

Tesis defendida por
Norma Laura Lucio Martínez
y aprobada por el siguiente Comité

Dr. Sharon Zinah Herzka Llona
Director del Comité

Dr. Oscar Sosa Nishizaki
Miembro del Comité

Dr. Casimiro Quiñónez Velázquez
Miembro del Comité

Dr. Mónica Hernández Rodríguez
Miembro del Comité

Dr. Maria Lucila del Carmen Lares
Reyes
Coordinador
del Posgrado en Ecología marinas

Dr. Jesús Favela Vara
Director de la
Dirección de Estudios de Posgrado

Marzo, 2014

**CENTRO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Y DE EDUCACIÓN SUPERIOR
DE ENSENADA, BAJA CALIFORNIA**



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

Discriminación de poblaciones de sardina monterrey (*Sardinops sagax*) en la costa occidental de Baja California utilizando el ancho de las primeras bandas de crecimiento de los otolitos

Tesis

para cubrir parcialmente los requisitos necesarios para obtener el grado de

Maestro en Ciencias
Presenta:

Norma Laura Lucio Martínez

Ensenada, Baja California, México
2014

Resumen de la tesis de Norma Laura Lucio Martínez, presentada como requisito parcial para la obtención del grado de Maestro en Ciencias en Ecología marina.

Discriminación de poblaciones de sardina monterrey (*Sardinops sagax*) en la costa occidental de Baja California utilizando el ancho de las primeras bandas de crecimiento de los otolitos

Resumen aprobado por:

Dr. Sharon Zinah Herzka Llona

El objetivo de este estudio fue evaluar la presencia de poblaciones distintas de sardina monterrey (*Sardinops sagax*) en el Pacífico de Baja California a lo largo del año. Smith (2005) hizo una revisión de la estructura poblacional de la sardina y sugirió que los patrones de crecimiento permitirían discriminar entre poblaciones. Con base en el trabajo de Felin (1954), quien analizó escamas, propuso que las sardinias de la población fría (o norteña) tienen una mayor talla a la misma edad en comparación con las sardinias de la población templada (o sureña). Reconociendo que las sardinias migran a lo largo del año, Félix-Uraga *et al.*, (2004) analizaron la distribución espacial de la captura en el Pacífico y propusieron que la población templada se captura cuando la temperatura superficial del mar (TSM) es de 17-22°C, lo cual ocurre en promedio frente a Baja California de julio a diciembre y la población fría de 13-17°C en el norte de Baja California a finales de invierno y principios de primavera. En este estudio se planteó la hipótesis de que la flota pesquera de Baja California captura ambas poblaciones a lo largo del año, y que estas se podrían diferenciar con base en el patrón de crecimiento inferido a partir del ancho de los anillos depositados durante el primer año de vida. Se procesaron sardinias capturadas por la flota del Puerto El Sauzal, B.C., cada 2-4 semanas a lo largo del 2008 y 2011. Se midieron los anchos de la primera banda opaca (r_{o1}) y la primera banda hialina (r_{h1}) de 989 otolitos ($n=30$ por fecha). Hubo un alto nivel de variabilidad en los anchos de las bandas de crecimiento dentro y entre fechas, lo cual refleja una alta variabilidad en el crecimiento durante el primer año de vida. Aunque hubo diferencias significativas en el ancho de las bandas de crecimiento entre algunas fechas de muestreo y trimestres, no hubo un patrón consistente que apoyase la estructura poblacional propuesta por Smith (2005). En contraste, el análisis de residuales de los anchos de los r_{o1} y r_{h1} sí indicó una tendencia estacional en las series de tiempo; durante la primavera y algunos meses de invierno los anchos de los r_{o1} eran más grandes, tanto para 2008 como el 2011. La TSM promedio mensual frente a la costa de Ensenada se estimó y se categorizaron las fechas de captura como correspondiente a la población fría ($<17^{\circ}\text{C}$) o templada ($>17^{\circ}\text{C}$). No hubo diferencias significativas en los anchos del r_{o1} y r_{h1} en función estas categorías de TSM. Los resultados de este estudio indican que hubo un alto nivel de variabilidad en el crecimiento de las sardinias durante el primer año de vida, y que a pesar de algunas diferencias entre fechas o trimestres, no hubo una separación clara de poblaciones con características de crecimiento diferentes a lo largo del año. Esto puede deberse tanto a un alto nivel de variabilidad en el crecimiento dentro de cada población como a la mezcla de individuos de las poblaciones fría y templada en el norte de Baja California.

Palabras clave: **Otolitos, sardina, *Sardinops sagax*, estructura poblacional**

Abstract of the thesis presented by Norma Laura Lucio Martínez as a partial requirement to obtain the Master in Science degree in Marine Ecology

Discrimination of Pacific sardine (*Sardinops sagax*) populations off the western coast of Baja California based on otolith increment width

Abstract approved by:

Dr. Sharon Zinah Herzka Llona

The objective of this study was to evaluate whether there was evidence of the presence of distinct populations of the Pacific sardine (*Sardinops sagax*) in the Pacific off Baja California. Smith (2005) reviewed the studies on population structure of Pacific sardine and suggested that differences in growth rates could provide a means for discriminating among populations. Citing Felin's (1954) early ageing work on scales, he proposed that sardines from the cold (northern) population should have a larger size-at-age than those of the temperate (southern) population. Félix-Uraga *et al.*, (2004) later analyzed the seasonal and spatial distribution of the sardine catch from southern California to the south of the Baja California peninsula as a function of sea surface temperature (SST). Recognizing that sardines migrate during the course of the year, they suggested that the northern population is caught at SSTs of 13-17°C off northern Baja California and southern California during the winter and early spring, and that the southern population is caught at 17-22°C near Magdalena Bay between January and June and off northern Baja California during the later half of the year. Therefore, I hypothesized that the sardine fleet operating off northern Baja California should capture sardines from the cold (larger size-at-age) and temperate (smaller-size-at-age) populations during the course of the year, and that these populations could be differentiated based on the widths of the seasonal growth rings deposited during the first year. Sardines were collected from the commercial fishery operating out of the Port of El Sauzal every 2-4 weeks during 2008 and 2011. The radius of the first opaque ring (first growth season r_{o1}) and the first hyaline ring (first winter's growth r_{h1}) were measured for 989 otoliths ($n=30$ per date). There was a high level of variability in ring widths within and between sampling dates, which reflects variable growth rates during the first year of life. There were a limited number of significant differences in r_{o1} and r_{h1} widths between sampling dates and trimesters, and the temporal pattern was inconsistent with the population structure proposed by Smith (2005). In contrast, residual analysis of the ring widths did show a seasonal tendency; during spring and some winter months, the average widths of the r_{o1} were larger (indicative of larger size-at-age). Mean monthly SST were estimated for the area in the vicinity of where the fleet operates (31-32°N, 116-117°W) and the sampling dates were categorized based on whether SST were <17°C or (>17°C, corresponding to the habitats of the cold and temperate population, respectively. The radii of the r_{o1} and r_{h1} did not vary significantly as a function of SST. The results of this study suggest that there is a high level of variability in the growth rates of Pacific sardines during the first year of life. The lack of evidence of a clear temporal separation of the cold and temperate populations off northern Baja California during the course of the year may be due to inherently high variability in growth rates within each population or to mixing of individuals from the cold and temperate populations off Baja California.

Keywords: Otoliths, Pacific sardine, *Sardinops sagax*, population structure

Dedicatorias

A mi corazón de melón Derek Iván

A quien ha sido mi compañero en esta aventura con un gran impulso y apoyo Steep ☺

A mis padres a quienes admiro y han sido un ejemplo a seguir!!

A mis hermanas que siempre me apoyan aun estando lejos Angie, Ana, Vero, Jechi y mis sobrinos Andresito, Mateo y el que viene en camino...a Vanesi y Dani por sus locuras y ocurrencias!!

Agradecimientos

A la doctora Sharon Herzka por permitirme formar parte de su equipo de trabajo y su gran apoyo y empeño para poder desarrollar mi tesis con una gran guía, permitiéndome crecer en el ámbito profesional y en lo personal pero sobre todo gracias por esa calidez humana con la que siempre me trató.

A mi comité de tesis el Dr. Casimiro Quiñónez, Dr. Oscar Sosa y la Dra. Mónica Hernández por los comentarios más acertados para mejorar este trabajo

Al Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada a su Departamento de Oceanografía Biológica y el Posgrado de Ecología Marina, a todo el personal académico por sus enseñanzas para mi formación.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por la beca otorgada para realizar mis estudios de maestría en este posgrado.

A la empresa Productos marinos ABC S.A de C.V. por su colaboración para proporcionar las muestras biológicas necesarias para realizar este estudio.

Al laboratorio de Ecología pesquera por su apoyo y amistad y formar parte de este clan. A los jefes el Dr. Oscar Sosa y la Dra. Sharon Herzka. Muy en especial a Reyna, Carmen, Kena por su gran apoyo académico y personal en el desarrollo de esta tesis. A Oscar Hernández (gracias por cargar tantas veces la hielera de sardinas☺), Laura, Erick, Emiliano, Marlon, Cesar, Alma, Leilani, Luz, Elez, Bety, Elena, Karen...gracias.

A Meli, Caro, Adi, Lupita, Rosy, Marianita, Anita, Gina, Oscar, Gera y Manuel por ser parte de grandes momentos como familia cicesiana.

A la lista negra Geo, Gaby (Geo), Alex, Marina, Meli, Toño (bueno Toño y Gaby no ☺)

Al personal de MAREA y CIDECO que gracias por todo su apoyo.

Contenido

	Página
Resumen	II
Abstract	III
Dedicatorias	IV
Agradecimientos.....	V
Lista de figuras	VIII
Lista de tablas	XI
1. Introducción.....	1
1.1 Estructura poblacional de la sardina en el SCC	4
1.2 Análisis de otolitos	8
2. Objetivo general	11
2.1 Objetivos particulares.....	11
3. Materiales y métodos	12
3.1 Análisis de datos	16
Evaluación de la relación de la edad y la talla con ro_1 , rh_1 y R	18
4. Resultados	19
4.1 Características de las capturas.....	19
4.2 Mediciones de las bandas de crecimiento	23
4.3 Análisis de residuales	31
4.4 Relación entre el R - LE	32

4.5 Relación entre la edad y r_{o1} y r_{h1}	34
5. Discusión.....	39
5.1 Patrones estacionales en el ancho de las bandas de crecimiento del primer año de vida	40
5.2 Patrones en los anchos de las bandas de crecimiento en relación a la temperatura superficial del mar	42
5.3 Análisis de la relación entre el radio total (R) y la longitud estándar	43
5.4 Análisis de la relación entre la edad y el ancho de las bandas de crecimiento	44
6. Conclusiones.....	45
Referencias bibliográficas	46
Anexo.....	54

Lista de figuras

Figura 1. Desove de diferentes poblaciones de sardina asociados a distintas temperaturas (Baumgartner, datos no publicados).....	3
Figura 2. Clasificación de las zonas de desove de la sardina monterrey con base en estudios de 1952-1956 CalCOFI (Smith, 2005 p. 76).	5
Figura 3. Modelo conceptual que sugiere que el tamaño de sardinas (<i>Sardinops sagax</i>) de una misma edad es mayor en las poblaciones más norteañas (modificado de Smith, 2005 p. 76).	6
Figura 4. Modelo espacio-temporal que representa el movimiento de tres poblaciones de sardinas a lo largo de un año frente a la costas de California, Baja California y Baja California Sur (Félix-Uraga <i>et al.</i> , 2004 p. 150).	7
Figura 5. Mediciones realizadas en los otolitos de sardinas, <i>Sardinops sagax</i> , recolectadas de desembarques en el Puerto El Sauzal, Baja California, México. Se midió el radio total (R), el ancho de la primer banda opaca (r_{o1}), y el ancho del primer annulus ($r_{(o1 + h1)}$), que incluye la primer banda opaca y la primer banda hialina.	16
Figura 6. Zonas de captura de las sardinas, <i>Sardinops sagax</i> desembarcadas en el puerto de El Sauzal, Baja California de febrero 2008 a enero 2009 y de febrero 2011 a febrero 2012.....	19
Figura 7. Promedio mensual de la Temperatura Superficial del Mar (TSM) en el área que abarca de los 31 a 32° N y 116 a 117° W frente al puerto de El Sauzal, Baja California.	
Figura 8. Promedio de la longitud estándar (LE, mm) \pm desviación estándar (DE) de las sardinas (<i>Sardinops sagax</i>) recolectadas de desembarques en el Puerto El Sauzal, Baja California, México.	21
Figura 9. Peso promedio (g) \pm desviación estándar de las sardinas (<i>Sardinops sagax</i>) recolectadas en los desembarques del Puerto El Sauzal, Baja California, México.	22

Figura 10. Promedio de la K de Fulton \pm desviación estándar de las sardinas (<i>Sardinops sagax</i>) recolectadas de desembarques en el Puerto El Sauzal, Baja California, México.	23
Figura 11. Promedio \pm desviación estándar del primer radio opaco (r_{o1}) de los otolitos de sardina (<i>Sardinops sagax</i>) recolectadas de desembarques en el Puerto El Sauzal, Baja California, México de febrero 2008 a enero 2009 y de febrero 2011 a febrero 2012.	24
Figura 12. Promedio \pm desviación estándar del primer radio hialino (r_{h1}) de los otolitos de sardina (<i>Sardinops sagax</i>) recolectadas de desembarques en el Puerto El Sauzal, Baja California, México de febrero 2008 a enero 2009.y de febrero 2011 a febrero 2012.	24
Figura 13. Relación entre la estación del año y el radio opaco (r_{o1}) de los otolitos de sardinas (<i>Sardinops sagax</i>) recolectadas de desembarques en el Puerto El Sauzal, Baja California, México de febrero 2008 a enero 2009.y de febrero 2011 a febrero 2012.....	28
Figura 14. Relación entre la estación del año y el radio hialino (r_{h1}) de los otolitos de sardinas (<i>Sardinops sagax</i>) recolectadas de desembarques en el Puerto El Sauzal, Baja California, México de febrero 2008 a enero 2009.y de febrero 2011 a febrero 2012.....	29
Figura 15. Análisis de los residuales del primer radio opaco (r_{o1}) de los otolitos de sardinas (<i>Sardinops sagax</i>) recolectadas de desembarques del Puerto El Sauzal, Baja California, México en 2008 y 2011.....	32
Figura 16. Análisis de los residuales del primer radio hialino (r_{h1}) de los otolitos de sardinas (<i>Sardinops sagax</i>) recolectadas de desembarques en el Puerto El Sauzal, Baja California, México en 2008 y 2011.....	32
Figura 17. Radio total (R) con respecto a la longitud estándar de las sardinas (<i>Sardinops sagax</i>) recolectadas en el Puerto de El Sauzal, Baja California, México entre febrero del 2008 y febrero del 2009 (panel izquierdo) y febrero del 2011 a febrero del 2012 (panel derecho).....	33
Figura 18. Radio total (R) con respecto a la longitud estándar de las sardinas (<i>Sardinops sagax</i>) recolectadas en el Puerto de El Sauzal, Baja California,	

México de febrero 2008 a enero del 2009 (a y b) y de febrero 2011 a febrero 2012 (c y d).....	34
Figura 19. Distribución de frecuencias de las edades de sardinas (<i>Sardinops sagax</i>) recolectadas de desembarques en el Puerto El Sauzal, Baja California, México para primavera (febrero-abril) y otoño (septiembre-noviembre) del 2011.....	35
Figura 20. Longitud estándar (mm) con respecto a la edad de sardinas (<i>Sardinops sagax</i>) recolectadas de desembarques en el Puerto El Sauzal, Baja California, México durante la primavera y otoño del 2011.	36
Figura 21. Relación entre la edad de sardinas (<i>Sardinops sagax</i>) individuales y el radio de las bandas de crecimiento y el radio total.	37

Lista de tablas

Tabla 1. Fecha de captura, zona de pesca, número de peces y otolitos medidos, promedio de la longitud estándar y peso y TSM (temperatura superficial del mar) del mes de captura de las sardinas <i>Sardinops sagax</i> recolectadas de desembarques del puerto de El Sauzal, Baja California entre febrero 2008 y enero 2009 y entre febrero 2011 a febrero 2012.	12
Tabla 2. Pruebas estadísticas no paramétricas Kruskal Wallis del ancho de la primera banda opaca (r_{o1}) y hialina (r_{h1}) de los otolitos de sardinas (<i>Sardinops sagax</i>) recolectadas de desembarques pesqueros en el Puerto El Sauzal, Baja California, México.	25
Tabla 3. Comparaciones pareadas para 2008 que sí fueron significativas en el ancho de las bandas de crecimiento de los otolitos de sardinas (<i>Sardinops sagax</i>) de desembarques pesqueros del Puerto El Sauzal, Baja California, México.	26
Tabla 4. Comparaciones pareadas para 2011 que si fueron significativas entre el ancho de las bandas de crecimiento de los otolitos de sardinas (<i>Sardinops sagax</i>) de desembarques pesqueros en el Puerto El Sauzal, Baja California, México.	27
Tabla 5. Pruebas estadísticas no paramétricas Kruskal Wallis del ancho de la primera banda opaca (r_{o1}) y hialina (r_{h1}) de los otolitos de sardinas (<i>Sardinops sagax</i>) recolectadas de desembarques pesqueros en el Puerto El Sauzal, Baja California, México.	29
Tabla 6. Valores de p de comparaciones pareadas por trimestres para 2008 y 2011 entre el ancho de las bandas de crecimiento de los otolitos de sardinas (<i>Sardinops sagax</i>) de desembarques pesqueros en el Puerto El Sauzal, Baja California, México.	30
Tabla 7 Prueba estadística no paramétrica Mann Whitney y Kolmogorov Smirnov del ancho de las bandas de crecimiento del otolito de sardinas (<i>Sardinops sagax</i>) de desembarques pesqueros en el Puerto El Sauzal, Baja California, México, separados por temperatura de captura $<17^{\circ}\text{C}$ y $>17^{\circ}\text{C}$	31

Tabla 8. Prueba estadística no paramétricas Kruskal Wallis de comparación entre el ancho de la primera banda opaca (r_{o1}) y hialina (r_{h1}) de los otolitos de sardinas (<i>Sardinops sagax</i>) de diferentes edades recolectadas de desembarques pesqueros en el Puerto El Sauzal, Baja California, México.....	38
--	----

1. Introducción

La sardina del Pacífico *Sardinops sagax*, también conocida como sardina Monterrey pertenece a la familia Clupeidae. La distribución geográfica de esta sardina es desde el sudeste de Alaska hasta el extremo sur de la península de Baja California y dentro del Golfo de California (Schwartzlose *et al.*, 1999).

La sardina se alimenta por filtración de microzooplancton y fitoplancton (Van der Lingen, 1994). Su talla de primera madurez se ha estimado a los 130 y 135 mm de longitud estándar (LE, Félix y Ramírez, 1989). Alcanza una talla máxima de 395 mm LE (Whitehead, 1985), el peso máximo es de 496 g (Hart, 1973) y la edad máxima es de 13 años (Hill *et al.*, 2009). En su etapa adulta habita de 0 a 200 metros de profundidad (Whitehead, 1985).

La sardina forma parte de los pelágicos menores junto con especies como la anchoveta y macarela, y este gremio juega un papel importante como consumidores y presas de otros organismos en la cadena trófica en las regiones caracterizadas por surgencias (Lalli y Parsons, 1997). En particular, la sardina es una especie importante en la dinámica trófica del ecosistema pelágico y soporta poblaciones de depredadores como pelágicos mayores, aves y mamíferos marinos (Pauly, 1971; Abitia-Cárdenas *et al.*, 1997).

La distribución y abundancia de la sardina exhibe fluctuaciones temporales y espaciales en diversas escalas (Marr, 1960; Baumgartner *et al.*, 1992). Las fluctuaciones interdecadales en su abundancia tienen una periodicidad de 50 años aproximadamente en las costas del Pacífico y están relacionadas con las condiciones oceanográficas; cuando se presenta un régimen frío favore la anchoveta y en régimen cálido predomina la sardina (Chávez *et al.*, 2003). La distribución y abundancia de las sardinias puede ser afectada por fenómenos climatológicos que influyen sobre la disponibilidad de alimento y la abundancia de los primeros estadios larvarios (Schwartzlose *et al.*, 1999, Checkley *et al.*, 2009).

La distribución de la sardina incluye el sistema de la corriente de California (SCC). Esta es una de las grandes corrientes limítrofes orientales (Hickey, 1979), y su intensidad y características varían en función de la presión atmosférica y los vientos asociados en la costa oeste de América del norte. La Corriente de California fluye hacia el Ecuador y su intensidad varía a lo largo del año (Checkley *et al.*, 2009).

Estudios sobre la distribución de huevos y larvas de sardinas indican que hay patrones estacionales y geográficos en las zonas de desove que están asociados a diferentes poblaciones (Ahlstrom, 1954; Lluch-Belda *et al.*, 1991; Lynn, 2003). En la parte sureña del SCC se han identificado dos zonas de desove de la sardina: 1) desde San Diego hasta punta Baja y 2) desde punta Eugenia a bahía Magdalena (Hernández- Vázquez, 1994).

La estacionalidad y distribución del desove depende en parte de la temperatura. Por ejemplo, a partir de los muestreos que se llevan a cabo por medio del Programa Investigaciones Mexicanas de la Corriente de California (IMECOCAL) y California Cooperative Fisheries Investigations (CalCOFI), para el año 2000 se identificaron picos de desove asociados a ciertas épocas y temperaturas. Baumgartner (datos no publicados) identificó picos de desove e intervalos de temperatura asociados a distintas poblaciones: las sardinas que habitan en aguas frías (11 - 17.5°C “cold stock”) desovaron principalmente en abril y en menor grado en enero, y las de agua cálida (17.5 - 21°C “temperate stock”) desovaron en julio y enero con un máximo en julio (Figura 1).

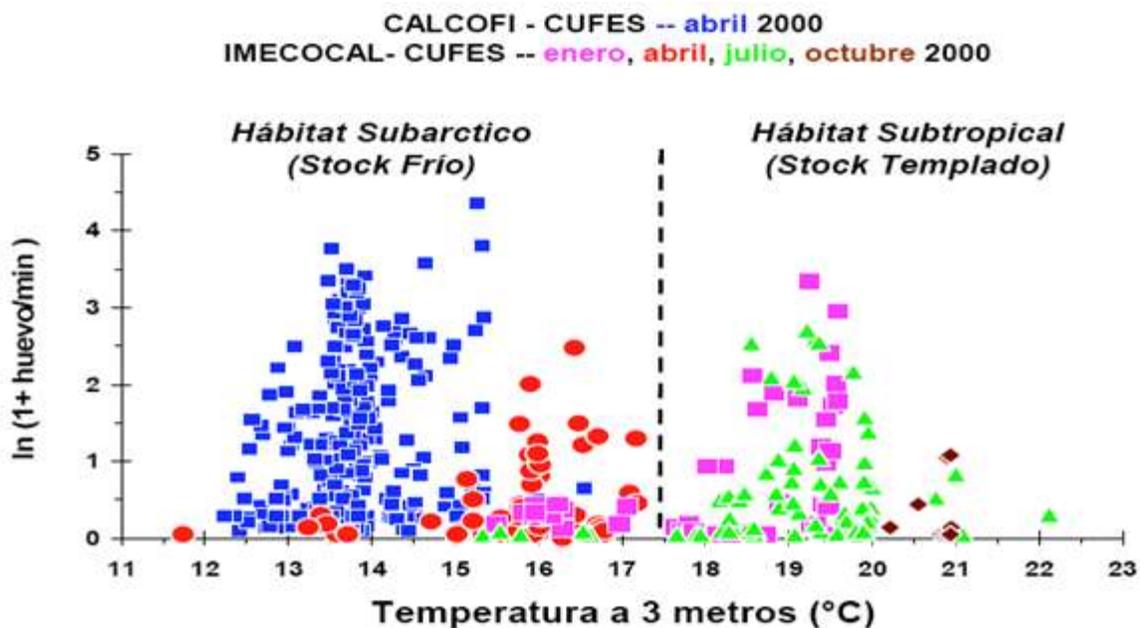


Figura 1. Desove de diferentes poblaciones de sardina asociados a distintas temperaturas (Baumgartner, datos no publicados).

La sardina es uno de los recursos pesqueros más importantes del mundo. En conjunto con arenques y anchovetas. Las capturas durante 2010 fueron de aproximadamente 18 millones de toneladas (FAO, 2010). En México, la pesca y procesamiento de la sardina también representa una importante actividad económica. Se captura frente a los estados de Baja California, Baja California Sur, Sonora, Sinaloa, Nayarit y en menor proporción Jalisco. El volumen total del peso desembarcado durante el 2011 fue de 684,132 toneladas métricas (Anuario Estadístico de Acuicultura y Pesca, 2011).

Algunos de los principales usos de la sardina son: consumo humano como conserva, congelado o fresco, en la producción de harina, cebo y aceite de pescado, así como alimento en actividades relacionadas a la acuicultura y pesca (carnada). Esta pesquería es una fuente importante de empleos en la región noroeste de México generando alrededor de 5000 empleos directos (Programa maestro nacional de pelágicos menores, CEC-ITAM, 2006).

1.1 Estructura poblacional de la sardina en el SCC

El conocimiento de la estructura poblacional de los recursos pesqueros es de importancia para el desarrollo de planes de manejo (Hill *et al.*, 1999). Un stock se define como una unidad de población con diferentes épocas de reproducción o zonas de desove, las cuales deberían tratarse de forma independiente, que pueden ser fenotípicamente similares pero no necesariamente corresponden al mismo grupo genéticamente (Saila y Martin 1985).

La estructura poblacional de la sardina se ha tratado de caracterizar por medio de diferentes métodos: análisis merístico (Hubbs, 1925; Clark, 1947; Phillips, 1948; Wisner, 1960), estudios de marcaje y recaptura (Clark, 1945), antígenos en sangre (Sprague y Vrooman, 1962; Vrooman, 1964), parámetros demográficos y poblacionales (Felin, 1954; Marr, 1960; Murphy, 1966; MacCall, 1979), marcadores genéticos (Hedgecock *et al.*, 1989; Lecomte *et al.*, 2004; García-Rodríguez *et al.*, 2011), parásitos (Baldwin *et al.*, 2012), morfometría del cuerpo y otolitos (Félix-Uraga *et al.*, 2004; Rodríguez *et al.*, 2011) y patrones de crecimiento (Radovich, 1982). Smith (2005) realizó una revisión de la literatura con el fin de integrar la información existente sobre la estructura poblacional de la sardina monterrey en el Pacífico nororiental. El auto menciona que algunos métodos de evaluación de la estructura poblacional son consistentes con la presencia de una sola población, mientras que otros resultados indican que hay diferentes poblaciones. Sin embargo, consideró que hay suficiente evidencia para identificar tres poblaciones que ameritan un manejo independiente: 1) una población cuyo centro de distribución está frente a las costas del centro de California y que desova en primavera, 2) otra que se encuentra en el golfo de California con desoves en otoño e invierno y 3) una tercera en la zona sur de la península de Baja California y en Bahía Magdalena que desova principalmente en otoño (Figura 2).

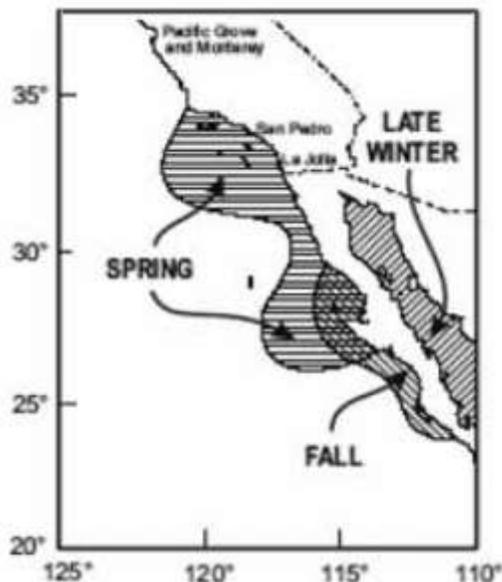


Figura 2. Clasificación de las zonas de desove de la sardina monterrey con base en estudios de 1952-1956 CalCOFI (Smith, 2005 p. 76).

Smith (2005) sugiere que una de las principales características biológicas que permite identificar la presencia de distintas poblaciones de sardina a lo largo de su distribución son las diferencias en los patrones de crecimiento. Así mismo hizo la observación de que estudios anteriores, particularmente el de Felin (1954), que se basa en el análisis de escamas, indicaban que el tamaño de las sardinas a la misma edad (“size-at-age”, en inglés) es mayor en la población más norteña (Figura 3). Esto se debe probablemente a que esta zona presenta un alto nivel de nutrientes como consecuencia de la intensidad de las surgencias estacionales que predominan en primavera, lo cual genera una alta concentración de alimento que sustenta el crecimiento de las sardinas durante el primer año de vida (Lombarte y Leonart, 1993; Checkley y Barth, 2009). Por lo tanto las sardinas jóvenes de mayor talla (“larger size-at-age) se localizan en el norte de Baja California, México, y en el sur de California, EUA. Por el contrario, en la zona del Pacífico de Baja California Sur, la concentración de nutrientes es más baja, por lo que la disponibilidad de alimento es menor aunque la temperatura es más alta, lo que genera un crecimiento más lento que se refleja en sardinas chicas jóvenes (Felin, 1954; Smith, 2005).

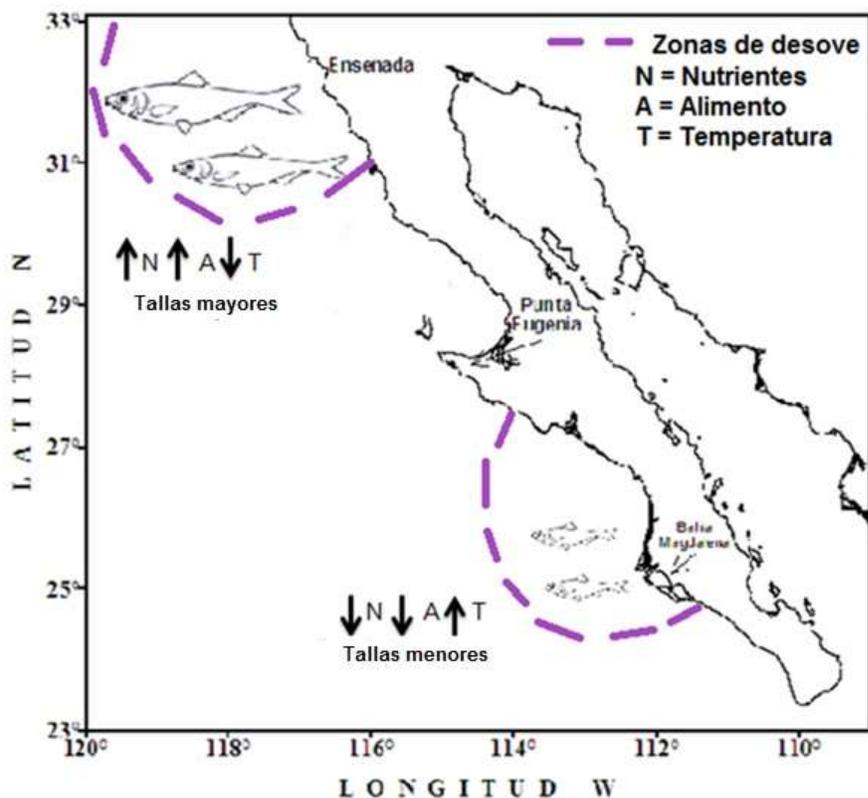


Figura 3. Modelo conceptual que sugiere que el tamaño de sardinas (*Sardinops sagax*) de una misma edad es mayor en las poblaciones más norteñas (modificado de Smith, 2005 p. 76).

En el estudio de la estructura poblacional de la sardina se debe considerar que esta especie realiza migraciones estacionales. Félix-Uraga *et al.*, (2004) analizaron la distribución de la captura y propusieron que en el Pacífico hay tres poblaciones de sardina y que éstas migran a lo largo del año en función de su distribución geográfica y de la temperatura superficial del mar (TSM). La población asociada a condiciones más cálidas (*W* o “Warm” group) se captura a temperaturas entre 22 y 27°C frente a bahía Magdalena de julio a diciembre, y de enero a junio migra hacia el Golfo de California (Figura 4). La población templada (*T*, o “temperate” group) se captura a temperaturas entre los 17 y 22°C cerca de Bahía Magdalena de marzo a junio, y frente a la costa de Baja California de agosto a diciembre. La población fría (*C*, o “cold” group) se captura entre los 13 y 17°C en el norte de Baja California y el sur de California a principios de primavera, el resto del año migra hacia el norte. En general, en la costa del Pacífico la

sardina se desplaza hacia el norte en primavera y hacia el sur al final del verano y otoño (Figura 4).

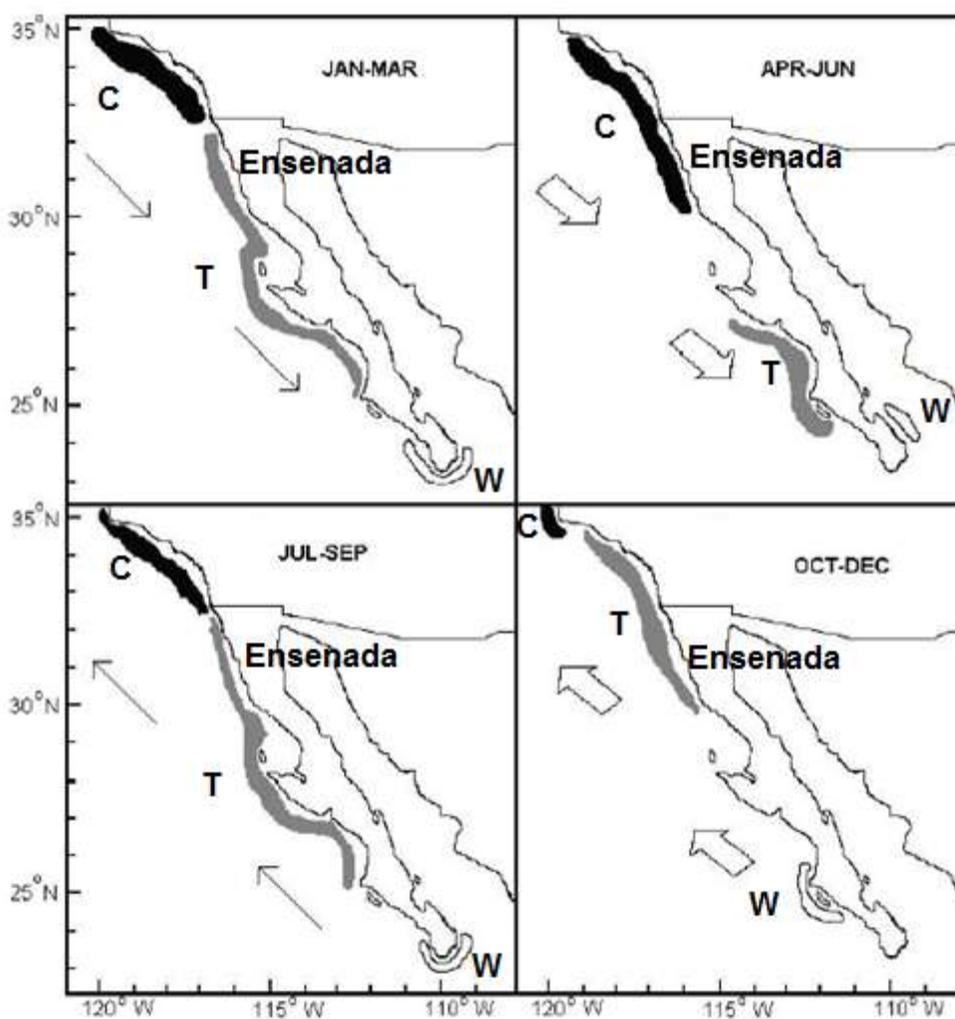


Figura 4. Modelo espacio-temporal que representa el movimiento de tres poblaciones de sardinas a lo largo de un año frente a la costas de California, Baja California y Baja California Sur (Félix-Uraga *et al.*, 2004 p. 150).

En resumen, tanto Smith (2005) como Félix-Uraga *et al.*, (2004) identifican por lo menos dos poblaciones de sardina en el Pacífico con patrones de migración distintos. Si este modelo poblacional es correcto, en la zona de Ensenada, Baja California, se deberían capturar las dos poblaciones a lo largo del año. Por lo tanto, en el presente trabajo se plantea la hipótesis de que la flota pesquera que opera desde el Puerto El Sauzal en

Ensenada captura a lo largo del año las sardinas relativamente grandes a una cierta edad (población norteña o fría) y las de menor talla a la misma edad (población sureña o templada), y que estas se pueden diferenciar con base en su patrón de crecimiento.

Se propone que la evaluación del crecimiento durante el primer año de vida de la sardina puede ser un buen indicador del origen poblacional de sardinas. Es por ello que en el presente estudio se evaluará si hay diferencias temporales en el patrón de crecimiento de sardinas capturadas en Ensenada y si esto es consistente con la existencia de dos poblaciones con patrones de crecimiento distinto durante el primer año de vida. La evaluación de las diferencias temporales se realizará midiendo la primera banda opaca y la primera hialina como una relación del crecimiento del pez.

1.2 Análisis de otolitos

Los otolitos son estructuras calcáreas que forman parte del oído interno de los peces óseos. El mayor componente de los otolitos es carbonato de calcio en forma de aragonita y el resto está compuesto por una matriz proteica y metales traza (Campana, 1999). Los otolitos son estructuras duras que crecen de manera periódica durante la vida del pez y son metabólicamente inertes (registro permanente).

El primer anillo de crecimiento diario generalmente se forma después de la eclosión del huevo y antes del comienzo de la alimentación activa de la larva (Panella, 1971; Brothers *et al.*, 1976). Después de la etapa juvenil se observan anillos que reflejan diferencias estacionales en el crecimiento. La formación de estos anillos está asociada a la tasa de crecimiento de los peces, que a su vez es función de la interacción con el ambiente y el metabolismo (Secor *et al.*, 1991).

A través del análisis del cambio estacional del ancho de la banda de crecimiento marginal en los otolitos, se ha establecido que para muchas especies de peces óseos, las zonas que se observan como opacas bajo la luz reflejada representan periodos de crecimiento rápido (por lo general en primavera-verano) y que las bandas traslúcidas se depositan durante periodos de crecimiento lento (otoño-invierno; Beckman y Wilson, 1995). La primera banda opaca y la primera banda hialina en conjunto reflejan un

annulus, el cual representa un año de crecimiento, por lo que la determinación de la edad en los peces se lleva a cabo mediante el conteo de los annulus.

El ancho de las bandas de crecimiento de los otolitos refleja la tasa de crecimiento de los peces, en estas se pueden registrar periodos de estrés ambiental y fisiológico así como fluctuaciones del crecimiento a causa de una desaceleración metabólica o un bajo crecimiento (Gutierrez y Morales-Nin, 1986; Morales-Nin, 1992). Sin embargo, algunos experimentos han mostrado que el otolito continúa creciendo aun cuando el crecimiento del pez es cercano a cero (Mosegaard *et al.*, 1988). Esto se debe a que el crecimiento de los otolitos es un proceso químico extracelular, en cambio el crecimiento del pez es una función metabólica por lo tanto el crecimiento de ambos se puede dar de manera desacoplada (Mosegaard *et al.*, 1988; Casselman, 1990).

Durante el primer año de vida el crecimiento de los otolitos es mayor y posteriormente decrece (Alvarado y Félix, 1996), a medida que el pez envejece las bandas que se van depositando son más angostas como resultado de una disminución en la velocidad de crecimiento (Jearld, 1983; Casselman, 1989). Para evaluar la proporcionalidad del crecimiento somático con el otolito se mide el radio de esta estructura y se relaciona con la longitud (Alvarado-Castillo, 1996; Quiñónez-Velázquez *et al.*, 2002). Es importante considerar que así como el crecimiento somático, el crecimiento de los otolitos se desarrolla bajo diferentes factores genéticos, fisiológicos y ambientales (Campana, 1999). Las condiciones ambientales como la temperatura y las condiciones de alimentación influyen en el crecimiento y la morfología de los otolitos (Fletcher, 1995; Strelcheck *et al.*, 2003; Gagliano y McCormick, 2004; Hüsey, 2008; Javor *et al.*, 2011).

El análisis de la morfometría y estructuras internas de los otolitos han sido utilizados en muchos estudios para diferenciar entre poblaciones de peces. Por ejemplo, Treinen-Crespo *et al.*, (2012) analizaron el contorno de los otolitos del ronco blanco (*Haemulon plumieri*) y encontraron una población con estructura geográfica a lo largo de la costa de la Península de Yucatán. Otra población que ha sido estudiada es la del pez papagayo (*Sparisoma aurofrenatum*) del arrecife del Caribe, que mediante el análisis de la redondez, factor de forma, rectangularidad, circularidad y elipticidad de los otolitos

indicaron una separación de poblaciones entre la época seca y húmeda, entre el Caribe y Atlántico y entre áreas protegidas y no protegidas (Criquet *et al.*, 2009).

Griffiths (1996) mediante el conteo de anillos de crecimiento diarios y anuales sugirió que hay por lo menos tres poblaciones del pez *Argyrosomus inodorus* en la costa sur de África con base en las relaciones entre la longitud, radio total, peso y el radio del primer *annulus* de los otolitos

Vildoso y Chuman (1968), evaluaron la relación longitud del otolito con respecto a la longitud de la anchoveta (*Engraulis ringens*) mediante el conteo de anillos, y encontraron que existe una proporcionalidad entre el número de anillos y la longitud del pez sugiriendo con ello que pueden calcularse las longitudes de etapas previas de vida, señaladas por lo anillos precedentes.

Félix-Uraga *et al.*, (2005) llevaron a cabo un análisis multivariado morfométrico de los otolitos de la sardina monterrey en el Pacífico y encontraron evidencia de la presencia de tres poblaciones, aunque había un traslapeo en las características morfométricas. Posteriormente, Javor *et al.*, (2011) lograron distinguir tres poblaciones con base en la temperatura de captura y mediciones morfométricas de los otolitos, incluyendo el diámetro, radio, distancia del núcleo al borde, el radio de la primera banda opaca y el radio hasta el margen externo de la primera banda hialina. Así mismo concluyeron que las características morfométricas de los otolitos de las sardinias capturadas en temperaturas cálidas son diferentes a las de condiciones más frías (Javor *et al.*, 2011).

En este estudio se realizaron mediciones del ancho de la primera banda opaca y la primera hialina (primer *annulus*) de los otolitos de sardinias capturadas en la zona de Ensenada a lo largo del año para evaluar si estas distancias evidencian la presencia de dos poblaciones. Para desarrollar esta investigación se plantearon las siguientes preguntas:

- 1) ¿Hay diferencias en el radio de la primera banda opaca y la primera banda hialina (que corresponden al primer anillo de crecimiento) de los otolitos de sardinias capturadas en la zona de Ensenada a lo largo del año? Según concluye Smith (2005)

en su revisión, estas dos poblaciones se caracterizan por diferencias sustanciales en el crecimiento y por ende en la talla a la misma edad (i.e., size-at-age).

2) ¿Se pueden distinguir poblaciones potenciales (la fría y templada) a partir de diferencias en los radios de las bandas de crecimiento estacional del primer annulus a lo largo del año y en función de la temperatura superficial del mar?

2. Objetivo general

Evaluar la presencia de poblaciones de sardina monterrey (*Sardinops sagax*) en la costa occidental de Baja California con base en el patrón de crecimiento durante el primer año de vida de las sardinias analizando el ancho del primer annulus de los otolitos.

2.1 Objetivos particulares

- Realizar mediciones del radio de la primer banda opaca y la primer banda hialina de los otolitos de sardinias capturadas cada dos a cuatro semanas durante dos años completos (febrero 2008-enero 2009 y febrero 2011-febrero 2012).
- Evaluar si hay patrones estacionales en el ancho de las bandas de crecimiento del primer año de vida.
- Evaluar si hay diferencias entre los radios de la primera banda opaca y la primera banda hialina de los otolitos de sardinias capturadas cuando la temperatura superficial del mar en la región es $>17^{\circ}\text{C}$ (la población templada) o menor a 17°C (la población fría).
- Evaluar la relación entre el radio total del los otolitos (R) y la longitud estándar para retrocalcular tallas a partir de las mediciones de la primera banda hialina y opaca.
- Evaluar si hay una relación entre la edad y el radio de la primera banda hialina, opaca y del primer annulus del otolito para determinar si los anchos de las bandas depositadas en diferentes años reflejan variaciones interanuales consistentes que pudiesen sesgar la interpretación de los patrones estacionales.

3. Materiales y métodos

Los muestreos se realizaron en desembarques de la flota sardinera en el Puerto El Sauzal de Rodríguez. La flota pesca a menos de 5 millas fuera de la costa. El muestro consistió en dos periodos (1) de febrero del 2008 a enero 2009 y (2) de febrero del 2011 a febrero del 2012. En total se realizaron 16 muestreos en el primer periodo y 18 en el segundo (Tabla 1). Por muestreo se recolectaron de 70 a 160 sardinas frescas, a las cuales se les asignó una clave única de muestreo, y se les midió la longitud estándar (mm) y el peso (g).

Tabla 1. Fecha de captura, zona de pesca, número de peces y otolitos medidos, promedio de la longitud estándar y peso y TSM (temperatura superficial del mar) del mes de captura de las sardinas *Sardinops sagax* recolectadas de desembarques del puerto de El Sauzal, Baja California entre febrero 2008 y enero 2009 y entre febrero 2011 a febrero 2012. DE: Desviación estándar

Fecha de captura	Zona de pesca	Número de sardinas	Longitud estándar (mm) $x \pm DE$	Peso (g) $x \pm DE$	Número de otolitos medidos	TSM prom. del mes (°C)
16 febrero 2008	Rosarito	150	162 ± 6	48 ± 6	30	14.0
2 abril 2008	Punta Colonet	150	145 ± 5	40 ± 5	30	15.0
22 mayo 2008	Bahía de Todos Santos	140	165 ± 5	55 ± 6	30	16.0
2 junio 2008	Bahía de Todos Santos	160	166 ± 7	56 ± 7	22	17.9
26 junio 2008	Bahía de Todos Santos	150	155 ± 5	47 ± 5	30	17.9
17 julio 2008	La Misión	150	153 ± 8	47 ± 6	29	20.0
31 julio 2008	La Misión	150	173 ± 9	70 ± 12	30	20.0
1 agosto 2008	Punta Colonet	150	168 ± 7	65 ± 10	30	21.0
29 agosto 2008	Punta Colonet	150	186 ± 7	87 ± 10	30	21.0
30 septiembre 2008	Punta Colonet	150	165 ± 23	62 ± 20	28	21.0
30 octubre 2008	Bahía La Soledad	150	170 ± 9	61 ± 10	30	19.6
19 noviembre 2008	No reportado	150	174 ± 12	63 ± 11	29	19.1

Tabla 1. (continuación) Fecha de captura, zona de pesca, número de peces y otolitos medidos, promedio de la longitud estándar y peso y TSM (temperatura superficial del mar) del mes de captura de las sardinias *Sardinops sagax* recolectadas de desembarques del puerto de El Sauzal, Baja California entre febrero 2008 y enero 2009 y entre febrero 2011 a febrero 2012. DE: Desviación estándar

11 diciembre 2008	No reportado	150	171 ± 8	63 ± 9	19	16.2
2 enero 2009	No reportado	150	174 ± 12	64 ± 11	31	15.5
23 enero 2009	No reportado	150	174 ± 7	66 ± 7	30	15.5
22 febrero 2011	San Miguel	126	161 ± 17	56 ± 20	30	14.7
29 marzo 2011	Bahía de Todos Santos	120	155 ± 9	47 ± 8	29	14.3
26 abril 2011	No reportado	100	184 ± 9	86 ± 11	30	15.3
12 mayo 2011	Bahía de Todos Santos	99	178 ± 7	79 ± 11	30	16.2
30 mayo 2011	Rosarito	80	167 ± 7	62 ± 8	30	16.2
21 junio 2011	Bahía de Todos Santos	101	188 ± 6	84 ± 8	29	16.5
26 julio 2011	Bahía de Todos Santos	75	181 ± 6	87 ± 9	30	18.5
31 agosto 2011	Bahía de Todos Santos	100	174 ± 7	83 ± 11	30	18.6
9 septiembre 2011	Camalú	76	197 ± 6	138 ± 13	27	18.3
20 septiembre 2011	Camalú	76	194 ± 7	130 ± 16	30	18.3
11 octubre 2011	Col. Guerrero	80	196 ± 7	126 ± 15	30	17.3
26 octubre 2011	Bahía de Todos Santos	75	152 ± 8	50 ± 9	30	17.3
9 noviembre 2011	Bahía de Todos Santos	70	183 ± 8	87 ± 11	29	16.0
23 noviembre 2011	San Quintín	92	192 ± 25	105 ± 36	30	16.0
7 diciembre 2011	San Quintín	100	190 ± 13	106 ± 21	29	15.4
14 diciembre 2011	Bahía La Soledad	100	190 ± 11	112 ± 24	30	15.4
7 enero 2012	Bahía de Todos Santos	100	151 ± 6	44 ± 5	29	15.3
21 febrero 2012	Ejido Erendira	100	162 ± 20	60 ± 27	29	15.0
	Total	4070	173 ± 18	74 ± 29	989	17.2

El índice de condición K de Fulton evalúa el estatus nutricional de los peces, el cual considera la medida del estado energético por individuo (Schmitt y Dethloff, 2000; Neff y Cargnelli, 2004; Pangle y Sutton, 2005). El índice de condición **K** varía estacionalmente de acuerdo a la disponibilidad de alimento, metabolismo, al estatus gonadal (Doyon *et al.*, 1988; Fisher *et al.*, 1996), y provee un índice sencillo de su condición. Este índice se calculó para cada una de las sardinas y el mes de muestreo de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$K = \left(\frac{\text{Peso}}{\text{LE}^3} \right) 100 \quad (1)$$

donde LE = Longitud estándar (cm) y el peso es en gramos. (Ricker, 1975)

Para fines comparativos, también se hizo un análisis de regresión no lineal para estimar el valor del coeficiente b en la relación peso – longitud estándar (PT-LE), para las sardinas recolectadas en este estudio.

Se graficó el promedio \pm DE de la talla, peso e índice de Fulton por fecha de muestreo y por mes para cada año por separado.

Se estimó la temperatura superficial del mar (TSM) como un promedio mensual del área 31-32°N 116-117°W frente a la costa de Ensenada (<http://coastwatch.noaa.gov>; Tabla 1). A cada fecha de captura le fue asignada la TSM mensual promedio correspondiente. Las sardinas capturadas en fechas con TSM > 17°C se consideraron como correspondientes a la población templada y las < 17°C como pertenecientes a la población fría (Félix-Uraga *et al.*, 2004). Dado que la TSM promedio mensual más alta que se estimó fue de 21°C, y que se supone la población cálida no migra hasta la zona de pesca cerca de Ensenada, no se considera la posibilidad de que se hayan incluido sardinas de la población cálida en los análisis.

Evaluación del crecimiento de las sardinas

Para cada fecha de muestreo se seleccionaron treinta individuos al azar, de los cuales se extrajeron los otolitos (sagitas), utilizando un microscopio estereoscópico. Posteriormente los otolitos fueron limpiados con un pincel para eliminar el tejido adherido, se lavaron con una solución jabonosa y después se colocaron en agua destilada en un sonicador (Ultrasonic Cleaner W/5 MIN TMR) por 3-4 minutos para eliminar residuos orgánicos. Cada par de otolitos se almacenó en capsulas de gel con el número de identificación correspondiente para la posterior toma de mediciones.

Se tomaron fotografías empleando una cámara digital (Olympus U-TV0.5C-3) acoplada a un microscopio estereoscópico (Olympus 8sx7) a 5.6x de magnificación y se consideraron los siguientes criterios para obtener una consistencia en las imágenes:

- Otolito derecho
- Lado ventral del otolito (cara opuesta al sulcus)
- Intensidad de luz constante
- Enfoque sobre el primer annulus del otolito
- Otolito sumergido en agua completamente
- La toma de cada fotografía se llevó a cabo antes del término del primer minuto de contacto con agua

Todas las mediciones de las dimensiones de los otolitos fueron tomadas por duplicado a partir del núcleo hacia el margen posterior y a lo largo del mismo eje utilizando el programa ImageJ (versión 1.47m). Se promediaron ambos valores para minimizar el error de medición. Para cada otolito se midieron los siguientes parámetros: el radio total (R), el ancho de la primera banda de crecimiento (desde el núcleo hasta el margen distal de la primera banda opaca (r_{o1}) y el primer annulus (desde el núcleo hasta el margen distal de la primera banda hialina ($r_{(o1+h1)}$)) (Figura 5). La precisión de la medición es de $\pm 1\mu\text{m}$. El ancho de la primera banda hialina de cada otolito (r_{h1}) fue calculado por diferencia como $r_{(o1+h1)} - r_{o1}$.

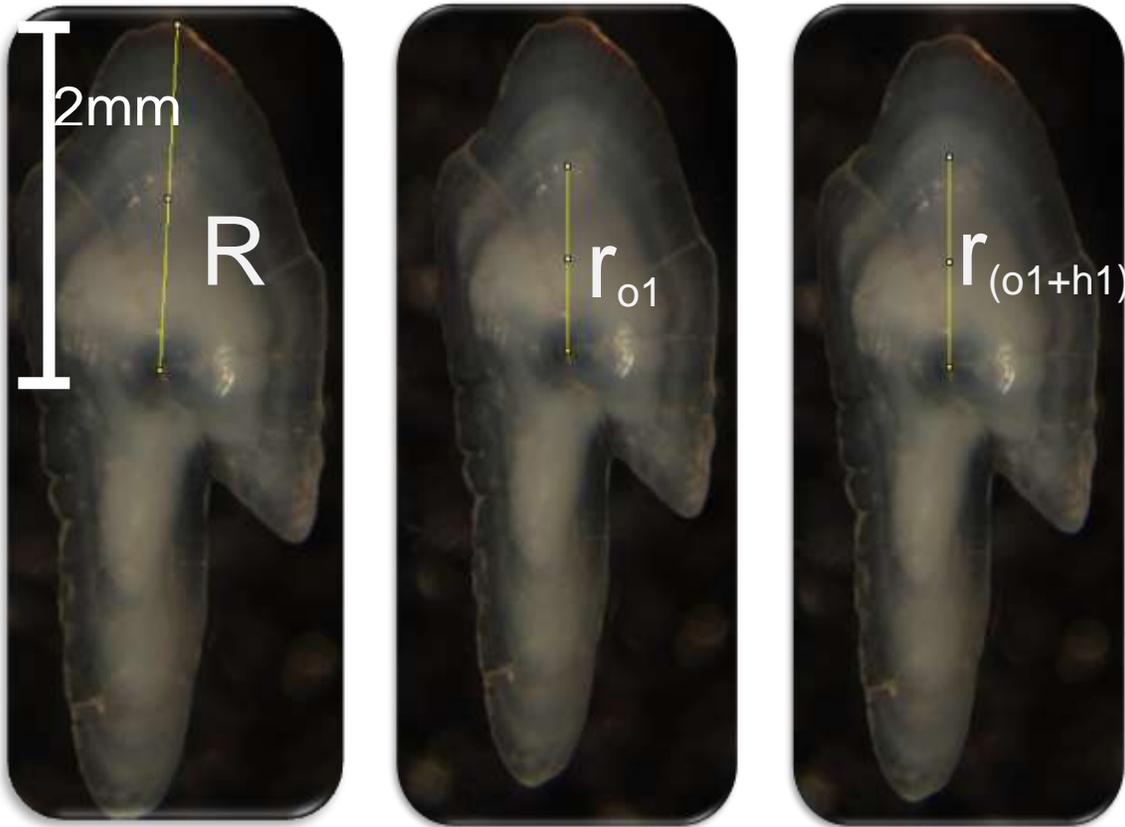


Figura 5. Mediciones realizadas en los otolitos de sardinias, *Sardinops sagax*, recolectadas de desembarques en el Puerto El Sauzal, Baja California, México. Se midió el radio total (R), el ancho de la primera banda opaca (r_{o1}), y el ancho del primer annulus ($r_{(o1+h1)}$), que incluye la primera banda opaca y la primera banda hialina.

3.1 Análisis de datos

Se hizo una evaluación inicial e individual de los datos correspondientes a cada fecha de muestreo para identificar valores anómalos (“outliers”) e inconsistencias. Como control de calidad de los datos, se eliminaron los “outliers”, que se definieron como mediciones de anchos mayores a 2 veces la desviación estándar de todos los datos correspondientes para cada año de muestreo. Este procedimiento se aplicó a las mediciones del radio total (R), la primera banda opaca (r_{o1}) y el primer annulus $r_{(o1+h1)}$. En total se eliminaron 23 otolitos de un total de 989 el cual corresponde al 2.3% de la muestra ya que se consideraron outliers.

Ya que las mediciones de los anchos de los anillos no cumplieron con los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianza necesarios para aplicar análisis estadísticos

paramétricos, se utilizaron pruebas no paramétricas (Kruskal-Wallis) para comparar el ancho de las bandas de crecimiento entre fechas de muestreo, considerando por separado los muestreos del 2008 y 2011. Este análisis también se llevó a cabo por trimestres separados de la siguiente manera: enero-febrero-marzo (invierno), abril-mayo-junio (primavera), julio-agosto-septiembre (verano), y octubre-noviembre-diciembre (otoño).

Se aplicó la prueba de comparaciones múltiples por rangos para establecer cuáles grupos eran diferentes con un nivel de significancia $\alpha=0.05$ (Zar, 1999). Para evaluar si había diferencias significativas entre los anchos de las bandas de crecimiento de sardinas capturadas cuando la temperatura de la región era mayor o menor a 17°C , se usó la prueba de Kruskal-Wallis para comparar las medias y la prueba de Kolmogorov-Smirnoff para evaluar si los datos correspondían a distribuciones diferentes. Las pruebas se realizaron en Systat V13.

Se realizó un análisis de residuales para evaluar si había alguna tendencia estacional en las series de tiempo de los radios correspondiente a cada año de muestreo. Específicamente, el objetivo era evaluar si el promedio de r_{o1} y r_{h1} para una fecha dada era menor o mayor que el promedio general de cada año de estudio y si se observaban épocas del año con tendencias particulares. La diferencia entre el promedio para una fecha y el promedio general se estimó de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$e = \bar{y}_i - \bar{Y}_i$$

donde $i = 1, 2, 3 \dots n$

\bar{y}_i es el promedio de las mediciones de R y r_{o1} en una fecha determinada, y

\bar{Y}_i es el promedio anual de 2008 o 2011.

Se graficó cada valor residual por fecha de muestreo para el 2008 y 2011. En cada gráfica se separaron los valores de los residuales correspondientes a la población fría ($< 17^{\circ}\text{C}$) y la templada ($> 17^{\circ}\text{C}$), esto con el fin de evaluar los patrones de crecimiento

en el contexto de la estructura poblacional propuesta por Félix-Uraga *et al.*, (2004). Se analizaron por separado las muestras del 2008 y 2011.

Evaluación de la relación entre la edad y la talla con los radios de los otolitos

Se caracterizó la relación entre el radio total (R) de los otolitos y la talla de las sardinas, para obtener relaciones que permitiesen retrocalcular la talla con base en las mediciones de r_{o1} y r_{h1} . El radio total de cada otolito se graficó en relación con la LE de cada pez y se estimó la relación con un análisis de regresión considerando los datos por (1) fecha de muestreo, (2) agrupados por mes y (3) por año.

La tasa de crecimiento de las sardinas es variable entre años (Álvarez, 2012; Melo-Barrera *et al.*, 2010; Quiñonez-Velázquez *et al.*, 2002). Dado que las sardinas que se recolectaron en cada fecha tienen edades diferentes, fue necesario evaluar si había alguna relación entre la edad de las sardinas y el ancho de la primera banda opaca (r_{o1}) y del primer anulus ($r_{(o1 + h1)}$). Esto permitió evaluar si el no tomar en cuenta la edad durante los análisis de las bandas de crecimiento pudiese conllevar un sesgo en los datos al no considerar variaciones interanuales. La edad se determinó contando el número de bandas de crecimiento de los otolitos, que se observan de manera alternada como una banda opaca y una hialina (Barnes y Foreman, 1994; Yaremko, 1996; Quiñonez-Velázquez *et al.*, 2002). El Dr. Casimiro Quiñonez Velázquez del Laboratorio de Dinámica de Poblaciones del Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas del Instituto Politécnico Nacional (CICIMAR) determinó la edad de 173 otolitos de sardinas recolectadas durante los meses de febrero, marzo, abril (primavera), y octubre y noviembre (otoño) del 2011. Las mediciones de r_{o1} y $r_{(o1 + h1)}$ se llevaron a cabo en los mismos otolitos. Se agruparon los otolitos por estación del año (primavera y otoño) y se graficó la relación entre la edad y el primer radio opaco y el primer anulus ($r_{o1 + h1}$).

4. Resultados

4.1 Características de las capturas

Según los reportes informales provistos por las embarcaciones que capturaron las sardinas en 2008 y 2011, estas fueron recolectadas en diez zonas a lo largo de la costa oeste de Baja California en el Océano Pacífico (Figura 6).



Figura 6. Zonas de captura de las sardinas, *Sardinops sagax* desembarcadas en el puerto de El Sauzal, Baja California de febrero 2008 a enero 2009 y de febrero 2011 a febrero 2012. Por lo general la flota opera cerca de la costa (<3 millas). (U.S. National Park Service, Ocean Basemap source: GEBCO, NOAA, National Geographic, AND, and Esri).

La temperatura superficial del mar (TSM) promedio en el área de pesca de la sardina monterrey para el periodo de 2008-2012 presenta un comportamiento estacional con temperaturas más altas en los meses de julio a octubre (mayores a 17°C) y más bajas en los meses de noviembre a marzo (menores a 17°C). Se observa un cambio más marcado durante el 2008 y 2009 que en 2010 y 2011 (Figura 7). En el 2008, se estimaron TSM mayores a 17°C de mayo hasta noviembre y en 2011 durante un periodo más corto, de julio a octubre. Según el modelo propuesto por Félix-Uraga *et al.* (2004), se esperaría que las sardinas de la población templada se hubiesen capturado durante estos meses. En contraste, la captura de la población fría debió ser durante el invierno y primavera.

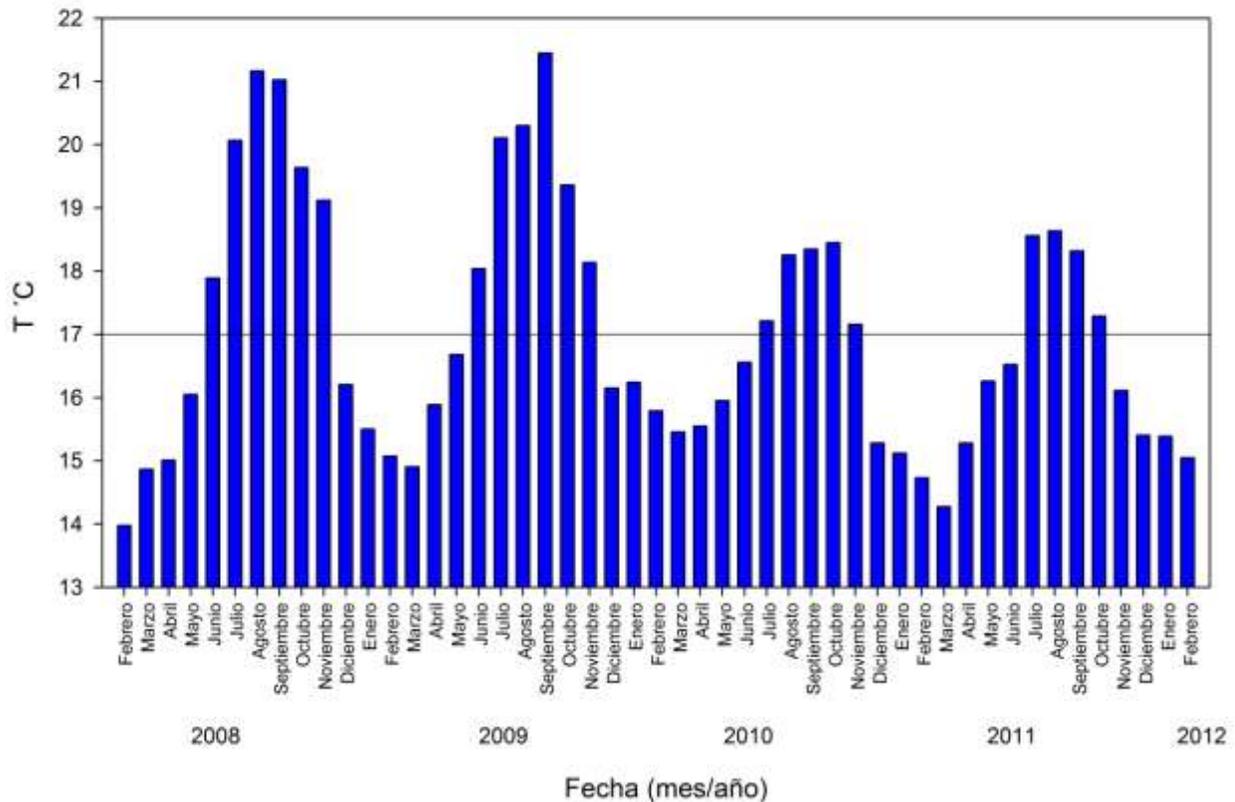


Figura 7. Promedio mensual de la Temperatura Superficial del Mar (TSM) en el área que abarca de los 31 a 32° N y 116 a 117° W frente al puerto de El Sauzal, Baja California. La línea horizontal indica 17°C. Los datos se obtuvieron de <http://coastwatch.noaa.gov>.

La longitud estándar (LE) promedio de las 4,070 sardinas recolectadas durante los periodos 2008-2009 y 2011-2012 fue de 173 ± 18 mm (promedio \pm DE). Las sardinas más grandes recolectadas durante los muestreos del 2008 se registraron el 29 de agosto del 2008 (186 ± 7 mm LE) y para el 2011 el 9 de septiembre (197 ± 6 mm LE). Las sardinas más pequeñas (145 ± 5 mm LE) se recolectaron el 2 de abril del 2008 y el 7 de enero del 2012 (151 ± 6 mm LE, Figura 8; Anexo 1 A y B).

La talla mínima (promedio por fecha) de las sardinas capturadas en 2008 fue de 147 mm y máxima de 183 mm LE, y en 2011 de 149 mm y 196 mm LE, respectivamente.

En general se observó que durante la primera parte del año (invierno-primavera) las sardinas fueron de tallas menores que las que se capturaron en verano y otoño. Sin embargo, las distribuciones de frecuencia de tallas indicaron que la captura fue representada por un amplio intervalo de tallas a lo largo del año (Tabla 1 y Figura 8).

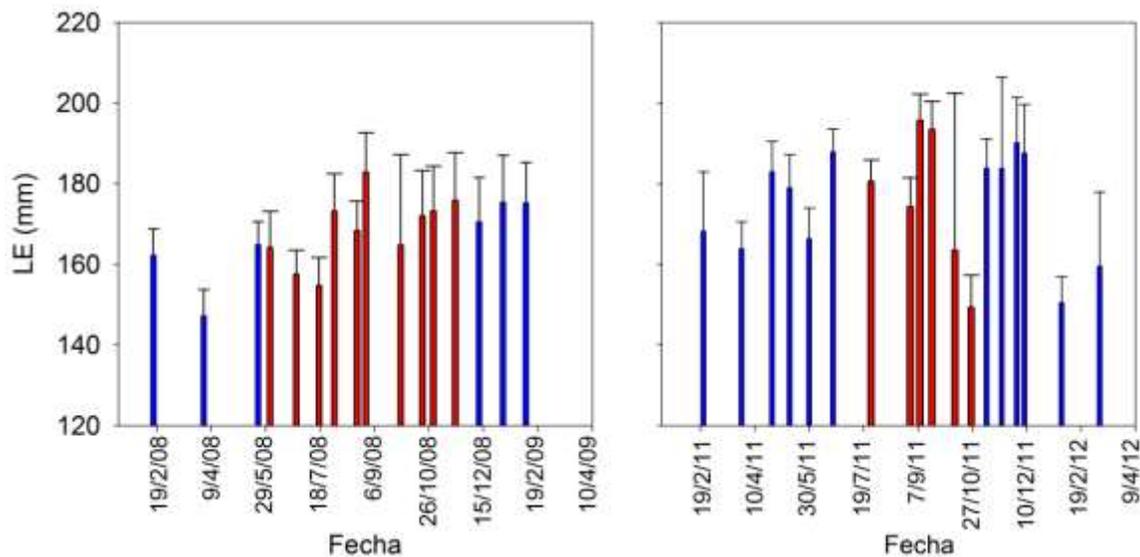


Figura 8. Promedio de la longitud estándar (LE, mm) \pm desviación estándar (DE) de las sardinas (*Sardinops sagax*) recolectadas de desembarques en el Puerto El Sauzal, Baja California, México. De enero 2008 a febrero 2009 se recolectaron ~150 sardinas y de febrero 2011 a febrero 2012 se recolectaron ~120 sardinas cada dos a cuatro semanas. En color azul se indican las sardinas capturadas cuando la temperatura superficial del mar (TSM) en la región era $<17^{\circ}\text{C}$ y en color rojo $>17^{\circ}\text{C}$.

El peso de las sardinas estuvo relacionado directamente con la talla. En el 2008 los pesos promedio registrados variaron de un mínimo de 40 ± 5 g en abril a 87 ± 10 g en agosto. Durante el segundo periodo de muestreo, los pesos variaron entre un mínimo de 44 ± 5 g en enero del 2012 y 138 ± 13 g en septiembre (Figura 9).

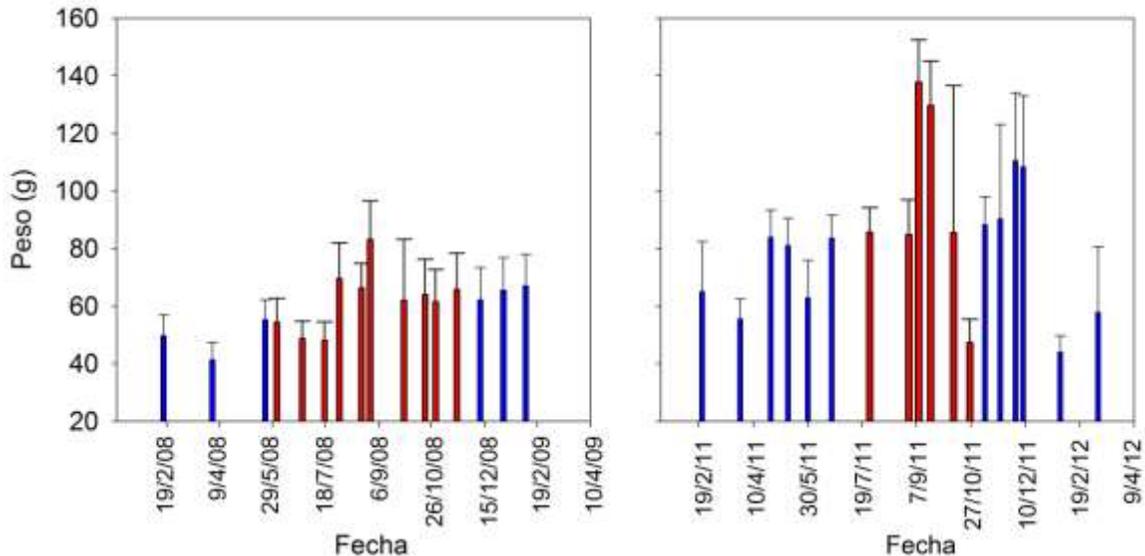


Figura 9. Peso promedio (g) \pm desviación estándar de las sardinas (*Sardinops sagax*) recolectadas en los desembarques del Puerto El Sauzal, Baja California, México. De enero 2008 a febrero 2009 se recolectaron ~150 sardinas y de febrero 2011 a febrero 2012 se recolectaron ~120 sardinas cada dos semanas. En color azul se indican las sardinas capturas a TSM $<17^{\circ}\text{C}$ y en color rojo $>17^{\circ}\text{C}$

La evaluación de la relación peso (W ; g) – longitud estándar (mm) dió como resultado la siguiente ecuación: $LE = 7.37 \times 10^{-7} \cdot W^{3.56}$ con una $r^2 = 0.83$. El coeficiente es de 3.56 lo cual indica que el crecimiento de la sardina no es simétrico. Sin embargo, se graficaron los datos considerando un coeficiente de 3 para facilitar la comparación con otros estudios y considerando que el enfoque de esta investigación no era evaluar la condición de las sardinas (Anexo 1 C).

La K de Fulton tuvo un valor promedio de 1.3 para 2008, con un mínimo de 0.9 para el muestreo del 16 de febrero y un máximo de 1.9 para el 17 de julio. En el 2011 la K promedio fue más alta que en el 2008 (1.5), con un valor promedio mínimo de 0.8 el 30 de mayo y un máximo de 2.4 del 14 de diciembre.

Los índices de condición de Fulton mostraron una tendencia similar a la talla y peso. Fueron menores durante los primeros meses del año y aumentaron hacia finales de año (Figura 10). Esto fue más evidente en el muestreo del 2011.

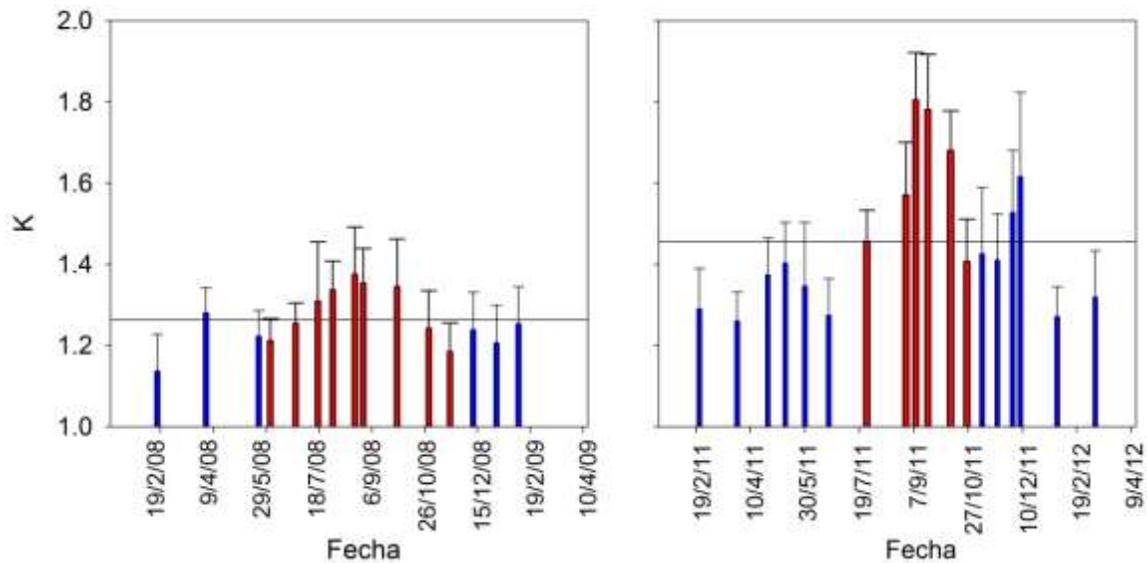


Figura 10. Promedio de la K de Fulton \pm desviación estándar de las sardinas (*Sardinops sagax*) recolectadas de desembarques en el Puerto El Sauzal, Baja California, México. De enero 2008 a febrero 2009 se recolectaron ~150 sardinas y de febrero 2011 a febrero 2012 se recolectaron ~120 sardinas cada dos a cuatro semanas. La línea horizontal indica el promedio de todos los datos de cada año. En color azul se indican las sardinas capturadas cuando la temperatura superficial del mar en la región era $<17^{\circ}\text{C}$ y en color rojo $>17^{\circ}\text{C}$.

4.2 Mediciones de las bandas de crecimiento

Las mediciones de las primeras bandas de crecimiento indicaron, que la primera banda opaca (r_{o1}) fue en promedio 7 veces más ancha que la primera banda hialina (r_{h1}), lo cual es consistente con un crecimiento rápido en primavera-verano y menor crecimiento durante el invierno (Beckman y Wilson, 1995). Para r_{o1} y r_{h1} se observó un patrón general de menor talla de enero a septiembre y un mayor tamaño de octubre a diciembre, aunque hubo un alto nivel de variabilidad entre fechas (Figura 11 y 12).

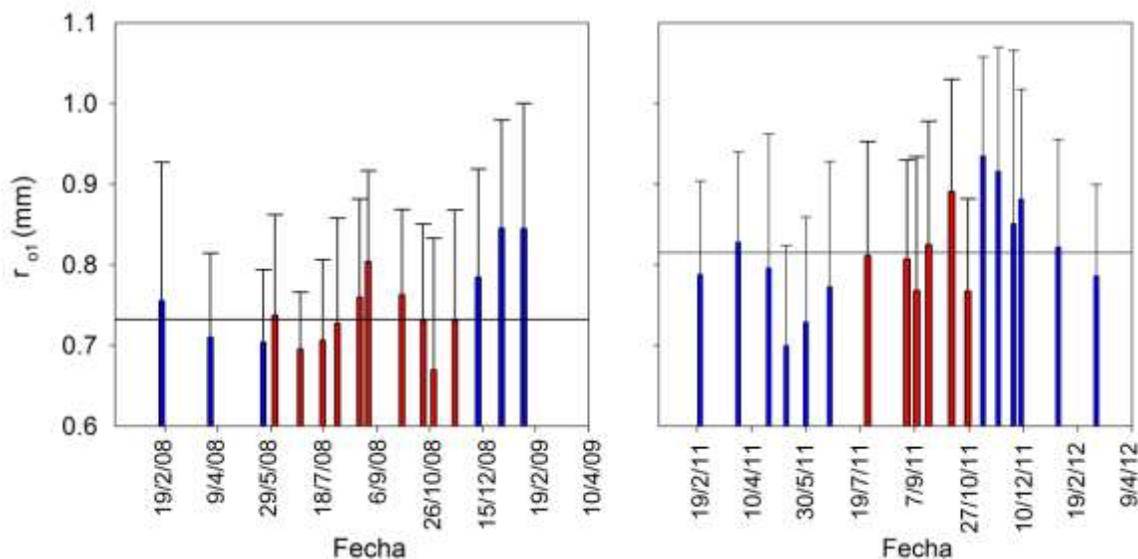


Figura 11. Promedio \pm desviación estándar del primer radio opaco (r_{01}) de los otolitos de sardina (*Sardinops sagax*) recolectadas de desembarques en el Puerto El Sauzal, Baja California, México de febrero 2008 a enero 2009 y de febrero 2011 a febrero 2012. Se midieron ~30 otolitos cada mes. La línea horizontal indica el valor promedio para cada año de todos los datos. En color azul se indican las sardinias capturas cuando la temperatura superficial del mar en la región era $<17^{\circ}\text{C}$ y en color rojo $>17^{\circ}\text{C}$.

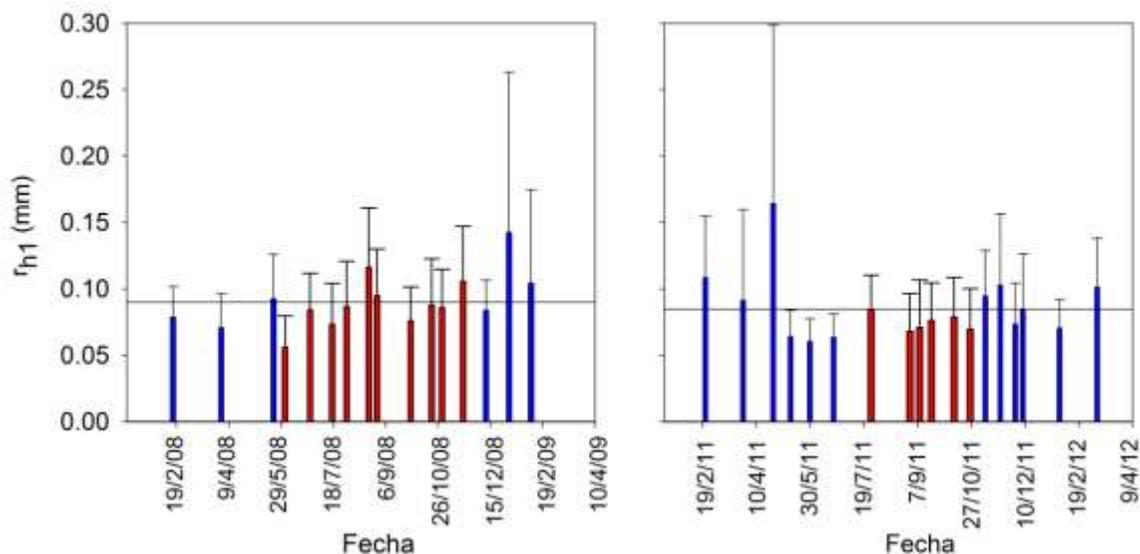


Figura 12. Promedio \pm desviación estándar del primer radio hialino (r_{h1}) de los otolitos de sardina (*Sardinops sagax*) recolectadas de desembarques en el Puerto El Sauzal, Baja California, México de febrero 2008 a enero 2009 y de febrero 2011 a febrero 2012. Se midieron ~30 otolitos cada mes. La línea horizontal indica el valor promedio para cada año de todos los datos. En color azul se indican las sardinias capturas cuando la temperatura superficial del mar en la región era $<17^{\circ}\text{C}$ y en color rojo $>17^{\circ}\text{C}$.

El resultado del estadístico K del análisis de varianza unifactorial por rangos indicó diferencias significativas ($p < 0.05$) en r_{o1} y r_{h1} entre fechas de muestreo del 2008 y 2011 (Tabla 2). El resultado de las comparaciones pareadas realizado indicó que hubo diferencias estadísticas entre algunas fechas de muestreo (Tabla 3 y 4). Sin embargo no se observa un patrón consistente en cuanto a cuáles fueron las fechas de muestreo que difieren (Anexo 1 R a U).

Tabla 2. Pruebas estadísticas no paramétricas Kruskal Wallis del ancho de la primera banda opaca (r_{o1}) y hialina (r_{h1}) de los otolitos de sardinas (*Sardinops sagax*) recolectadas de desembarques pesqueros en el Puerto El Sauzal, Baja California, México. Se compararon los valores de las variables entre fechas de muestreo dentro de un mismo año. GL: grados de libertad.

Medidas de los otolitos (mm)	Año	K	GL	p	Número de casos
r_{o1}	2008	61.42	14	<0.001	406
	2011	84.03	17	<0.001	500
r_{h1}	2008	67.77	14	<0.0001	406
	2011	101.26	17	<0.001	500

Tabla 3. Comparaciones pareadas para 2008 que sí fueron significativas en el ancho de las bandas de crecimiento de los otolitos de sardinas (*Sardinops sagax*) de desembarques pesqueros del Puerto El Sauzal, Baja California, México. o indica r_{01} , h indica r_{h1} , o, h indica r_{01} y r_{h1}

Fecha	16 febrero	2 abril	22 mayo	2 junio	26 junio	17 julio	31 julio	1 agosto	29 agosto	30 septiembre	30 octubre	19 noviembre	11 diciembre	2 enero 2009	23 enero 2009
16 febrero				o,h	o				h				o,h		
2 abril				o,h				o	o,h						
22 mayo				h				o	o,h						
2 junio					h	h	h	h	o,h						
26 junio								h							
17 julio									h						
31 julio									h						
1 agosto															
29 agosto															
30 septiembre				o,h					h				o,h		
30 octubre				h									h	o	
19 noviembre				o,h									o,h		
11 diciembre		o,h	h		h	h	h	o,h	o,h					o,h	o,h
2 enero 2009			o	o,h	o	o	o								
23 enero 2009			o	o,h	o	o									

Tabla 4. Comparaciones pareadas para 2011 que si fueron significativas entre el ancho de las bandas de crecimiento de los otolitos de sardinas (*Sardinops sagax*) de desembarques pesqueros en el Puerto El Sauzal, Baja California, México. o indica r_{o1} , h indica r_{h1} , o, h indica r_{o1} y r_{h1}

Fecha	22 febrero	29 marzo	26 abril	12 mayo	30 mayo	21 junio	26 julio	31 agosto	9 septiembre	20 septiembre	11 octubre	26 octubre	9 noviembre	23 noviembre	7 diciembre	14 diciembre	7 enero 2012	21 febrero 2012
22 febrero		o	o,h				o	o,h	o	o	o	o	o	o,h	o,h	o,h	o	
29 marzo					h													
26 abril					h	h												
12 mayo					h	h												
30 mayo								o,h										
21 junio								o,h										
26 julio																		
31 agosto																		
9 septiembre																		
20 septiembre					o,h									o				
11 octubre					o,h	o								o				
26 octubre																		
9 noviembre					o	o												
23 noviembre		o	o	o	o,h	o,h	o,h	o	o,h								h	o,h
7 diciembre					o,h	o,h												
14 diciembre					o,h	o,h												o
7 enero 2012																		
21 febrero 2012					o	o		o										

Al calcular el promedio \pm DE del ancho de la primera banda opaca (r_{o1}) y hialina (r_{h1}) en función del trimestre de recolecta, se observó un alto nivel de variación en las mediciones de los radios (Figura 13 y 14).

Relacionando los valores de r_{o1} y r_{h1} con la temperatura superficial a la cual fueron capturadas las sardinas no se observa un patrón que sea consistente.

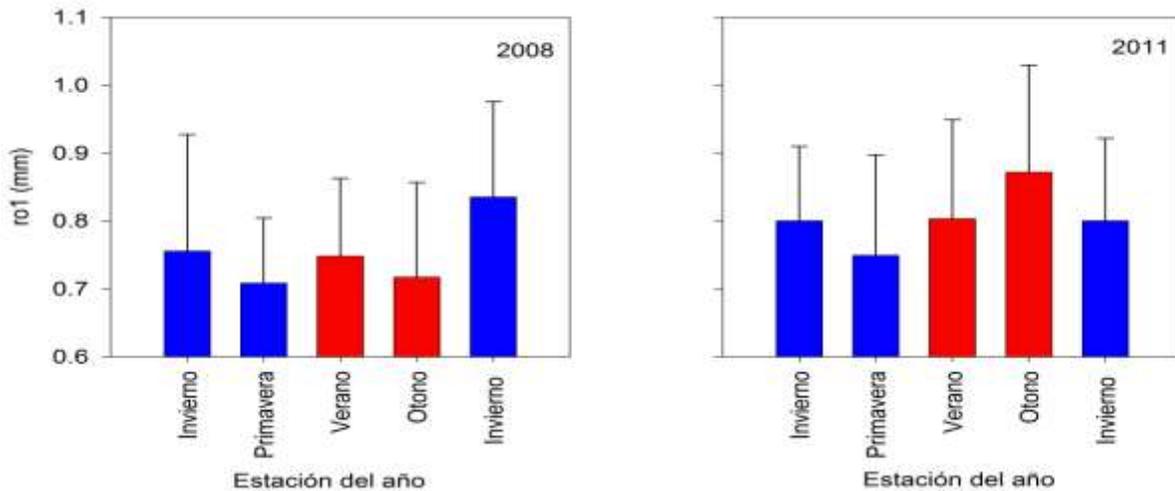


Figura 13. Ancho del radio opaco (r_{o1}) de los otolitos de sardinas (*Sardinops sagax*) recolectadas de desembarques en el Puerto El Sauzal, Baja California, México de febrero 2008 a enero 2009, y de febrero 2011 a febrero 2012. Agrupadas por trimestre. En color azul se indican las sardinas capturadas cuando la temperatura superficial del mar en la región era $<17^{\circ}\text{C}$ y en color rojo cuando era mayor a $>17^{\circ}\text{C}$.

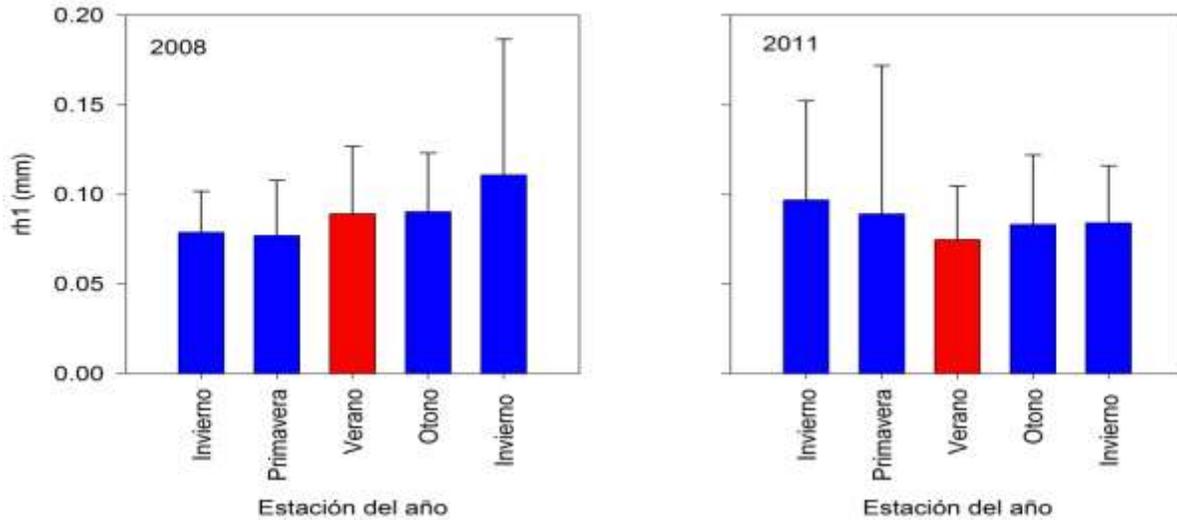


Figura 14. Ancho del radio hialino (r_{h1}) de los otolitos de sardinas (*Sardinops sagax*) recolectadas de desembarques en el Puerto El Sauzal, Baja California, México de febrero 2008 a enero 2009, y de febrero 2011 a febrero 2012. Agrupados por trimestre. En color azul se indican las sardinas capturadas cuando la temperatura superficial del mar en la región era $<17^{\circ}\text{C}$ y en color rojo cuando era $>17^{\circ}\text{C}$.

El resultado de los análisis estadísticos de Kruskal Wallis indicó diferencias significativas ($p < 0.05$) en r_{o1} y r_{h1} entre trimestres para ambos años de muestreo (Tabla 5). El resultado de las comparaciones pareadas realizado indicó que hubo diferencias significativas entre algunas estaciones del año para la primera banda opaca pero no se observó un patrón estacional que sea consistente. En las comparaciones de los anchos de la primera banda hialina entre trimestres no hubo diferencias significativas (Tabla 6).

Tabla 5. Resultados de las pruebas estadísticas no paramétricas Kruskal Wallis del ancho de la primera banda opaca (r_{o1}) y hialina (r_{h1}) de los otolitos de sardinas (*Sardinops sagax*) recolectadas de desembarques pesqueros en el Puerto El Sauzal, Baja California, México. Se compararon los valores de las variables entre fechas de muestreo dentro de un mismo año. GL: grados de libertad.

Medidas de los otolitos (mm)	Año	K	GL	p	Número de casos
r_{o1}	2008	37.41	4	<0.001	436
	2011	45.03	4	<0.001	512
r_{h1}	2008	18.40	4	<0.0001	436
	2011	10.33	4	0.035	512

Tabla 6. Resultados (valores de p) de las comparaciones pareadas no paramétricas del ancho de las bandas de crecimiento de los otolitos de sardinas (*Sardinops sagax*) agrupadas por trimestres; invierno 2 representa los datos del invierno del 2009 y 2012. r_{o1} primera banda opaca, r_{h1} primera banda hialina. En negrita se marcan las comparaciones significativas con valores de $p < 0.05$

Grupo (i)	Grupo (j)	2008		2011	
		r_{o1}	r_{h1}	r_{o1}	r_{h1}
Invierno	Invierno 2	0.057	0.281	0.946	0.856
Invierno	Otoño	0.039	0.541	0.002	0.592
Invierno	Primavera	0.011	0.826	0.041	0.300
Invierno	Verano	0.346	0.654	0.717	0.281
Invierno 2	Otoño	<0.001	0.476	0.001	0.754
Invierno 2	Primavera	<0.001	0.078	0.048	0.406
Invierno 2	Verano	<0.001	0.325	0.657	0.383
Otoño	Primavera	0.469	0.209	<0.001	0.462
Otoño	Verano	0.062	0.779	<0.001	0.427
Primavera	Verano	0.008	0.287	0.003	0.968

Al separar las sardinas por temperatura superficial del mar frente a la costa de Ensenada durante el mes de su captura ($<17^{\circ}\text{C}$ y $>17^{\circ}\text{C}$), los resultados de las pruebas Mann Whitney indicaron diferencias significativas en las medias de r_{o1} para 2008 y en r_{h1} para el 2011 (Tabla 7). También se realizó la prueba de Kolmogorov – Smirnov para evaluar si hubo diferencias en la distribución de los valores, los resultados indicaron que sí fueron significativamente diferentes ($p < 0.05$) las distribuciones de los valores de r_{o1} para el 2008 y r_{h1} para el 2011 en función de la TSM.

Tabla 7 Pruebas estadísticas no paramétrica Mann Whitney y Kolmogorov Smirnov comparando los anchos de las bandas de crecimiento de los otolitos de sardinas separadas por temperatura promedio de la superficie del mar de la región ($<17^{\circ}\text{C}$ y $>17^{\circ}\text{C}$). Las sardinas (*Sardinops sagax*) fueron recolectadas de desembarques pesqueros en el Puerto El Sauzal, Baja California, México.

Medida del otolito (mm)	Año	Mann Whitney			Kolmogorov – Smirnov		
		M	p	N	p	Número de casos	
						$<17^{\circ}\text{C}$	$>17^{\circ}\text{C}$
r_{o1}	2008	9.88	0.002	406	<0.01	159	247
	2011	0.12	0.730	500	>0.10	331	169
r_{h1}	2008	0.73	0.390	406	>0.10	159	247
	2011	8.82	0.003	500	<0.01	331	169

Al realizar la prueba de Mann Whitney (M) para evaluar si las medias son diferentes, se encontró que separadas por categorías de temperatura solo fueron significativamente diferentes ($p < 0.05$) los valores de r_{o1} del 2008 y los valores de r_{h1} del 2011.

4.3 Análisis de residuales

El análisis de los residuales del primer radio opaco de los otolitos indicó una tendencia hacia valores positivos durante la primer parte del año (primavera) y valores negativos durante algunos meses de invierno tanto para el 2008 como el 2011 (Figura 15). En contraste, en el caso de los residuales del primer radio hialino no se observó ninguna tendencia a lo largo del año (Figura 16).

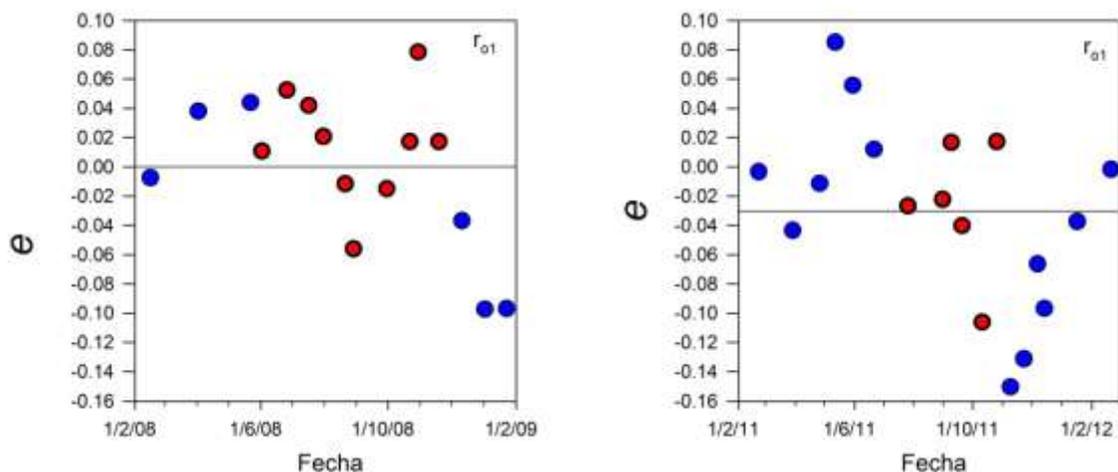


Figura 15. Análisis de los residuales del primer radio opaco (r_{o1}) de los otolitos de sardinas (*Sardinops sagax*) recolectadas de desembarques del Puerto El Sauzal, Baja California, México en 2008 y 2011. En color azul se indican las sardinas capturadas cuando la temperatura superficial del mar cerca de Ensenada era $<17^{\circ}\text{C}$ y en color rojo $>17^{\circ}\text{C}$.

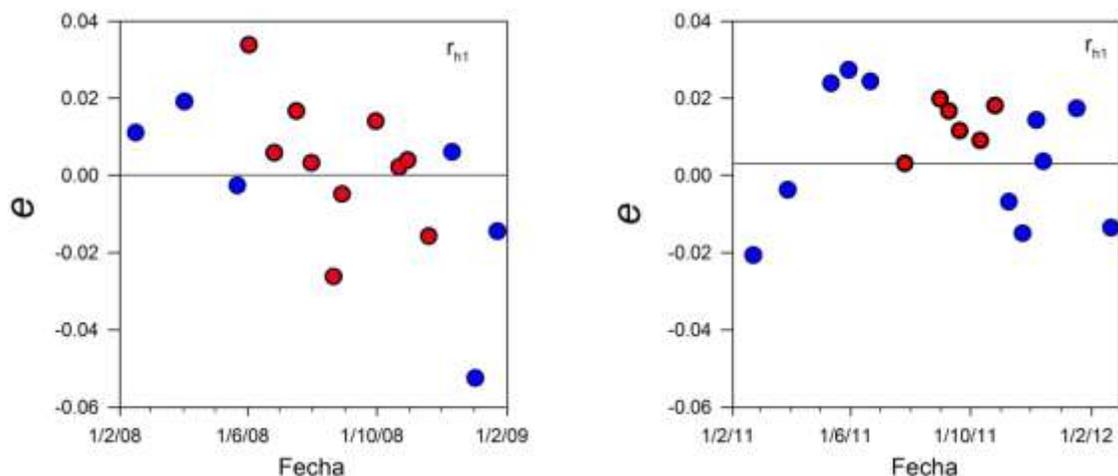


Figura 16. Análisis de los residuales del primer radio hialino (r_{h1}) de los otolitos de sardinas (*Sardinops sagax*) recolectadas de desembarques en el Puerto El Sauzal, Baja California, México en 2008 y 2011. En color azul se indican las sardinas capturadas cuando la temperatura superficial del mar cerca de Ensenada era $<17^{\circ}\text{C}$ y en color rojo $>17^{\circ}\text{C}$.

4.4 Relación entre el R - LE

En las regresiones de la longitud estándar (talla) con R (radio del otolito) por muestreo (Anexo 1 figura D a I) y por mes (Anexo 1 figura J a O) no se encontró una relación consistente entre estas dos variables.

La relación lineal entre R y la longitud estándar para 2008 y 2011 fue significativa al considerar todos los muestreos correspondientes a cada año (Figura 17, Tabla 2). Sin embargo, para el 2008, la LE explicó solo el 19% de la variación en R, mientras que para el 2011 explicó el 52%. El análisis de las relaciones entre la LE y la R separando los datos en función de la TSM promedio del mes de temperatura de captura indicó que no había una relación consistente (Figura 18). El alto nivel de variabilidad en la relación entre la talla y la R indicó que no era posible retrocalcular la talla de manera precisa a partir de mediciones de r_{o1} y r_{h1} .

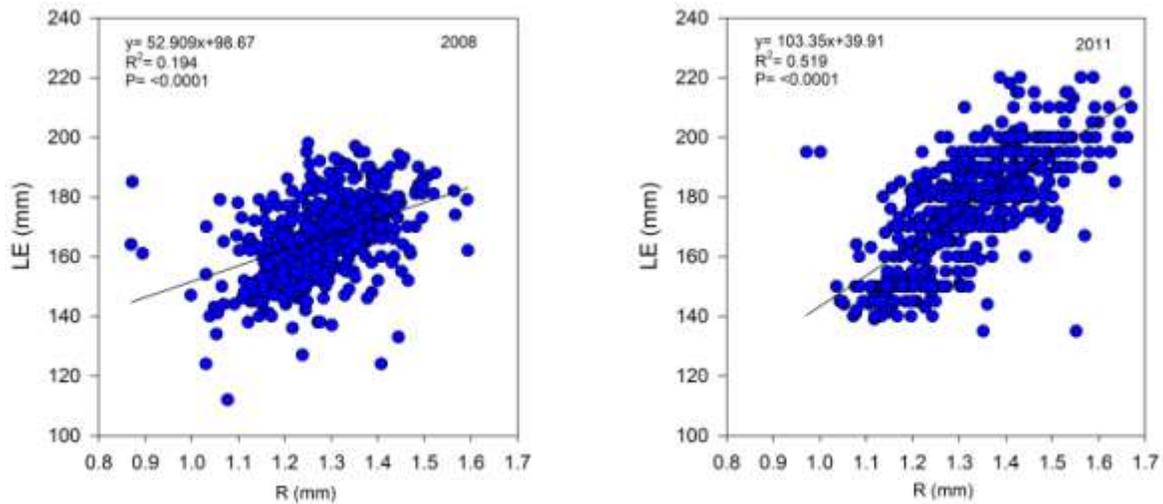


Figura 17. Radio total (R) con respecto a la longitud estándar de las sardinas (*Sardinops sagax*) recolectadas en el Puerto de El Sauzal, Baja California, México entre febrero del 2008 y febrero del 2009 (panel izquierdo) y febrero del 2011 a febrero del 2012 (panel derecho).

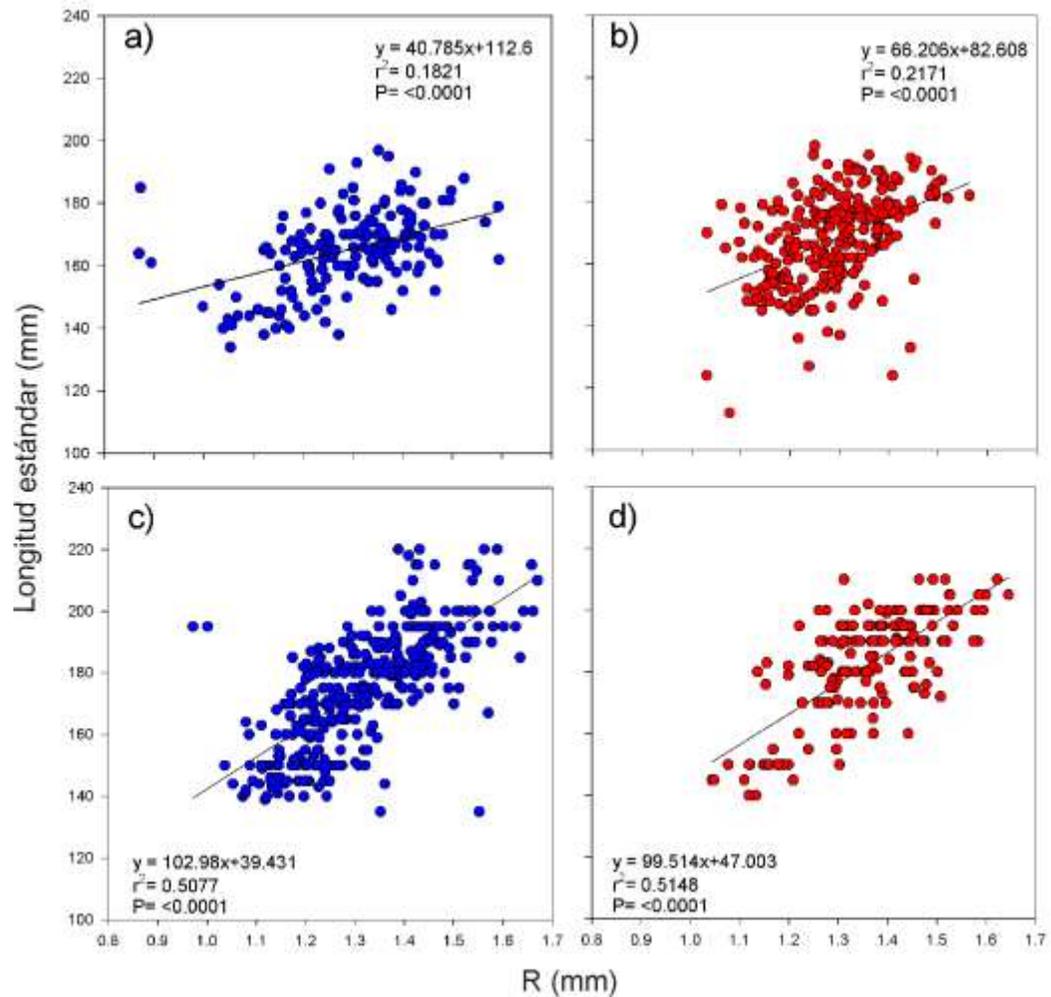


Figura 18. Radio total (R) con respecto a la longitud estándar de las sardinias (*Sardinops sagax*) recolectadas en el Puerto de El Sauzal, Baja California, México de febrero 2008 a enero del 2009 (a y b) y de febrero 2011 a febrero 2012 (c y d). Los valores correspondientes a las sardinias capturadas cuando la temperatura superficial del mar en la región era $< 17^{\circ}\text{C}$ (a y c) y $> 17^{\circ}\text{C}$ (b y d).

4.5 Relación entre la edad y r_{01} y r_{h1}

En promedio la edad de las sardinias recolectadas en el 2008 fue de 2.5 años mientras que en 2011 fue de 1.5 años. En 2008 se capturaron organismos de hasta 4.5 años, casi el 40% de la captura estuvo representada por sardinias de 2.5 años de edad. Para el 2011, la sardina de mayor edad fue de 3.5 años y el mayor porcentaje de la captura (36%) tuvo 1.5 años de edad y corresponde al periodo de otoño (Figura 19). En

proporción en frecuencia durante la primavera se observa una estructura dominada por organismos de mayor a dos años de edad que durante el otoño

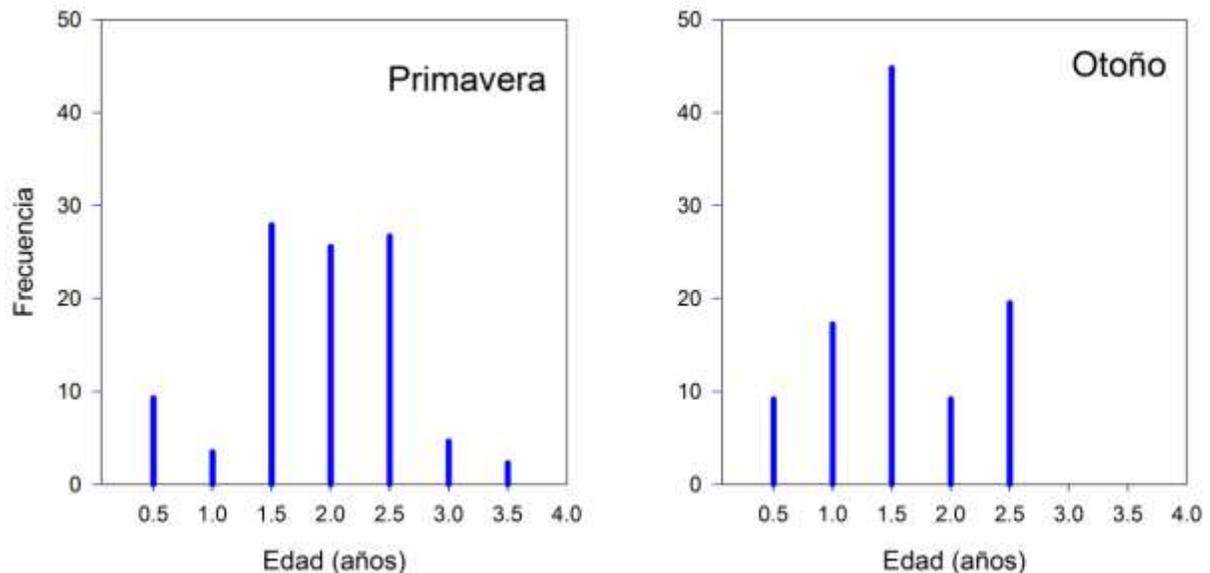


Figura 19. Distribución de frecuencias de las edades de sardinas (*Sardinops sagax*) recolectadas de desembarques en el Puerto El Sauzal, Baja California, México para primavera (febrero-abril) y otoño (septiembre-noviembre) del 2011.

La relación de la edad con respecto a la LE estuvo representada por tallas mayores a 170 mm y con edades desde 0.5 a 3.5 años. Las sardinas de 0.5 a 2.5 años presentaron tallas mayores a 200 mm a diferencia de las sardinas viejas de 3 y 3.5 años con tallas de 180 mm (Figura 20).

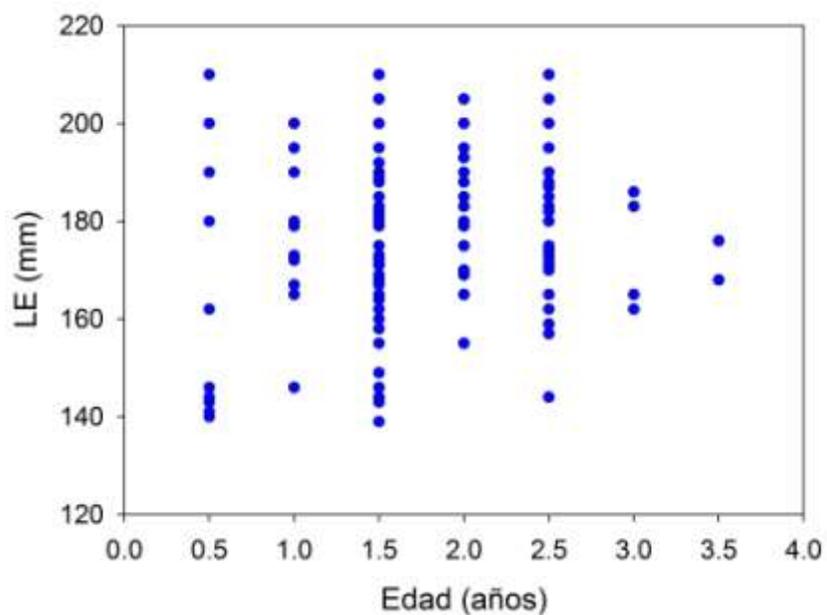


Figura 20. Longitud estándar (mm) con respecto a la edad de sardinas (*Sardinops sagax*) recolectadas de desembarques en el Puerto El Sauzal, Baja California, México durante la primavera y otoño del 2011.

No hubo una relación entre la edad y r_{o1} , r_{h1} y R (Figura 21), y se observó un alto nivel de variabilidad en los anchos de los anillos y el radio de los otolitos de sardinas de una misma edad.

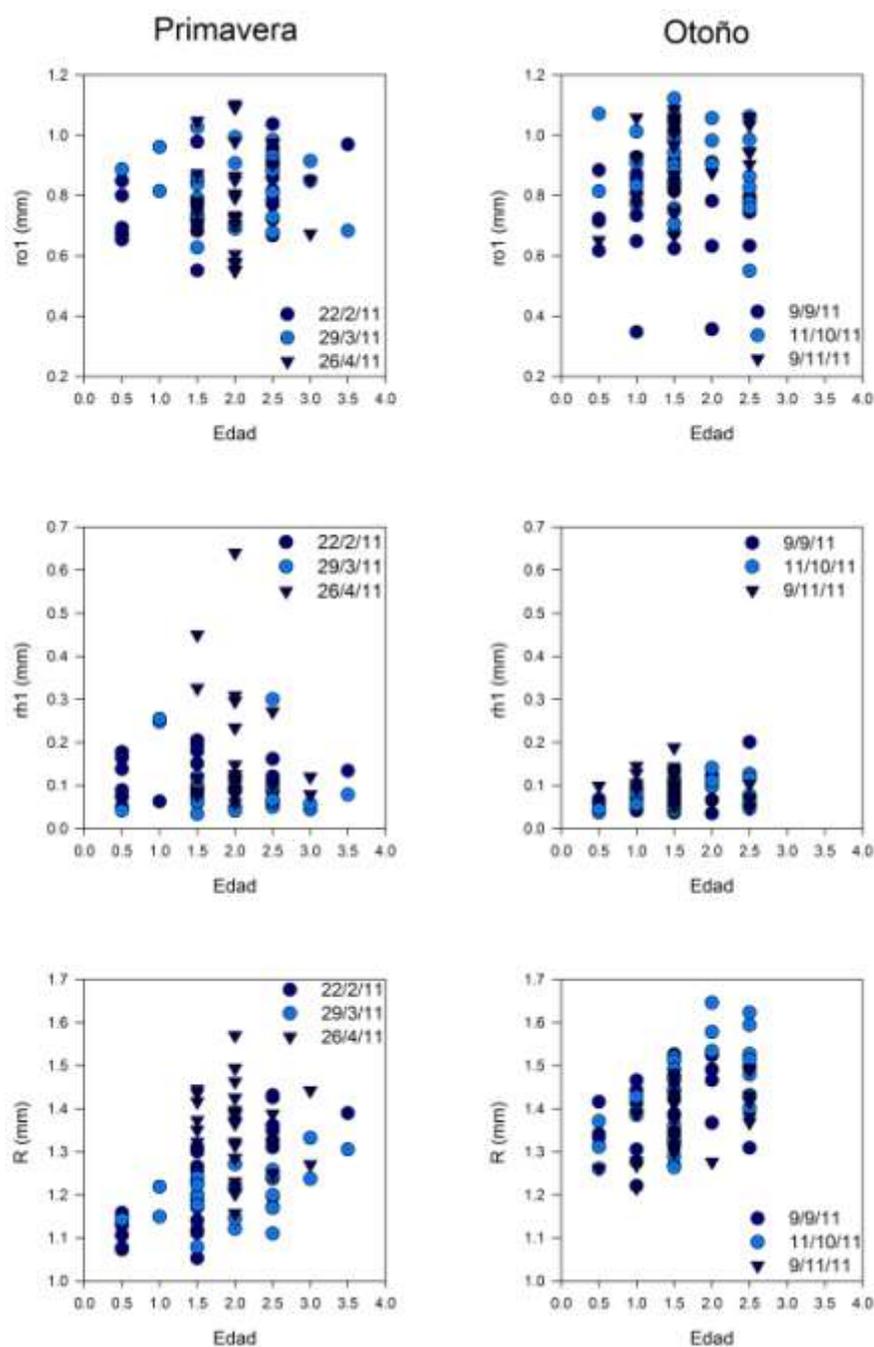


Figura 21. Relación entre la edad de sardinas (*Sardinops sagax*) individuales y el radio de las bandas de crecimiento y el radio total. Las sardinas se recolectaron en primavera y otoño del 2011. Primer radio opaco: r_{o1} ; primer radio hialino: r_{h1} ; radio total: R .

Se realizó la prueba de Kruskal Wallis (estadístico K) para evaluar si hubo diferencias en el ancho de la primera banda opaca y la primer hialina (r_{o1} y r_{h1}) de los otolitos de sardinas de diferentes edades por estación del año (primavera: 22 de febrero, 29 de

marzo, 26 de abril y otoño: 9 de septiembre, 11 de octubre, 9 de noviembre de 2011) indicando que no hubo diferencias significativas ($p > 0.05$) (Tabla 8).

Tabla 8. Prueba estadística no paramétrica Kruskal Wallis de comparación entre el ancho de la primera banda opaca (r_{o1}) y hialina (r_{h1}) de los otolitos de sardinas (*Sardinops sagax*) de diferentes edades recolectadas de desembarques pesqueros en el Puerto El Sauzal, Baja California, México. Se compararon los valores de las variables entre fechas de muestreo dentro de un mismo año. GL: grados de libertad

Medida del otolito (mm)	Estación del año	K	GL	p	Número de casos
r_{o1}	Primavera	5.43	6	0.49	166
	Otoño	6.57	4	0.16	166
r_{h1}	Primavera	9.06	6	0.17	166
	Otoño	6.69	4	0.15	166

5. Discusión

En este estudio se realizaron biometrías y mediciones del radio de la primera banda opaca y la primera banda hialina de los otolitos de sardinas capturadas cada dos a cuatro semanas durante 2008 y 2011 cerca de Ensenada, Baja California. El objetivo principal era evaluar si había patrones estacionales en el ancho de las bandas de crecimiento que fueran consistentes con la presencia de poblaciones con diferentes patrones de crecimiento durante el primer año de vida, según lo propuesto por Smith (2005). También se evaluaron las diferencias entre los radios de la primera banda opaca y la primera banda hialina de los otolitos cuando la temperatura superficial del mar en la región era $>17^{\circ}\text{C}$ (temperatura de captura de 17 y 22°C de la población templada) o menor a 17°C (temperatura de captura de 13 y 17°C de la población fría), para poner a prueba el modelo poblacional propuesto por Félix-Uraga *et al.*, (2004).

En su revisión de los estudios que se han enfocado en evaluar la estructura poblacional de la sardina, Smith (2005) sugirió que los patrones de crecimiento eran una de las principales características biológicas que permitían discriminar entre distintas poblaciones.

Según lo propuesto por Smith (2005), en primavera la población fría se debería encontrar en Ensenada por lo que se deberían capturar sardinas grandes a una misma edad. Durante el final de otoño y el invierno la población templada está en el sur de la península de Baja California y se plantea que de septiembre a octubre se desplazan hacia el norte, época en la que se capturan sardinas pequeñas a una misma edad cerca de Ensenada.

Otros autores también han reportado gradientes latitudinales en las características de crecimiento de las sardinas. Por ejemplo, Radovich (1982) comparó el crecimiento de sardinas capturadas en tres regiones de Estados Unidos (1) San Pedro, (2) San Francisco Monterey y (3) el Pacífico noroeste y observó que las sardinas norteñas eran más grandes que las del sur a una misma edad. En particular Radovich (1982) reportó que las sardinas del Pacífico noroeste eran más grandes y mayores que las de California, y que tenían bajo crecimiento el primer año, pero que posteriormente crecían más rápido. Las sardinas de California presentaban un rápido crecimiento durante el

primer año y después un bajo crecimiento. También observó que el crecimiento baja durante el invierno, por la disminución de la temperatura del mar, y que para organismos sureños el invierno es menos hostil, lo cual genera bandas de crecimiento menos pronunciadas en el norte (Radovich, 1982). Posteriormente, Butler *et al.*, (1996) también observaron una variación en las tallas de sardina en función de la edad al comparar Monterey, California, el sur de California y Baja California. Las sardinas norteñas eran en promedio más grandes a una misma edad, pero había mucha variación en las tallas en función de la edad.

5.1 Patrones estacionales en el ancho de las bandas de crecimiento del primer año de vida.

En este estudio se midieron los radios de la primera banda opaca y la primera hialina de los otolitos de las sardinas, y se analizaron empleando dos estrategias complementarias: (1) los radios reales considerando los promedios y su variación, y (2) los residuales, que considera los promedios de las mediciones de los otolitos por muestreo a lo largo del año. Con esta última estrategia se consideran solamente los promedios de los radios de cada fecha en los cálculos y se eliminó la variación entre individuos y entre años.

Al evaluar el ancho de las bandas de crecimiento en función de la estacionalidad no se observó un patrón que fuese consistente con la presencia de poblaciones discretas. Esto se debe por lo menos en parte a un alto nivel de variabilidad en los anchos de la primera banda opaca y hialina tanto en una misma fecha como entre fechas. A pesar del alto nivel de variación, las comparaciones múltiples pareadas indicaron que sí hubo diferencias significativas entre las medidas de los radios de los otolitos en algunas fechas. El 25% de las comparaciones pareadas de los valores de r_{01} , tanto para el 2008 como para el 2011, fueron estadísticamente diferentes. Para r_{h1} el 32% y 16% de las comparaciones pareadas para los muestreos del 2008 y 2011, respectivamente, fueron estadísticamente diferentes. Por consiguiente, la mayoría (por lo menos el 68%) de las comparaciones pareadas no indicaron diferencias significativas entre los muestreos. Tampoco se encontró un claro patrón estacional al evaluar las fechas en las cuales sí se encontraron diferencias (como por ejemplo que los radios opacos fueron

consistentemente diferentes de los de primavera). A pesar de que hay algunas diferencias significativas en r_{01} cuando se agrupan los datos por trimestres, tampoco se observó un patrón estacional consistente.

La presencia de un alto nivel de variabilidad en las mediciones de las bandas opacas y hialinas sugiere una alta variabilidad individual en las tasas de crecimiento de las sardinas durante el primer año de vida. Diversos estudios indican que hay un alto nivel de variabilidad en el crecimiento de las sardinas, lo cual se refleja en un amplio rango de tallas a una misma edad. En las sardinas, como en otros peces, el crecimiento de los juveniles se encuentra influenciado por factores denso-independientes y denso-dependientes que pueden influir sobre su tasa de crecimiento y por consiguiente en la talla a una edad determinada (Butler, 1987). Los factores denso-dependientes incluyen la competencia intra e interespecífica por alimento, el canibalismo, el estímulo de agregación y el tamaño de las poblaciones locales de depredadores, mientras que los denso-independientes son las condiciones físicas y químicas del hábitat que pueden ser desde propicias para el crecimiento hasta letales (Smith, 1985).

Por ejemplo Butler *et al.*, (1996) reportaron sardinas de 3 años de edad con un intervalo de talla desde 110 mm a 270mm, mientras que Quiñónez-Velázquez *et al.*, (2002) encontraron una relación lineal pero variable entre el radio de los otolitos y la longitud estándar del organismo; los otolitos de 1.6 mm de radio se asociaron con una LE en sardinas desde 170 mm hasta 220 mm. Watanabe y Saito (1998), analizaron la relación entre el radio de los otolitos y la LE en sardinas juveniles, y para un radio de 300 μm documentaron tallas de 30 a 45 mm LE. En todos estos casos se reporta un amplio intervalo de tallas a una misma edad. El alto nivel de variabilidad en las tasas de crecimiento individual de las sardinas se puede deber a que gran parte del crecimiento de la sardina ocurre durante su estado larval y juvenil (Watanabe y Saito, 1998) y que este varía en función de condiciones oceanográficas complejas (Itoh *et al.*, 2011).

En los resultados de los análisis de residuales del primer radio opaco, sí se observó una tendencia hacia valores positivos durante la primera parte del año (primavera y algunos meses de verano) y valores negativos durante algunos meses del otoño tanto para 2008 como el 2011. Bajo el supuesto de que las tallas de las sardinas y el radio de los

otolitos son proporcionales (Butler, 1996; Quiñónez-Velázquez *et al.*, 2002; Watanabe y Saito, 1998), esto indica que se capturaron sardinas relativamente grandes al final de la primera época de crecimiento durante primavera y algunos meses de verano. Por lo tanto, los resultados del análisis de residuales de los radios opacos no es completamente consistente con lo propuesto por Smith (2005). Él propuso que en invierno y principios de primavera se deberían capturar sardinas la población fría con tallas más grandes a una misma edad cerca de Ensenada. En contraste, en los análisis de los residuales del primer radio hialino no se observó una tendencia estacional a lo largo del año ni diferencias significativas entre trimestres y en general los valores promedio fueron más consistentes que en el caso de los radios opacos. En resumen, los análisis de los residuales de los radios opacos sugieren que hay épocas del año cuando los radios son en más grandes, pero los patrones que se observaron no son enteramente consistentes con lo propuesto por Smith (2005).

5.2 Patrones en los anchos de las bandas de crecimiento en relación a la temperatura superficial del mar (TSM)

Félix-Uraga *et al.*, (2004) propusieron que hay tres poblaciones de sardina que migran a lo largo del año en función de la temperatura superficial del mar. Esta separación de poblaciones en función de la TSM la obtuvieron agrupando los reportes de las capturas en Bahía Magdalena, Isla de Cedros y Ensenada desde 1981 a 2002, en intervalos de 1°C de TSM por año-mes para cada zona de pesca.

Con base en su análisis sugirieron que las tres poblaciones migran de acuerdo a la distribución geográfica de la TSM, y que los grupos se asocian a rangos de temperatura distintos. En Ensenada, se captura la población templada (17 a 22°C) de agosto a diciembre y la población fría (13 a 17°C) a principios de primavera. Otros estudios como los de Lluch-Belda *et al.*, (1991), Combs *et al.*, (2006) y Morales-Bojórquez *et al.*, (2003) establecen que las poblaciones de sardina están asociadas al régimen de la temperatura.

En 2008, la temperatura superficial del mar promedio frente a la costa de Ensenada fue >17°C durante los meses de mayo hasta noviembre, con un promedio anual de 17.4°C.

En 2011, el promedio anual fue de 16.3°C , y la TSM $>17^{\circ}\text{C}$ se registró desde julio hasta octubre.

Con base en el modelo propuesto por Félix-Uraga *et al.*, (2004), la población templada ($>17^{\circ}\text{C}$) se debió haber capturado frente a la costa de Baja California entre mayo y noviembre del 2008 y entre julio y octubre del 2011; en estas épocas los radios de los otolitos de las sardinas fueron más pequeños que el resto del año. Por otro lado la población fría ($<17^{\circ}\text{C}$) se debió haber capturado entre diciembre y mayo del 2008 y entre noviembre y junio del 2011, y los radios de los otolitos fueron de mayor tamaño.

Entonces frente a la costa de Baja California se capturaría la población templada ($17-22^{\circ}\text{C}$) de agosto a diciembre y la población fría (13 a 17°C) a principios de primavera y el resto del año está migraría hacia el norte. Según este modelo y la TSM presente durante el estudio, esta información concuerda y pudiera ser que se capturó la población templada durante más tiempo en el 2008 a diferencia del 2011 en el que se cree estuvo la población fría más tiempo debido a que la TSM fue en promedio menor.

5.3 Análisis de la relación entre el radio total (R) y la longitud estándar

Este estudio se basa en la premisa de que las mediciones de los anchos de los anillos son un buen indicador de crecimiento individual. Por ejemplo Cubillos y Araya (2002), Nemeth (2005), Landaeta *et al.*, (2010), Pajuelo y Lorenzo (2011), Dioses (2013), Limburg *et al.*, (2013), reportan una relación lineal entre la talla y el tamaño del otolito para diversas especies. Para la sardina, estudios previos también han documentado una relación lineal, aunque variable, entre el radio total de los otolitos y la longitud del pez. Por ejemplo Quiñónez-Velázquez *et al.*, (2002) reportaron una relación lineal entre el radio de los otolitos y las tallas de las sardinas entre 147 mm y 236 mm con una $r=0.69$.

En este estudio se caracterizó la relación entre el R y la longitud estándar con el fin de obtener un modelo con el cual retrocalcular las tallas de las sardinas al final de la primera temporada de crecimiento (r_{01}) y de la primera temporada de invierno (r_{h1}). Los

análisis se hicieron considerando las fechas de muestreo por separado, los meses del año y juntando los datos para cada año.

La relación R vs la LE para 2008 y 2011 por fecha de muestreo fue significativa para el 67% de los muestreos. Al juntar los datos por mes la relación fue significativa el 64% y el 83% de los meses para el 2008 y 2011 respectivamente. Al juntar todos los datos por año la relación fue significativa tanto para el 2008 como para el 2009. Sin embargo, para el 2008, la LE explicó solo el 19% de la variación en R, mientras que para 2011 explicó el 52%. En resumen la relación entre R y LE fue muy variable y explica un bajo nivel de variación, lo cual se podría deber a la plasticidad de respuesta de estos peces a los cambios en el ambiente (plasticity) (MacCall, 2009) y a que el ambiente en el cual crecen es también variable (Hansson *et al.*, 2009, Itoh *et al.*, 2011).

Como consecuencia del alto nivel de variabilidad entre la talla y el R, este juego de análisis indicó que no era apropiado retrocalcular la talla a partir del radio total, ya que no se podían obtener estimaciones precisas de la talla. Aunque el evaluar las causas del alto nivel de variación observado va más allá de los objetivos de este estudio, es importante llevar a cabo estudios que brinden un entendimiento sobre la variabilidad en la relación longitud – R en un futuro es importante.

5.4 Análisis de la relación entre la edad y el ancho de las bandas de crecimiento

El conteo de las bandas de crecimiento de otolitos recolectados durante la primavera y otoño del 2011 se llevó a cabo para evaluar si había una relación entre la edad y el radio de la primera banda hialina, la primera banda opaca y el primer annulus. El propósito era evaluar si los anchos de las bandas depositadas en diferentes años reflejaban variaciones interanuales consistentes que pudiesen sesgar la interpretación de los patrones estacionales.

Al evaluar la relación entre la edad y el radio de la primera banda hialina y opaca y el primer annulus, se encontró un alto nivel de variabilidad en los anchos de los anillos de los otolitos de sardinas de una misma edad y no hubo diferencias significativas entre edades. Aunque no se excluye la posibilidad de variaciones interanuales en las tasas de crecimiento de las sardinas, el alto nivel de variabilidad en los anchos de las bandas

de crecimiento sugiere que probablemente los resultados de este estudio no estuvieron sesgados por esa causa.

6. Conclusiones

La medición de las primeras bandas de crecimiento de otolitos de sardinas capturadas en Ensenada, Baja California, permitió poner a prueba el modelo espacio temporal que representa el movimiento de las poblaciones de sardinas frente a la costa de Baja California y Baja California Sur propuesto por Félix-Uraga *et al.*, (2004) y el evaluar la estructura poblacional de la sardina que propone Smith (2005) y que se basa en los patrones de crecimiento.

Las comparaciones pareadas de los anchos de los anillos opacos y hialinos indicaron que hubo diferencias estadísticas entre algunas fechas de muestreo, sin embargo no se observó un patrón consistente que indicase diferencias estacionales. En contraste, los análisis de residuales del primer radio opaco sugieren la presencia de la población templada durante el otoño e invierno y la población fría en la primavera frente a las costas de Ensenada. Sin embargo, es importante considerar que esta aproximación no considera la variación en nivel individual, y que hubo un alto nivel de variación en los radios de los anillos opacos e hialinos dentro de una misma fecha y traslape en los valores entre fechas. Los promedios de los anchos de la primera banda opaca y hialina agrupados en función de la TSM no fueron significativamente diferentes. Esto, implica que la segregación espacio temporal de las poblaciones fría y templada descrita por Felix *et al.*, (2004) con base en las capturas y TSM no corresponden a poblaciones con diferentes patrones de crecimiento durante el primer año de vida, conforme a lo inferido a partir de los anchos de las bandas de crecimiento.

En conjunto los resultados de este estudio no son consistentes con la presencia de poblaciones discretas con patrones de crecimiento diferentes a lo largo del año en la zona norte de Baja California. Esto puede deberse al alto nivel de variación en el crecimiento de las sardinas durante el primer año de vida, o a la mezcla entre poblaciones.

Referencias bibliográficas

- Abitia-Cárdenas, L. A., Galván-Magaña, F., & Rodríguez-Romero, J. (1997). Food habits and energy values of prey of striped marlin, *Tetrapturus audax*, off the coast of México. *Fishery Bulletin*. 95. 360-368.
- Ahlstrom, E. (1954). Distribution and abundance of egg and larval populations of the Pacific Sardine. *Fishery bulletin National Oceanic and Atmospheric Administration*. 56. 83-140.
- Ahlstrom, E. (1960). Synopsis on the biology of the Pacific sardine (*Sardinops sagax caeruleus*) *FAO Fisheries Biology*. 17. 415-451.
- Alvarado-Castillo, R., Félix-Uraga, R. (1996). Edad y crecimiento de la sardina Monterrey *Sardinops caeruleus* (Pisces: Clupeidae) en Isla de Cedros, Baja California, México, durante 1985 y 1986. *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras* 25. 77-86.
- Alvarado, R., Félix, U. (1996). Edad y crecimiento de la sardina monterrey *Sardinops caeruleus* (Pisces: Clupeidae) en isla de Cedros, Baja California, México, durante 1985 y 1986. *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras*. 25. 77-86.
- Comisión Nacional de Acuacultura y Pesca. (2011). Anuario estadístico de acuacultura y pesca. Recuperado 8 de enero de 2013 de: <http://www.conapesca.sagarpa.gob.mx>
- Araya, M., Cubillos, L. (2002). El análisis retrospectivo del crecimiento en peces y sus problemas asociados. *Gayana*. 66. 161-179.
- Baldwin, R., Banks, M. & Jacobson, K. (2012). Integrating fish and parasite data as a holistic solution for identifying the elusive stock structure of Pacific sardines (*Sardinops sagax*). *Reviews in fish biology and fisheries*. 22. 137-156.
- Barnes, J., Foreman, T. (1994). Recent evidence for the formation of annual growth increments in the otoliths of young Pacific sardines (*Sardinops sagax*). *California Department of Fish and Game*. 79. 29-35.
- Baumgartner, T. Comunicación restringida.
- Baumgartner, T., Soutar, A., & Ferreira-Bartrina, V. (1992). Reconstruction of the history of Pacific Sardine and northern anchovy populations over the past two millennia from sediments of the Santa Barbara basin, California. *California Cooperative Oceanic Fisheries Investigations*. Report 33. 24-40.
- Beckman, D., Wilson, A. (1995). Seasonal timing of opaque zone formation in fish otoliths. In: Secor, DH, JM Dean & SE Campana (eds), *Recent developments in fish otolith research* 27-43. University of South Carolina Press.
- Brothers, E. B., Mathews, C. P. & Lasker, R. (1976). Daily growth increments in otoliths from larval and adult fishes. *Fishery Bulletin*. 74. 1-8.

- Butler, J. (1987). Comparison of the early life story of the Pacific sardine and northern anchovy with implications of species interactions. PhD. Thesis, University of California San Diego, Ca. 242.
- Butler, J. L., Granados, G. M., Marci, Y. J. & Macewicz, B. (1996). Age composition, growth, and maturation of the Pacific sardine (*Sardinops sagax*) during 1994. California Cooperative Oceanic Fisheries Investigations. Report 37. 152-159.
- Campana, S. (1999). Chemistry and composition of fish otoliths: pathways, mechanisms and applications. Marine Ecology Progress Series. 188. 263-297.
- Casselman, J. (1989). Determination of age and growth. In: A. H Weatherley y H.S. Gill (Ed.) The biology of fish growth. Academic Press Limited. 209-242.
- Casselman, J. (1990). Growth and relative size of calcified structures of fish. Transactions of the American Fisheries Society. 119. 673-688.
- Castillo, J., Barbierri, M. A. & González, A. (1996). Relationship between sea surface temperature, salinity, and pelagic fish distribution off northern Chile. ICES Journal of Marine Science. 53. 139-146.
- CEC-ITAM. (2006). Programa maestro nacional de pelágicos menores. Recuperado noviembre 2013 de <http://www.conapesca.sagarpa.gob.mx>
- Chávez, F. P., Ryan, J., Lluch-Cota, S. E., Niquen, C. M. (2003). From anchovies to sardines and back: multidecadal change in the Pacific ocean. Science. 299. 217-221.
- Checkely, D., Barth, J. (2009). Patterns and processes in the California Current System. Progress in Oceanography. 83. 49-64.
- Clark, N. (1945). Results of tagging experiments in California waters on sardine (*Sardinops caerulea*). Fish Bulletin. 61. 93.
- Clark, N. (1947). Analysis of populations of the Pacific sardine on the basis of vertebral counts. Fish Bulletin. 65. 26.
- Coombs, S. H., Smyth, T. J., Conway, D. V., Halliday, N. C., Bernal, M., Stratoudakis, Y., & Alvarez, P. (2006). Spawning season and temperature relationship for sardine (*Sardina pilchardus*) in the eastern North Atlantic. Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom. 5. 1245-1252.
- Criquet, G., García, J., Lenfant, P., Maréchal, J. y Reynal, L. (2009). Spatio-temporal variability of otolith shape of the red band parrotfish (*Sparisoma aurofrenatum*) in Martinique. 61st Gulf and Caribbean Fisheries Institute. Gosier, Guadalupe, French West Indies. 156-162.
- Dioses, T. (2013). Edad y crecimiento del jurel *Trachurus murphyi* en el Perú Revista Peruana de Biología. 20. 45-52.
- Doyon, J. F., Downin, J., Magnin, E. (1988). Variation in the condition of northern pike, *Esox Incius*. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 45. 479-483

FAO (2010). Estadísticas de pesca y acuicultura. Recuperado 14 de agosto 2012 de: <http://www.fao.org>

Felin, F. (1954). Population heterogeneity in the Pacific pilchard. *Fish Bulletin*. 54. 201–225.

Felin, F., Phillips, P. (1948). Age and length composition of the sardine catch: off the Pacific coast of the United States and Canada, 1941-42 through 1946-47. California State Print Off. 61.

Félix Uruga, R. (1990). Crecimiento de *Sardinops sagax caerulea* en Bahía Magdalena, México. *Revista Investigaciones Marinas, CICIMAR*. 5. 27-31.

Félix Uruga, R., Gómez Muñoz, V., Quiñónez Velázquez, C., Melo-Barrera, F. y García Franco, W. (2004). On the existence of Pacific sardine groups off the west coast of Baja California and southern California. *California Cooperative Oceanic Fisheries Investigations Report* 45. 146-151.

Félix Uruga, R., Quiñónez Velázquez, C., Gómez Muñoz, V., Melo Barrera, F., García Franco, W. y Hill, K. (2005). Pacific sardine (*Sardinops sagax*) stock discrimination off the west coast of Baja California and southern California using otolith morphometry. *California Cooperative Oceanic Fisheries Investigations. Report* 46. 113-121.

Félix Uruga, R., Ramírez, E. (1989). Verificación en las determinaciones de edad de *Sardinops sagax caerulea* basadas en la lectura de otolitos. *Revista Investigaciones Marinas, CICIMAR*. 4. 59-64.

Fisher, S. J., Willis, D. W., & Pope, K. L. (1996). An Assessment of burbot (*Lota lota*) weight-length data from north American populations. *Canadian Journal of Zoology*. 74. 570-575

Fletcher, W. (1995). Application of the otolith weight – age relationship for the pilchard, *Sardinops sagax neopilchardus*. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. 52. 657-664.

Gagliano, M., McCormick, M. (2004). Feeding history influences otolith shape in tropical fish. *Marine Ecology Progress Series*. 278. 291–206

García, R. F., García, G. S., Cruz, A. J., & Cota, G. V. (2011). A Study of the population structure of the Pacific sardine *Sardinops sagax* (Jenyns, 1842) in Mexico base on morphometric and genetic analyses. *Fisheries Research*. 107. 169-176.

Griffiths, M. (1996). Age and growth of south African silver kob *Argyrosomus inodorus* (Sciaenidae), with evidence for separate stocks. *South African Journal of Marine Science*. 17. 37-48.

Gutiérrez, E., Morales, N. (1986). Time series analysis of daily growth in *Dicentrarchus labrax* otoliths. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*. 103. 163-179.

- Hannesson, R., Herrick, S, & Field, J. 2009. Ecological and economic considerations in the conservation and management of the Pacific sardine (*Sardinops sagax*). Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences. 66. 859-868.
- Hart, J. (1973). Pacific Fishes of Canada. Bulletin Fisheries Research of Canada. 180. 740.
- Hedgecock, D., Hutchinson, E. S., Li, G., Sly, F. L. & Nelson, K. (1989). Genetic and morphometric variation in the Pacific Sardine, *Sardinops sagax caerulea*: comparisons and contrasts with historical data and with variability in the Northern Anchovy, *Engraulis mordax*. U. S. Fishery Bulletin. 87. 653-671.
- Hernández Vázquez, S. (1994). Distribution of eggs and larvae from sardine and anchovy off California and Baja California, 1951-1989. California Cooperative Oceanic Fisheries Investigation. Report 35. 84-107.
- Hickey, M. (1979). The California Current System-hypothesis and facts. Progress in Oceanography. 8. 191–279.
- Hill, K. T., Jacobson, L. C., Lo, N. C., Yaremko, M., & Cege, M. (1999). Stock assessment of Pacific sardine for 1998 with management recommendations for 1999. Marine Region Administrative. California Department of Fish and Game, San Diego, California. Report 99-4.
- Hill, K., Lo, N., Macewicz, B., Crone, P., Felix, R. (2009). Assesment of the Pacific sardine resource in 2009 for U.S. management in 2010. NOAA technical memorandum National Marine Fisheries Service Southeast Fisheries
- Hubbs, R. (1925). Racial and seasonal variation in the Pacific herring, California sardine and California anchovy. Fish Bulletin. 8. 23.
- Hüssy, K. (2008). Otolith shape in juvenile cod (*Gadus morhua*) ontogenetic and environmental effects. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology. 364. 35-41
- Itoh, S., Saruwatari, T., Nishikawa, H., Yasuda, I., Komatsu, K., Tsuda, A., Setou, T., & Shimizu, M. (2011). Environmental variability and growth histories of larval Japanese sardine (*Sardinops melanostictus*) and Japanese anchovy (*Engraulis japonicus*) near the frontal area of the Kuroshio. Fisheries Oceanography. 20. 114-124.
- Jacobson, L., MacCall, A. (1995). Stock – recruitment model for Pacific sardine (*Sardinops sagax*) Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciencies. 52. 566-577.
- Javor, B., Lo, N., & Vetter. R. (2011). Otolith morphometrics and population structure of Pacific sardine (*Sardinops sagax*) along the west coast of North America. Fishery Bulletin. 109. 402-415
- Jearld, A., Jr., (1983). Age determination In: L. A. Nielsen y D. Johnson (Ed), Fisheries Techniques. Blackburg, Virginia. 301-324.
- Lalli, C., Parsons, T. (1997). Biological oceanography: an introduction. Oxford Pergamon Press. 326.

- Landaeta, M. F., Inostroza, P. A., Ramírez, A., Soto, M. S., & Castro, L. R. (2010). Distribution patterns, larval growth and hatch dates of early stages of the mote sculpin *Normanichthys crockeri* (Scorpaeniformes, Normanichthyidae) in the upwelling ecosystem off central Chile. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*. 45. 575-588.
- Lecomte, F., Grant, W. S., Dodson, J. J., Rodríguez, S. R., & Bowens, B. W. (2004). Living with uncertainty: genetic imprints of climate shift in east Pacific anchovy (*Engraulis mordax*) and sardine (*Sardinops sagax*). *Molecular Ecology*. 13. 2169-2182.
- Limburg, K. E., Hayden, T. A., Pine III W. E., Yard, M. D., Kozdon, R., & Valley, J. W. (2013). Of travertine and time: Otolith chemistry and microstructure detect provenance and demography of endangered humpback chub in Grand Canyon, USA. *PLoS ONE*. 8.e84235. doi: 10.1371/journal.pone.0084235
- Lombarte, A., Leonart, J. (1993). Otolith size changes related with body growth, habitat depth and temperature. *Environmental Biology of Fishes*. 37. 297-306.
- Lluch-Belda, D., Lluch-Cota, D, Hernández-Vázquez, S., Salinas-Zavala, C. y Schwartzlose, R. 1991. Sardine and anchovy spawning as related to temperatura and upwelling in the California current system. *California Cooperative Oceanic Fisheries Investigation*. Report 32. 105-111.
- Lynn, R. (2003). Variability in the spawning habitat of Pacific sardine (*Sardinops sagax*) off southern and central California. *Fisheries Oceanography*, 12. 541–553.
- MacCall, A. (1979). Population estimates for the waning years of the Pacific sardine fishery. *California Cooperative Oceanic Fisheries Investigations Report*. 20. 72-82.
- MacCall, A. (2009). Mechanism of low frequency fluctuations in sardine and anchovy populations. In: Checkley Jr., D. M., Alheit, J., Oozeki, Y., Roy, C. (Eds.), *Climate Change and Small Pelagic Fish*. Cambridge University Press. 12–44.
- Marr, J. (1960). The causes of major variations in the catch of Pacific sardine, *Sardinops caerulea* (Girard). In: *Proceedings of the World scientific meeting on the biology of sardine and related species*. FAO, Rome. 677-791.
- Morales Bojórquez, E., Gómez Muñoz, V., Félix Uruga, R. y Alvarado Castillo, R. (2003). Relation between recruitment, sea surface temperatura, and density-independent mortality of the Pacific sardine (*Sardinops caeruleus*) off the southwest coast of the Baja California península, México. *Scientia Marina*. 67. 25-32.
- Morales Nin, B. (1992). Determination of growth in bony fishes from otolith microstructure. *FAO Fisheries and Aquaculture Technical Papers*. 322. 51
- Mosegaard, H., Svedäng, H, & Taberman, K. (1988). Uncoupling of somatic and otolith growth rates in Artic char (*Salvelinus alpinus*) as an effect of differences in temperature response. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. 45.1514-1524.
- Murphy, G.L. (1966). Population biology of the Pacific sardine (*Sardinops caerulea*) *Proceedings of the California Academy of sciences*. 34. 1-84.

- Neff, B., y Cargnelli, L. (2004). Relationships between condition factors, parasite load and paternity in bluegill sunfish, *Lepomis macrochirus*. *Environmental Biology of Fishes*. 71. 297–304
- Nemeth, R. (2005). Linking larval history to juvenile demography in the bicolor damselfish *Stegastes partitus* (Perciformes: Pomacentridae). *Revista Biología Tropical*. 53. 155-163.
- NOAA CoastWatch. Recuperado 9 de diciembre (2013). <http://coastwatch.noaa.gov>
- Pajuelo, J. G. y Lorenzo, J. M. (2011). Validación de la determinación de la edad y estudios del crecimiento del lenguado de arena *Pegusa Lascaris* (Soleidae) del Atlántico centro-oriental. *Ciencias Marinas*. 37. 323-338.
- Pangle, K., Sutton, T. (2005). Temporal changes in the relationship between condition indices and proximate composition of juvenile *Coregonus artedii*. *Journal of Fish Biology*. 66. 1060–1072
- Pannella, G. (1971). Fish otoliths: daily growth layers and periodical patterns. *Science*. 173. 1124-1127.
- Pauly, G. J. (1971). Anchovies, birds and fishermen in the Peru current. In W.W.Murdock (ed.). *Environmental, resources, pollution and society*, Sinauer press, Stamford, Connecticut. 156-185.
- Phillips, J. (1948). Growth of the sardine *Sardinops caerulea*, 1941-42 through 1946-47. *Fish Bulletin*. 71. 33.
- Quiñónez Velázquez, C., Alvarado Castillo, R. y Félix Uruga, R. (2002). Individual growth and population abundance relationship in the Pacific sardine *Sardinops caeruleus* (Pisces: Clupeidae) (Girard 1856) from Isla de Cedros, Baja California, México. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*. 37. 1-8.
- Radovich, J. (1982). The collapse of Californian sardine fishery. What have we learned? *California Cooperative Oceanic Fisheries Investigations Reports*. 23. 56-79.
- Ricker, W. (1975). Computation and interpretation of biological statistics of fish populations. *Bulletin of the Fisheries Research Board of Canada*. 191. 1-382.
- Saila, S., & Martin, B. (1985). A brief review and guide to some multivariate methods for stock identification. In *Proceedings of the Stock Identification Workshop*, Kumpf, H. E., Vaught, R. N., Grimes, C. B., Johnson A. G., & Nakamura, E. L. eds. NOAA-TM-NMFS-SEFC-199. 149–173.
- Schmitt, C. J., Dethloff, G. M. (2000). Biomonitoring of environmental status and trends (BEST) program: selected methods for monitoring chemical contaminants and their effects in aquatic ecosystems. U.S. Geological Survey Biological Resources Division, Columbia. Information and Technology Report: USGS/BRD/ITR--2000-005. 81.
- Schwartzlose, J., Alheit, J., Bakun, A., Baumgartner, T., Cloete, R., Crawford, R., Fletcher, W., Green-Ruiz, Y., Hagen, E., Kawasaki, T., Lluch-Belda, D., Lluch-Cota, S.,

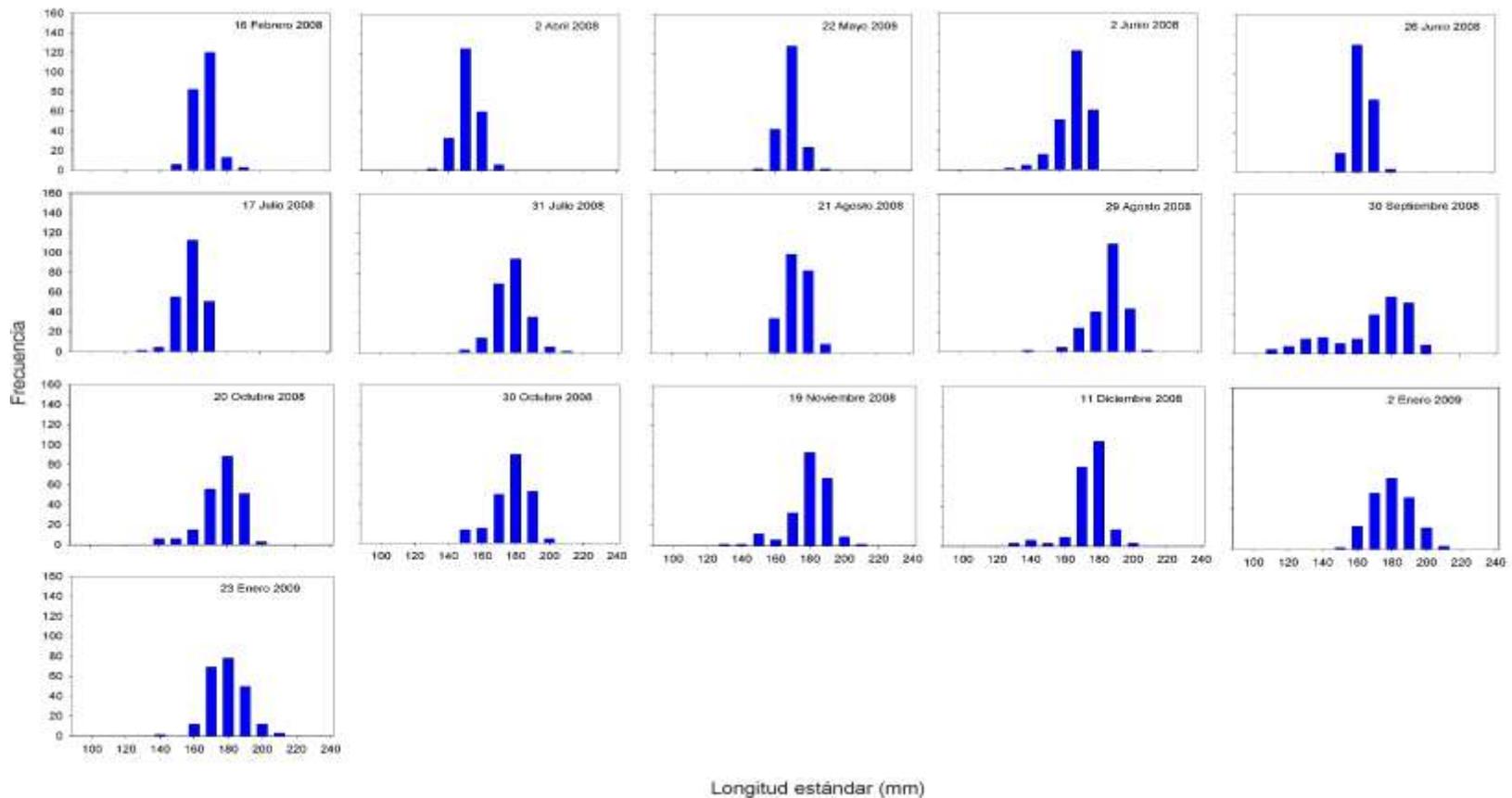
- MacCall, A., Matsuura, Y., Nevarez-Martínez, M., Parrish, R., Roy, C., Serra, R., Shust, K., Ward, M., y Zuzunaga, J. (1999). Worldwide large-scale fluctuations of sardine and anchovy populations. *South African Journal of Marine Science*. 21. 289-347.
- Secor, D. H., Dean, J. M. & Laban, E. H. (1991). Manual for otolith removal and preparation for microstructural examination. Electric Power Research Institute and the Belle W. Baruch Institute for Marine Biology and Coastal Research. 1-84.
- Silva, A., Carrera, P., Massé, J., Uriarte, A., Santos, M. B., Oliveira, P. B., Soares, E., Porteiro, C., & Stratoudakis, Y. (2008). Geographic variability of sardine growth across the northeastern Atlantic and the Mediterranean Sea. *Fisheries Research*. 90. 56-69.
- Smith, P. (1985). Year-class strength and survival of O-group clupeoids. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. 42. 69-82.
- Smith, P. (2005). A history of proposals for subpopulation structure in the Pacific sardine (*Sardinops sagax*) population off western north America. *California Cooperative Oceanic Fisheries Investigations*. Report 46. 75-82.
- Sprague, L., Vrooman, A. (1962). A racial analysis of the Pacific sardine (*Sardinops caerulea*), based on studies of erythrocyte antigens. *Annals of the New York Academy of Science*. 97. 131-138.
- Strelcheck, A. J., Fitzhugh, G. R., Coleman, F. C., & Koenig, C. C. (2003). Otolith-fish size relationship in juvenile gag (*Mycteroperca microlepis*) of the eastern Gulf of Mexico: a comparison of growth rates between laboratory and field population. *Fisheries Research*. 60. 255-265.
- Treinen Crespo, C., Villegas Hernández, H; Guillén Hernández, S; Ruiz Zárata, M; González Salas, C. 2012. Otolith shape analysis as a tool for population discrimination of the White grunt (*Haemulon plumieri*) stock in the northern coast of the Yucatan peninsula, México. *Revista de Ciencias Marinas y Costeras*. 4. 157-168.
- Van der Lingen, C. (1994). Effect of particle size and concentration on the feeding behaviour of adult pilchard *Sardinops sagax*. *Marine Ecology Progress Series*. 109. 1-13.
- Vildoso, A., Chumán, E. (1968). Validez de la lectura de otolitos para determinar la edad de la anchoveta (*Engraulis ringens*). Instituto del mar del Perú. Informe 22. Recuperado de: <http://biblioimarpe.imarpe.gob.pe>
- Vrooman, A. (1964). Serologically differentiated subpopulations of the Pacific sardine, *Sardinops caerulea*. *Journal of Fisheries Research Board of Canada*. 21. 691-701.
- Watanabe, Y., Saito, H. (1998). Feeding and growth of early juvenile Japanese sardines in the Pacific waters off central Japan. *Journal of Fish Biology*. 52. 519-533.
- Whitehead, P. (1985). Clupeoid fishes of the World (suborder Clupeoidei). *FAO Fisheries Synopsis*. 125. 1-303.

Wisner, R. (1960). Evidence of northward movement of stocks of Pacific sardine based on the number of vertebrae. California Cooperative Oceanic Fisheries Investigations Report. 8. 75-82.

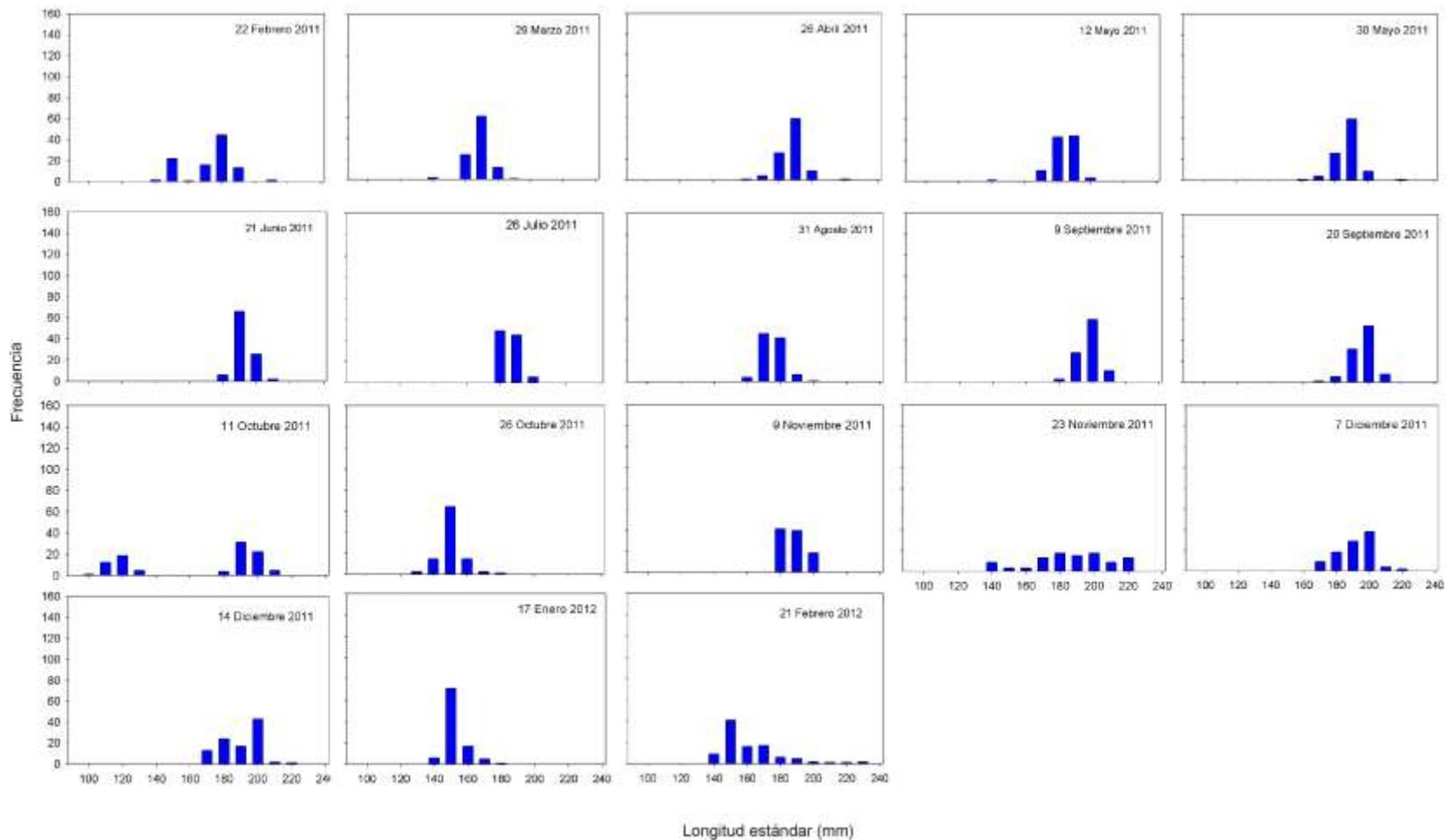
Yaremko, M. (1996). Age determination in Pacific sardine, *Sardinops sagax*. NOAA Technical Memorandum NMFS 223. 22.

Zar, J. 1999. Biostatistical analysis. Prentice Hall, 4ta ed. Upper Saddle River, NJ. 663.

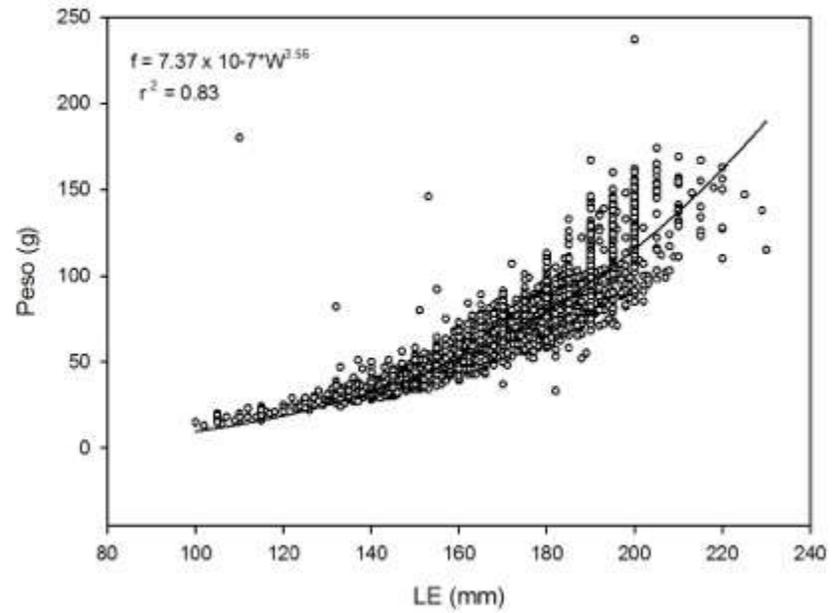
ANEXO



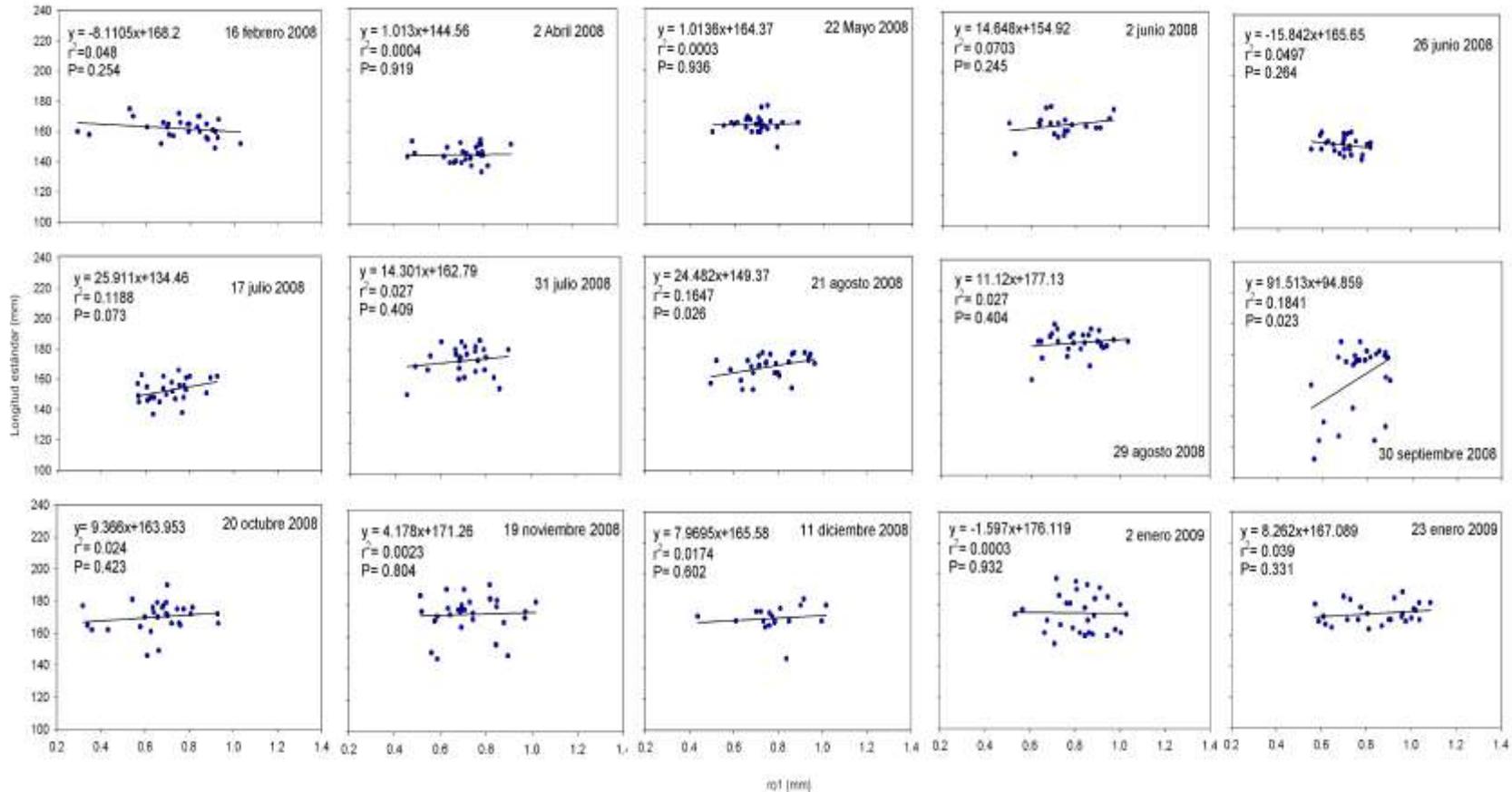
A. Frecuencia de talla de las sardinias (*Sardinops sagax*) medidas a partir de los muestreos de desembarques pesqueros en el Puerto El Sauzal, Baja California, México (febrero 2008-enero 2009).



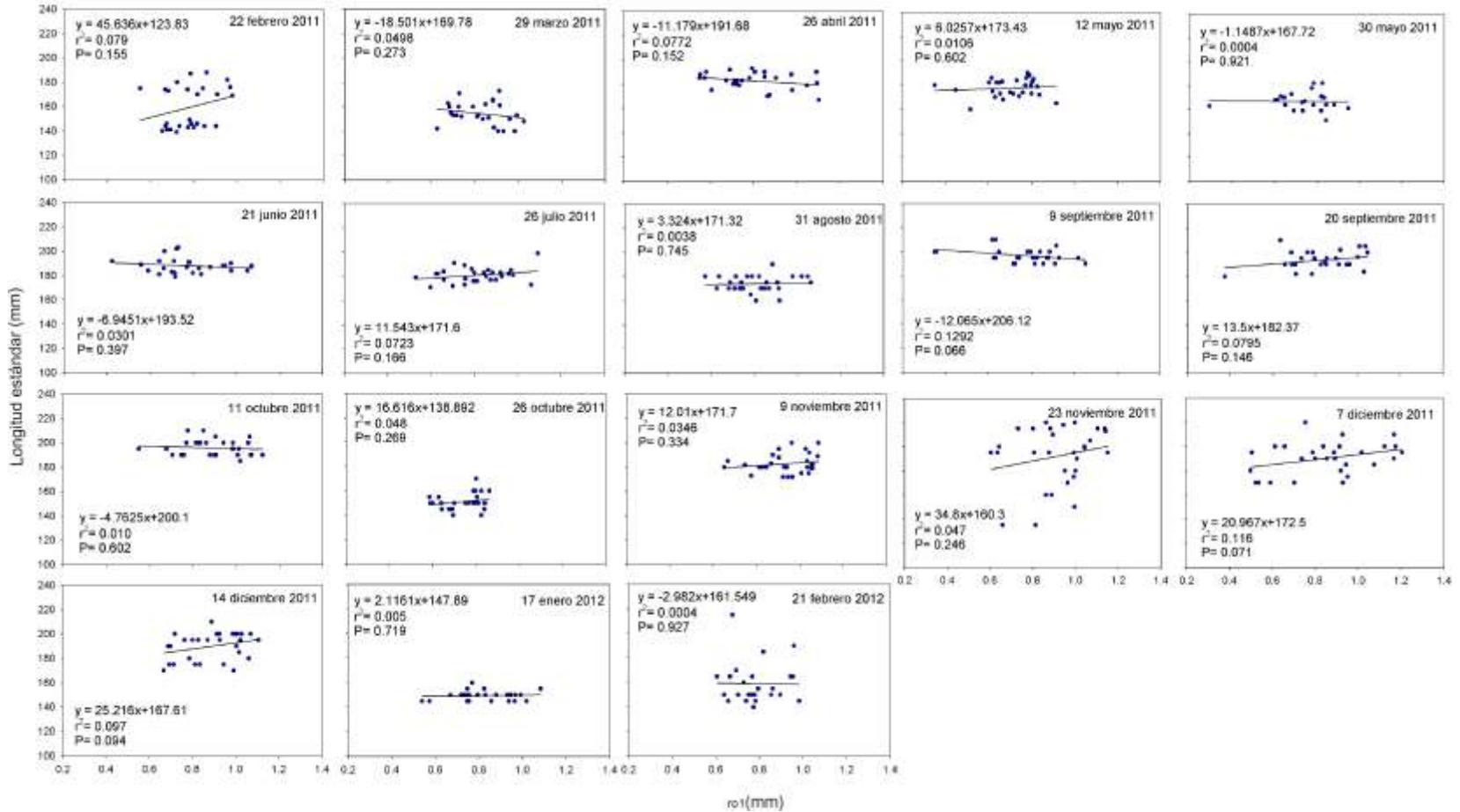
B. Frecuencia de talla de las sardinias (*Sardinops sagax*) medidas a partir de los muestreos de desembarques pesqueros en el Puerto El Sauzal, Baja California, México (febrero 2011-febrero 2012).



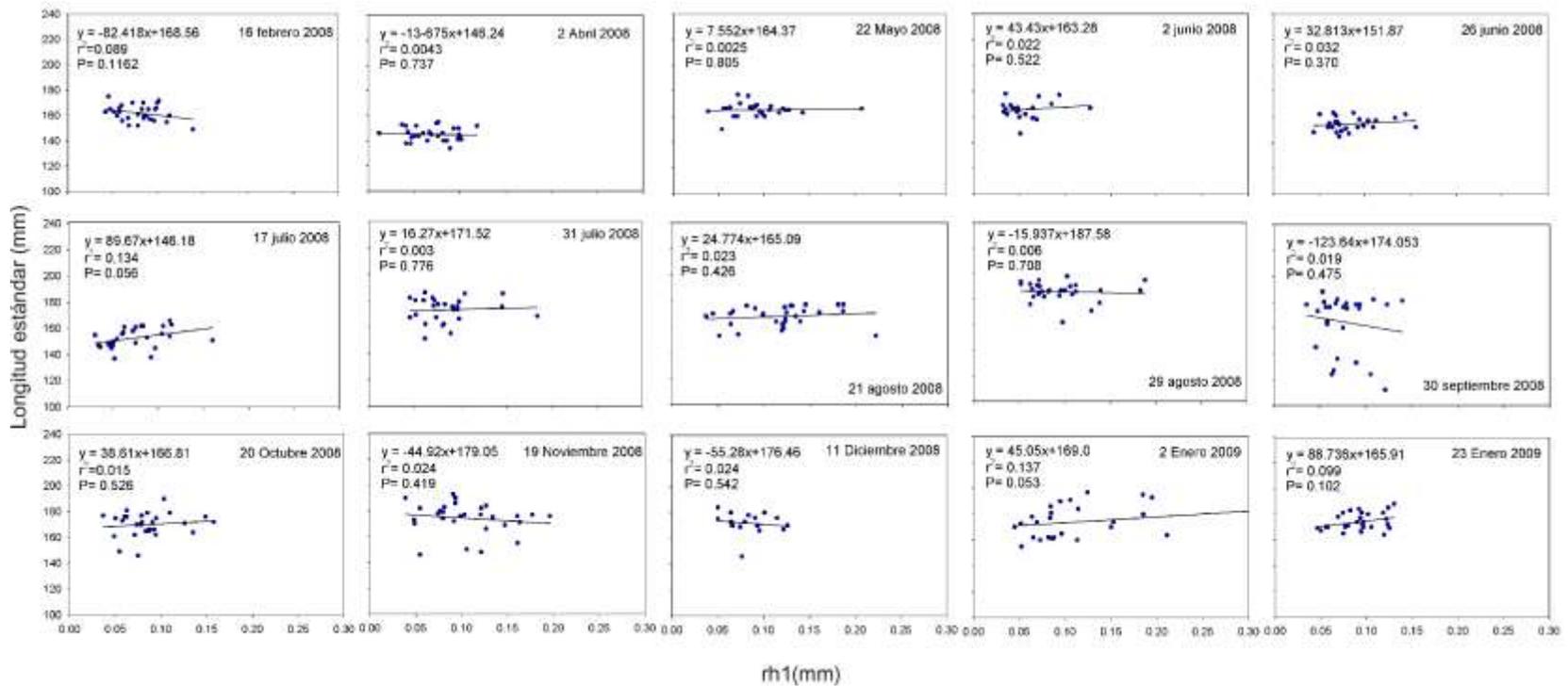
C. Longitud estándar vs. peso de todas las sardinias (*Sardinops sagax*) recolectadas en el Puerto de El Sauzal, Baja California, México de febrero 2008 a febrero del 2009 y de febrero 2011 a febrero 2012.



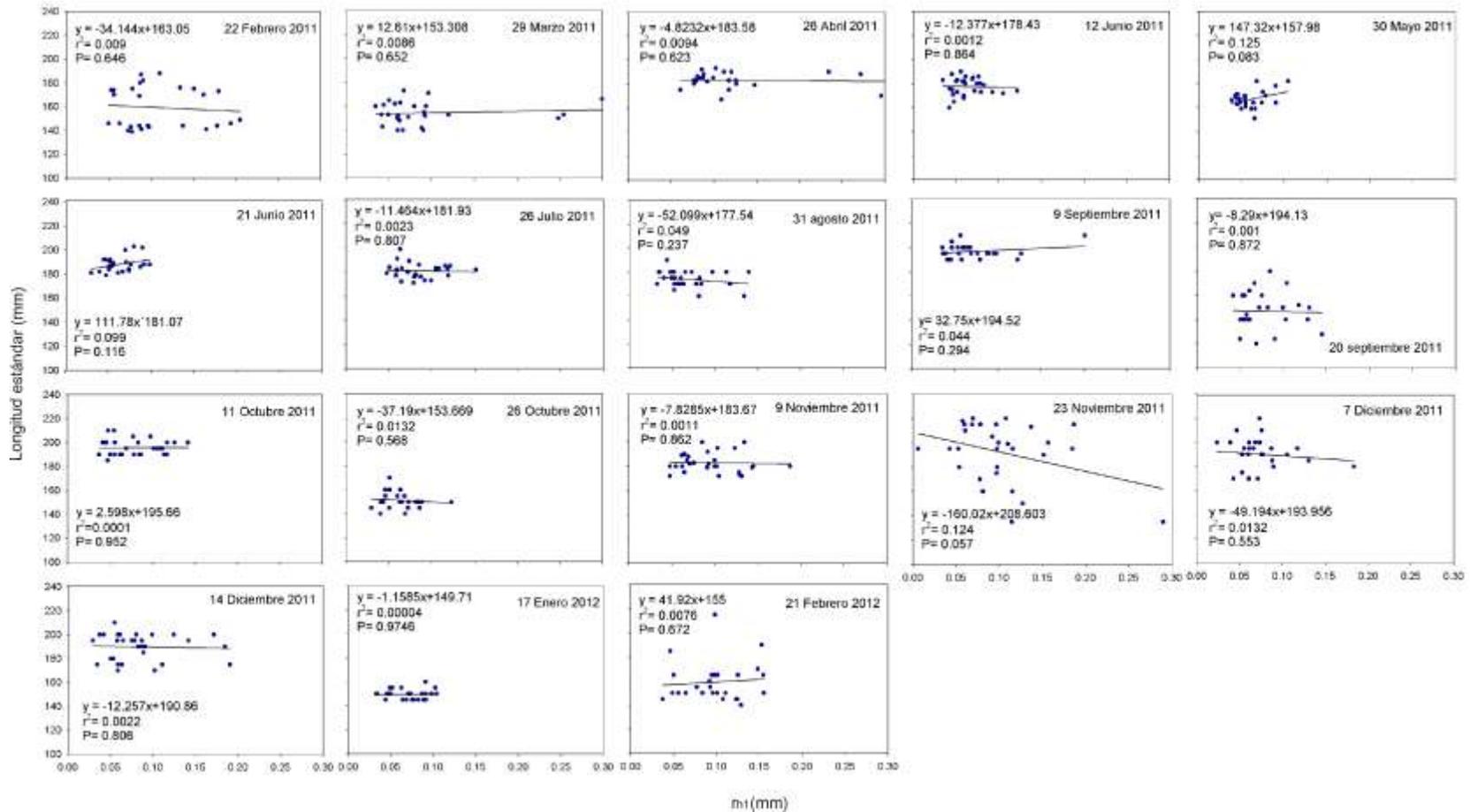
D. Ancho de la primer banda opaca (r_{01}) de los otolitos vs. la longitud estándar de sardinas (*Sardinops sagax*) recolectadas a partir de desembarques de la flota sardinera en el Puerto de El Sauzal, Baja California, México entre febrero del 2008 y enero del 2009.



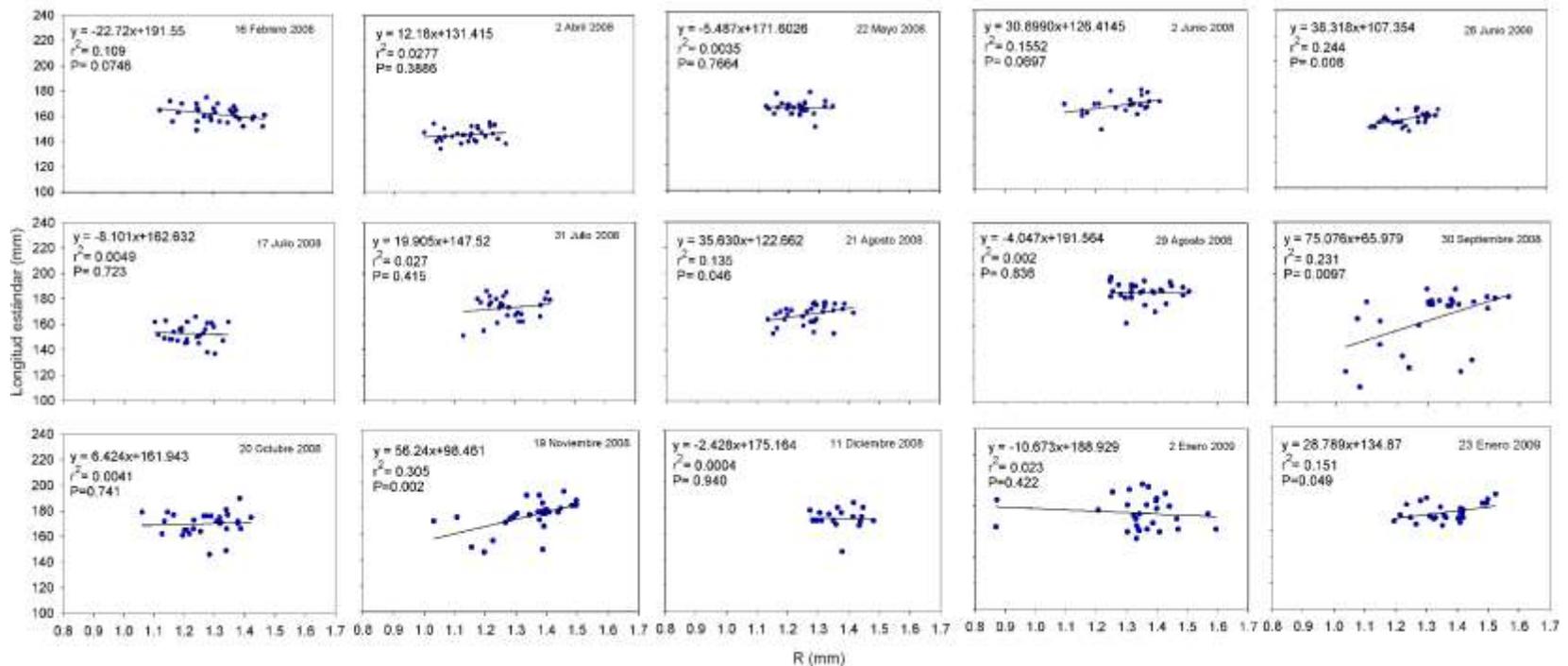
E. Ancho de la primera banda opaca (r_{01}) de los otolitos vs. La longitud estándar de sardinas (*Sardinops sagax*) recolectadas a partir de desembarques en la flotas sardinera en el Puerto de El Sauzal, Baja California, México entre febrero del 2011 y febrero del 2012.



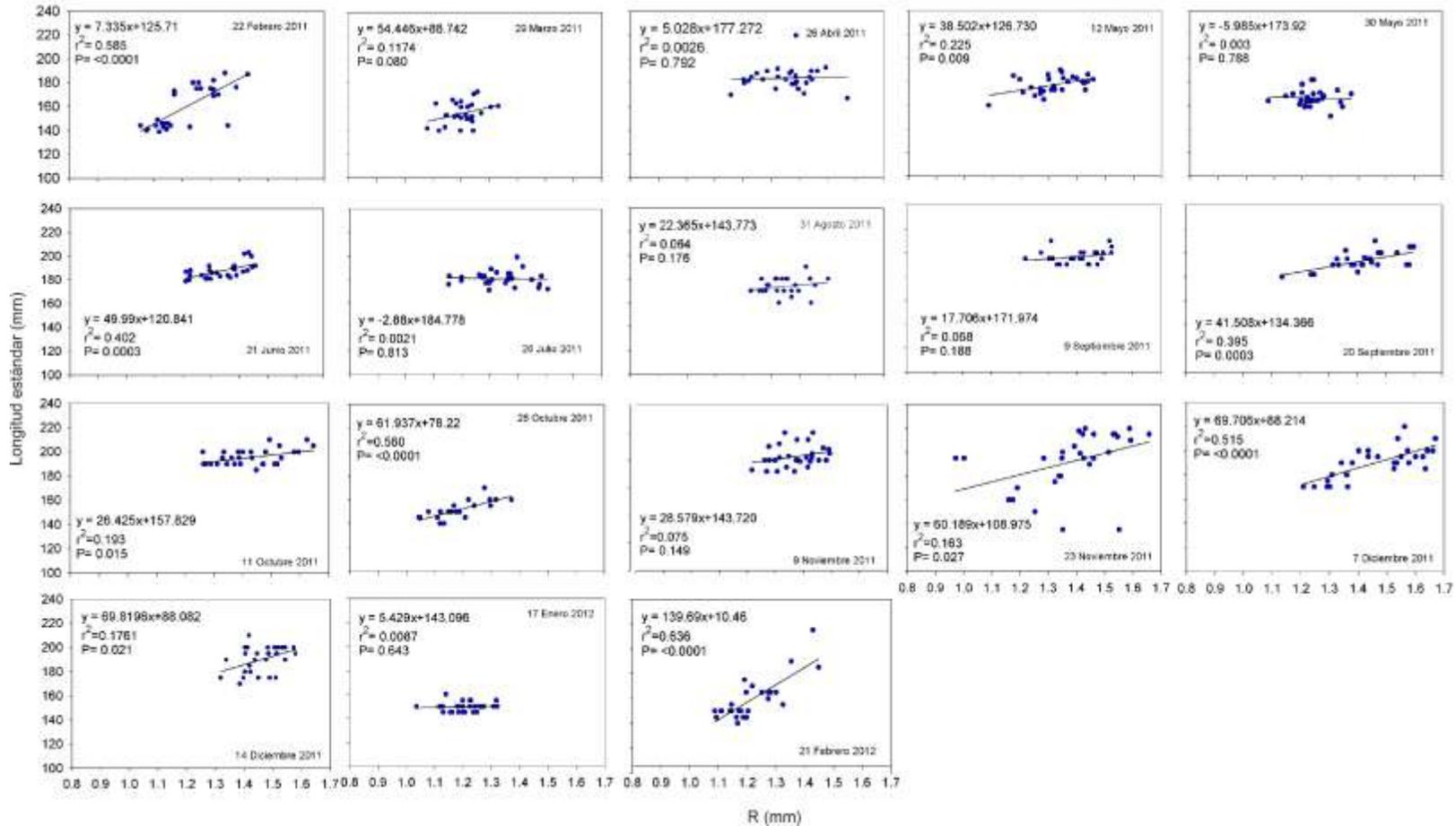
F. Ancho de la primer banda hialina (r_{h1}) de los otolitos vs. la longitud estándar de las sardineras (*Sardinops sagax*) recolectadas a partir de desembarques de la flota sardinera en el Puerto de El Sauzal, Baja California, México entre febrero del 2008 y febrero del 2009.



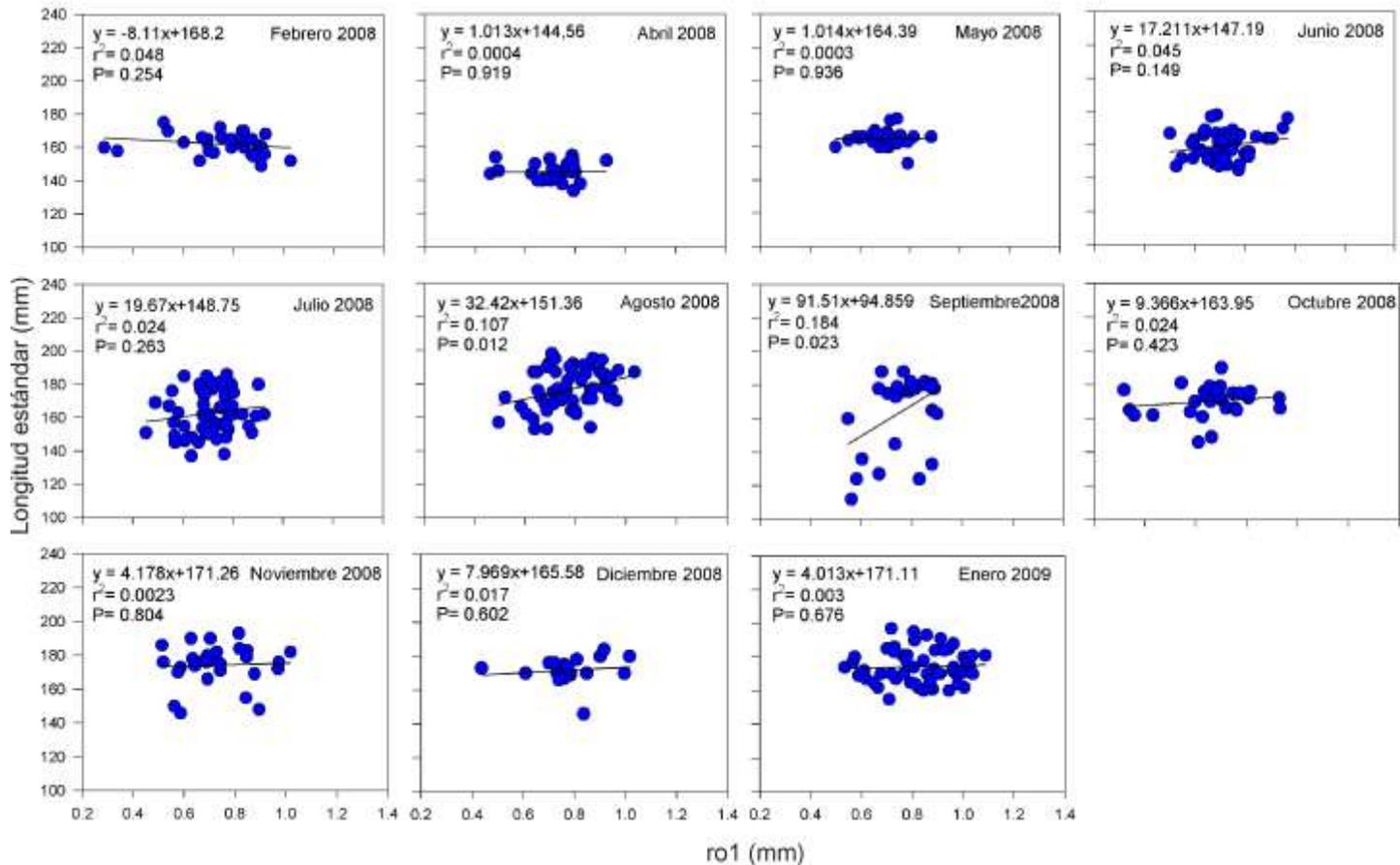
G. Ancho de la primer banda hialina (r_{h1}) de los otolitos vs. la longitud estándar de las sardinas (*Sardinops sagax*) recolectadas a partir de desembarques de la flota sardinera en el Puerto de El Sauzal, Baja California, México entre febrero del 2011 y febrero del 2012.



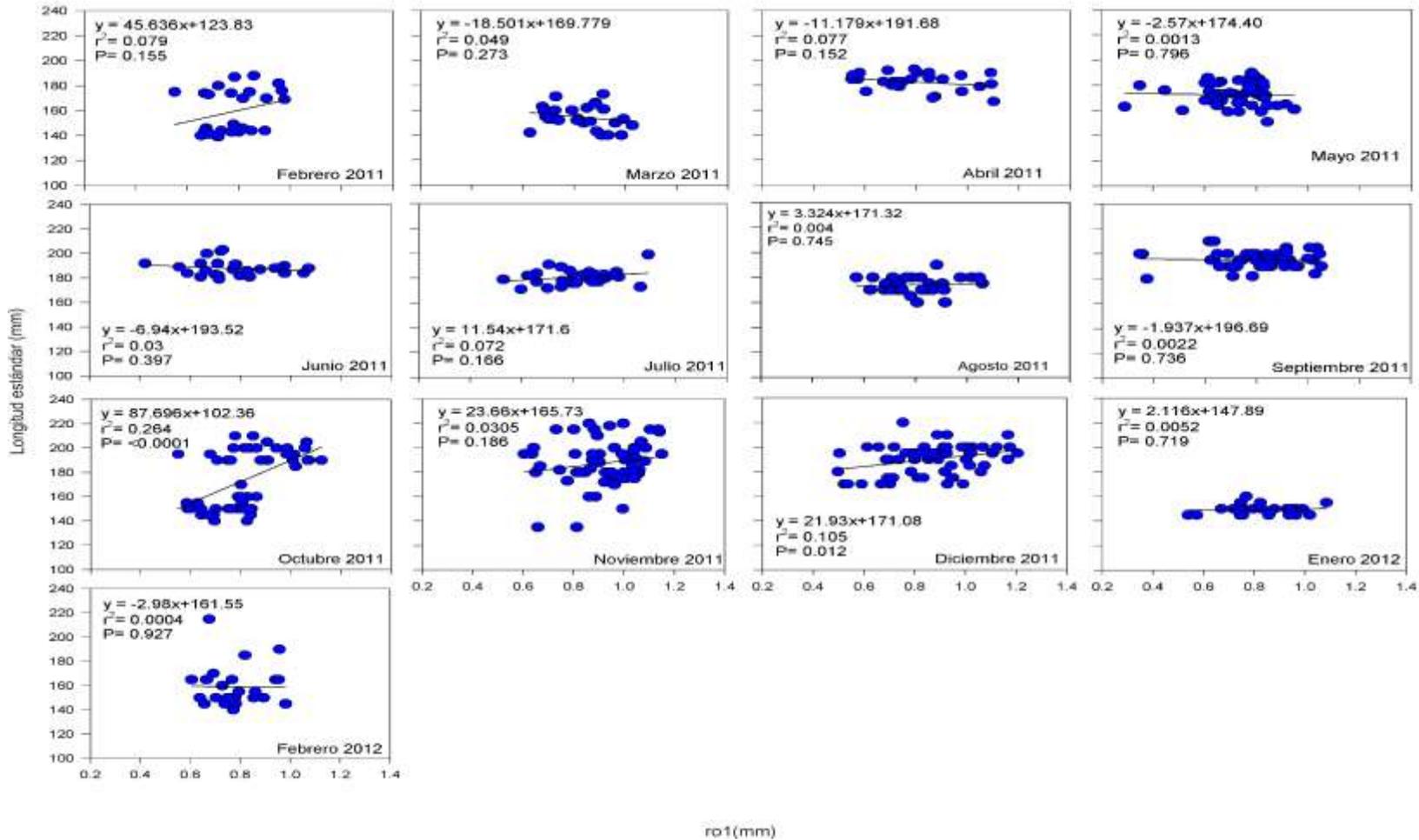
H. Radio total (R) con respecto a la longitud estándar de sardinas (*Sardinops sagax*) recolectadas a partir de desembarques de la flota sardinera en el Puerto de El Sauzal, México entre febrero del 2008 y febrero del 2009.



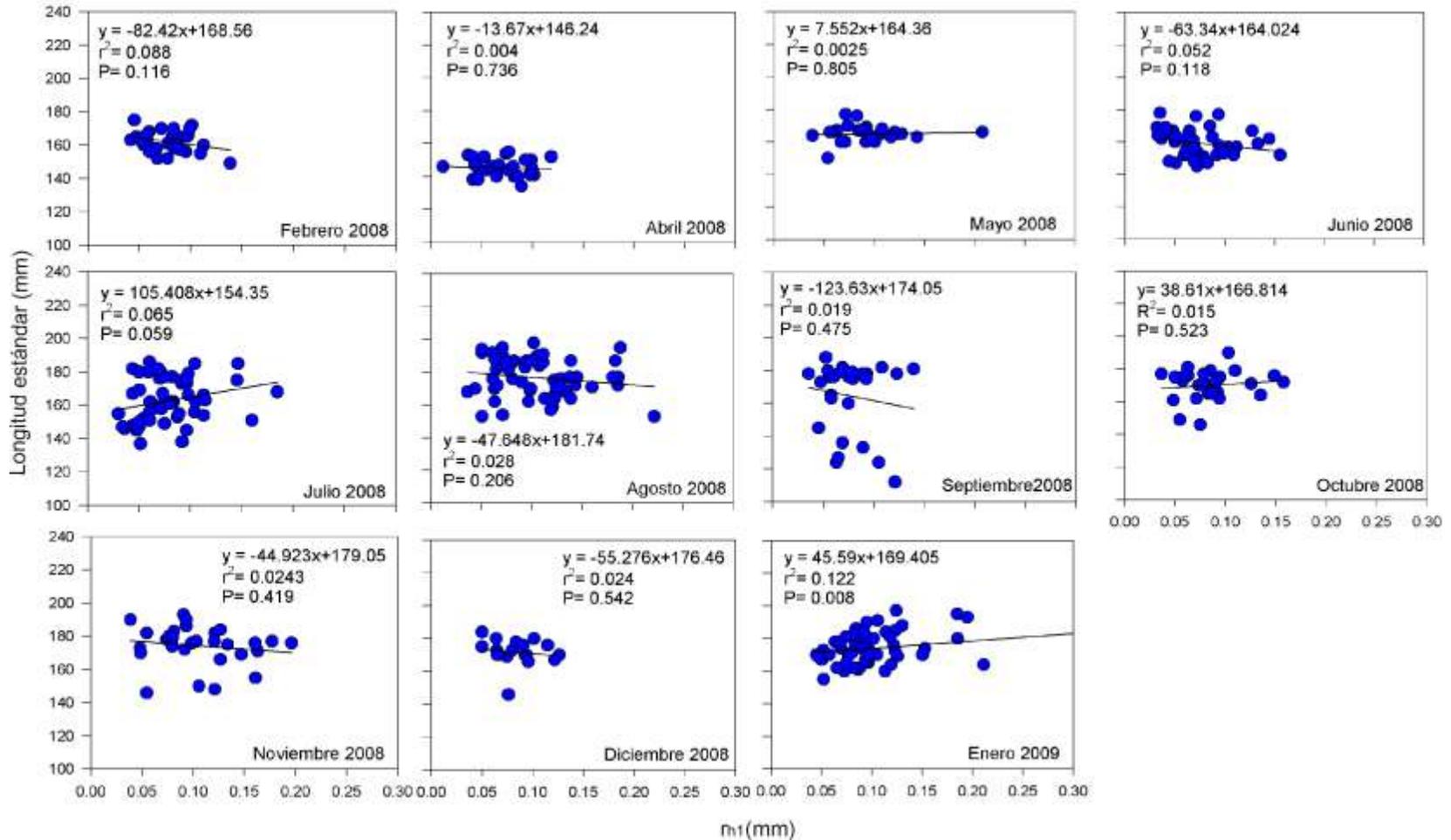
I. Radio total (R) con respecto a la longitud estándar de las sardinias (*Sardinops sagax*) recolectadas a partir de desembarques de la flota sardinera en el Puerto de El Sauzal, Baja California, México entre febrero del 2011 y febrero del 2012.



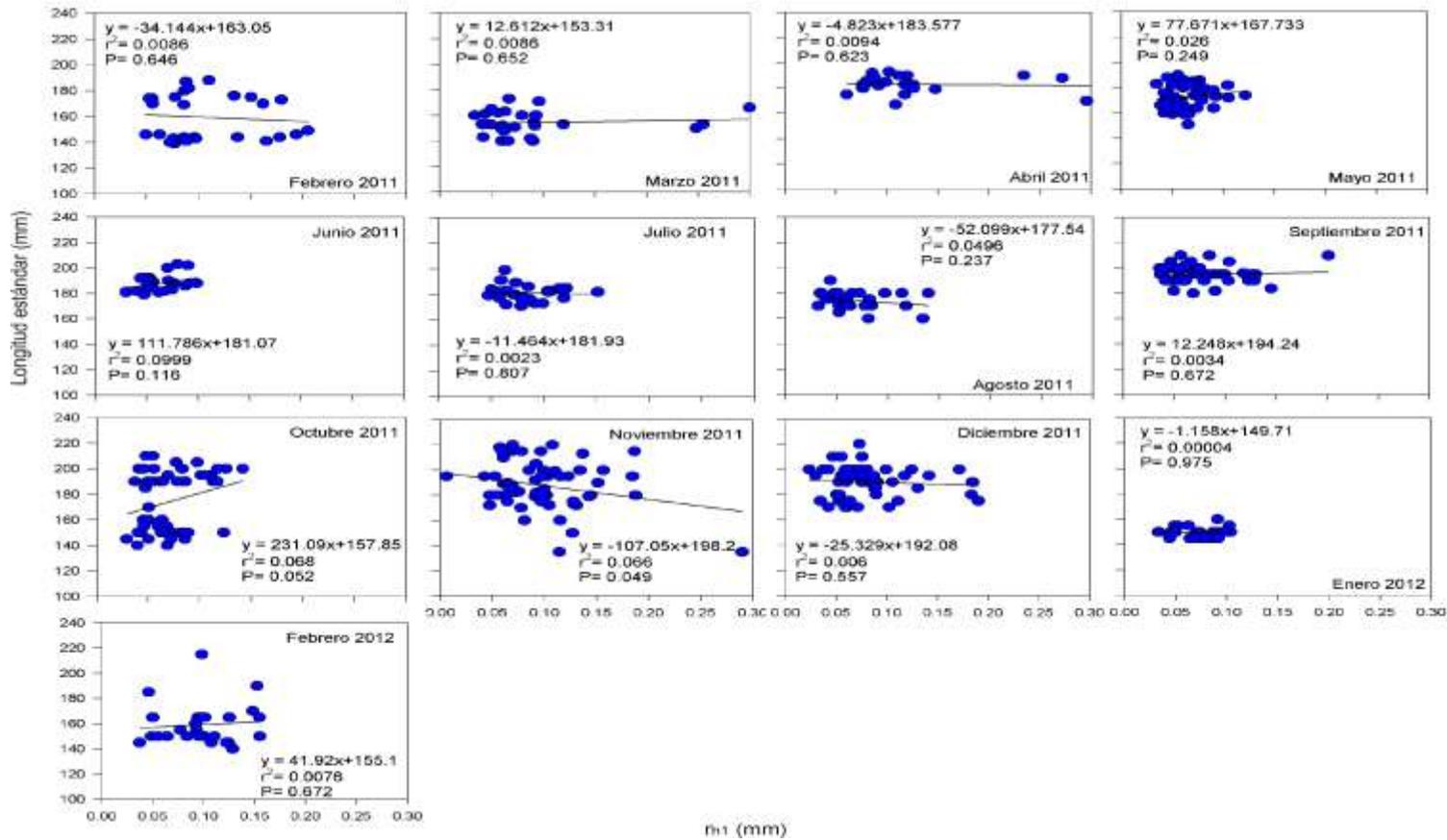
J. Ancho de la primer banda opaca (r_{o1}) vs. la longitud estándar de sardinas (*Sardinops sagax*) recolectadas en el Puerto de El Sauzal, Baja California, México entre febrero del 2008 y febrero del 2009.



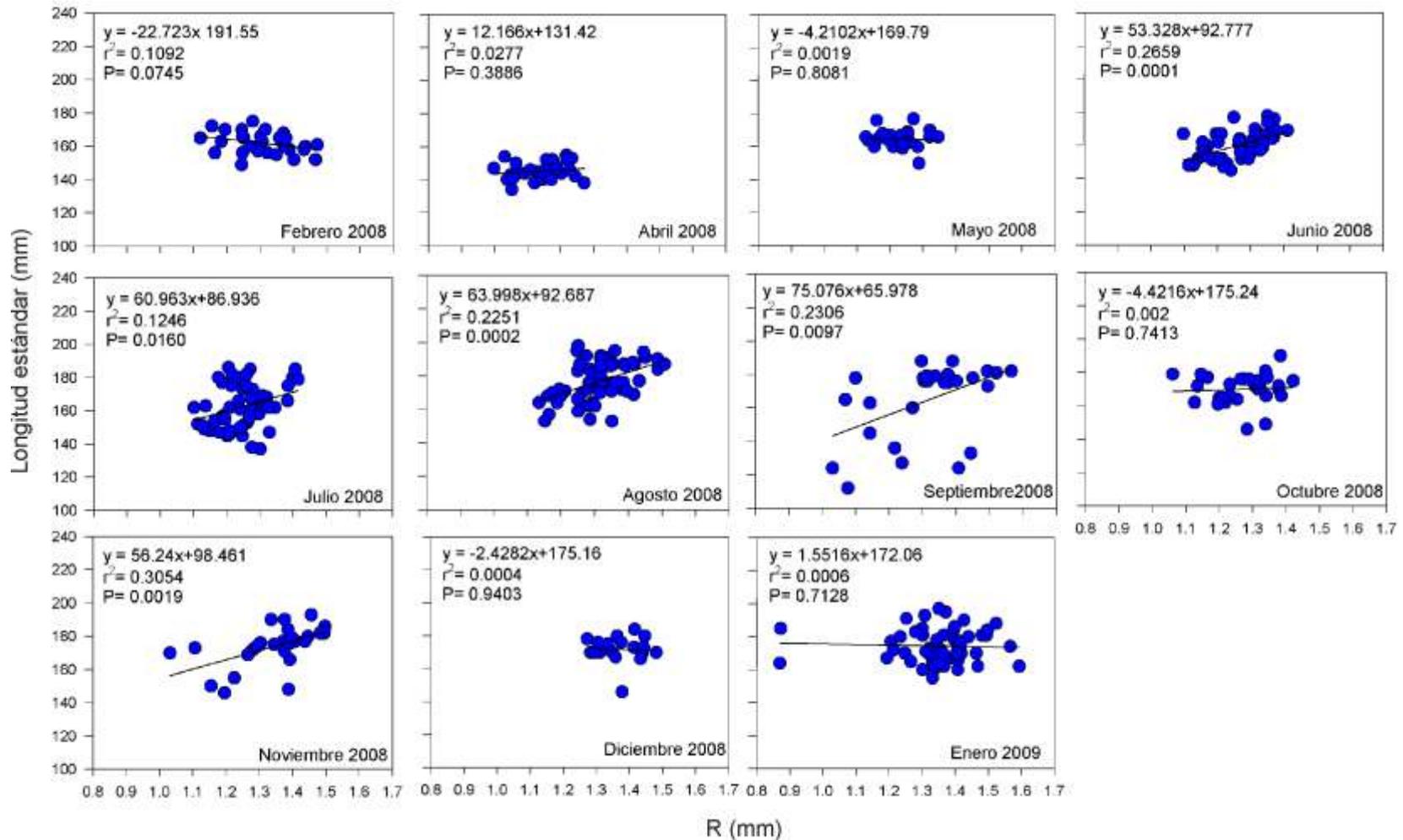
K. Ancho de la p22rimer banda opaca (r_{01}) vs. la longitud estándar de las sardinas (*Sardinops sagax*) recolectadas en el Puerto de El Sauzal, Baja California, México entre febrero del 2011 y febrero del 2012.



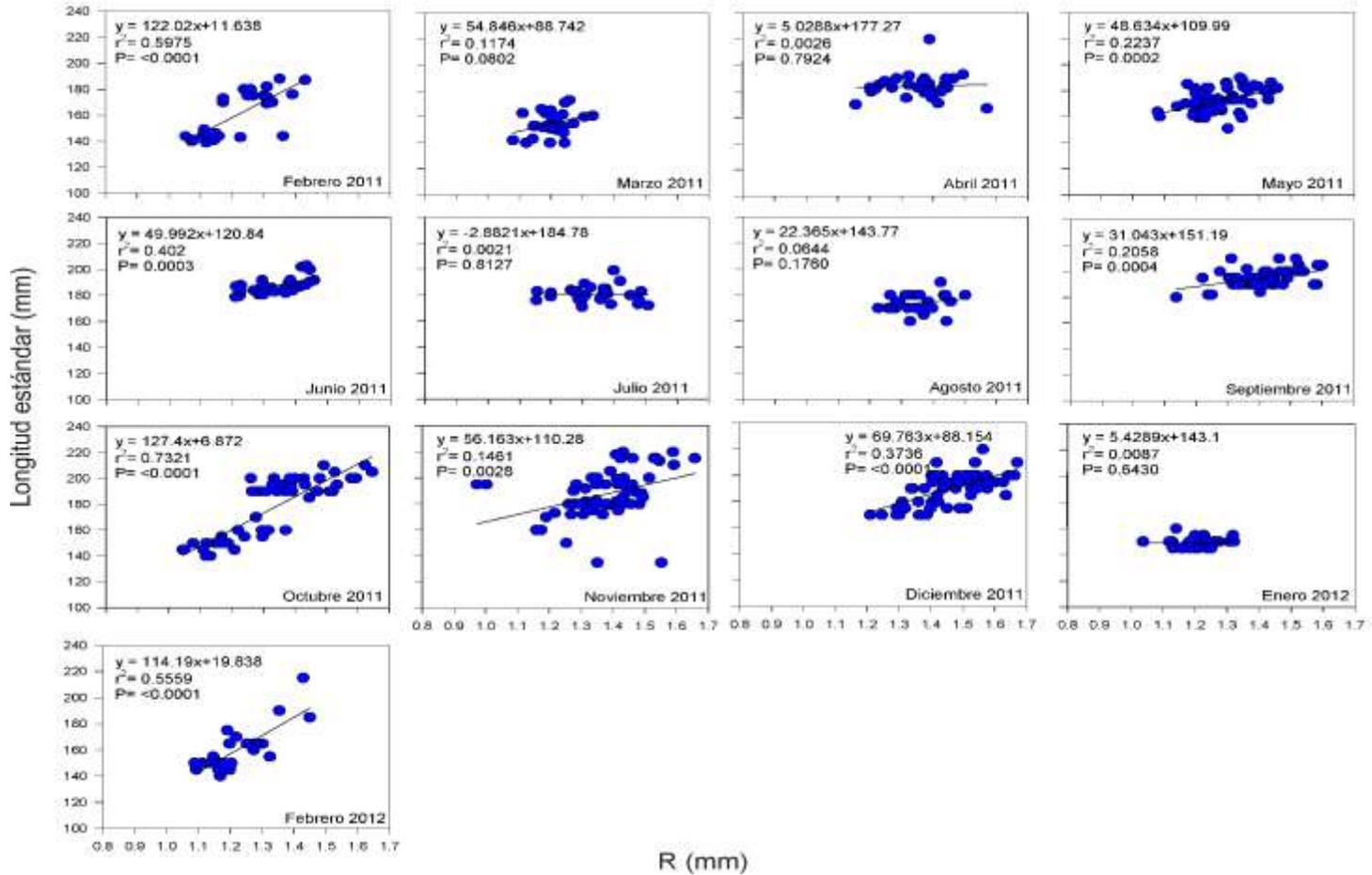
L. Ancho de la primer banda hialina (r_{h1}) vs. la longitud estándar de las sardinas (*Sardinops sagax*) recolectadas en el Puerto de El Sauzal, Baja California, México entre febrero del 2008 y febrero del 2009.



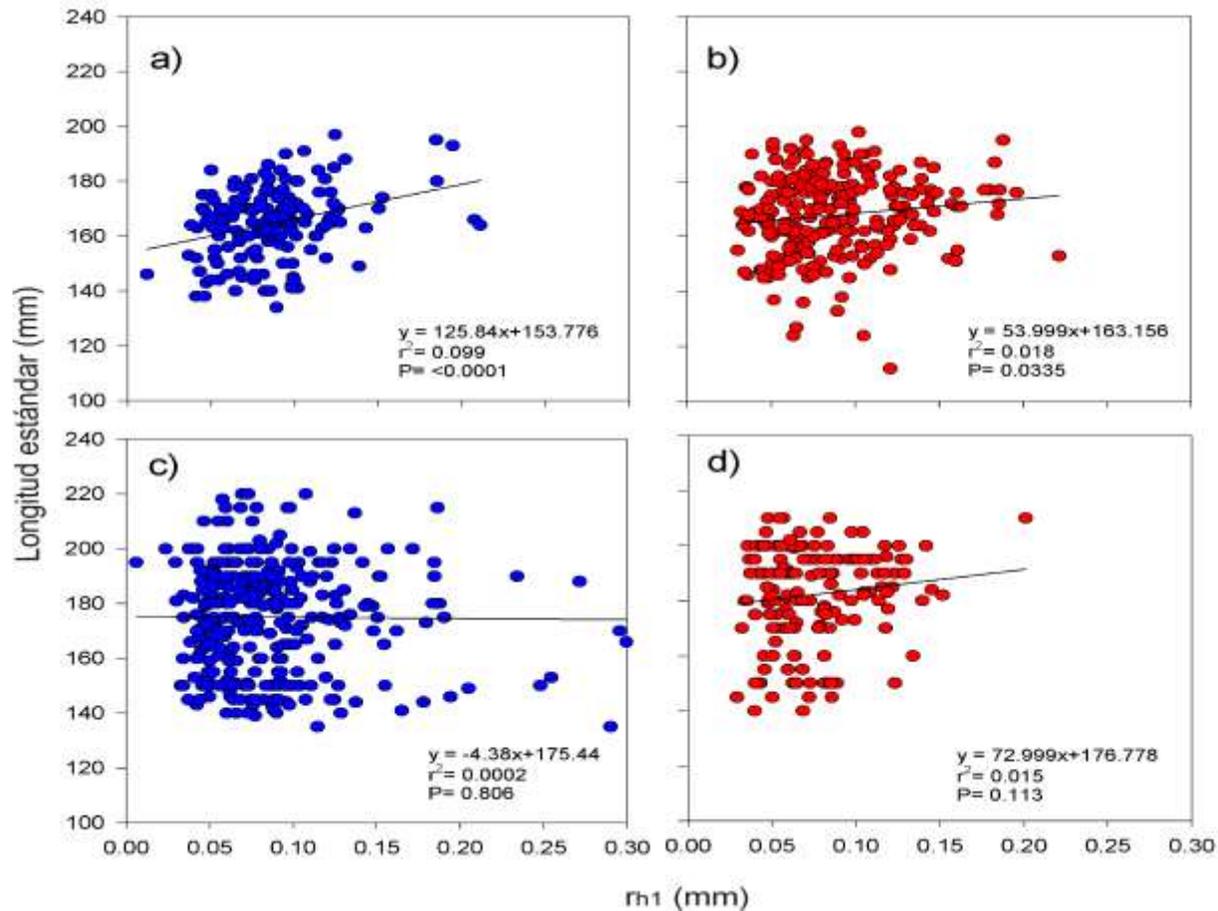
M. Ancho de primer banda hialina (r_{h1}) vs. Longitud estándar de las sardinias (*Sardinops sagax*) recolectadas en el Puerto de El Sauzal, Baja California, México entre febrero 2011 y febrero 2012.



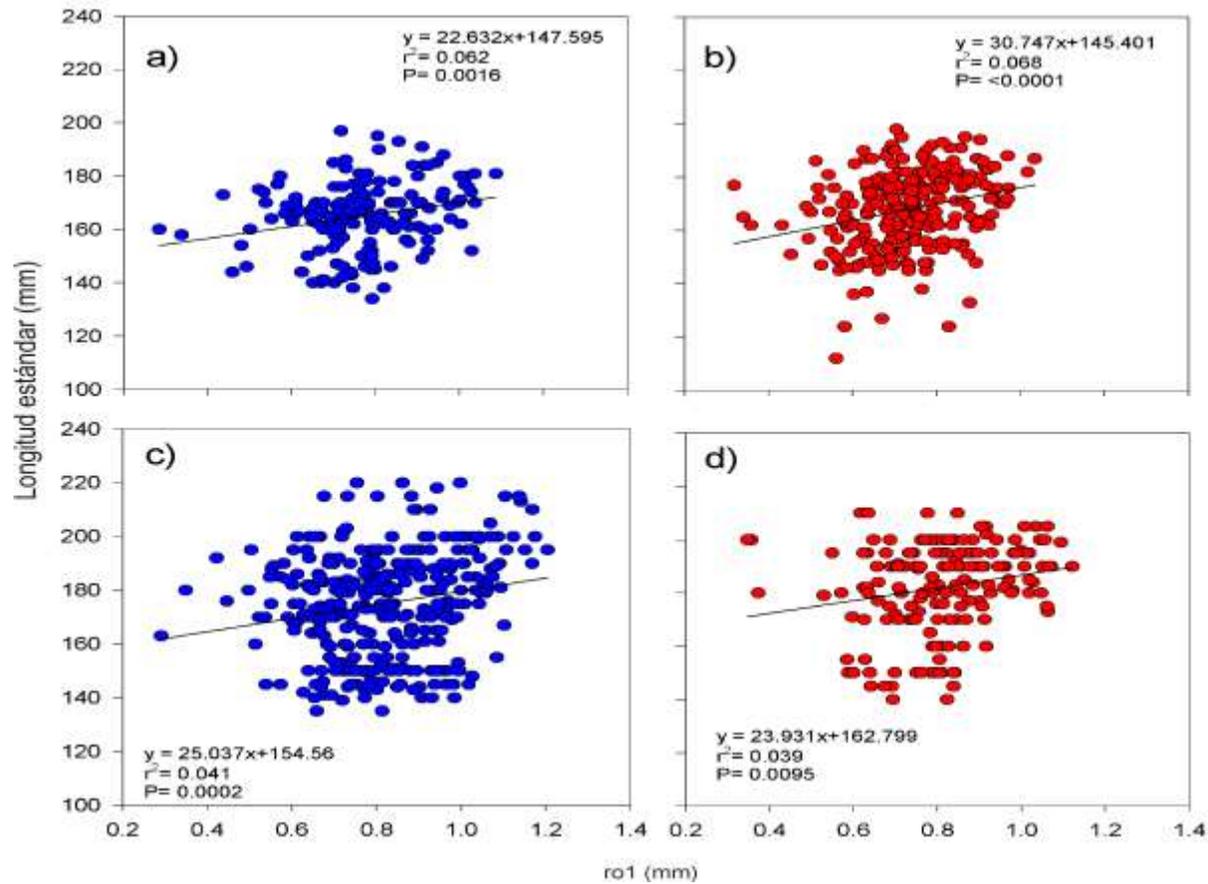
N. Radio total (R) de los otolitos vs. la longitud estándar de sardinas (*Sardinops sagax*) recolectadas en el Puerto de El Sauzal, México entre febrero del 2008 y febrero del 2009.



O. Radio total (R) de los otolitos vs. la longitud estándar de las sardinias (*Sardinops sagax*) recolectadas en el Puerto de El Sauzal, Baja California, México entre febrero del 2011 y febrero del 2012.



P. Ancho de la primer banda hialina (r_{h1}) vs. la longitud estándar de sardinas (*Sardinops sagax*) recolectadas en el Puerto de El Sauzal, Baja California, México de febrero 2008 a febrero del 2009 (a y b) y de febrero 2011 a febrero 2012 (c y d). Los datos se separaron considerando la temperatura superficial del mar en la región $<17^{\circ}\text{C}$ en azul (a y c) y $>17^{\circ}\text{C}$ en rojo (b y d).



Q. Radio total (R) de los otolitos vs. la longitud estándar de sardinas (*Sardinops sagax*) recolectadas en el Puerto de El Sauzal, Baja California, México de febrero 2008 a febrero del 2009 (a y b) y de febrero 2011 a febrero 2012 (c y d). Los datos se separaron considerando la temperatura superficial del mar en la región: <17°C en azul (a y c) y >17°C en rojo (b y d).

R. Resultados de las comparaciones pareadas no paramétricas (Kruskal Wallis) del ancho de la primera banda opaca de los otolitos de sardinas (*Sardinops sagax*) recolectadas de desembarques pesqueros del Puerto El Sauzal, Baja California, México (2008 y 2009).

Grupo(i)	Grupo(j)	Estadístico	Valor de p
16 de febrero	30 de septiembre	-1.095	1
16 de febrero	30 de octubre	-3.75	0.335
16 de febrero	19 de noviembre	-1.683	0.998
16 de febrero	11 de diciembre	-7.815	0
16 de febrero	2 de enero 2009	1.772	0.996
16 de febrero	23 de enero 2009	1.738	0.997
16 de febrero	2 de abril	-2.782	0.818
16 de febrero	22 de mayo	-4.673	0.065
16 de febrero	2 de junio	-7.075	0
16 de febrero	26 de junio	-4.858	0.043
16 de febrero	17 de julio	-3.499	0.459
16 de febrero	31 de julio	-4.024	0.223
16 de febrero	1 de agosto	0.172	1
16 de febrero	28 de agosto	0.339	1
30 de septiembre	30 de octubre	-3.431	0.495
30 de septiembre	19 de noviembre	-1.117	1
30 de septiembre	11 de diciembre	-6.701	0
30 de septiembre	2 de enero 2009	2.932	0.753
30 de septiembre	23 de enero 2009	2.793	0.814
30 de septiembre	2 de abril	-1.93	0.99
30 de septiembre	22 de mayo	-4.346	0.127
30 de septiembre	2 de junio	-6.286	0.001
30 de septiembre	26 de junio	-4.5	0.094
30 de septiembre	17 de julio	-2.758	0.827
30 de septiembre	31 de julio	-3.298	0.566
30 de septiembre	1 de agosto	0.979	1
30 de septiembre	29 de agosto	1.842	0.994
30 de octubre	19 de noviembre	2.078	0.98
30 de octubre	11 de diciembre	-3.683	0.367
30 de octubre	2 de enero 2009	5.328	0.014
30 de octubre	23 de enero 2009	4.651	0.069
30 de octubre	2 de abril	2.441	0.925
30 de octubre	22 de mayo	0.255	1
30 de octubre	2 de junio	-3.016	0.713
30 de octubre	26 de junio	0.07	1

R (Continuación).

30 de octubre	31 de julio	0.777	1
30 de octubre	1 de agosto	4.503	0.093
30 de octubre	29 de agosto	4.571	0.081
19 de noviembre	11 de diciembre	-5.819	0.004
19 de noviembre	2 de enero 2009	3.206	0.616
19 de noviembre	23 de enero 2009	3.025	0.709
19 de noviembre	2 de abril	-0.319	1
19 de noviembre	22 de mayo	-2.099	0.979
19 de noviembre	2 de junio	-5.115	0.024
19 de noviembre	26 de junio	-2.18	0.97
19 de noviembre	17 de julio	-1.4	1
19 de noviembre	31 de julio	-1.925	0.99
19 de noviembre	1 de agosto	2.069	0.981
19 de noviembre	29 de agosto	2.461	0.921
11 de diciembre	2 de enero 2009	9.327	0
11 de diciembre	23 de enero 2009	9.04	0
11 de diciembre	2 de abril	5.354	0.013
11 de diciembre	22 de mayo	2.54	0.9
11 de diciembre	2 de junio	0.12	1
11 de diciembre	26 de junio	2.31	0.952
11 de diciembre	17 de julio	4.043	0.216
11 de diciembre	31 de julio	3.408	0.507
11 de diciembre	1 de agosto	7.831	0
11 de diciembre	29 de agosto	8.101	0
2 de enero	23 de enero 2009	0.521	1
2 de enero	2 de abril	-4.65	0.069
2 de enero	22 de mayo	-6.441	0.001
2 de enero	2 de junio	-8.486	0
2 de enero	26 de junio	-6.536	0
2 de enero	17 de julio	-5.099	0.025
2 de enero	31 de julio	-5.822	0.004
2 de enero	1 de agosto	-1.849	0.994
2 de enero	29 de agosto	-1.425	1
23 de enero	2 de abril	-3.431	0.495
23 de enero	22 de mayo	-5.5	0.009

R (Continuación).

23 de enero	2 de junio	-8.257	0
23 de enero	26 de junio	-5.643	0.006
23 de enero	17 de julio	-4.612	0.075
23 de enero	31 de julio	-5.191	0.02
23 de enero	1 de agosto	-1.595	0.999
23 de enero	29 de agosto	-1.472	0.999
2 de abril	22 de mayo	-2.714	0.844
2 de abril	2 de junio	-5.171	0.021
2 de abril	26 de junio	-2.91	0.763
2 de abril	17 de julio	-1.659	0.998
2 de abril	31 de julio	-1.658	0.998
2 de abril	1 de agosto	2.895	0.77
2 de abril	29 de agosto	3.149	0.645
22 de mayo	2 de junio	-2.704	0.848
22 de mayo	26 de junio	-0.159	1
22 de mayo	17 de julio	1.036	1
22 de mayo	31 de julio	0.722	1
22 de mayo	1 de agosto	4.905	0.039
22 de mayo	29 de agosto	5.358	0.013
2 de junio	26 de junio	2.704	0.848
2 de junio	17 de julio	3.8	0.313
2 de junio	31 de julio	3.557	0.429
2 de junio	1 de agosto	7.322	0
2 de junio	29 de agosto	7.558	0
26 de junio	17 de julio	0.881	1
26 de junio	31 de julio	0.551	1
26 de junio	1 de agosto	5.063	0.027
26 de junio	29 de agosto	5.536	0.008
17 de julio	31 de julio	-0.214	1
17 de julio	1 de agosto	3.906	0.268
17 de julio	29 de agosto	4.357	0.124
31 de julio	1 de agosto	4.284	0.142
31 de julio	29 de agosto	4.774	0.052
1 de agosto	29 de agosto	0.396	1

S. Resultados de las comparaciones pareadas no paramétricas (Kruskal Wallis) del ancho de la primera banda hialina de los otolitos de sardinas (*Sardinops sagax*) de desembarques pesqueros del Puerto El Sauzal, Baja California, México (2008, 2009).

Grupo(i)	Grupo(j)	Estadístico	p-Valor
16 de febrero	30 de septiembre	-1.558	0.999
16 de febrero	30 de octubre	0.88	1
16 de febrero	19 de noviembre	3.552	0.432
16 de febrero	11 de diciembre	-7.321	0
16 de febrero	2 de enero 2009	2.63	0.873
16 de febrero	23 de enero 2009	2.179	0.97
16 de febrero	2 de abril	-1.518	0.999
16 de febrero	22 de mayo	1.125	1
16 de febrero	2 de junio	-10.523	0
16 de febrero	26 de junio	-0.684	1
16 de febrero	17 de julio	-2.066	0.981
16 de febrero	31 de julio	-0.939	1
16 de febrero	1 de agosto	5.586	0.007
16 de febrero	29 de agosto	1.592	0.999
30 de septiembre	30 de octubre	2.54	0.9
30 de septiembre	19 de noviembre	4.765	0.054
30 de septiembre	11 de diciembre	-5.619	0.006
30 de septiembre	2 de enero 2009	3.952	0.25
30 de septiembre	23 de enero 2009	3.604	0.405
30 de septiembre	2 de abril	-0.045	1
30 de septiembre	22 de mayo	2.393	0.936
30 de septiembre	2 de junio	-9.245	0
30 de septiembre	26 de junio	1.119	1
30 de septiembre	17 de julio	-0.962	1
30 de septiembre	31 de julio	0.762	1
30 de septiembre	1 de agosto	6.361	0.001
30 de septiembre	29 de agosto	3.164	0.638
30 de octubre	19 de noviembre	2.816	0.804
30 de octubre	11 de diciembre	-7.909	0
30 de octubre	2 de enero 2009	1.953	0.989
30 de octubre	23 de enero 2009	1.332	1
30 de octubre	2 de abril	-2.178	0.97
30 de octubre	22 de mayo	0.162	1
30 de octubre	2 de junio	-11.024	0
30 de octubre	26 de junio	-1.798	0.995

S (Continuación).

30 de octubre	17 de julio	-2.868	0.782
30 de octubre	31 de julio	-1.763	0.996
30 de octubre	1 de agosto	4.6	0.076
30 de octubre	29 de agosto	0.689	1
19 de noviembre	11 de diciembre	-10.727	0
19 de noviembre	2 de enero 2009	-0.463	1
19 de noviembre	23 de enero 2009	-2.134	0.975
19 de noviembre	2 de abril	-4.631	0.072
19 de noviembre	22 de mayo	-2.945	0.747
19 de noviembre	2 de junio	-11.761	0
19 de noviembre	26 de junio	-4.453	0.103
19 de noviembre	17 de julio	-4.979	0.033
19 de noviembre	31 de julio	-4.325	0.132
19 de noviembre	1 de agosto	1.952	0.989
19 de noviembre	29 de agosto	-2.088	0.98
11 de diciembre	2 de enero 2009	9.741	0
11 de diciembre	23 de enero 2009	9.313	0
11 de diciembre	2 de abril	6.114	0.001
11 de diciembre	22 de mayo	8.044	0
11 de diciembre	2 de junio	-2.571	0.891
11 de diciembre	26 de junio	6.456	0
11 de diciembre	17 de julio	5.19	0.02
11 de diciembre	31 de julio	6.227	0.001
11 de diciembre	1 de agosto	12.575	0
11 de diciembre	29 de agosto	8.676	0
2 de enero	23 de enero 2009	-1.031	1
2 de enero	2 de abril	-3.623	0.396
2 de enero	22 de mayo	-1.798	0.995
2 de enero	2 de junio	-11.273	0
2 de enero	26 de junio	-3.656	0.38
2 de enero	17 de julio	-4.276	0.144
2 de enero	31 de julio	-3.643	0.386
2 de enero	1 de agosto	2.19	0.969
2 de enero	29 de agosto	-1.657	0.998
23 de enero	2 de abril	-3.296	0.567
23 de enero	22 de mayo	-1.036	1

S (Continuación).

23 de enero	2 de junio	-11.173	0
23 de enero	26 de junio	-2.941	0.749
23 de enero	17 de julio	-3.72	0.349
23 de enero	31 de julio	-2.87	0.781
23 de enero	1 de agosto	4.655	0.068
23 de enero	29 de agosto	-0.185	1
2 de abril	22 de mayo	2.134	0.975
2 de abril	2 de junio	-9.022	0
2 de abril	26 de junio	0.684	1
2 de abril	17 de julio	-0.666	1
2 de abril	31 de julio	0.29	1
2 de abril	1 de agosto	6.348	0.001
2 de abril	29 de agosto	2.901	0.767
22 de mayo	2 de junio	-10.141	0
22 de mayo	26 de junio	-1.664	0.998
22 de mayo	17 de julio	-2.726	0.839
22 de mayo	31 de julio	-1.884	0.992
22 de mayo	1 de agosto	5.176	0.02
22 de mayo	29 de agosto	0.631	1
2 de junio	26 de junio	9.733	0
2 de junio	17 de julio	8.073	0
2 de junio	31 de julio	9.349	0
2 de junio	1 de agosto	12.804	0
2 de junio	29 de agosto	11.146	0
26 de junio	17 de julio	-1.274	1
26 de junio	31 de julio	-0.086	1
26 de junio	1 de agosto	5.923	0.003
26 de junio	29 de agosto	2.358	0.943
17 de julio	31 de julio	0.965	1
17 de julio	1 de agosto	6.757	0
17 de julio	29 de agosto	3.326	0.551
31 de julio	1 de agosto	6.058	0.002
31 de julio	29 de agosto	2.655	0.865
1 de agosto	29 de agosto	-4.193	0.167

T. Resultados de las comparaciones pareadas no paramétricas (Kruskal Wallis) del ancho de la primera banda opaca de los otolitos de sardinas (*Sardinops sagax*) recolectadas de desembarques pesqueros del Puerto El Sauzal, Baja California, México (2011 y 2012).

Grupo(i)	Grupo(j)	Estadístico	p-Valor
22 de febrero	10	6.422	0.001
22 de febrero	11	8.066	0
22 de febrero	12	6.344	0.001
22 de febrero	13	8.043	0
22 de febrero	14	10.242	0
22 de febrero	15	7.762	0
22 de febrero	16	8.84	0
22 de febrero	17	6.789	0
22 de febrero	18	4.607	0.101
22 de febrero	2	4.95	0.048
22 de febrero	3	6.29	0.001
22 de febrero	4	5.292	0.021
22 de febrero	5	2.687	0.912
22 de febrero	6	3.919	0.331
22 de febrero	7	6.206	0.002
22 de febrero	8	8.246	0
22 de febrero	9	5.28	0.022
20 de septiembre	11	2.562	0.941
20 de septiembre	12	0.583	1
20 de septiembre	13	2.494	0.954
20 de septiembre	14	6.338	0.001
20 de septiembre	15	1.953	0.996
20 de septiembre	16	3.433	0.587
20 de septiembre	17	1.833	0.998
20 de septiembre	18	-2.13	0.99
20 de septiembre	2	-1.665	0.999
20 de septiembre	3	-0.278	1
20 de septiembre	4	-1.402	1
20 de septiembre	5	-5.052	0.038
20 de septiembre	6	-3.599	0.495
20 de septiembre	7	-0.046	1
20 de septiembre	8	1.871	0.998
20 de septiembre	9	-1.381	1
11 de octubre	12	-1.809	0.999
11 de octubre	13	0.088	1

T (Continuación).

11 de octubre	14	4.353	0.165
11 de octubre	15	0.055	1
11 de octubre	16	1.019	1
11 de octubre	17	-0.417	1
11 de octubre	18	-4.935	0.05
11 de octubre	2	-4.148	0.234
11 de octubre	3	-3.014	0.798
11 de octubre	4	-3.759	0.41
11 de octubre	5	-7.201	0
11 de octubre	6	-6.152	0.002
11 de octubre	7	-2.337	0.975
11 de octubre	8	-0.643	1
11 de octubre	9	-3.884	0.348
26 de octubre	13	1.762	0.999
26 de octubre	14	5.673	0.008
26 de octubre	15	1.96	0.996
26 de octubre	16	2.904	0.843
26 de octubre	17	1.174	1
26 de octubre	18	-2.856	0.86
26 de octubre	2	-2.013	0.995
26 de octubre	3	-0.821	1
26 de octubre	4	-1.738	0.999
26 de octubre	5	-5.245	0.024
26 de octubre	6	-3.875	0.352
26 de octubre	7	-0.262	1
26 de octubre	8	1.187	1
26 de octubre	9	-1.896	0.997
9 de noviembre	14	4.139	0.238
9 de noviembre	15	0.044	1
9 de noviembre	16	1.094	1
9 de noviembre	17	-0.719	1
9 de noviembre	18	-4.935	0.05
9 de noviembre	2	-4.041	0.277
9 de noviembre	3	-2.686	0.913
9 de noviembre	4	-3.612	0.488
9 de noviembre	5	-7.385	0

T (Continuación).

9 de noviembre	6	-5.829	0.005
9 de noviembre	7	-2.257	0.982
9 de noviembre	8	-0.729	1
9 de noviembre	9	-3.849	0.365
23 de noviembre	15	-3.806	0.386
23 de noviembre	16	-2.885	0.85
23 de noviembre	17	-4.509	0.123
23 de noviembre	18	-8.643	0
23 de noviembre	2	-8.271	0
23 de noviembre	3	-6.888	0
23 de noviembre	4	-6.756	0
23 de noviembre	5	-10.578	0
23 de noviembre	6	-9.573	0
23 de noviembre	7	-6.008	0.003
23 de noviembre	8	-5.07	0.036
23 de noviembre	9	-7.617	0
7 de diciembre	16	0.965	1
7 de diciembre	17	-0.336	1
7 de diciembre	18	-4.125	0.243
7 de diciembre	2	-3.815	0.382
7 de diciembre	3	-2.325	0.976
7 de diciembre	4	-2.799	0.879
7 de diciembre	5	-6.759	0
7 de diciembre	6	-5.269	0.022
7 de diciembre	7	-1.817	0.998
7 de diciembre	8	-0.815	1
7 de diciembre	9	-3.467	0.568
14 de diciembre	17	-1.514	1
14 de diciembre	18	-5.391	0.016
14 de diciembre	2	-4.809	0.066
14 de diciembre	3	-3.708	0.437
14 de diciembre	4	-4.555	0.112
14 de diciembre	5	-7.996	0
14 de diciembre	6	-6.692	0
14 de diciembre	7	-3.158	0.732
14 de diciembre	8	-1.673	0.999

T (Continuación).

14 de diciembre	9	-4.656	0.091
7 de enero 2012	18	-4.014	0.289
7 de enero 2012	2	-3.472	0.565
7 de enero 2012	3	-2.381	0.97
7 de enero 2012	4	-2.738	0.898
7 de enero 2012	5	-6.151	0.002
7 de enero 2012	6	-5.083	0.035
7 de enero 2012	7	-1.667	0.999
7 de enero 2012	8	-0.429	1
7 de enero 2012	9	-3.12	0.75
21 de febrero 2012	2	0.466	1
21 de febrero 2012	3	1.298	1
21 de febrero 2012	4	-0.061	1
21 de febrero 2012	5	-2.585	0.936
21 de febrero 2012	6	-1.708	0.999
21 de febrero 2012	7	1.787	0.999
21 de febrero 2012	8	4.31	0.178
21 de febrero 2012	9	0.579	1
29 de marzo	3	1.187	1
29 de marzo	4	-0.245	1
29 de marzo	5	-3.544	0.526
29 de marzo	6	-1.967	0.996
29 de marzo	7	1.542	1
29 de marzo	8	3.264	0.677
29 de marzo	9	0.025	1
26 de abril	4	-1.286	1
26 de abril	5	-4.649	0.093
26 de abril	6	-3.281	0.669
26 de abril	7	0.22	1
26 de abril	8	2.421	0.965
26 de abril	9	-1.036	1
12 de mayo	5	-2.936	0.831
12 de mayo	6	-1.432	1
12 de mayo	7	1.448	1
12 de mayo	8	3.565	0.514
12 de mayo	9	0.345	1

T (Continuación).

30 de mayo	6	1.479	1
30 de mayo	7	4.737	0.077
30 de mayo	8	6.765	0
30 de mayo	9	3.445	0.58
21 de junio	7	3.195	0.713
21 de junio	8	5.669	0.008
21 de junio	9	2	0.995
26 de julio	8	1.716	0.999
26 de julio	9	-1.286	1
31 de agosto	9	-3.503	0.548

U. Resultados de las comparaciones pareadas no paramétricas (Kruskal Wallis) del ancho de la primera banda hialina de crecimiento de los otolitos de sardinas (*Sardinops sagax*) de desembarques pesqueros del Puerto El Sauzal, Baja California, México (2011 y 2012).

Grupo(i)	Grupo(j)	Estadístico	p-Valor
22 de febrero	20 de septiembre	3.933	0.325
22 de febrero	11 de octubre	4.671	0.089
22 de febrero	26 de octubre	3.314	0.651
22 de febrero	9 de noviembre	4.145	0.235
22 de febrero	23 de noviembre	6.649	0
22 de febrero	7 de diciembre	4.941	0.049
22 de febrero	14 de diciembre	5.144	0.03
22 de febrero	7 de enero 2012	2.968	0.818
22 de febrero	21 de febrero 2012	2.762	0.891
22 de febrero	29 de marzo	3.652	0.467
22 de febrero	26 de abril	5.051	0.038
22 de febrero	12 de mayo	4.931	0.05
22 de febrero	30 de mayo	0.721	1
22 de febrero	21 de junio	1.298	1
22 de febrero	26 de julio	3.368	0.622
22 de febrero	31 de agosto	5.201	0.026
22 de febrero	9 de septiembre	2.436	0.963
20 de septiembre	11 de octubre	0.158	1
20 de septiembre	26 de octubre	-1.238	1
20 de septiembre	9 de noviembre	-0.689	1
20 de septiembre	23 de noviembre	4.005	0.292
20 de septiembre	7 de diciembre	1.118	1
20 de septiembre	14 de diciembre	1.068	1
20 de septiembre	7 de enero 2012	-1.429	1
20 de septiembre	21 de febrero 2012	-2.204	0.986
20 de septiembre	29 de marzo	0.441	1
20 de septiembre	26 de abril	1.866	0.998
20 de septiembre	12 de mayo	1.472	1
20 de septiembre	30 de mayo	-5.141	0.031
20 de septiembre	21 de junio	-4.824	0.064
20 de septiembre	26 de julio	-1.356	1
20 de septiembre	31 de agosto	0.737	1
20 de septiembre	9 de septiembre	-3.346	0.634
11 de octubre	26 de octubre	-1.287	1
11 de octubre	9 de noviembre	-0.77	1

U (Continuación).

11 de octubre	23 de noviembre	3.538	0.529
11 de octubre	7 de diciembre	0.66	1
11 de octubre	14 de diciembre	0.772	1
11 de octubre	7 de enero 2012	-1.96	0.996
11 de octubre	21 de febrero 2012	-2.575	0.939
11 de octubre	29 de marzo	0.131	1
11 de octubre	26 de abril	1.58	1
11 de octubre	12 de mayo	1.039	1
11 de octubre	30 de mayo	-5.079	0.036
11 de octubre	21 de junio	-4.924	0.051
11 de octubre	26 de julio	-1.581	1
11 de octubre	31 de agosto	0.622	1
11 de octubre	9 de septiembre	-3.467	0.568
26 de octubre	9 de noviembre	0.429	1
26 de octubre	23 de noviembre	4.792	0.069
26 de octubre	7 de diciembre	1.913	0.997
26 de octubre	14 de diciembre	1.673	0.999
26 de octubre	7 de enero 2012	-0.93	1
26 de octubre	21 de febrero 2012	-0.654	1
26 de octubre	29 de marzo	1.686	0.999
26 de octubre	26 de abril	2.726	0.902
26 de octubre	12 de mayo	2.202	0.986
26 de octubre	30 de mayo	-4.015	0.288
26 de octubre	21 de junio	-3.586	0.502
26 de octubre	26 de julio	-0.524	1
26 de octubre	31 de agosto	1.82	0.998
26 de octubre	9 de septiembre	-2.214	0.985
9 de noviembre	23 de noviembre	4.739	0.077
9 de noviembre	7 de diciembre	1.298	1
9 de noviembre	14 de diciembre	1.866	0.998
9 de noviembre	7 de enero 2012	-1.067	1
9 de noviembre	21 de febrero 2012	-1.204	1
9 de noviembre	29 de marzo	0.978	1
9 de noviembre	26 de abril	2.066	0.993
9 de noviembre	12 de mayo	1.874	0.998
9 de noviembre	30 de mayo	-4.122	0.244

U (Continuación).

9 de noviembre	21 de junio	-3.78	0.4
9 de noviembre	26 de julio	-0.418	1
9 de noviembre	31 de agosto	1.48	1
9 de noviembre	9 de septiembre	-2.725	0.902
23 de noviembre	7 de diciembre	-2.777	0.887
23 de noviembre	14 de diciembre	-3.586	0.502
23 de noviembre	7 de enero 2012	-5.775	0.006
23 de noviembre	21 de febrero 2012	-5.577	0.01
23 de noviembre	29 de marzo	-3.009	0.8
23 de noviembre	26 de abril	-2.003	0.995
23 de noviembre	12 de mayo	-2.432	0.963
23 de noviembre	30 de mayo	-8.893	0
23 de noviembre	21 de junio	-8.551	0
23 de noviembre	26 de julio	-5.711	0.007
23 de noviembre	31 de agosto	-3.283	0.668
23 de noviembre	9 de septiembre	-6.725	0
7 de diciembre	14 de diciembre	0.097	1
7 de diciembre	7 de enero 2012	-2.308	0.978
7 de diciembre	21 de febrero 2012	-3.124	0.748
7 de diciembre	29 de marzo	-0.775	1
7 de diciembre	26 de abril	0.745	1
7 de diciembre	12 de mayo	0.361	1
7 de diciembre	30 de mayo	-5.459	0.014
7 de diciembre	21 de junio	-5.067	0.037
7 de diciembre	26 de julio	-2.225	0.985
7 de diciembre	31 de agosto	-0.15	1
7 de diciembre	9 de septiembre	-3.978	0.304
14 de diciembre	7 de enero 2012	-2.668	0.917
14 de diciembre	21 de febrero 2012	-2.568	0.94
14 de diciembre	29 de marzo	-0.058	1
14 de diciembre	26 de abril	1.321	1
14 de diciembre	12 de mayo	0.352	1
14 de diciembre	30 de mayo	-6.001	0.003
14 de diciembre	21 de junio	-5.67	0.008
14 de diciembre	26 de julio	-2.532	0.947
14 de diciembre	31 de agosto	-0.073	1

U (Continuación).

14 de diciembre	9 de septiembre	-4.386	0.155
7 de enero 2012	21 de febrero 2012	0.05	1
7 de enero 2012	29 de marzo	2.164	0.989
7 de enero 2012	26 de abril	3.369	0.621
7 de enero 2012	12 de mayo	2.988	0.809
7 de enero 2012	30 de mayo	-3.109	0.755
7 de enero 2012	21 de junio	-2.894	0.846
7 de enero 2012	26 de julio	0.405	1
7 de enero 2012	31 de agosto	2.622	0.928
7 de enero 2012	9 de septiembre	-1.615	1
21 de febrero 2012	29 de marzo	2.433	0.963
21 de febrero 2012	26 de abril	3.587	0.502
21 de febrero 2012	12 de mayo	2.963	0.82
21 de febrero 2012	30 de mayo	-3.091	0.763
21 de febrero 2012	21 de junio	-2.77	0.889
21 de febrero 2012	26 de julio	0.845	1
21 de febrero 2012	31 de agosto	2.788	0.883
21 de febrero 2012	9 de septiembre	-1.183	1
29 de marzo	26 de abril	0.93	1
29 de marzo	12 de mayo	0.771	1
29 de marzo	30 de mayo	-5.103	0.034
29 de marzo	21 de junio	-4.776	0.071
29 de marzo	26 de julio	-1.898	0.997
29 de marzo	31 de agosto	0.081	1
29 de marzo	9 de septiembre	-3.133	0.744
26 de abril	12 de mayo	-0.429	1
26 de abril	30 de mayo	-6.477	0.001
26 de abril	21 de junio	-6.158	0.002
26 de abril	26 de julio	-3.396	0.607
26 de abril	31 de agosto	-1.078	1
26 de abril	9 de septiembre	-4.667	0.089
12 de mayo	30 de mayo	-6.01	0.003
12 de mayo	21 de junio	-5.632	0.009
12 de mayo	26 de julio	-2.631	0.926
12 de mayo	31 de agosto	-0.352	1
12 de mayo	9 de septiembre	-4.334	0.17

U (Continuación).

30 de mayo	21 de junio	0.253	1
30 de mayo	26 de julio	3.793	0.393
30 de mayo	31 de agosto	5.953	0.003
30 de mayo	9 de septiembre	1.373	1
21 de junio	26 de julio	3.698	0.442
21 de junio	31 de agosto	5.647	0.008
21 de junio	9 de septiembre	1.12	1
26 de julio	31 de agosto	2.311	0.978
26 de julio	9 de septiembre	-2.275	0.981
31 de agosto	9 de septiembre	-4.17	0.226