad y homocedasticidad (Underwood, 1997).

IV.4 Obtención de muestras en el laboratorio

El mismo día de su captura, los peces ≥ 200 mm LE que se transportaron al laboratorio se lavaron y volvieron a medir con un ictiómetro con precisión de 1 mm y se pesaron con una balanza de 1 g de precisión. Se disectó el tracto digestivo, se separó el estómago, se pesó (precisión de 1 g) y se fijó en formol al 5%. Siete días después, los estómagos se transfirieron a etanol al 70%. Las gónadas solo se disectaron y fijaron en formol al 1% en los peces en los cuales se distinguían macroscópicamente. Para la obtención de submuestras para los análisis isotópicos, a cada pez se le extrajo un pedazo de músculo blanco de un tamaño aproximado a $1 cm^3$ de de la zona del dorso posterior a la cabeza del lado pigmentado. Las muestras de músculo se guardaron individualmente en bolsas

whirl pack y se congelaron. También se colectaron 1-2 ml de sangre del corazón y se congelaron en tubos eppendorf de 5 ml para su eventual preparación para los análisis isotópicos.

IV.5 Análisis de contenido estomacal

Los estómagos se retiraron del alcohol, se les eliminó el exceso de alcohol con toallas absorbentes y se volvieron a pesar en una balanza con precisión de 0.001 g (*Precisa balances, 290SCS*). Luego se disectaron y enjuagaron con agua destilada, cuidando que no quedaran restos de alimento adherido a las paredes del estómago. El contenido del estómago se vertió en una caja de Petri y se pesó el estómago vacío. Se separaron los ítems alimentarios (o presas) con ayuda de un estereoscopio y se asignaron en una de cinco categorías: peces, crustáceos, moluscos, material vegetal y material orgánico no identificado (moni). Dentro de la categoría “peces”, también se evaluó específicamente la presencia de lenguados de California para evaluar si había evidencia de canibalismo. Se registró el número de individuos o partes de cada individuo (i.e patas, cabezas, quelas) y su peso húmedo en gramos.

IV.6 Éxito relativo en el nivel de alimentación

Para evaluar el éxito de la alimentación de los individuos capturados en la bahía y el estero, se calcularon los siguientes índices:

Índice de repleción (IR) (Hyslop, 1980)

Establece una relación entre el peso del contenido estomacal y el peso total del pez (en gramos, expresado como porcentaje). Este índice refleja qué tan lleno está el estómago en relación al peso del pez.

$$IR = \left(\frac{PCE}{PT} \right) * 100 \quad (3)$$

PCE = Peso del contenido estomacal

PT = Peso total del pez

Se hizo un análisis de varianza para evaluar las diferencias del índice de repleción entre las fechas y las zonas de colecta. Los datos fueron transformados utilizando la función angular sen^{-1} raíz $(X/100)$ (Underwood, 1997) para normalizar y homogenizar las varianzas.

Coefficiente de vacuidad (CV) (Gherbi-Barré, 1983 citado por Duque-Nivia1993)

Para analizar la proporción de estómagos vacíos en los peces capturados en la Bahía de Todos Santos y en el Estero de Punta Banda, se calculó el coeficiente de vacuidad (CV) por épocas y por zonas (estero vs bahía)

$$CV = \left(\frac{EV}{N} \right) * 100 \quad (4)$$

donde *EV* es el número de estómagos vacíos y *N* es el número de estómagos examinados.

Para comparar los hábitos alimentarios de los peces del estero con los de la bahía, se calcularon los siguientes índices:

Frecuencia de Ocurrencia (Windell y Bowen, 1978). Con la frecuencia de ocurrencia se estima la proporción de una población que come un ítem en particular.

$$\%F = \left(\frac{n}{N} \right) * 100 \quad (5)$$

donde: n = Número de estómagos que contiene una categoría en particular.

N = Número de estómagos examinados que contienen alimento.

El **Porcentaje en número** (Holden y Raitt, 1975), indica la cantidad de un ítem específico presente en el estómago de un individuo, expresado como un porcentaje. Hay que considerar que este índice sobreestima la importancia de organismos pequeños en la alimentación.

$$\%N = \left(\frac{n}{TP} \right) * 100 \quad (6)$$

donde: n = Número de presas de una categoría

TP = Total de presas presentes

Porcentaje en Peso (Tresierra y Culquichicón, 1995)

Este índice se usa para estimar la importancia relativa del peso de los ítems en cada categoría taxonómica.

$$\%P = \left(\frac{P}{PT} \right) * 100 \quad (7)$$

donde: P = peso total de las presas de una categoría

PT = Peso total de las diferentes categorías encontradas

Índice de Importancia Geométrica (Assis, 1996) Es un índice compuesto que permite emplear cualquier número, tipo y combinación de parámetros porcentuales y es indicativo de la importancia de cada ítem alimentario. En este caso, se utilizó

el índice de importancia geométrica, considerando de manera simultánea la frecuencia de ocurrencia y el porcentaje en peso.

$$IIG = \frac{\%F * \%P}{2} \quad (8)$$

IV.7 Análisis del estado reproductivo

Para evaluar el estado reproductivo de los lenguados subadultos y adultos capturados dentro del estero y en la bahía, se evaluó el estado de madurez a partir de la observación macroscópica de las gónadas. Se usó la escala de maduración y crecimiento de los ovocitos para *P. californicus* propuesta por Chapa-Balcorta (2000). Esta evaluación consiste en disectar una muestra de la gónada (evitando los extremos) y en medir el diámetro 20 a 30 ovocitos, ya que el lenguado de California es un desovador parcial (Caddel *et al.*, 1990). En la distribución de frecuencia de los diámetros de los ovocitos se suelen encontrar dos modas principales que corresponden a diferentes estados de desarrollo. La moda más grande es la que indica el estado de madurez; cuando es igual o mayor a 500 μm , indica que el ovario está completamente maduro (Chapa-Balcorta, 2000).

Para los machos, se realizaron cortes histológicos de las gónadas. Estas se fijaron en solución Bouin y Davison por 24 horas en el caso de ambas soluciones y posteriormente se conservaron en alcohol al 70%. Las gónadas se procesaron utilizando la técnica de infiltración de parafina (Humason, 1979). Se realizaron cortes histológicos de 5 μm de espesor, los cuales se tiñeron con Hematoxilina-Eosina y se elaboraron dos o tres láminas por cada gónada. Las láminas fueron examinadas en un microscopio invertido Marca Olympus (Modelo cxx41) bajo 40X, 100X y 400X de aumento para evaluar el grado de desarrollo de los gametos y la cantidad de esperma en los lóbulos. Un individuo maduro presenta los lóbulos notoriamente llenos de esperma, mientras que los inmaduros presentan muy poco esperma.

IV.8 Preparación de muestras para análisis isotópico

Para seleccionar los lenguados del Estero de Punta Banda de cuyos tejidos se mediría la composición isotópica, los datos se ordenaron por intervalos de tallas (200-250 mm LE, 251-300 mm LE y > 300mm LE), por época y zona (Tabla II). Cuando el número de individuos por clase de talla, época y zona fue mayor a 6, se seleccionó aleatoriamente una submuestra de 5 a 6 lenguados. En el caso de la bahía, se analizaron todos los lenguados colectados durante junio-julio y febrero debido a que fueron pocos. Para los muestreos de septiembre-octubre, se submuestrearon los individuos < 300 mm LE, pero se analizaron todos lenguados con tallas mayores a 300 mm LE ya que se capturaron pocos individuos.

Tabla II. Número de muestras en las cuales se midió la composición isotópica de carbono y nitrógeno en tejidos blandos del lenguado de California por sitio e intervalo de tallas.

Época de Muestreo	Intervalo de Tallas (mm LE)	Estero zona externa	Estero zona central	Estero zona interna	Bahía de Todos Santos	Total de peces analizados
Jun - Jul	200 - 250	4	5	5	4	18
	251-300	6	5	6	1	18
	≥ 300	4	2	3	0	9
Sep - Oct	200 - 250	4	4	5	6	19
	251-300	2	1	6	5	14
	≥ 300	2	1	1	16	20
Feb	200 - 250	1	3	6	7	17
	251-300	0	4	5	1	10
	≥ 300	1	2	5	1	9
Total		24	27	42	41	134

En la preparación para los análisis isotópicos, se retiró la piel de las muestras de músculo, se enjuagó con agua destilada y se secó a 60°C por 48 h en cápsulas de aluminio. La sangre se secó directamente en los tubos eppendorf. Posteriormente, las muestras se molieron usando un mortero de porcelana en el

caso del músculo y en mortero de ágata para la sangre. Se pesaron de 500 a 1000 µg del material seco y molido utilizando una balanza analítica con una precisión de 0.01 mg. Cada submuestra fue encapsulada en cápsulas de estaño de 5 x 9 mm y ordenadas en cajas de 96 posiciones marcadas con letra y número. La determinación de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ se realizó en un espectrómetro de masas de flujo continuo (Europa Hydra 20/20) conectado a un analizador de elementos en el laboratorio de isótopos estables de la Universidad de California en Davis.

Las razones isotópicas se expresan como valores δ (en partes por mil) con respecto a estándares de referencia:

$$\delta (\text{‰}) = (R_{\text{muestra}} - R_{\text{est}}) / R_{\text{est}} \times 1000 \quad (9)$$

R es la razón isotópica entre el isótopo pesado y el liviano. El estándar de referencia para el carbono es Pee Dee Belemnite (PDB) y para nitrógeno es el nitrógeno atmosférico N_2 . La precisión, basada en la desviación estándar de las medidas repetidas de los estándares internos fue de 0.15‰ para $\delta^{15}\text{N}$ y de 0.05‰ para $\delta^{13}\text{C}$.

VI.9 Estimación de la tasa de recambio isotópico

Para modelar el tiempo en el cual los subadultos y adultos del lenguado de California podrían llegar a un equilibrio isotópico con una nueva fuente de alimento, se seleccionaron longitudes estándar de 200, 300 y 400 mm para simular un cambio en la alimentación. Para cada talla se calculó el peso utilizando la relación peso-longitud:

$$W = a * L^b \quad (10)$$

y se calculó la edad con la ecuación de Von Bertalanffy:

$$L(t) = L_{\infty} - (L_{\infty} - L_0)e^{-k(t-t_0)} \quad (11)$$

Se utilizaron los parámetros de crecimiento para poblaciones naturales de hembras y machos del lenguado de California presentados por Reed and McCall (1988), donde $a = 9.22 \times 10^{-6}$ para machos y 7.77×10^{-6} para hembras, $b = 3.02$ para machos y 3.05 para hembras, L_{∞} es la longitud máxima (machos $1137.47 = y$ hembras $= 1417.42$ mm LT) L_0 es la longitud total al nacer y k es la tasa de crecimiento específica (k : machos $= 0.1218$ y hembras $= 0.1194$). Los patrones de recambio isotópico se modelaron utilizando la ecuación de Fry y Arnold (1982):

$$\bar{\delta}_t (\text{‰}) = \bar{\delta}_f + (\bar{\delta}_i - \bar{\delta}_f) (Wr)^c \quad (12)$$

donde $\bar{\delta}_i$ y $\bar{\delta}_f$ son los valores isotópicos inicial (antes del cambio de dieta) y final (en equilibrio con la nueva fuente de alimento) Wr es el incremento relativo en peso calculado para cada talla (peso) y c es el coeficiente de recambio metabólico e indica la contribución relativa del crecimiento y el metabolismo al recambio isotópico (Fry y Arnold, 1982). Si $c = -1$, el cambio en la composición isotópica se debe únicamente al crecimiento (incremento en biomasa) y el recambio metabólico no es detectable, por lo contrario, si $c < -1$, tanto el crecimiento como el recambio metabólico contribuyen al cambio en la composición isotópica.

Se modeló el recambio isotópico bajo dos condiciones. Primero, se usó un modelo de dilución simple ($c = -1$), bajo el cual el recambio isotópico ocurre sólo en función del incremento en peso. Este valor es muy similar al reportado por Buchheister, 2008 para músculo en una especie de lenguado (*Paralichthys dentatus*) y para juveniles tempranos del lenguado de California (Rendón-Ibarra 2005). Segundo, se usó un valor de $c = -4$ que reportó Buchheister (2008) para sangre de *Paralichthys dentatus*. Se usaron los valores de c reportados por Buchheister (2008), pero acoplados a las tasas de crecimiento para esta especie

(López-Rasgado y Herzka, 2009). Para modelar, se eligieron composiciones isotópicas iniciales y finales de manera arbitrarias (0 y 10‰), respectivamente, ya que estos valores no influyen sobre los resultados si el patrón de recambio isotópico se expresa como porcentaje del cambio total (Herzka, 2005). Como la relación es asintótica, se reporta la talla y el tiempo en el cual se estima que ocurre el 90% del recambio isotópico para individuos de 200, 300 y 400 mm LE.

V. Resultados

V.1. Distribución de frecuencia de longitudes

El total de lenguados de California capturados durante los tres muestreos fue de 865. De esos, 494 fueron capturados dentro del Estero de Punta Banda (en 95 arrastres) y 371 en la Bahía de Todos Santos (en 77 arrastres). En la Bahía de Todos Santos, durante la época de pre-emigración estuarina (junio-julio) y en la época principal de reproducción (febrero), el 92% de lenguados tenían longitudes menores a 200 mm LE, y solo el 8% fueron lenguados subadultos y adultos (longitudes mayores a los 200 mm LE) (Figura 2). En contraste, en la época de post-emigración (septiembre-octubre) el porcentaje de lenguados con longitudes mayores a 200 mm LE fue de 40%. En la zona externa del Estero de Punta Banda, el porcentaje más alto de individuos con tallas mayores a 200 mm LE se registró durante el muestreo de junio-julio (44%), seguido por el muestro de septiembre-octubre (26%) y el de febrero (13%). En la zona media, el mayor porcentaje de peces con longitudes mayores a 200 mm LE se encontró durante febrero (39%), mientras que en los muestreos de junio-julio y septiembre-octubre los porcentajes fueron de 25 y 14%, respectivamente. La mayoría de lenguados mayores a 200 mm LE (45%) se capturaron en la zona interna del Estero de Punta Banda, y la mayor parte de estos fueron colectados en febrero.

El intervalo total de longitudes de los lenguados capturados fue de 25 a 545 mm LE. Aunque el individuo de mayor longitud fue capturado en la zona externa del Estero de Punta Banda, en general se capturaron lenguados de todo el intervalo de longitudes en las tres zonas del estero y durante todos los muestreos. En la Bahía de Todos Santos, la mayoría de peces capturados fueron < 200 mm LE, con excepción del muestreo de septiembre – octubre, cuando el 40% de los lenguados fueron subadultos y adultos.

V.2. Abundancia relativa

La mayor abundancia relativa estandarizada (2.66 ± 0.5 individuos 1000m^{-2} ; promedio \pm error estándar) de lenguados ≥ 200 mm LE se registró en la zona interna del Estero de Punta Banda durante febrero. El valor promedio de la abundancia relativa en la zona interna del estero fue 4 veces más alto que en la zona media, 19 veces más alto que en la zona externa y 44 veces más alto que en la bahía (Figura 3). En la Bahía de Todos Santos, la abundancia relativa fue baja durante febrero y junio -julio (0.06 ± 0.02 y 0.08 ± 0.03 individuos 1000 m^{-2} , respectivamente) y alta en septiembre-octubre (0.51 ± 0.14 individuos 1000 m^{-2}). En la zona externa del estero, la mayor abundancia ocurrió en junio-julio y la menor en febrero. La zona media tuvo la más alta abundancia en febrero y junio-julio y la más baja en septiembre-octubre.

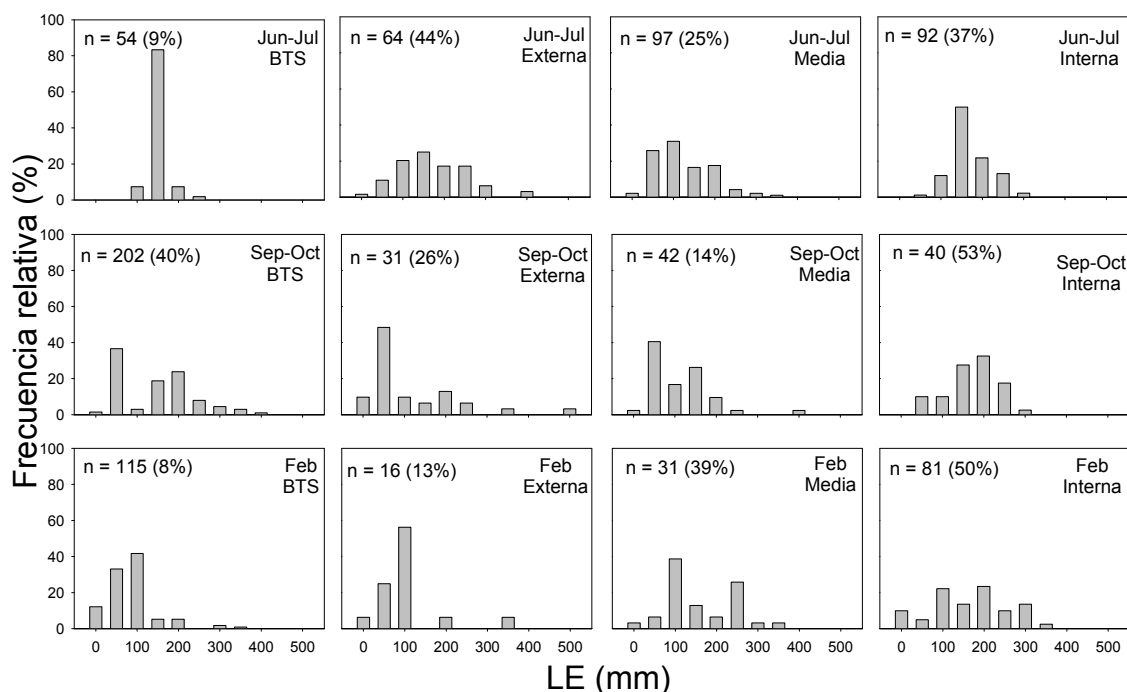


Figura 2. Distribución de frecuencias de la longitud estándar (mm) de los lenguados de California (*Paralichthys californicus*) capturados en la Bahía Todos Santos (BTS) y en tres zonas del Estero de Punta Banda: externa, media e interna durante el 2008 (junio-julio y septiembre-octubre) y el 2009 (febrero). Los valores en paréntesis representan el porcentaje de lenguados de longitudes mayores a 200 mm LE.

No se pudo realizar un análisis de varianza (ANOVA) para evaluar si habían diferencias significativas en la abundancia relativa entre zonas del estero y la bahía durante los muestreos, debido a que el número de arrastres por zona fue muy variable (Tabla I) y los datos no cumplieron con los supuestos de normalidad y homocedasticidad a pesar de aplicar diversas transformaciones. Por lo tanto, y considerando que se quería evaluar si la abundancia relativa de subadultos y adultos era más alta en el estero que en la bahía, se comparó la abundancia relativa entre la bahía y el estero en su totalidad. Los datos se transformaron con la función $\log(x+1)$ (Underwood, 1997) para cumplir con los supuestos de normalidad y homocedasticidad de los datos (prueba de Levene $p = 0.04$ para homocedasticidad). Se realizó un ANOVA empleando el $\log(x+1)$ de la abundancia relativa como variable dependiente y las fechas de los muestreos (junio-julio, septiembre-octubre y febrero) y las zonas (bahía y estero) como variables independientes (Tabla III).

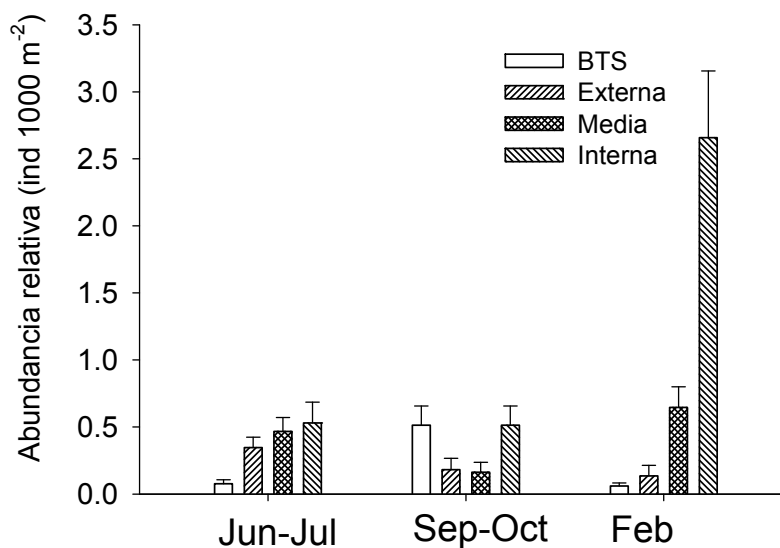


Figura 3. Abundancia relativa de lenguados de California (*Paralichthys californicus*) mayores de 200 mm LE (longitud estándar) capturados en la Bahía de Todos Santos y en la zonas externa, central e interna del Estero de Punta Banda en Baja California, México. Los muestreos se llevaron a cabo durante el 2008 (junio-julio y septiembre-octubre) y el 2009 (febrero). Los valores representan promedios ± 1 error estándar.

Tabla III. Resultados del ANOVA de dos vías evaluando el efecto de la fecha y zona de muestreo sobre la abundancia relativa de lenguados de California ≥ 200 mm LE capturados en el Estero de Punta Banda y la Bahía de Todos Santos en Baja California, México. SC = suma de cuadrados; g.l = grados de libertad; CM = cuadrados medios.

Fuente de variación	SC	g.l.	CM	F	p
Fecha	0.13330	2	0.06665	1.3029	0.274510
Zona	0.23194	1	0.23194	4.5343	0.034704
Fecha*Zona	0.89421	2	0.44711	8.7407	0.000247
Error	8.44013	165	0.05115		

Hubo una interacción significativa entre las fechas de muestreo y las zonas de estudio. La prueba Tukey HSD indicó que los valores promedio más diferentes fueron la abundancia relativa en el Estero de Punta Banda y el Bahía Todos Santos durante febrero, mientras que los más parecidos fueron los obtenidos en la Bahía Todos Santos en los meses de junio-julio y febrero.

V.3. Índices de éxito alimentario

Los valores del índice de repleción fueron variables, tanto entre épocas como entre las zonas de muestreo (Figura 4). Los peces capturados en la Bahía de Todos Santos presentaron el mayor promedio en el índice de repleción durante junio-julio (0.65 ± 0.33 %), y el menor en septiembre-octubre (0.32 ± 0.08 %). En la zona externa, media e interna del Estero de Punta Banda, el índice fue más alto durante junio-julio y septiembre-octubre que en febrero. En general, el índice de repleción fue mayor dentro del estero que en la bahía, excepto durante febrero, cuando los valores fueron similares.

Se hizo un análisis de varianza para evaluar si el índice de repleción varió significativamente entre fechas y zonas de estudio. Los datos fueron transformados utilizando la función angular $\text{sen}^{-1} \sqrt{(X/100)}$ para normalizar y

homogenizar las varianzas (test de Levene $p = 0.06$ para homocedasticidad). No se encontraron diferencias significativas entre las fechas ni entre zonas, y tampoco hubo una interacción significativa entre los factores (Tabla IV).

En cuanto al coeficiente de vacuidad, los valores más altos se presentaron en la Bahía de Todos Santos durante los muestreos de septiembre-octubre y de febrero (61.25% y 55.55%, respectivamente; Figura 5). En contraste, para el muestreo de junio-julio se observó el valor más bajo (20%). En el Estero de Punta Banda, el coeficiente de vacuidad no varió mucho entre zonas, aunque hubo valores más altos en septiembre-octubre (49%) y más bajos en febrero (35%).

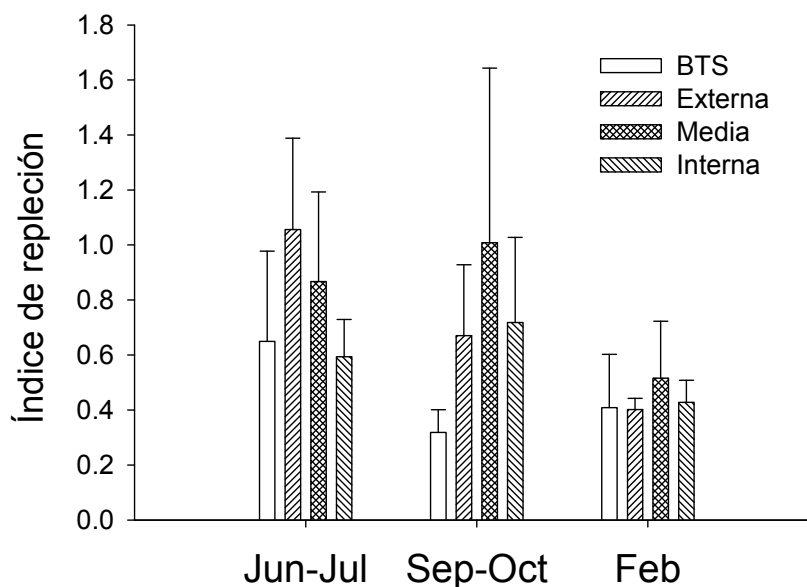


Figura 4. Índice de repleción de los lenguados de California (*Paralichthys californicus*) mayores a 200 mm LE (longitud estándar) colectados en la zona externa, media e interna del Estero de Punta Banda y en la Bahía de Todos Santos. Los valores representan promedios ± 1 error estándar.

Tabla IV. Resultados del ANOVA empleado para evaluar el índice de repleción obtenido de lenguados de California ≥ 200 mm LE capturados en el Estero de Punta Banda y la Bahía Todos de Santos en Baja California, México. SC = suma de cuadrados; g.l = grados de libertad; CM = cuadrados medios

Fuente de variación	SC	g.l.	CM	F	p
Fecha	551.5	1	551.4910	0.768347	0.381609
Zona	58.8	2	29.3994	0.040960	0.959875
Fecha*Zona	4192.9	5	838.5877	1.168335	0.325404
Error	171545.4	239	717.7630		

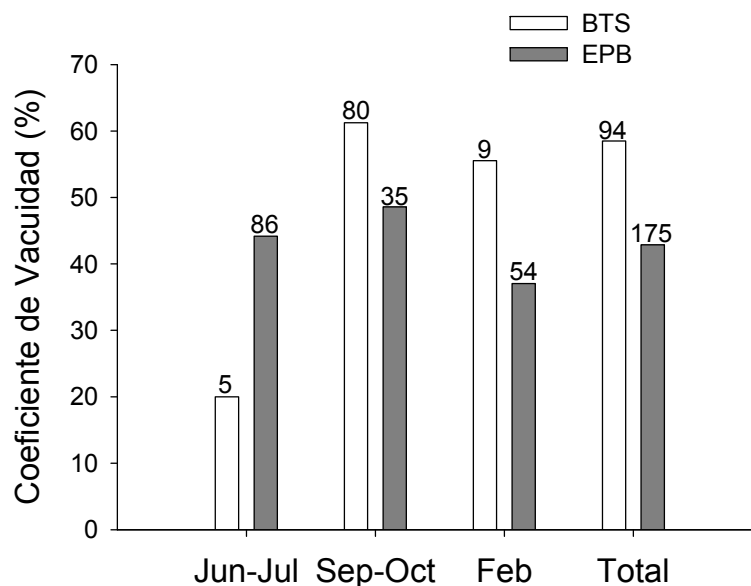


Figura 5. Coeficiente de vacuidad de lenguados de California (*Paralichthys californicus*) ≥ 200 mm LE (longitud estándar) capturados en la Bahía de Todos Santos (BTS) y en el Estero de Punta Banda (EPB) en Baja California, México. Los muestreos se llevaron a cabo durante el 2008 (junio-julio y septiembre-octubre) y el 2009 (febrero). El número encima de las barras representa el total de estómagos examinados.

V.4. Hábitos alimentarios

A longitudes ≥ 200 mm LE, los lenguados de California se alimentaron principalmente de peces y crustáceos, aunque hubo variaciones en la importancia relativa de estos ítems entre zonas y épocas de muestreo (Tabla V). En la Bahía de Todos Santos, en junio-julio y febrero los subadultos y adultos se alimentaron principalmente de crustáceos (70% y 100% del material identificado en los estómagos, respectivamente), mientras que en septiembre-octubre, un mayor porcentaje de su contenido estomacal estuvo compuesto por peces (94.5%). En la zona externa del estero, se alimentaron mayormente de peces durante todas las épocas de muestreo. En la zona media, el consumo de peces fue mayor en septiembre-octubre y febrero mientras que en junio-julio consumieron mayormente crustáceos y en la zona interna, consumieron mayormente crustáceos en junio-julio y septiembre-octubre. No parece haber un patrón claramente definido entre las épocas, zona y tipo de alimento que consumen los subadultos y adultos del lenguado de California.

Tabla V. Cuantificación de la dieta del lenguado de California *Paralichthys californicus* \geq 200 mm LE mediante el porcentaje del índice de importancia geométrica (IIG). La categoría MONI hace referencia al material orgánico no identificado. BTS: Bahía de Todos Santos; EPB: Estero de Punta Banda; n: número de estómagos examinados.

Fecha	Locación	n	%IIG				
			Peces	Crustáceos	Moluscos	Material Veg.	MONI
Jun-Jul	BTS	4	30.0	70.0	0	0	0
	EPB Externa	13	60.0	40.0	0	0.2	< 0.1
	EPB Media	13	36.3	63.6	0.1	< 0.1	0
	EPB Interna	21	21.7	78.3	< 0.1	0	0
Sep-Oct	BTS	31	94.5	4.8	0	0	0.7
	EPB Externa	5	100	0	0	0	0
	EPB Media	2	100	0	0	0	0
	EPB Interna	11	18.6	81.3	0	0	< 0.1
Feb	BTS	4	< 0.1	100	0	0	0
	EPB Externa	2	96.5	3.5	0	0	0
	EPB Media	6	88.9	10.1	0	0	1.0
	EPB Interna	27	63.9	36.0	< 0.1	0	0.1

V.5. Estado reproductivo

La mayoría de los subadultos y adultos del lenguado de California colectados en el Estero de Punta Banda no presentaron evidencia de madurez (Tabla VI). Todas las hembras capturadas en el Estero de Punta Banda fueron clasificadas como inmaduras, mientras que en la Bahía de Todos Santos se capturaron 4 hembras maduras (6% del total capturado en la bahía). Estas hembras tuvieron una talla promedio \pm desviación estándar de 371 ± 52 mm LE y fueron capturadas en septiembre-octubre. En cuanto a los machos, en el Estero de Punta Banda se encontraron seis individuos con esperma (lo que indica que probablemente estaban maduros), de los cuales uno fue capturado en la zona externa (9% del total de lenguados capturados en esta zona) y cinco en la zona interna (8% del total de la zona). Estos seis individuos fueron colectados en

febrero. En la Bahía Todos Santos, solo se encontró un macho con esperma en septiembre-octubre, lo cual representa un 1% del total de lenguados capturados. El rango de tallas de los machos con esperma fue de 282 a 362 mm LE, con un promedio \pm desviación estándar de 322 ± 29 mm LE.

Tabla VI. Porcentaje de estado de madurez de lenguados de California *Paralichthys californicus* capturados en la Bahía de Todos Santos (BTS) y en las tres zonas del Estero de Punta Banda (EPB): externa, media e interna. El número en paréntesis representa el total de gónadas examinadas.

	BTS	EPB Externa	EPB Media	EPB Interna
Hembra inmadura	51 (34)	91 (10)	94 (17)	82 (49)
Hembra Madura	6 (4)	0	0	0
Macho inmaduro	42 (28)	0	6 (1)	10 (6)
Macho con esperma	1 (1)	9 (1)	0	8 (5)

V.6. Análisis isotópico

Las razones de C:N fueron más bajas en la sangre que en el músculo. El intervalo de valores medidos en la sangre, por época y zona, fue de 3.08 ± 0.01 a 3.21 ± 0.01 (en promedio \pm desviación estándar) y en el músculo, el intervalo estuvo entre los 3.75 ± 0.02 y 3.96 ± 0.09 . Estos valores indican que ni la sangre ni el músculo tenían un nivel de lípidos alto que hubiese requerido de correcciones de los valores isotópicos, ya que los lípidos tienden a ser pobres en ^{13}C , lo cual puede sesgar los valores isotópicos (Post et al. 2007).

Los valores isotópicos de la sangre y músculo de los lenguados de California subadultos y adultos capturados en el Estero de Punta Banda y en la Bahía de Todos Santos fueron variables (sangre: -17.79 – -12.59‰ para $\delta^{13}\text{C}$ y 12.76 – 16.27‰ para $\delta^{15}\text{N}$; músculo: 17.39 – -11.94‰ para $\delta^{13}\text{C}$ y 13.45 – 16.24‰ para $\delta^{15}\text{N}$) (Tabla VII). En general, los valores más negativos de $\delta^{13}\text{C}$ se

obtuvieron en la Bahía de Todos Santos; en febrero se observaron los valores más negativos (promedio de -16.70 ± 0.16 ‰ para músculo y -17.15 ± 0.16 ‰ para sangre). Los valores de $\delta^{13}\text{C}$ que se registraron en el músculo de los lenguados de la zona externa del Estero de Punta Banda estuvieron más enriquecidos en junio-julio y septiembre-octubre que en febrero. En la zona interna, los valores más enriquecidos de $\delta^{13}\text{C}$ se obtuvieron en el muestreo de febrero. Para la sangre, se observaron los valores más enriquecidos de $\delta^{13}\text{C}$ en la zona externa para la época de junio-julio (-14.69 ± 0.47 ‰), en la zona interna para la época de septiembre–octubre (-14.54 ± 0.17 ‰) y en la zona media para febrero (-15.34 ± 0.31 ‰). Aunque los valores de $\delta^{13}\text{C}$ variaron de acuerdo a la época y zona muestreadas, en general, se encontraron valores más negativos $\delta^{13}\text{C}$ en los lenguados capturados en la Bahía de Todos Santos que en los capturados en el Estero de Punta Banda, tanto para el músculo como para la sangre.

Durante todas las épocas y en todas las zonas de muestreo, los valores de $\delta^{15}\text{N}$ fueron más enriquecidos en la zona interna del Estero de Punta Banda que en el resto de zonas muestreadas, aunque en términos estacionales, los valores de $\delta^{15}\text{N}$ fueron más bajos en febrero, tanto para el músculo como para la sangre.

Tabla VII. Valores de $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$ y C:N (promedios \pm DE) de músculo y sangre de subadultos y adultos del lenguado de California (*Paralichthys californicus*) capturados en la Bahía de Todos Santos (BTS) y en tres zonas del Estero de Punta Banda (EPB): externa, media e interna durante el 2008 y 2009.

Tejido	Meses	Zona	n	C:N	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	$\delta^{15}\text{N}$ (‰)
Músculo	Jun-Jul 08	BTS	5	3.18 \pm 0.02	-15.12 \pm 0.68	15.22 \pm 0.09
		EPB Externa	14	3.11 \pm 0.01	-13.80 \pm 0.43	15.46 \pm 0.08
		EPB Media	12	3.08 \pm 0.01	-14.29 \pm 0.16	15.42 \pm 0.13
		EPB Interna	14	3.12 \pm 0.01	-14.22 \pm 0.17	15.70 \pm 0.09
	Sep-Oct 08	BTS	27	3.16 \pm 0.00	-15.71 \pm 0.11	15.57 \pm 0.06
		EPB Externa	8	3.13 \pm 0.01	-13.65 \pm 0.39	15.51 \pm 0.12
		EPB Media	6	3.12 \pm 0.01	-14.68 \pm 0.19	15.53 \pm 0.11
		EPB Interna	11	3.14 \pm 0.01	-14.08 \pm 0.18	15.83 \pm 0.05
	Feb 09	BTS	9	3.21 \pm 0.01	-16.70 \pm 0.16	14.44 \pm 0.12
		EPB Externa	2	3.18 \pm 0.01	-15.62 \pm 0.39	14.37 \pm 0.32
		EPB Media	9	3.19 \pm 0.00	-14.85 \pm 0.20	13.91 \pm 0.14
		EPB Interna	16	3.18 \pm 0.00	-14.64 \pm 0.21	14.63 \pm 0.07
Sangre	Jun-Jul 08	BTS	5	3.95 \pm 0.07	-16.12 \pm 0.41	14.96 \pm 0.13
		EPB Externa	14	3.87 \pm 0.04	-14.69 \pm 0.47	15.12 \pm 0.10
		EPB Media	11	3.87 \pm 0.03	-14.86 \pm 0.21	15.19 \pm 0.08
		EPB Interna	14	3.94 \pm 0.07	-15.05 \pm 0.16	15.44 \pm 0.06
	Sep-Oct 08	BTS	27	3.82 \pm 0.03	-16.35 \pm 0.11	15.24 \pm 0.07
		EPB Externa	8	3.96 \pm 0.09	-14.68 \pm 0.37	15.08 \pm 0.12
		EPB Media	6	3.84 \pm 0.04	-15.36 \pm 0.16	15.25 \pm 0.17
		EPB Interna	11	3.82 \pm 0.02	-14.54 \pm 0.17	15.36 \pm 0.08
	Feb 09	BTS	9	3.75 \pm 0.06	-17.15 \pm 0.16	13.81 \pm 0.16
		EPB Externa	2	3.81 \pm 0.02	-16.28 \pm 0.06	14.00 \pm 0.45
		EPB Media	9	3.84 \pm 0.04	-15.34 \pm 0.31	13.45 \pm 0.21
		EPB Interna	16	3.91 \pm 0.04	-15.35 \pm 0.21	14.04 \pm 0.09

La mayoría de los valores de $\delta^{13}\text{C}$ en músculo y sangre fueron más enriquecidos dentro del estero que en la bahía durante una misma época, aunque algunos peces capturados en la bahía presentaron una composición isotópica consistente con el estero y viceversa.

Se esperaba que los valores isotópicos de carbono de los lenguados capturados en la zona externa del Estero de Punta Banda fueran parecidos a los de la bahía, debido a que es la zona con mayor intercambio de agua y materia orgánica, o a los de las zonas central e internas del estero, como consecuencia del proceso de emigración estuarina. Sin embargo, no se observó este patrón (Figura 6). Los valores de $\delta^{13}\text{C}$ de la zona externa estuvieron más enriquecidos que los correspondientes a las otras zonas del estero, lo cual puede ser indicativo de otra fuente de alimentación. En la zona externa del estero el nivel de intercambio de individuos con la bahía puede ser alto, lo que dificulta la evaluación de residencia. Por lo tanto, se eliminaron los datos correspondientes a la zona externa del estero y se evaluó la residencia sólo con base en los valores isotópicos de las zonas media e interna del estero y los de la bahía (Figura 7).

La mayoría de lenguados capturados en el Estero de Punta Banda tuvieron valores de $\delta^{13}\text{C}$ más enriquecidos que los de la bahía, lo cual es consistente con la residencia de subadultos y adultos en el sistema (Figura 7). Para el muestreo de junio-julio, en la época de pre-emigración estuarina, cuatro de los cinco peces capturados en la Bahía de Todos Santos presentaron valores isotópicos de carbono menos enriquecidos que los del estero, lo cual sugiere que estos peces son residentes de la bahía. Sólo uno presentó una composición isotópica más positiva y concordante con la señal del estero (-14.52 ‰ en sangre y -12.5 ‰ en músculo) lo que sugiere que es un pez que ha emigrado recientemente. La mayoría de los peces capturados en el estero durante esta época presentaron valores de $\delta^{13}\text{C}$ mayores a -16‰, tanto en el músculo como en la sangre, lo cual es consistente con la residencia. Solo un pez capturado en la zona media presentó una composición isotópica de -16.35 ‰ en sangre; este valor es consistente con la mayoría de peces capturados en la bahía.

En la época de post-emigración (septiembre-octubre), el 18% (5 individuos) de los peces capturados en la bahía presentaron valores de $\delta^{13}\text{C}$ mayores a -16 ‰

en las muestras de sangre. Para el músculo, el 67% (18 individuos) presentaron valores más enriquecidos a -16‰ , estos probablemente han emigrado recientemente del estero. Los valores de $\delta^{13}\text{C}$ de los peces capturados en el estero fueron mayores a -16.07‰ para la sangre y -15.25‰ para el músculo, lo cual es consistente con la residencia en el sistema.

Para el muestreo de febrero, los valores isotópicos de carbono fueron más negativos que en las otras épocas, tanto para la sangre como para el músculo. Esto probablemente es consecuencia de variaciones estacionales en la composición isotópica de la base de la cadena alimentaria en el estero y la bahía. Los valores de $\delta^{13}\text{C}$ de los peces capturados en la bahía fueron menores a -16.25‰ y -15.86‰ para la sangre y el músculo, respectivamente. En cuanto a los peces capturados en el Estero de Punta Banda, la mayoría presentaron valores entre -15.84‰ y -14.18‰ , lo cual sugiere que estos individuos eran residentes del estero. Sin embargo, en el 18% de los peces (4 individuos) se observaron valores más negativos, lo cual es consistente con la inmigración reciente de individuos de la bahía al estero. De estos, tres fueron capturados en la zona interna y uno en la zona central.

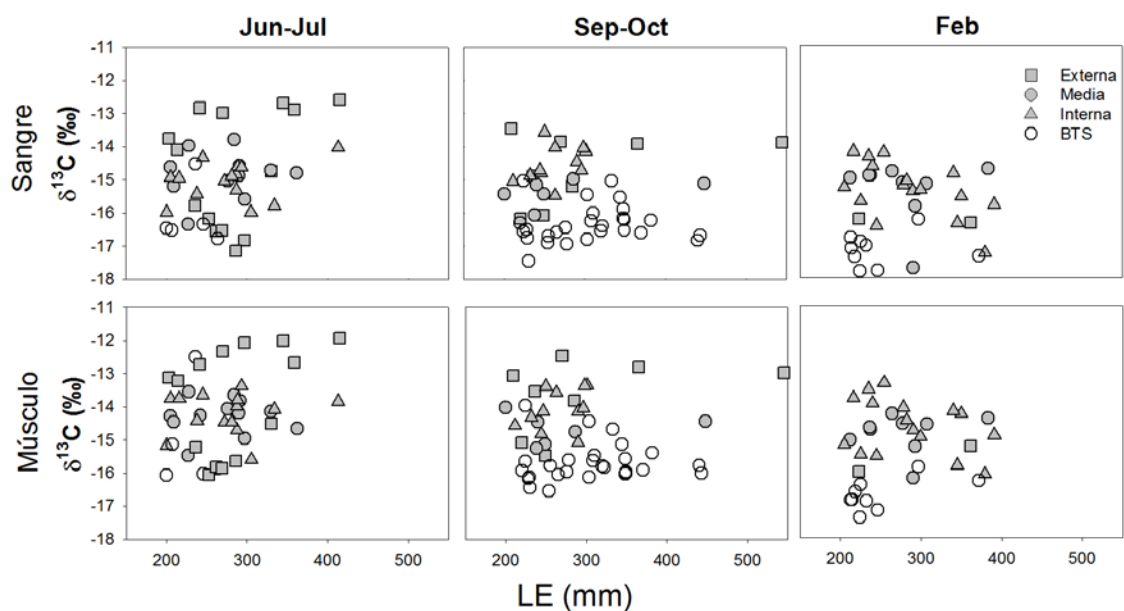


Figura 6. Valores de $\delta^{13}\text{C}$ en músculo y sangre vs longitud estándar (LE) de lenguados de California capturados en junio-julio, septiembre-octubre y febrero en la zona externa, central e interna del Estero de Punta Banda y en la Bahía de Todos Santos (BTS).

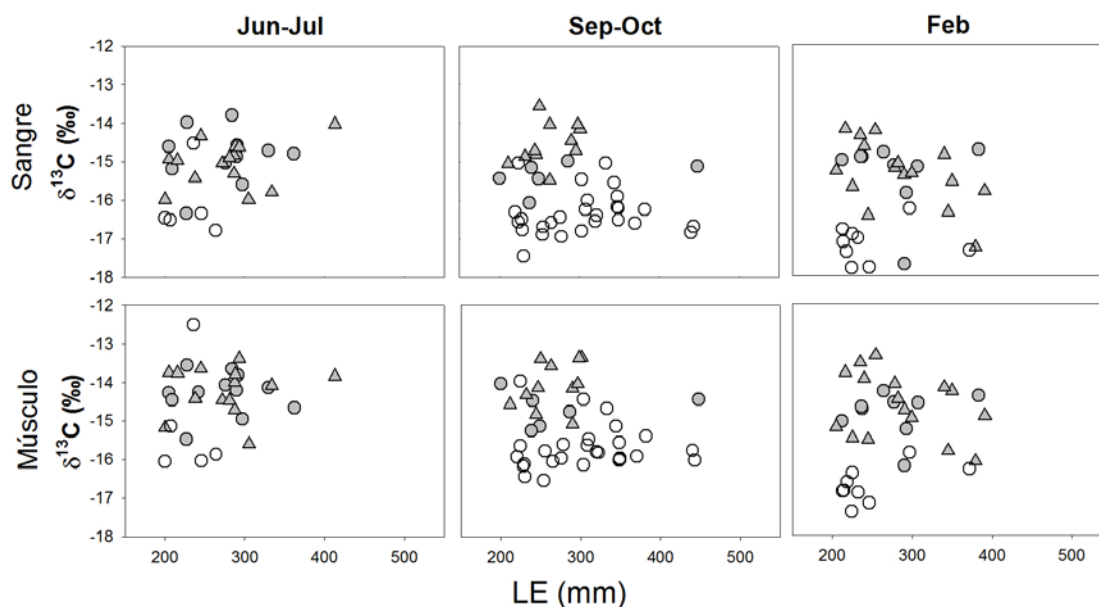


Figura 7. Valores de $\delta^{13}\text{C}$ de músculo y sangre vs. longitud estándar (LE) de lenguados de California capturados en junio-julio, septiembre-octubre y febrero en la zona central e interna del Estero de Punta Banda y en la Bahía de Todos Santos (BTS).

Con respecto a los valores $\delta^{15}\text{N}$, estos no se pudieron usar para inferir residencia debido a que se encontró un enriquecimiento en ^{15}N en función de la longitud (Figura 8), lo cual es consistente con un incremento en el nivel trófico en función de la talla que confunde la señal. Además, no hubo un claro patrón en los valores de $\delta^{15}\text{N}$ que permitiese diferenciar entre el estero y la bahía.

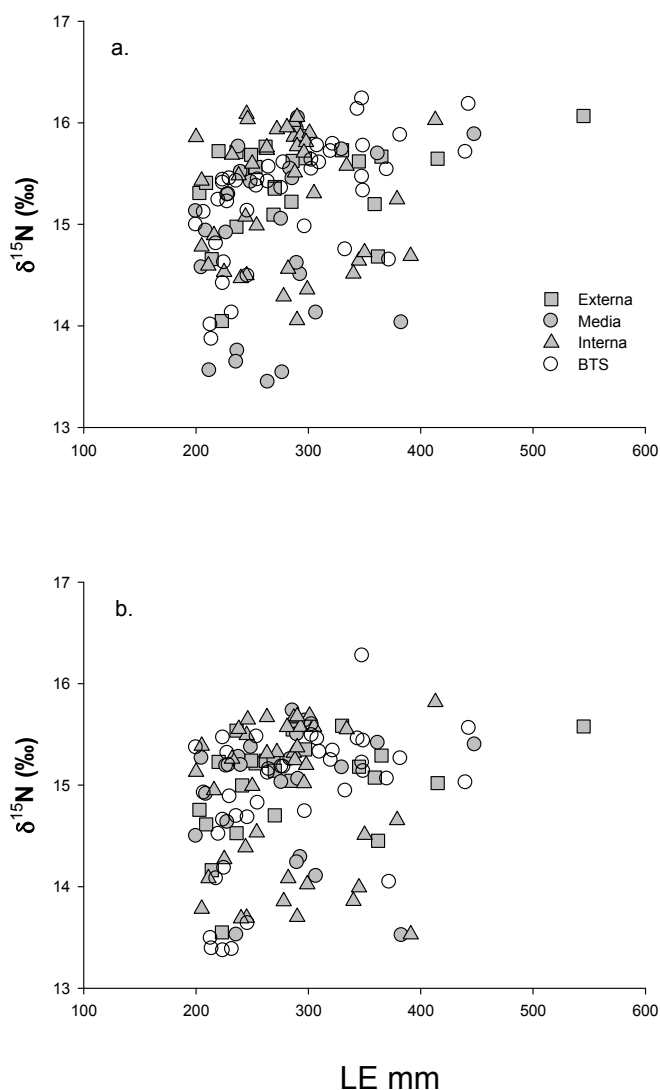


Figura 8. Valores de $\delta^{15}\text{N}$ de a) músculo y b) sangre vs. longitud estándar (LE) de lenguados de California capturados en junio-julio 08, septiembre-octubre 08 y febrero 09 en la zona externa, central e interna del Estero de Punta Banda y en la Bahía de Todos Santos (BTS).

La correlación entre los valores $\delta^{13}\text{C}$ entre sangre y músculo fue alta y positiva ($r = 0.90$) con una pendiente de 0.86 (Figura 9). La sangre tuvo valores de $\delta^{13}\text{C}$ más ligeros que el músculo. La mayoría de los valores de $\delta^{13}\text{C}$ estuvieron menos enriquecidos en ^{13}C en la Bahía Todos Santos que en el Estero Punta Banda, tanto para sangre como para músculo.

Los valores de $\delta^{13}\text{C}$ de la sangre fueron más negativos que los del músculo, con excepción de tres peces. Dos de estos fueron capturados en febrero, de los cuales uno se capturó en la zona central del estero ($\delta^{13}\text{C}$ sangre = -14.99‰ ; $\delta^{13}\text{C}$ músculo = -15.05‰) y otro en la bahía ($\delta^{13}\text{C}$ sangre = -16.78‰ ; $\delta^{13}\text{C}$ músculo = -16.86‰). El otro pez fue capturado durante el muestreo de septiembre - octubre en la zona interna del estero ($\delta^{13}\text{C}$ sangre = -14.72‰ ; $\delta^{13}\text{C}$ músculo = -14.83‰). La diferencia entre los valores isotópicos de carbono del músculo y la sangre se mantuvo en un intervalo de -0.11 y 2.02‰ con un promedio \pm desviación estándar de $0.67 \pm 0.4\text{‰}$. Solo un pez presentó una diferencia alta de 4.77‰ ($\delta^{13}\text{C}$ sangre = -16.84‰ ; $\delta^{13}\text{C}$ músculo = -12.07‰) entre tejidos; este pez fue capturado en la zona externa del estero en el muestreo de junio-julio. La consistencia en los valores isotópicos de la sangre y músculo en nivel individual sugieren que la mayoría de peces son residentes, ya que la señal isotópica tanto de sangre como de músculo son muy similares.

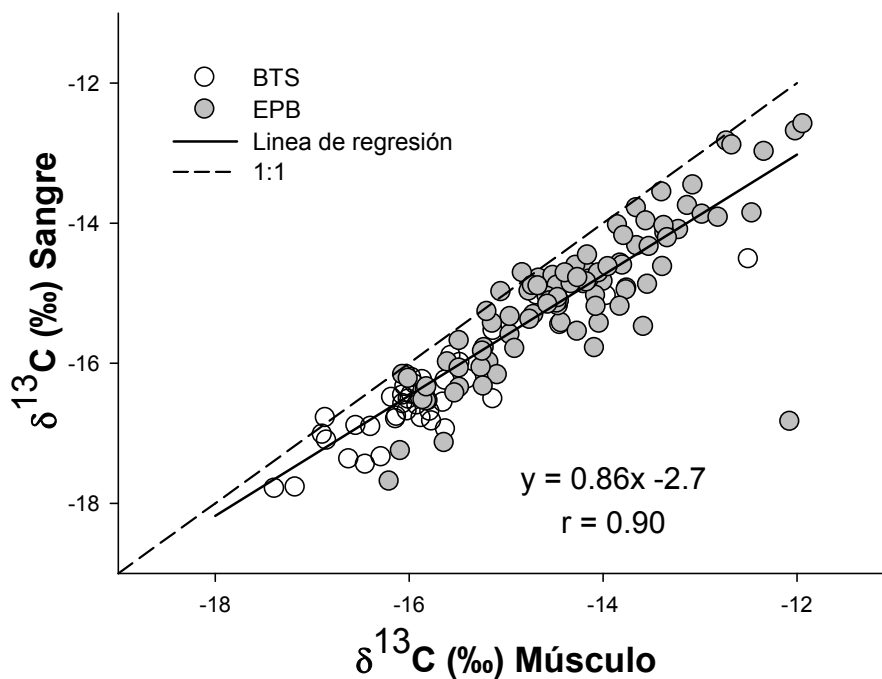


Figura 9. Correlación de valores de $\delta^{13}\text{C}$ de músculo y sangre de lenguados de California capturados en el Estero de Punta Banda y en la Bahía de Todos Santos en junio-julio 08, septiembre-octubre 08 y febrero 09

V.6.1. Estimación de la tasa de recambio isotópico

Usando el modelo de dilución simple, en el cual solo el crecimiento aporta al recambio isotópico, el tiempo requerido para que los subadultos y adultos de lenguados de California se aproximen al equilibrio (i.e., el tiempo de recambio isotópico), con una fuente de alimento, varió en función del sexo y de la talla en la cual ocurrió la simulación del cambio de dieta. El tiempo estimado para llegar a un 90% del equilibrio isotópico fue menor para tallas más pequeñas, tanto en hembras como en machos. Para todos los casos, se estimó que el tiempo necesario para aproximarse a un equilibrio isotópico con la dieta estuvo en el orden de años. En respuesta a un cambio de dieta a los 200 mm de LE, el tiempo

de 90% de equilibrio fue de 1.7 años para hembras y 2.3 años para machos. En el caso de peces de 300 mm LE el tiempo fue de 3 y 4.3 años para hembras y machos, respectivamente. Para los peces de 400 mm LE, el tiempo de recambio que se estimó fue de 4.9 años para hembras y de casi 8 años para machos (Figura 10). El hecho de que el recambio isotópico de un pez completo se estime en el orden de años, permite detectar a inmigrantes o emigrantes recientes dentro de la escala de tiempo de este estudio.

En el otro modelo, usando el valor de $c = -4$ reportado por Buchheister (2008) (para sangre del lenguado *Paralichthys dentatus* de tallas entre 215 y 255 mm LT), en el cual el recambio isotópico es función de crecimiento y del metabolismo, se obtuvo una tasa de recambio más rápida que con el modelo de dilución simple (Figura 11) aunque siguió el mismo patrón, en el cual el tiempo de recambio isotópico varió en función del sexo y de la talla en la cual ocurrió la simulación del cambio de dieta. Siendo más rápido para tallas menores (0.4 años para hembras de 200 mm LE) y más lento para tallas mayores (1.4 años para machos de 400 mm LE).

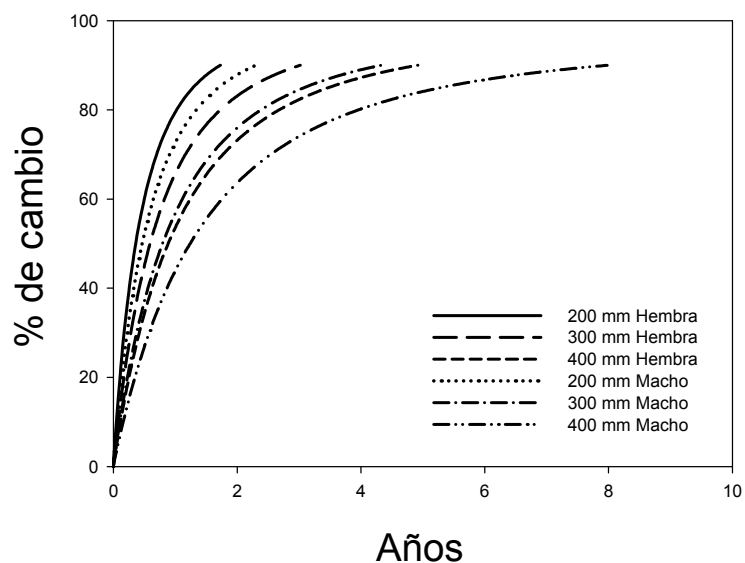


Figura 10. Modelo de recambio isotópico para lenguados de California sujetos a un cambio de dieta simulado a diferentes tallas. Se usó un modelo de dilución simple, en el cual solo el crecimiento contribuye al recambio isotópico. El recambio está expresado en función del tiempo necesario para llegar hasta un 90% de equilibrio isotópico con una nueva fuente de alimento.

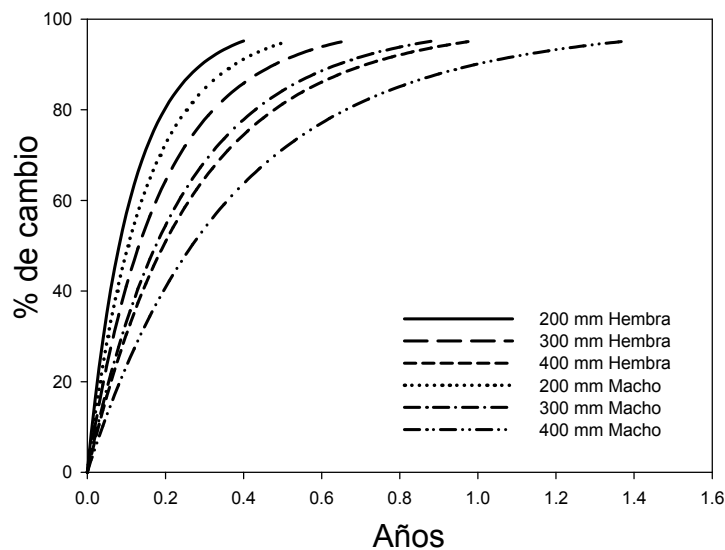


Figura 11. Modelo de recambio isotópico para lenguados de California sujetos a un cambio de dieta simulado para diferentes tallas. Se utilizó la constante de recambio $c = -4$ para sangre propuesta por Buchheister, 2008; este valor implica que tanto el crecimiento como el recambio metabólico contribuyen al recambio isotópico. El recambio está expresado en función del tiempo necesario para llegar hasta un 90% de equilibrio isotópico con una nueva fuente de alimento.

VI. Discusión

Según los estudios que se han enfocado en documentar las estrategias de vida del lenguado de California, los juveniles que se reclutan a los sistemas estuarinos emigran a los 140-200 mm LE (Haaker, 1975; Hammann y Ramírez-González, 1990; Kramer, 1990; Valle et al. 1999; Fodrie y Mendoza, 2006; Fodrie y Levin, 2008). En este trabajo, se encontró que el 35% de los lenguados capturados en el Estero de Punta Banda fueron mayores a 200 mm LE, lo cual indica que el sistema también sirve como hábitat para subadultos y adultos. La presencia de lenguados de California de tallas correspondientes a la etapa subadulta y adulta (hasta 545 mm LE) dentro del Estero de Punta Banda, puede deberse a que los lenguados están emigrando a tallas mayores a las descritas en la literatura o que pueden estar re-inmigrando desde las zonas costeras en busca de alimento o refugio.

La mayoría de los lenguados capturados en el Estero de Punta Banda tuvieron una composición isotópica de carbono en sus tejidos consistente con la residencia. Además, el índice de repleción y el coeficiente de vacuidad indicaron que se alimentaban más dentro del estero que en la zona costera y el análisis de las gónadas mostró que no hay evidencias de actividad reproductiva dentro del estero. Por lo tanto, los lenguados de California subadultos y adultos usaron el Estero de Punta Banda para alimentarse, y emigraron a tallas mayores a las que indica la literatura. Es posible que el lenguado de California tenga una estrategia de vida (sensu Secor, 1999) que involucre un uso adicional del hábitat estuarino o costero a tallas ≥ 200 mm LE, lo que explicaría su permanencia dentro de los sistemas estuarinos hasta antes de la reproducción, lo que les permite aprovechar los recursos disponibles para su alimentación.

VI.1. Distribución de frecuencia de tallas y abundancia relativa

En general, los sistemas estuarinos albergan una alta abundancia de lenguados de California en el estadio juvenil. La mayoría de lenguados que se encuentran en estos sistemas son pequeños, de tallas menores a 200 mm LE. No obstante, en este trabajo el 35% de los lenguados capturados en el Estero de Punta Banda fueron mayores a 200 mm LE, lo cual es un porcentaje alto en comparación con lo encontrado en otros estudios (Allen y Herbinson, 1989; Hammann y Ramírez 1990; Hammann y Rosales-Casián. 1990; López-Rasgado y Herzka et al., 2009). Estas diferencias se pueden deber a que el arte de pesca no es exactamente igual en cada estudio y que además, los muestreos descritos por estos autores no estuvieron dirigidos a la captura de peces grandes. Por lo contrario, en este trabajo los arrastres se hicieron sólo en el canal principal del estero, que es la zona más profunda (3-8 m), y donde había mayor posibilidad de encontrar lenguados grandes dada la relación talla-profundidad descrita por Kramer (1990) y Herzka et al. (2009). De acuerdo al diseño de muestreo utilizado en el presente trabajo, las abundancias relativas de peces ≥ 200 mm LE no son representativas de todo el estero, ya que los arrastres estuvieron restringidos al canal principal.

La mayoría de los lenguados de California capturados en la bahía y en el estero fueron menores a 200 mm LE. Esto es consistente con el estudio de Allen y Herbinson (1990), en el cual las muestras se recolectaron de abril a septiembre de 1989 en zonas costeras y protegidas de California, encontraron que la estructura de la población fue similar en ambas zonas y que los peces < 100 mm LE eran dominantes. En este estudio, la estructura de tallas de la población fue dominada por peces menores a los 200 mm LE, tanto en la Bahía Todos Santos como en el Estero de Punta Banda. El amplio intervalo de tallas observado es producto del arte de pesca utilizado, que no capturaba peces muy pequeños (ca. < 40 mm LE), y que era más eficiente en la captura de lenguados de mayor talla. López-

Rasgado y Herzka (2009) también encontraron una mayor abundancia de lenguados < 200 mm LE en el Estero de Punta Banda.

La abundancia relativa estandarizada (individuos 1000m^{-2}) de lenguados ≥ 200 mm fue mayor en el Estero de Punta Banda que en la Bahía de Todos Santos. Dentro del estero, la abundancia relativa más alta se presentó en invierno (febrero) en la zona interna, lo cual concuerda con lo reportado por López-Rasgado y Herzka (2009). Ellos encontraron una mayor abundancia de lenguados de California en la zona interna del estero. Sugieren que esta zona puede tener un mayor potencial como hábitat de crianza (Sogard 1992; Sogard y Able 1992). Este patrón de abundancia también concuerda con lo reportado en el estudio de Hammann y Ramírez-González (1990), quienes recolectaron muestras cerca a la boca y en la parte central del Estero de Punta Banda entre noviembre de 1982 y octubre de 1983 y encontraron que la abundancia del lenguado de California fue más alta en la zona central en invierno.

Los lenguados subadultos y adultos que habitan en el Estero de Punta Banda podrían estar utilizando este tipo de ecosistemas para la alimentación, dado que los estuarios son altamente productivos y por lo tanto hay una gran cantidad de alimento disponible. Los mayores índices de vacuidad se encontraron en la Bahía Todos Santos; excepto en el muestro de junio-julio donde se capturaron 5 peces y sólo uno de estaba vacío, lo que representa un 20%. Como una consecuencia de la alta variabilidad en el índice de repleción, no hubieron diferencias significativas entre zonas y fechas de muestreo, pero se observó un menor valor del índice en el estero en febrero. Esto podría deberse a que en febrero las temperaturas son bajas (López-Rasgado y Herzka 2009), lo que implica que debe haber una disminución en la tasa metabólica y en el requerimiento alimenticio (Madon, 2002).

Los lenguados de California > 200 mm LE colectados en este estudio se alimentaron principalmente de peces y crustáceos, aunque la dominancia de diferentes taxa varió espacial y temporalmente. Se encontró una dominancia de crustáceos en los estómagos de los lenguados recolectados en la Bahía de Todos Santos, excepto durante septiembre-octubre. En el Estero de Punta Banda, las presas fueron mayormente peces, excepto en septiembre-octubre. Esto es consistente con el estudio de Navarro-Mendoza (1985), que evaluó los hábitos alimentarios de lenguados de California de tallas entre los 110 y 310 mm LT en el Estero de Punta Banda, y reportó que los principales ítems alimentarios fueron peces y crustáceos, aunque menciona que hubo evidencia de que los lenguados consumen otros grupos taxonómicos, como nidarios, moluscos, anélidos y artrópodos. Sandoval-Muy (1995) hizo una evaluación de los hábitos alimentarios de los juveniles del lenguado de California (31 - 255 mm LE) en el Estero de Punta Banda y en la Bahía de Todos Santos, y encontró que se alimentaban principalmente de crustáceos en la zona costera y de peces en el sistema estuarino. Otros estudios en aguas costeras de California también han reportado que las presas principales en la dieta del lenguado de California (124 - > 600 mm LE) son los peces y los crustáceos (Plummer *et al.*, 1983; Wertz y Domeier, 1997). En conjunto, estos resultados sugieren que el lenguado de California varía su alimentación en función del tipo de alimento disponible, de la época del año y de la zona muestreada.

VI.2. Estado reproductivo

De acuerdo a las características del ciclo de vida del lenguado de California, esta especie se reproduce cerca a la costa y puede desovar a lo largo del año (Moser y Watson, 1990). No hay reportes de que esta especie utilice los sistemas estuarinos para reproducirse (Castro y Grijalva, 1988). Este trabajo confirma que no hay evidencia de actividad reproductiva dentro de sistemas estuarino, ya que no se encontraron hembras maduras. De la población de machos, solo el 7%

presentaron evidencia de madurez sexual. Estos peces tenían una talla > 280 mm LE y fueron capturados en febrero, así que probablemente estaban en proceso de maduración para posteriormente emigrar hacia zonas costeras para reproducirse.

VI.3. Análisis isotópico

Debido a la diferencia que existe en la composición isotópica de las fuentes de alimento que sustentan la cadena trófica en cada sistema (estuarino y costero), se puede distinguir, de manera individual, si un pez ha permanecido por un período de tiempo dentro del sistema estuarino, o si es un inmigrante reciente. Los productores primarios que conforman la base de las redes alimentarias en los sistema estuarinos incluye plantas vasculares de humedal, macroalgas bentónicas y planctónicas, mantos de pastos marinos, fitoplancton y acarreada por transporte litoral (Mann, 2000), mientras que la base de la cadena trófica en las zonas costeras es principalmente el fitoplancton marino (Fry y Sherr 1984, Capítulo de Michner). Estas diferencias hacen que la señal isotópica sea diferente en cada sistema.

La mayoría de lenguados colectados en el Estero de Punta Banda exhibieron valores de $\delta^{13}\text{C}$ mayores a -16‰ (-12.0 a -16.5‰). Los peces cuyo valor isotópico fue más ligero (menos enriquecidos en ^{13}C) probablemente fueron inmigrantes recientes, ya que su composición era consistente con los valores de $\delta^{13}\text{C}$ para la base de la cadena alimentaria en la zona costera. El 85% de los lenguados capturados en la Bahía de Todos Santos presentaron valores de $\delta^{13}\text{C}$ de -15.5‰ hasta -17.8‰ ; los peces con valores más enriquecidos fueron considerados emigrantes recientes ya que tenían la señal isotópica del sistema estuarino. De acuerdo con los valores de $\delta^{13}\text{C}$ que presentaron los lenguados capturados en el Estero de Punta Banda, se puede inferir que la mayoría fueron residentes. Solo el 8% de los peces analizados presentaron una composición isotópica consistente con los valores isotópicos de la bahía ($< -16.5\text{‰}$).

Se analizó la composición isotópica de carbono y nitrógeno en dos tejidos con tasas de recambio isotópicas diferentes (sangre y músculo) para inferir el uso de hábitat en diferentes escalas espaciales y detectar movimientos migratorios. Es probable que estos individuos hayan inmigrado recientemente al sistema estuarino, ya que la señal isotópica de la bahía se detectó tanto en sangre como en músculo.

Teniendo en cuenta que la diferencia absoluta en los valores de $\delta^{13}\text{C}$ entre la sangre y el músculo cuando los tejidos están en equilibrio con una dieta, es aproximadamente de 1.5 a 2.0‰ (Buchheister, 2008) y que la diferencia entre los valores de $\delta^{13}\text{C}$ de la sangre y el músculo en este trabajo fue 0.7 ± 0.5 ‰ (promedio \pm DE), podemos suponer que los tejidos estaban en equilibrio con la fuente de alimento de cada zona. Sólo en un pez capturado en la zona externa del estero tenía una diferencia isotópica intermedia entre la bahía y el estero 4.8‰. La señal isotópica del músculo fue consistente con la del estero (-12.1‰), mientras que la sangre fue más negativa y consistente con la zona costera (-16.8‰). Es posible que este pez haya habitado la zona interna o central del estero y que recientemente haya migrado hacia la zona externa. Debido a que la zona externa es la más cercana a la bahía y donde permanentemente hay un intercambio de agua y materia orgánica, es probable que este que pez presente la señal isotópica de la bahía en la sangre porque recientemente se ha alimentado de peces (como lo indica su contenido estomacal) provenientes de la Bahía Todos Santos.

VI.3.1. Modelo de recambio

Los tiempos de recambio isotópico calculados mediante el modelaje nos indican cual es la ventana de oportunidad para evaluar los movimientos migratorios y en la cual es posible detectar un inmigrante reciente con base en la composición isotópica de carbono de sus tejidos. Las tasas de recambio isotópico estimadas utilizando el modelo de dilución simple ($c = -1$), indican que el tiempo

necesario para que un pez (compuesto mayormente de músculo) se aproxime al equilibrio isotópico con una nueva dieta está en el orden de años. Este tiempo fue menor para los peces más pequeños (200 mm LE) que para los peces grandes (400 mm LE), debido a que la tasa de recambio isotópico es mayor en organismos que tienen un tasa de crecimiento más alta (Herzka, 2005).

Para considerar el efecto del recambio metabólico, también se modeló la tasa de recambio isotópico con la constante de recambio metabólica reportado por Buchheister (2008) para juveniles (131 -255 mm LT) de un lenguado del mismo género (*Paralichthys dentatus*). Buchheister (2008) hizo experimentos de recambio isotópico en el laboratorio y reportó un valor de $c = -4.1$ para la constante de recambio metabólico para la sangre. Al incluir el recambio metabólico en la modelación, la tasa de recambio fue mucho más rápida que con un modelo de dilución simple (0.4 años para los individuos de 200 mm LE y de 1.4 años para los peces más grandes (400 mm LE). Esta modelación indica que la tasa de recambio isotópico es más rápida en la sangre que en músculo. Un valor de recambio isotópico de 1.4 años para la sangre probablemente sobreestima que la sangre llegue a un equilibrio con una nueva fuente de alimentación, ya que este tejido probablemente tiene una tasa de recambio metabólico más rápida, según lo reportado por Buchheister (2008).

En síntesis, con base en los resultados de este trabajo, se puede decir que el lenguado de California tiene una estrategia de vida alterna, en la que una misma población tiene distintos patrones de migración o “contingents” (Secor, 1999), en la cual algunos subadultos y adultos permanecen en sistemas estuarinos por un período más largo de tiempo y hasta tallas más grandes que el documentado en estudios previos. Sin embargo, se desconoce cuáles son las ventajas de esta estrategia de vida alterna para la fracción de organismos adultos de las poblaciones del lenguado de California y cuál es la ventaja de la permanencia prolongado de los lenguados ≥ 200 mm LE en los sistemas estuarinos (i.e. Beck et

al 2001). El hecho de identificar y caracterizar estrategias de vida diferentes dentro de una misma población puede contribuir al entendimiento de los procesos que influyen sobre el reclutamiento de adultos.

VII. Conclusiones

La función que los sistemas estuarinos tienen para subadultos y adultos del lenguado de California se evaluó usando el Estero de Punta Banda y la zona costera adyacente de la Bahía de Todos Santos como sistema modelo. Con base en los resultados puede concluir que:

- En el Estero de Punta Banda, no existe evidencia de desove en lenguados mayores a 200 mm LE, lo cual indica que no están utilizando este sistema estuarino como sitio de reproducción.
- Debido a que los lenguados mayores de 200 mm LE tienen un mayor nivel de alimentación dentro del Estero de Punta Banda que en la Bahía Todos Santos durante la principal época de crecimiento, el estero parece proporcionar una ventaja en cuanto a alimentación.
- La mayoría de lenguados capturados dentro del Estero de Punta banda son residentes, lo cual implica que la emigración no solo ocurre dentro del rango de tallas descrito en la literatura, sino también a tallas más grandes.

En resumen, el lenguado de California tiene una estrategia de de vida alterna a la descrita anteriormente (el uso facultativo de sistemas estuarinos hasta los 200 mm LE). En esta estrategia, los subadultos y adultos ≥ 200 mm LE permanecen en sistemas estuarinos hasta tallas más grandes, probablemente como consecuencia de la mayor disponibilidad de alimento en estos sistemas. Debido a que se desconocen las ventajas que esta estrategia de vida pueda tener sobre la población del lenguado de California, se recomienda realizar estudios

enfocados a caracterizar la contribución relativa de juveniles que han utilizado diferentes estrategias de vida a las poblaciones de adultos.

VII. Literatura citada

Able, K. W. y M. P. Fahay. 1998. The first year in the life of estuarine fishes in the Middle Atlantic Bight. Rutgers University Press. New Brunswick, New Jersey. 342 pp.

Acosta-Ruiz, M. J. y S. Álvarez-Borrego. 1974. Distribución superficial de algunos parámetros hidrológicos físicos y químicos en el Estero de Punta Banda, B. C., en otoño e invierno. Cienc. Mar. 1(1):16-45

Aguilar-Rosas, R. 1980. Algas bentónicas y fanerógamas del Estero de Punta Banda, Baja California, México, durante verano y otoño. Tesis profesional. Escuela Superior de Ciencias Marinas. Universidad Autónoma de Baja California, México. 43 pp.

Aguilar-Rosas, R. 1982. Identificación y distribución de las algas marinas en el Estero de Punta Banda, Baja California, México. Ciencias Marinas 8 (1):78-87

Allen, L. G. 1988. Recruitment, distribution and feeding habits of young-of-the-year California halibut (*Paralichthys californicus*) in the vicinity of Alamitos Bay-Long Beach Harbor, California, 1983-1985. Bull. South Cal. Acad. Sci. 87(1):19-30

Allen, M. J. y K. T. Herbinson. 1990. Settlement of juvenile California halibut, *Paralichthys californicus*, along the coast of Los Angeles, Orange and San Diego Counties in 1989. CalCOFI Reports. XXXI:84-96

Assis, C. A. 1996. A generalised index for stomach contents analysis in fish. Scientia Marina 60 (2-3): 385-389

Barsky, K.C. 1990. History of the commercial California halibut fishery En: Haugen, C. W. (Ed). The California Halibut, *Paralichthys californicus*, resource and fisheries. Fish. Bull. Cal. Dep. Fish Game. 174:217-227

Beltrán-Félix, J. L., M. G. Hammann, A. Chagoya-Guzmán y S. Álvarez-Borrego. 1986. Ictiofauna del Estero de Punta Banda, Ensenada Baja California, México, antes de una operación de dragado. Cienc. Mar. 12(1):79-92

Bosley, K.L., Witting, D.A., Chambers, R.C, Wainright, S.C. 2002. Estimating turnover rates of carbon and nitrogen in recently metamorphosed winter flounder *Pseudopleuronectes americanus* with stable isotopes. *Mar Ecol Prog Ser* 236:233–240

Buchheister, A. 2008. Stable Isotope dynamics In Summer flounder tissues, with application to dietary assessments in Chesapeake Bay. Master thesis The College of William and Mary in Virginia San Diego State University. San Diego, California. 265 pp

Buchheister, A. y R. J. Latour. 2009. Turnover and fractionation of carbon and nitrogen stable isotopes in tissues of a migratory coastal predator, summer flounder (*Paralichthys dentatus*). Sometido

Caddell, S. M., D. M. Gadomski y L. R. Abbott. 1990. Induced spawning of the California halibut, *Paralichthys Californicus*, (Pisces: Paralichthyidae) under artificial and natural conditions. En: Haugen, C. W. (Ed). The California halibut, *Paralichthys californicus*, resource and fisheries. *Fish. Bull. Cal. Dep. Fish Game*. 174:175-198

Castillo-Álvarez, J. A. 1990. Sinopsis de algas verdes (clorophyta) de la península de Baja California, México. Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma de Baja California. 198 pp.

Castro-Longoria, R. y J. M. Grijalva-Chon. 1988. Ictioplancton den Estero de punta Banda, B. C. México, durante primavera-verano de 1985. *Cienc. Mar*. 14(1):57-79

Celis-Ceseña, R. y S. Alvarez-Borrego. 1975. Distribución superficial de algunos parámetros hidrológicos físicos y químicos en el Estero de Punta banda, b. C. En primavera y verano. *Cienc. Mar*. 2(1):98-105

Chapa-Balcorta, C. 2000. Estandarización de una técnica para la estimación de la madurez sexual en hembras de lenguado de California *Paralichthys Californicus*. Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma de Baja California, México. 62pp

Deegan, L.A. y R. H Garrit. 1997. Evidence for spatial variability in estuarine food webs. *Marine Ecology Progress Series*. 147: 31-47

DeNiro M.J. y S. Epstein. 1978. Influence of diet on the distribution of carbon isotopes in animals. *Geochim. et Cosmochim. Acta*. 42: 495-506

DeNiro M.J. y S. Epstein. 1979. Reconstruction of aspects of the diets of extant fossil animals using the stable isotopes of nitrogen. *Geol. Soc. Am. Abs. Prog.* 11:412 pp.

DeNiro M.J. y S. Epstein. 1981. Influence of diet on the distribution of nitrogen isotopes in animals. *Geochim. et Cosmochim. Acta.* 45: 341-351

Duque-Nivia, G. 1993. Ecología trófica y aspectos reproductivos de las especies del género *Oligoplites* (Pices: Carangidae) de la Ciénaga Grande de Santa Marta, Caribe colombiano. Tesis de Maestría Universidad Nacional de Colombia. 100 pp

Fodrie, F. J. y G. Mendoza. 2006. Availability, usage and expected contribution of potentail nursery habitats for the California halibut. *Est. Coast. Shelf. Sci.* 68:149-164

Fodrie, F.J. y L. A Levin. 2008. Linking juvenile habitat utilization to population dynamics of California halibut. *Limnol. Oceanogr.* 53(2): 799–812

Forrester, G. E. y S. E. Swearer. 2002. Trace elements in otolith indicate the use of open-coast versus bay nursery habitats by juvenile California halibut. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 241:201-213

France, R. L. 1995. Carbon 13 enrichment in benthic compared to planktonic algae: foodweb implication. *Marine Ecology Progress Series* 124: 307-312

Frey, H. W. 1971. California's living marine resources and their utilization. *Calif. Dept. Fish Game.* 148 pp.

Fry B. y C. Arnold. 1982. Rapid $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ Turnover during growth of brown shrimp (*Penaeus aztecus*). *Oecologia.* 54(2):200-204

Gadomski, D. M., S. M. Caddell, L. R. Abbott y T. C. Caro. 1990. Growth and development of larval and juvenile California halibut, *Paralichthys californicus*, reared in the laboratory. En: Haugen, C. W. (Ed). *The California halibut, Paralichthys californicus, resource y fisheries.* *Fish. Bull. Cal. Dep. Fish Game.* 174:85-98

Gaston TF, Suthers IM (2004) Spatial variation in $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ of liver, muscle and bone in a rocky reef planktivorous fish: the relative contribution of sewage. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 304:17–33

Guelinckx, J., Maes, J., Van Den Driessche, P., Geysen, B., Dehairs, F. y Ollevier, F. 2007. Changes in $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ in different tissues of juvenile sand goby *Pomatoschistus minutus*: a laboratory diet switch experiment. Marine Ecology Progress Series 341, 205–215

Haaker, P. L. 1975. The biology of the California halibut, *Paralichthys californicus* (Ayres) in Anaheim Bay, En: Lane, E. D. y C. W. Hill. (Eds). The marine resources of Anaheim Bay. Fish. Bull. Cal. Dep. Fish Game. 165:137-151

Hammann, M. G. y A. A. Ramírez-González. 1990. California halibut, *Paralichthys californicus*, in Todos Santos Bay, Baja, México. En: Haugen, C. W. (Ed). The California halibut, *Paralichthys californicus*, resource and fisheries. Fish. Bull. Cal. Dep. Fish Game. 174:127-144

Hammann, M.G. y J.A. Rosales-Casian. 1990. Taxonomía y estructura de la comunidad de peces del Estero de Punta Banda y Bahía de Todos Santos, Baja California, México. Cap. 6: 153-192. En: Rosa-Vélez J. De la y F. González-Farías (eds). Temas de Oceanografía Biológica en México. Universidad Autónoma de Baja California, Ensenada. 337 pp.

Helvey, M. y J.f. Witzig. 1990. An analysis of the California halibut, *Paralichthys californicus*, recreational fishery, 1980.1987. En: Haugen, C. W. (Ed). The California halibut, *Paralichthys californicus*, resource and fisheries. Fish. Bull. Cal. Dep. Fish Game. 174:359-372

Herzka, S.Z. y Holt. 2000. Changes in isotopic composition of red drum (*Sciaenops ocellatus*) larvae in response to dietary shifts: potential applications to settlement studies. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 57:137-147

Herzka, S.Z., S.A. Holt y G.J. Holt. 2001. Documenting the settlement history of individual fish larvae using stable isotope ratios: Model development and validation. J. Exp. Mar. Biol. Ecol. 226: 143–156

Herzka, S.Z., S.A. Holt y G.J. Holt. 2002. Characterization of settlement patterns of red drum *Sciaenops ocellatus* larvae to estuarine nursery habitat: a stable isotope approach. Marine Ecology Progress Series 124: 307-312

Herzka, S. Z. 2005. Assessing connectivity of estuarine fishes based on stable isotope ratio analysis. Est. Coast. Shelf Sci. 64:58-69

Herzka, S. Z., R. Griffiths, F.J. Fodrie y I.D. McCarthy. 2009. Short-term size-specific distribution and movement patterns of juvenile flatfish in a Pacific estuary derived through length-frequency and mark-recapture data. *Ciencias Marinas*, 35(1): 41–57

Hesslein R.H., K.A. Hallard and P. Ramlal. 1993. Replacement of sulfur, carbon, and nitrogen in tissues of growing broad whitefish (*Coregonus nasus*) in response to a change in diet traced by $\delta^{34}\text{S}$, $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 50: 2071-2076

Hobson, K. A. 1999. Tracing origins and migration of wildlife using stable isotopes: a review. *Oecologia*. 120:314-326

Hobson, K. A. y F. Bairlein. 2003. Isotopic fractionation and turnover in captive Garden Warblers (*Sylvia borin*): implications for delineating dietary and migratory associations in wild passerines. Published on the National Research Council (NRC) Research Press Web site at <http://cjz.nrc.ca> consultado noviembre 2009.

Hobson K.A & R.G. Clark. 1992. Assessing avian diets using stable isotopes I: turnover of ^{13}C in tissues. *The Condor*. 94: 181-188

Holden, M. J y D. F. S. Raitt. 1975. Manual de ciencia pesquera. Parte II. Métodos para investigar los recursos y su aplicación. FAO. Doc. Tec. Pesca 115: 1–211

Hyslop, E. J. 1980. Stomach contents analysis - a review of methods and their application. *Journal of Fish. Biol. (England)*, (17): 411-429

Humason, G.L. 1967. Animal tissue techniques. Segunda edición Freeman and company. San Francisco. 569 pp.

Kline, T.C., Wilson, W.J. y Goering, J.J. 1998. Natural isotope indicators of fish migration at Prudhoe Bay, Alaska. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 55: 1494–1502

Kramer, S. H. 1990. Habitat specificity and ontogenetic movements of juvenile California halibut, *Paralichthys californicus*, and other flatfish in shallow waters of southern California. P. H. Thesis San Diego State University. San Diego, California. 265 pp

Kramer, S. H. 1990a. Distribution and abundance of juvenile California halibut, *Paralichthys Californicus*, in shallow waters of San Diego County. En: Haugen,

C. W. (Ed). The California halibut, *Paralichthys californicus*, resource and fisheries. Fish. Bull. Cal. Dep. Fish Game. 174:99-126

Kramer, S. H. 1991a. Growth, mortality and movements of juvenile California halibut, *Paralichthys californicus* in shallow coastal and bay habitats of San Diego County, California. Fish. Bull. 89:195-207

Kramer, S. H. 1991b. The shallow water of San Diego County. CalCOFI Reports.

Kwak, T. J. y J. B. Zedler. 1997. Food web analysis of southern California coastal wetlands using multiple stable isotopes. Oecologia. 110:262-277

Lavenberg, R. J., G. E. McGowen, A. E. Jahn, J. H. Petersen y T. C. Sciarrotta. 1986. Abundance of southern California nearshore ichthyoplankton: 1978-1984. CalCOFI Reports. XXVII:53-64

López-Rasgado, F.J y S. Z. Herzka. 2009. Assessment of habitat quality for juvenile California halibut (*Paralichthys californicus*) in a seasonally arid estuary. Fish. Bull. 107:343–358

Love, M. S. y A. Brooks. 1990. Size and age at first maturity of the California halibut, *Paralichthys californicus*, in the southern California bight. En: Haugen, C. W. (Ed). The California Halibut, *Paralichthys californicus*, resource and fisheries. Fish. Bull. Cal. Dep. Fish Game. 174:167-174

Madon, P. S. 2002. Ecophysiology of juvenile California halibut *Paralichthys californicus* in relation to body size, water temperature and salinity. Mar. Ecol. Prog. Ser. 243:235-249

Moser, H.G. y W. Watson. 1990. Distribution and abundance of the early life history stages of the California halibut, *Paralichthys californicus*, and comparison with the fantail sole, *Xysteteus liopepis*. En: Haugen, C. W. (Ed). The California halibut, *Paralichthys californicus*, Resource and Fisheries. Fish. Bull. Cal. Dep. Fish Game. 174:31-84

Navarro-Mendoza, M. 1985. Ecología trófica de la comunidad íctica, en el Estero de Punta Banda, Ensenada, México. Tesis Maestría en Ciencias. CICESE. 185 pp.

Ortiz, M.L. Huerta y A.Hinojosa. 2003. Transporte de sedimento por tracción de marea en el Estero de Punta Banda, B.C., México. GEOS, 23:283-294

Pattison, C. A. y R. D. McAllister. 1990. Age determination of California halibut, *Paralichthys californicus*. En: Haugen, C. W. (Ed). The California halibut, *Paralichthys californicus*, resource and fisheries. Fish. Bull. Cal. Dep. Fish Game. 174:207-216

Plummer, K. M., E. E. Demartini y D. A. Roberts. 1983. The feeding habits and distribution of juvenile-small adult California halibut (*Paralichthys californicus*) in coastal waters off northern San Diego County. CalCOFI Reports. XXIV:194:201

Post D.M. 2002. Using stable isotope to estimate trophic position: models methods and assumptions. Ecology. 83(3): 703-718

Pritchard, D. W., R. de la Paz-Vela, H. Cabrera-Muro, S. Farreras-Sanz y E. Morales. 1978. Hidrografía física del Estero de Punta Banda. Parte I: Análisis de datos. Cienc. Mar. 5(2):1-23

Reed, R. J. y Maccall, A. D. 1988. Changing the size limit: How it could affect California halibut fisheries. REP. CalCOFI Report. XXIX:158-166

Rosenberg, A. A. 1982. Growth of juvenile English sole, *Parophrys vetulus*, in estuarine and open coastal nursery grounds. Fish. Bull. 80(2):245-252

Rosales-Casián, J. A. 2004. Composition, importance and movement of fish from San Quintin Bay. Cienc. Mar. 30(1A):109-117

Sandoval-Muy, M. I. 1995. Hábitos alimenticios y aportación nutricional de la dieta de *Paralichthys californicus* en la Bahía de Todos Santos y el Estero de Punta Banda, Ensenada, B. C. Tesis Maestría en Ciencias. CICESE. Ensenada, B. C. 62 pp.

Sharp Z. 2007. Principles of stable isotope geochemistry. The University of New Mexico. Pearson Prentice Hall. Upper Saddle River, New Jersey.

Shoeneringer M.J. y M.J. DeNiro. 1984. Nitrogen and carbon isotopic composition of bone collagen from marine and terrestrial animals. Geochim. et Cosmochim. Acta. 48: 625-639

Sulzman E.W. 2007. Stable isotope chemistry and measurement: a primer en: Michener R. & K. Lajtha (eds.). Stable Isotopes in Ecology and Environmental Science. 2nd Edition. USA. Blackwell Publishing Ltd. 1-18

Tresierra, A y Z. Culquichicón. 1995. Manual de biología pesquera. Universidad Nacional de Trujillo, Perú. 227 pp.

Tieszen L.L., T.W. Boutton, K.G. Tesdahl y N.A. Slade. 1983. Fractionation and turnover of stable carbon isotopes in animal tissues: Implications for $\delta^{13}\text{C}$ analysis of diet. *Oecologia*. 57: 32-37

Underwood, A. J., 1997. Experiments in ecology. Cambridge university press. United Kingdom. 504 pp.

Valle, C. F., J. W. O'Brien y K. B. Wiese. 1999. Differential habitat use y California halibut, *Paralichthys californicus*, barred sand bass, *Paralabrax nebulifer*, and other juvenile fishes in Alamitos Bay, California. *Fish. Bull.* 97:646-660

Vander Zanden M.J. y J.B. Rasmussen. 2001. Variation in $\delta^{15}\text{N}$ and $\delta^{13}\text{C}$ trophic fractionation: Implications for aquatic food web studies. *Limnology and Oceanography*. 46(8): 2061-2066

Wassenaar, L.I. y K.H. Hobson. 1998. Natal origins of migratory monarch butterflies at wintering colonies in Mexico: New isotopic evidence. *Ecology*. Vol. 95. 15436–15439 pp.

Wertz, S. P. y M. L. Domeier. 1997. Relative importance of prey items to California halibut. *Fish. Bull. Cal. Dep. Fish Game*. 83(1):21-29

Windell, T. J y S.H. Bowen. 1978. Methods for study of fish diets based on analysis of stomach contents, pp 219-226. In *Methods for assessment of fish production in fresh water* (Bagenal T.,ed). Blackwell Sci. Publ. Oxford, England.365pp.