

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA

FACULTAD DE CIENCIAS MARINAS



“Aspectos de Edad y Crecimiento de *Fundulus lima* (Teleostei: Fundulidae) en las Cuencas de los Ríos San Ignacio y La Purísima, Baja California Sur, México”

Tesis Profesional

Que para Obtener el Título de

OCEANÓLOGO

Presenta:

VIOLETA BELINDA ARISTA PALACIOS

ENSENADA, BAJA CALIFORNIA, MÉXICO

AGOSTO DE 2016

**ASPECTOS DE EDAD Y CRECIMIENTO DE *Fundulus lima* (TELEOSTEI:
Fundulidae) EN LAS CUENCAS DE LOS RÍOS SAN IGNACIO Y LA PURÍSIMA
BAJA CALIFORNIA SUR, MÉXICO**

Tesis Profesional

Que para Obtener el Título de

OCEANÓLOGO

Presenta:

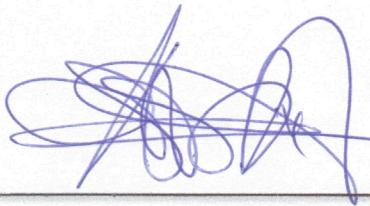
VIOLETA BELINDA ARISTA PALACIOS

Aprobado Por:



DR. GORGONIO RUIZ CAMPOS

DIRECTOR DE TESIS



DRA. ASUNCIÓN ANDREU SOLER

CO-DIRECTOR



DRA. LUS MERCEDES LÓPEZ ACUÑA

SINODAL

DEDICATORIA

A MIS PADRES:

BELINDA PALACIOS GARCÍA

HERIBERTO ARISTA VALADEZ

Por su amor incondicional

y

apoyo brindado en cada momento

A MIS HERMANAS:

VALERIA ARISTA PALACIOS

ESTEFANIA ARISTA PALACIOS

Por ese amor y amistad

inigualables entre hermanas

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a la Universidad Autónoma de Baja California y a la Facultad de Ciencias Marinas por la oportunidad de formarme en la disciplina de Ciencias Naturales y Exactas. A mis maestros, quienes fueron parte fundamental de mi formación académica, gracias a la cual hoy me puedo llamar Oceanóloga.

Quiero expresar mi más profundo agradecimiento a mi director de tesis, el Dr. Gorgonio Ruiz Campos, por la confianza y oportunidad que me brindó para realizar este trabajo, al igual que por su apoyo y consejos. A la Dra. Asunción Andreu Soler, gracias por introducirme al mundo de la ictiología, por sus enseñanzas como profesora y sus acertados comentarios y sugerencias como codirectora de este proyecto. A la Dra. Lus Mercedes López Acuña por aceptar ser parte del comité de tesis y brindar su apoyo como tal.

Esta tesis derivó de los muestreos ictiológicos generados en el proyecto SEMARNAT-CONACYT-2002-C01-173 "Evaluación Ecológica y Distribucional de Peces Exóticos en las Regiones Hidrológicas de San Ignacio y La Purísima, Baja California Sur, y su Impacto en las Poblaciones del Pez Endémico Amenazado, *Fundulus lima*"; dicho proyecto estuvo a cargo del Dr. Gorgonio Ruiz Campos.

Agradezco al Dr. Rafael Bello Bedoy, responsable del proyecto CONACYT "Grupo de Genética Ecológica y Química de Plantas" (No. 226331), por proporcionar el microscopio estereoscópico necesario para la interpretación de escamas. Igualmente, quisiera agradecer a todas las personas involucradas en proyectos previos que ayudaron en la recolecta de ejemplares; sus datos y muestras fueron la base para la realización de esta tesis.

RESUMEN

La composición poblacional de la sardinilla peninsular, *Fundulus lima*, en las cuencas hidrológicas de los ríos La Purísima y San Ignacio, fue analizada durante el periodo de octubre de 2002 a julio de 2004. Los datos mostraron tres clases de edad (0 a 2 años), con los individuos de un año como el grupo dominante. La estimación de tallas de *F. lima* para edades pretéritas basada en método de retrocálculo permitió calcular la talla media para las sardinillas de un año (38.61 mm LT) y de dos años de edad (68.81 mm LT). Se determinaron algunos de los parámetros de crecimiento somático para las poblaciones de *F. lima* (relación Longitud-Peso, relación Longitud-Longitud, factor de condición de Fulton [K] y peso relativo [Wr]). El crecimiento de la sardinilla peninsular es de tipo alométrico positivo ($b > 3.00$) en ambas cuencas. No obstante, valores promedio del factor de condición de Fulton (La Purísima, $K = 2.321 \pm 0.273$; San Ignacio, $K = 2.064 \pm 0.411$) indicaron que los individuos de la población de la cuenca del Río La Purísima presentan mejores condiciones fisiológicas. Teniendo en cuenta todas las localidades de distribución (metapoblación), *F. lima* presentó un peso relativo (Wr) promedio de 101.883 ± 18.662 g. Lo descrito en el presente trabajo con respecto a la edad y crecimiento de *F. lima*, en conjunto con la información previamente publicada acerca de su historia de vida, debe ser tomado en cuenta como apoyo para futuros programas de manejo y conservación de esta especie endémica sudcaliforniana.

ÍNDICE

	Página
1. Introducción	1
2. Antecedentes	4
2.1. Taxonomía y distribución	4
2.2. Descripción de la especie	8
3. Hipótesis	14
4. Objetivo	15
5. Área de estudio	16
6. Materiales y métodos	24
6.1. Muestreo y captura de ejemplares	24
6.2. Edad y crecimiento	26
6.3. Estructura poblacional	28
6.4. Relación Longitud-Peso y Longitud-Longitud	29
6.5. Factor de Condición	30
6.6. Peso Relativo	30
7. Resultados	32
7.1. Muestreo	32
7.2. Interpretación y biometría de escamas	34
7.2.1. Relación entre el tamaño del pez y tamaño (radio total) de la escama	34
7.2.2. Retrocálculo de tallas	35
7.2.3. Determinación de edad	36

7.3. Crecimiento en peso y longitud	40
7.4. Relación Longitud-Peso y Longitud-Longitud	42
7.5. Factor de condición	56
7.6. Peso relativo	63
7.7. Estructura poblacional	65
7.7.1. Composición poblacional por talla	65
7.7.2. Estudio de la distribución de la frecuencia de tallas	70
7.7.3. Composición poblacional por edad	77
8. Discusión	78
9. Conclusión	86
Literatura citada	88

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Especies ícticas registradas durante los muestreos en las localidades del área de estudio (Ruiz-Campos <i>et al.</i> , 2008). La especie nativa <i>Fundulus lima</i> (A) y las exóticas <i>Cyprinus carpio</i> (B), <i>Poecilia reticulata</i> (C), <i>Xiphophorus hellerii</i> (D) y <i>Tilapia cf. zillii</i> (E). Fotografías: Gorgonio Ruiz-Campos.	7
Figura 2. Ejemplares de <i>Fundulus lima</i> de localidades selectas de la cuenca del Río La Purísima, Baja California Sur, México (Ruiz-Campos <i>et al.</i> , 2008). (A) La Purísima, (B) Carambuche, (C) Presa Carambuche y (D) Ojo de Agua. Fotografías: Gorgonio Ruiz-Campos.	9
Figura 3. Ejemplares de <i>Fundulus lima</i> de localidades selectas de la cuenca del Río San Ignacio, Baja California Sur, México (Ruiz-Campos <i>et al.</i> , 2008). (A) Puente San Ignacio, (B) Poza Larga, (C) Los Corralitos y (D) San Sabas. Fotografías: Gorgonio Ruiz-Campos.	10
Figura 4. Ubicación geográfica de las dos regiones hidrológicas prioritarias objeto de este estudio, cuencas de los ríos La Purísima y San Ignacio. El área sombreada corresponde a la distribución actual del pez <i>Fundulus lima</i> . Imagen modificada de Ruiz-Campos <i>et al.</i> (2006b).	18
Figura 5. Localidades de oasis en la cuenca del Río San Ignacio: (A) San Ignacio, (B) Poza Larga, (C) Los Corralitos, (D) San Sabas (Ruiz-Campos <i>et al.</i> , 2008). Fotografías: Gorgonio Ruiz-Campos.	20
Figura 6. Localidades de oasis en la cuenca del Río La Purísima: (A) Carambuche, (B) Presa Carambuche, (C) Ojo de Agua, (D) El Pilón (Ruiz-Campos <i>et al.</i> , 2008). Fotografías: Gorgonio Ruiz-Campos.	21
Figura 7. Localidades de muestreos ictiológicos en las cuencas de los ríos San Ignacio (izquierda) y La Purísima (derecha), Baja California Sur, México. Localidades: 1-El Tizón, 2-“Lake Side”, 3-Poza Larga, 4-Los Corralitos, 5-San Sabas, 6-Ojo de Agua, 7-Presa Carambuche, 8-Carambuche, 9-La Purísima. Imágenes modificadas de Ruiz-Campos <i>et al.</i> (2002).	24
Figura 8. Artes de captura pasiva (A-C) y activa (D y E) utilizados en el muestreo ictiológico en los diferentes sitios de recolecta en las cuencas de los ríos San Ignacio y La Purísima, Baja California Sur, México.	25

Figura 9. Relación entre la longitud total (LT) de <i>Fundulus lima</i> y el radio total de su escama (RT), en poblaciones de la cuenca del Río La Purísima, Baja California Sur, México.	3
Figura 10. Proporcionalidad entre la longitud total (LT) de <i>Fundulus lima</i> y el radio de cada anillo de su escama (medida desde el foco hasta el margen del anillo).	36
Figura 11. Escama de sardinilla peninsular, <i>Fundulus lima</i> , de edad cero.	37
Figura 12. Escama de sardinilla peninsular, <i>Fundulus lima</i> , de edad 1+.	38
Figura 13. Escama de sardinilla peninsular, <i>Fundulus lima</i> , de edad 2+.	38
Figura 14. Crecimiento en peso (g) por clase de edad de la sardinilla peninsular, <i>Fundulus lima</i> , en la cuenca del Río La Purísima, Baja California Sur, México.	41
Figura 15. Crecimiento en longitud (mm) por clase de edad de la sardinilla peninsular, <i>Fundulus lima</i> , en la cuenca del Río La Purísima, Baja California Sur, México.	41
Figura 16. Relación longitud-peso de la población de sardinilla peninsular, <i>Fundulus lima</i> , en la cuenca del Río La Purísima, Baja California Sur, México.	43
Figura 17. Relación longitud-peso de la población de sardinilla peninsular, <i>Fundulus lima</i> , en la cuenca del Río San Ignacio, Baja California Sur, México.	43
Figura 18. Relación longitud-peso de la población de sardinilla peninsular, <i>Fundulus lima</i> , encontrada en la localidad de El Piloncillo, Baja California Sur, México.	45
Figura 19. Relación longitud-peso de la población de sardinilla peninsular, <i>Fundulus lima</i> , encontrada en la localidad de Ojo de Agua, Baja California Sur, México.	46
Figura 20. Relación longitud-peso de la población de sardinilla peninsular, <i>Fundulus lima</i> , encontrada en la localidad de Presa Carambucho, Baja California Sur, México.	47

Figura 21. Relación longitud-peso de la población de sardinilla peninsular, <i>Fundulus lima</i> , encontrada en la localidad de Los Corralitos, Baja California Sur, México.	48
Figura 22. Relación longitud-peso de la población de sardinilla peninsular, <i>Fundulus lima</i> , encontrada en la localidad de Paso los Pinos, Baja California Sur, México.	49
Figura 23. Relación longitud-peso de la población de sardinilla peninsular, <i>Fundulus lima</i> , encontrada en la localidad de Poza Larga, Baja California Sur, México.	50
Figura 24. Relación longitud-peso de la población de sardinilla peninsular, <i>Fundulus lima</i> , encontrada en la localidad de San Sabas, Baja California Sur, México.	51
Figura 25. Factor de condición de Fulton (K) de la sardinilla peninsular, <i>Fundulus lima</i> , en la cuenca del Río La Purísima, Baja California Sur, México.	56
Figura 26. Factor de condición de Fulton (K) de la sardinilla peninsular, <i>Fundulus lima</i> , en la cuenca del Río San Ignacio, Baja California Sur, México.	57
Figura 27. Factor de condición de Fulton (K) de la sardinilla peninsular, <i>Fundulus lima</i> , en la localidad de El Piloncillo, cuenca Río La Purísima, Baja California Sur, México.	58
Figura 28. Factor de condición de Fulton (K) de la sardinilla peninsular, <i>Fundulus lima</i> , en la localidad de Ojo de Agua, cuenca Río La Purísima, Baja California Sur, México.	59
Figura 29. Factor de Condición de Fulton (K) de la sardinilla peninsular, <i>Fundulus lima</i> , en la localidad de Presa Carambucho, cuenca Río La Purísima, Baja California Sur, México.	60
Figura 30. Factor de condición de Fulton (K) de la sardinilla peninsular, <i>Fundulus lima</i> , en la localidad de Los Corralitos, cuenca Río San Ignacio, Baja California Sur, México.	61
Figura 31. Factor de condición de Fulton (K) de la sardinilla peninsular, <i>Fundulus lima</i> , en la localidad de Poza Larga, cuenca Río San Ignacio, Baja California Sur, México.	62

Figura 32. Factor de condición de Fulton (K) de la sardinilla peninsular, <i>Fundulus lima</i> , en la localidad de San Sabas, cuenca Río San Ignacio, Baja California Sur, México.	63
Figura 33. Índice de peso relativo (W_r) de la sardinilla peninsular, <i>Fundulus lima</i> , correspondiente a las cuencas de los ríos La Purísima y San Ignacio, Baja California Sur, México.	64
Figura 34. Índice de peso relativo (W_r) de la sardinilla peninsular, <i>Fundulus lima</i> , durante el periodo del 25 de octubre de 2002 al 4 de julio de 2004 en las cuencas de los ríos La Purísima y San Ignacio, Baja California Sur, México.	65
Figura 35. Composición poblacional por intervalo de talla de la sardinilla peninsular, <i>Fundulus lima</i> , en la cuenca del Río La Purísima, Baja California Sur, México (octubre de 2002 a julio de 2004).	66
Figura 36. Composición poblacional por intervalo de talla de la sardinilla peninsular, <i>Fundulus lima</i> , en la cuenca del Río San Ignacio, Baja California Sur, México (octubre de 2002 a julio de 2004).	67
Figura 37. Composición poblacional por intervalo de talla de la sardinilla peninsular, <i>Fundulus lima</i> , en las localidades correspondientes a la cuenca del Río La Purísima, Baja California Sur, México (octubre del 2002 a julio del 2004).	68
Figura 38. Composición poblacional por intervalo de talla de la sardinilla peninsular, <i>Fundulus lima</i> , en las localidades correspondientes a la cuenca del Río San Ignacio, Baja California Sur, México (octubre de 2002 a julio de 2004).	69
Figura 39. Análisis de la progresión modal de la distribución de frecuencias de tallas de ejemplares de <i>Fundulus lima</i> capturados en la cuenca del Río La Purísima, Baja California Sur, México.	71
Figura 40. Análisis de la progresión modal de la distribución de frecuencias de tallas de ejemplares de <i>Fundulus lima</i> capturados en la cuenca del Río San Ignacio, Baja California Sur, México.	71
Figura 41. Análisis de la progresión modal de la distribución de frecuencias de tallas de ejemplares de <i>Fundulus lima</i> capturados en la localidad de El Piloncillo, cuenca Río La Purísima, Baja California Sur, México.	72

Figura 42. Análisis de la progresión modal de la distribución de frecuencias de tallas de ejemplares de <i>Fundulus lima</i> capturados en la localidad de Ojo de Agua, cuenca Río La Purísima, Baja California Sur, México.	73
Figura 43. Análisis de la progresión modal de la distribución de frecuencias de tallas de ejemplares de <i>Fundulus lima</i> capturados en la localidad de Presa Carambucho, cuenca Río La Purísima, Baja California Sur, México.	73
Figura 44. Análisis de la progresión modal de la distribución de frecuencias de tallas de ejemplares de <i>Fundulus lima</i> capturados en la localidad de Los Corralitos, cuenca Río San Ignacio, Baja California Sur, México.	74
Figura 45. Análisis de la progresión modal de la distribución de frecuencias de tallas de ejemplares de <i>Fundulus lima</i> capturados en la localidad de Paso Los Pinos, cuenca Río San Ignacio, Baja California Sur, México.	74
Figura 46. Análisis de la progresión modal de la distribución de frecuencias de tallas de ejemplares de <i>Fundulus lima</i> capturados en la localidad de Poza Larga, cuenca Río San Ignacio, Baja California Sur, México.	75
Figura 47. Análisis de la progresión modal de la distribución de frecuencias de tallas de ejemplares de <i>Fundulus lima</i> capturados en la localidad de San Sabas, cuenca Río San Ignacio, Baja California Sur, México.	75
Figura 48. Composición poblacional por clase de edad de la sardinilla peninsular, <i>Fundulus lima</i> , en la cuenca del Río La Purísima, Baja California Sur, México (octubre de 2002 a julio de 2004).	77

LISTA DE TABLAS

	Página
Tabla 1. Valores promedio de variables físico-químicas registradas en localidades de oasis en las cuencas hidrológicas de los ríos San Ignacio y La Purísima, Baja California Sur, México (datos extraídos de Ruiz-Campos, 2012).	23
Tabla 2. Número de individuos de <i>Fundulus lima</i> capturados en cada fecha y localidad de muestreo en las cuencas de los ríos La Purísima y San Ignacio, Baja California Sur, México.	33
Tabla 3. Resultados del retrocálculo de tallas pretéritas (longitud total [LT]) para los diferentes grupos de edad de la población de <i>Fundulus lima</i> en la cuenca del Río La Purísima, Baja California Sur, México.	35
Tabla 4. Frecuencia de talla por clase de edad de <i>Fundulus lima</i> de la cuenca del Río La Purísima, Baja California Sur, México, basado en la interpretación de anillos de crecimiento anual en escamas.	39
Tabla 5. Parámetros de la regresión Longitud-Peso (ecuación logarítmica) de la especie <i>Fundulus lima</i> en las cuencas de los ríos La Purísima (LP) y San Ignacio (SI), Baja California Sur, México.	52
Tabla 6. Parámetros de la regresión Longitud-Peso (educación lineal) de la especie <i>Fundulus lima</i> en las cuencas de los ríos La Purísima (LP) y San Ignacio (SI), Baja California Sur, México.	53
Tabla 7. Parámetros de la regresión Longitud-Peso (potencia) de la especie <i>Fundulus lima</i> en las cuencas de los ríos La Purísima (LP) y San Ignacio (SI), Baja California Sur, México.	54

Tabla 8. Parámetros de la regresión Longitud (LT)–Longitud (LP) de la especie <i>Fundulus lima</i> en las cuencas de los ríos La Purísima (LP) y San Ignacio (SI), Baja California Sur, México.	55
Tabla 9. Grupos de edad de la sardinilla peninsular, <i>Fundulus lima</i> , identificados a partir de frecuencias de tallas mediante el método de Bhattacharya, en las cuencas de los ríos La Purísima y San Ignacio, Baja California Sur, México.	72
Tabla 10. Grupos de edad de la sardinilla peninsular, <i>Fundulus lima</i> , identificados a partir de frecuencias de tallas mediante el método de Bhattacharya, en cada localidad de muestreo en las cuencas de los ríos La Purísima y San Ignacio, Baja California Sur, México.	76

1. INTRODUCCIÓN

La península de Baja California se caracteriza por tener una fisiografía compuesta de largas cadenas montañosas, grandes cuencas y malpaíses volcánicos (Grismer & McGuire, 1993). Durante el inicio del Holoceno, hace aproximadamente 8,000 años, la región central de la península experimentó una serie de cambios climáticos que resultó en la transformación de sus ecosistemas. De ser una región con vegetación subtropical húmeda y praderas arboladas, se convirtió en una región árida con vegetación xerófila (Axelrod, 1979). Dicha transformación ayudó a la creación de refugios mesófilos relictos encontrados actualmente en la cima de las montañas o en la forma de oasis (Grismer & McGuire, 1993; Ruiz-Campos *et al.*, 2006a).

En la actualidad, entre los ecosistemas acuáticos de México cuya fauna es altamente vulnerable a los efectos competitivos de especies exóticas, se encuentran los oasis de la península de Baja California (Alaníz-García *et al.*, 2004). Estos ecosistemas constituyen el hábitat de peces con historias evolutivas diferentes, tal es el caso de especies endémicas de agua dulce como *Fundulus lima* y *Gobiesox juniperoserrai*, y aquellas especies eurihalinas-marinas que llegaron a los oasis a través de ríos y arroyos (Ruiz-Campos *et al.*, 2002). Aparte de la introducción de especies exóticas, las poblaciones de peces nativas también se ven afectadas por actividades humanas que propician la destrucción y contaminación de su hábitats (Ruiz-Campos *et al.*, 2006a).

La comunidad íctica nativa de las aguas continentales de la península está compuesta principalmente por especies de origen marino. No obstante, dentro del escaso grupo de especies de origen dulceacuícola, sobresalen tres casos de endemismo representados por la trucha de San Pedro Mártir (*Oncorhynchus mykiss nelsoni*), la cucharita peninsular (*Gobiesox juniperoserrai*) y la sardinilla peninsular (*Fundulus lima*) (Ruiz Campos *et al.*, 2014b).

Endémica de la península de Baja California, la sardinilla peninsular es una especie que se encuentra actualmente confinada a los oasis sudcalifornianos de la vertiente del Pacífico, desde el Río San Ignacio hasta el Río las Pocitas (Ruiz Campos *et al.*, 2014b). En las últimas décadas, las poblaciones de *F. lima* han disminuido drásticamente en gran parte de su ámbito de distribución geográfica. Este declive poblacional es una consecuencia de la competencia directa entre *F. lima* y especies exóticas que habitan dentro de la misma región, factor que ha contribuido a su clasificación actual como especie en peligro de extinción en México (Ruiz-Campos *et al.*, 2006a, 2014b; SEMARNAT, 2010).

Hoy en día, los datos de edad son una parte integral de los estudios poblacionales de peces. Estos datos son utilizados regularmente para la evaluación de la dinámica poblacional (crecimiento, mortalidad y reclutamiento) y la estructura de la población explotable, entre otros, resultando esenciales para el desarrollo de modelos estadísticos (Maceina *et al.*, 2007). Debido a que son fáciles de extraer y procesar, las escamas se encuentran dentro de las estructuras más utilizadas para determinar la edad de un pez (Maceina *et al.*, 2007; Morehouse *et al.*, 2013). Diversos autores han observado que se obtiene una mayor precisión en la determinación de la edad de peces al utilizar otolitos en

lugar de escamas, sin embargo, este método requiere que los peces sean sacrificados por lo que el uso de técnicas no letales es considerada como la primera opción en muchos estudios (Morehouse *et al.*, 2013).

A pesar de que ya se conocen diversos aspectos acerca de la historia de vida de *F. lima* (Ruiz-Campos, 2012), todavía no existe información publicada que describa aspectos relativos a la estructura de edad y crecimiento somático de dicha especie. El conocimiento acerca de la edad, crecimiento y estructura poblacional de la sardinilla peninsular, junto con la información previamente generada sobre su historia de vida y hábitat, son de suma importancia como apoyo a programas de manejo y conservación de la especie. De esta manera, el presente estudio pretende determinar la estructura poblacional de *F. lima* en dos cuencas hidrológicas de Baja California Sur (San Ignacio y La Purísima), con base en el análisis de edad y crecimiento somático.

2. ANTECEDENTES

2.1. Taxonomía y distribución

Posición taxonómica de la especie (Cashner *et al.*, 1992):

Orden: Cyprinodontiformes

Familia: *Fundulidae*

Subfamilia: *Fundulinae*

Género: *Fundulus*

Subgénero: *Xenisima*

Especie: *Fundulus lima* Vaillant, 1894

El orden Cyprinodontiformes es un gran y diverso grupo de peces que se encuentran distribuidos en aguas templadas y tropicales alrededor del mundo. En un análisis filogenético y biogeográfico de los Cyprinodontiformes, Parenti (1981) divide a este grupo y los clasifica en dos subórdenes: Aplocheiloidei y Cyprinodontoidei. Dentro de la reclasificación realizada por este último autor, se establece a los miembros del género *Fundulus* como parte de una familia denominada *Fundulidae*.

La familia de los fundúlidos se encuentra restringida al continente Norteamericano y está compuesta, aproximadamente, por 50 especies clasificadas dentro de cuatro géneros, que incluyen a *Fundulus* como el género más diverso dentro de este grupo (Berra, 2001). De las 30 especies conocidas que conforman este género, sólo dos habitan en cuencas con vertientes en el Pacífico,

Fundulus parvipinnis, que forma parte del componente eurihalino marino con una distribución dentro de la provincia californiana, y su especie hermana *Fundulus lima*, en los oasis de Baja California Sur (Reyes-Valdez *et al.*, 2011).

Los primeros registros de *F. lima* se remontan al año 1892 a partir del material recolectado por León Diguét en el oasis de San Ignacio, Baja California Sur. Estos ejemplares fueron descritos en 1894 como una nueva especie por Leon Vaillant del Museo de Historia Natural de París (Ruiz-Campos, 2012). Posteriormente, en expediciones lideradas por Edward W. Nelson en el año 1905 se recolectaron especímenes procedentes del Río San Ignacio, mismos que fueron descritos como *Fundulus meeki*. Posteriormente, esta última especie sería catalogada como sinónimo de *F. lima* (Myers, 1930).

En su trabajo acerca de los orígenes y afinidades de peces de agua dulce de la península, Follett (1960) reportó un total de 21 especies nativas en aguas continentales de Baja California Sur. En cuanto a su distribución, el mismo autor menciona que éstas fueron encontradas en su mayoría en la desembocadura y parte baja de los ríos de Mulegé y San José del Cabo. Años después, el número sería incrementado a 28 especies (25 nativas y 3 exóticas) con los primeros registros de *Harengula thrissina*, *Hypsopsetta guttulata* y *Achirus mazatlanus* (Ruiz-Campos y Contreras-Balderas, 1987).

Entre 1991 y 1995, muestreos realizados en el oasis de San Ignacio colocaban a *F. lima* como la especie más abundante de la región a pesar de su coexistencia con las especies exóticas *Cyprinus carpio*, *Xiphophorus hellerii* y *Poecilia reticulata* (Ruiz-Campos *et al.*, 2002) (Figura 1). Una de esas especies exóticas (*Cyprinus carpio*) encontradas durante ese periodo de tiempo fue

introducida desde el año 1976 como parte de un programa federal para la promoción de la acuicultura local (Ruiz-Campos, 2000). En el año 1996 se detectó por vez primera la presencia de otro pez exótico, la tilapia de panza roja (*Tilapia cf. zillii*), en el oasis de San Ignacio, manifestándose un declive importante en la población de *F. lima* años después, durante los monitoreos realizados en el periodo 2002-2004 (Ruiz-Campos *et al.*, 2002, 2006b).

En un estudio más reciente, Ruiz-Campos *et al.* (2006a) determinaron la distribución y abundancia de *F. lima* en dos cuencas hidrológicas de Baja California Sur: San Ignacio y La Purísima. Igualmente, reportan dos nuevas localidades (Los Corralitos y San Sabas) de distribución en la cuenca del Río San Ignacio, así como su presencia en la parte alta del Río la Purísima. Actualmente, diversos estudios han demostrado que la densidad de la sardinilla peninsular presenta una correlación inversa con la de la tilapia de panza roja (Ruiz-Campos *et al.*, 2006a; Andreu-Soler & Ruiz Campos, 2013). La competencia entre estas dos especies ha llevado a *Tilapia cf. zillii* a convertirse en la especie dominante de la región y a la extirpación de *F. lima* de las cuencas de San Javier, Bebelamas y San Luis, así como de diferentes localidades en las cuencas de Santa Rita y Las Pocitas (Ruiz-Campos *et al.*, 2014b).

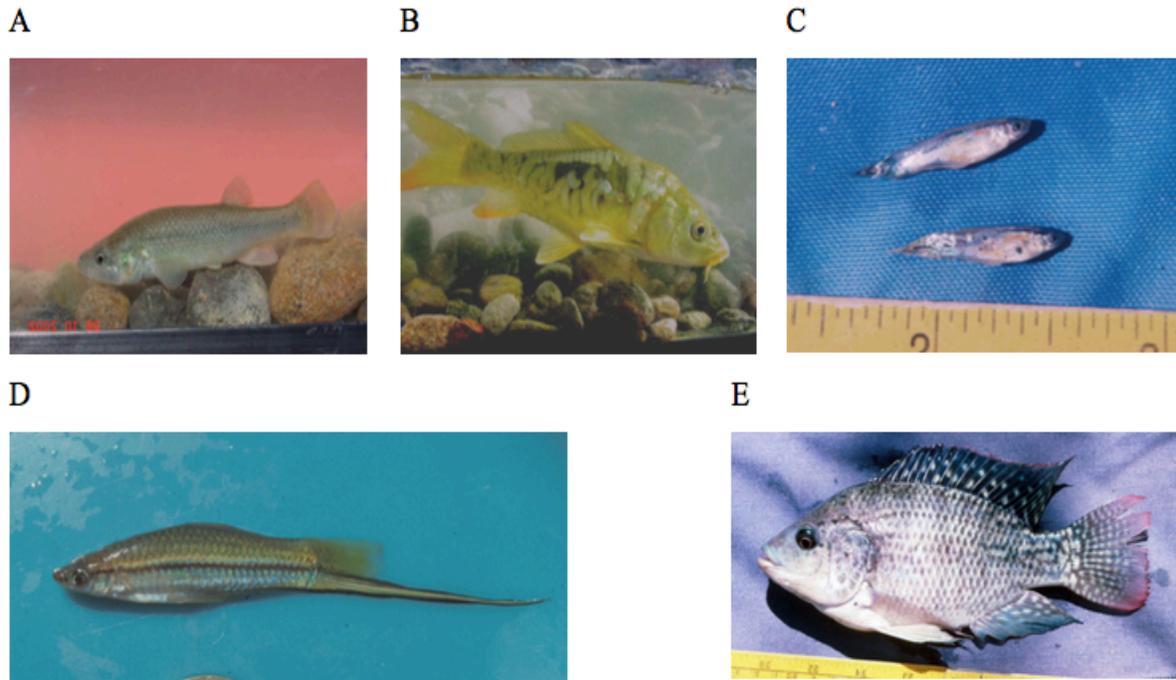


Figura 1. Especies ícticas registradas durante los muestreos en las localidades del área de estudio (Ruiz-Campos *et al.*, 2008). La especie nativa *Fundulus lima* (A) y las exóticas *Cyprinus carpio* (B), *Poecilia reticulata* (C), *Xiphophorus hellerii* (D) y *Tilapia cf. zillii* (E). Fotografías: Gorgonio Ruiz-Campos.

2.2. Descripción de la especie

De acuerdo a Reyes-Valdez (2001), la descripción y guía de identificación para la especie *Fundulus lima* (Figuras 2 y 3) es la siguiente:

Especie de cuerpo corto y ancho; cabeza plana y grande, con el interorbital ancho. En las cuencas de San Ignacio, La Purísima y San Luis presenta 11 a 12 radios dorsales, 11 a 12 radios anales, 32 a 33 radios en la aleta caudal, 17 a 18 radios en la aleta pectoral, 6 radios en la aleta pélvica, 34 escamas en la línea lateral, 30 a 34 escamas alrededor del cuerpo, 18 a 20 escamas alrededor del pedúnculo caudal, 25 a 28 escamas predorsales, 28 a 30 poros en el sistema cefálico lateral; en las cuencas de San Javier y Bebelamas: 12 radios dorsales, 11 a 12 radios anales, 32 a 34 radios en la aleta caudal, 16 radios en la aleta pectoral, 6 radios en la aleta pélvica, 35 escamas en la línea lateral, 27 a 33 escamas alrededor del cuerpo, 18 a 21 escamas alrededor del pedúnculo caudal, 20 a 22 escamas predorsales, 28 poros en el sistema cefálico lateral; en las cuencas de San Pedro y Las Pocitas: 13 radios dorsales, 11 a 12 radios anales, 30 a 32 radios en la aleta caudal, 18 radios en la aleta pectoral, 6 radios en la aleta pélvica, 31 a 34 escamas en la línea lateral, 25 a 30 escamas alrededor del cuerpo, 17 a 21 escamas alrededor del pedúnculo caudal, 15 a 20 escamas predorsales, 22 poros en el sistema cefálico lateral.

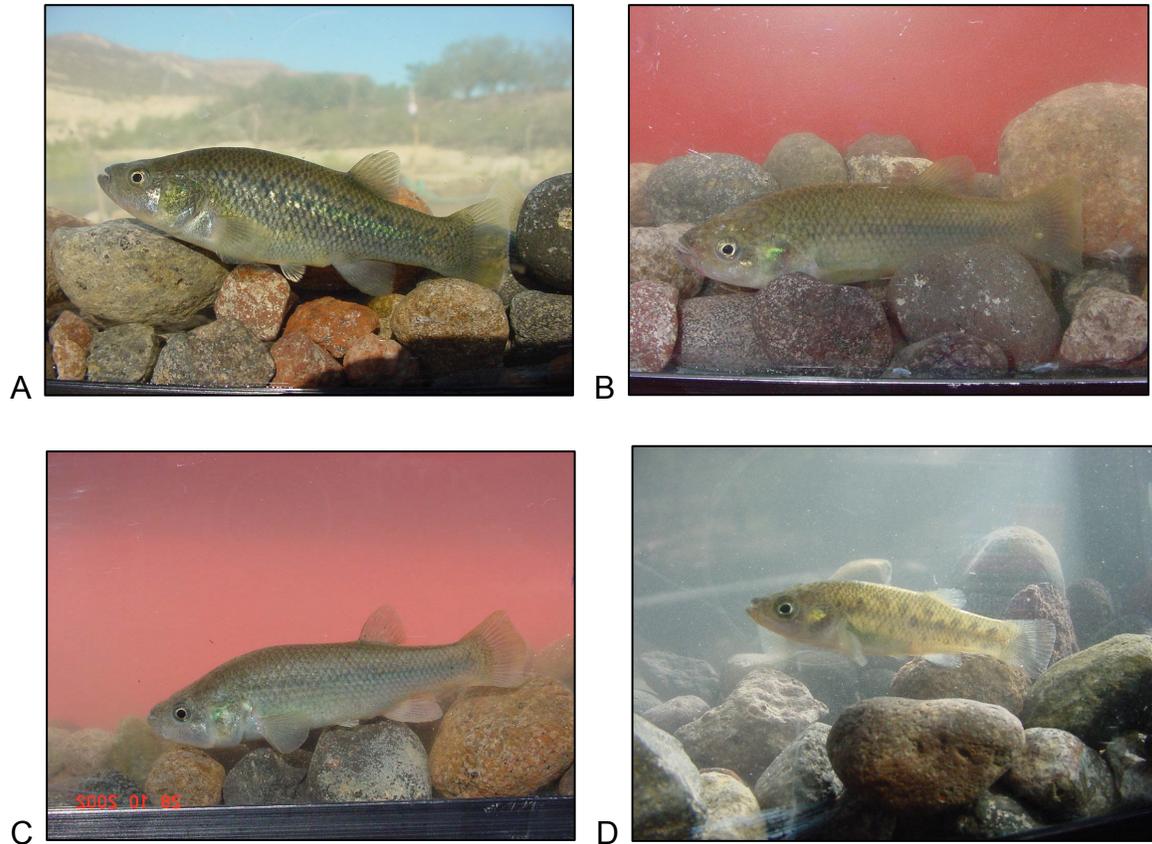


Figura 2. Ejemplares de *Fundulus lima* de localidades selectas de la cuenca del Río La Purísima, Baja California Sur, México (Ruiz-Campos *et al.*, 2008). (A) La Purísima, (B) Carambucho, (C) Presa Carambucho y (D) Ojo de Agua. Fotografías: Gorgonio Ruiz-Campos.

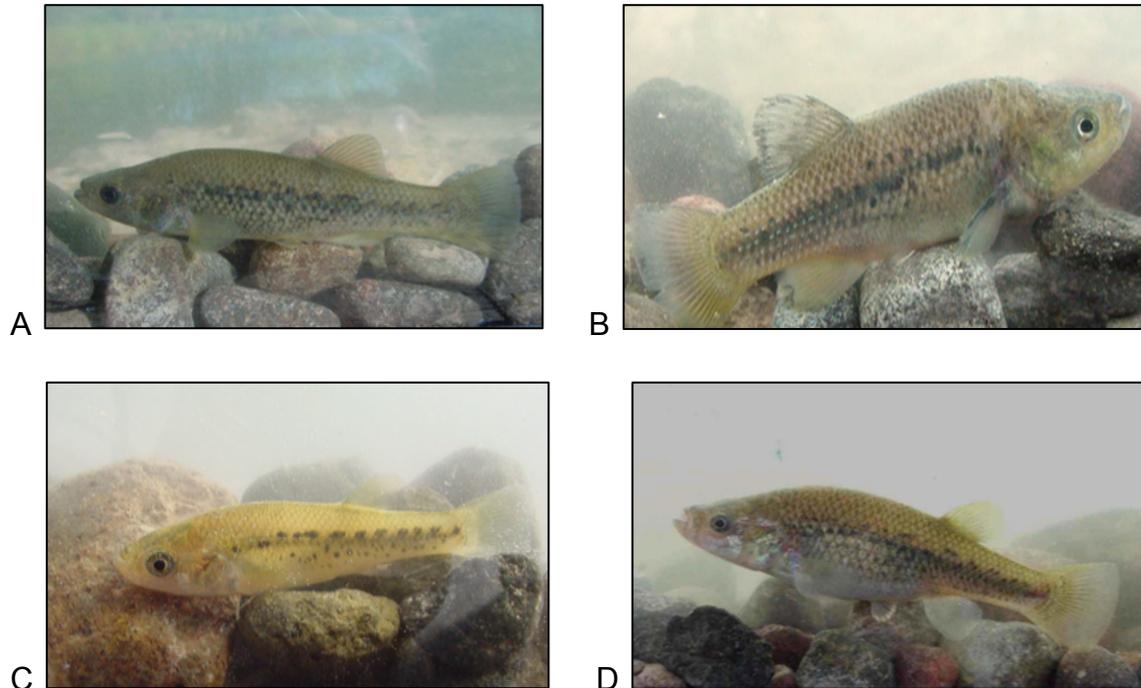


Figura 3. Ejemplares de *Fundulus lima* de localidades selectas de la cuenca del Río San Ignacio, Baja California Sur, México (Ruiz-Campos *et al.*, 2008). (A) Puente San Ignacio, (B) Poza Larga, (C) Los Corralitos y (D) San Sabas. Fotografías: Gorgonio Ruiz-Campos.

Como miembro del orden de los ciprinodontiformes, la sardinilla peninsular forma parte del componente secundario de Myers (1951); grupo de peces que manifiestan cierta tolerancia a diversos cambios de salinidad a pesar de tener un origen dulceacuícola. En el caso específico de la sardinilla peninsular, los miembros de esta especie prefieren cuerpos de agua poco profundos (0.3–2 m) con fondo rocoso y/o con parches de arena/grava, salinidades entre 0.1 y 4.3 ppt y temperaturas entre los 20 y 28°C (Ruiz-Campos, 2000; Ruiz-Campos *et al.*, 2006a).

Estudios relacionados con los hábitos alimenticios de *F. lima* demuestran que las características ecomorfológicas exhibidas por esta especie son indicadoras de un hábito carnívoro béntico (Alaníz-García *et al.*, 2004). Tales características son: una boca tipo subtubular de posición dorsoterminal, premaxila y mandíbula protusibles con dos filas de dientes cada una, un primer arco branquial con 12 espinas cortas ligeramente cónicas, y un tracto digestivo corto con forma de “Z” compuesto por un estómago en forma sacular y un intestino corto y sin arrollamiento.

La sardinilla peninsular es un depredador voraz con una dieta diversa que incluye una gama de alimentos muy similar a lo encontrado en otras especies del género *Fundulus* (Alaníz-García *et al.*, 2004). Como componentes principales de su dieta se pueden encontrar algas filamentosas, diatomeas, larvas de peces, insectos, cladóceros, ostrácodos y copépodos (Alaníz-García *et al.*, 2004; Acosta-Zamorano *et al.*, 2011). Debido a su preferencia por los hábitats bénticos, este pez ingiere una cantidad significativa de granos de arena que, en ocasiones, llega a constituir hasta un 47% del volumen estomacal del pez (Acosta-Zamorano *et al.*, 2011). Dependiendo de la temporada del año, la dieta de la sardinilla experimenta cambios debido a la composición y disponibilidad de presas en el ambiente. Es por esta razón que la sardinilla presenta una estrategia alimentaria tipo oportunista durante la temporada de lluvias, la cual cambia a una tipo especialista en la temporada de sequías (Acosta-Zamorano *et al.*, 2011).

Hoy en día todavía se desconocen muchos aspectos acerca de la biología reproductiva de esta especie, sin embargo, entre los meses de marzo y abril se han observado machos con coloración nupcial y ctenas fuertemente desarrolladas

en el pedúnculo caudal (Ruiz-Campos, 2000). Ambas características, así como la presencia de hembras activas (expulsión de óvulos con una ligera presión abdominal), son indicadores de una temporada de reproducción en esos meses (Ruiz-Campos, 2012). Por otra parte, la historia y estrategia de vida de otras especies del mismo género muestran que son peces pequeños y de longevidad corta, tal es el caso de *Fundulus heteroclitus*, una especie que no sobrevive una cuarta temporada de crecimiento (Samaritan y Schmidt, 1982; Fernández-Delgado, 1989).

En las cuencas de los ríos San Ignacio y La Purísima, la mayoría de los individuos de *F. lima* presentan un crecimiento de tipo alométrico positivo, indicador de que el pez se vuelve más robusto conforme la longitud de su cuerpo aumenta (Ruiz-Campos *et al.*, 2006b). Estudiando los niveles de parasitismo y determinando el factor de condición relativo (K) basado en la ecuación de LeCren, Ruiz-Campos *et al.* (2006b) encontraron que en las sardinillas infectadas por parásitos (*Contracaecum multipapillatum*) el crecimiento es de tipo alométrico negativo, lo cual significa que estos peces se vuelven más esbeltos conforme crecen.

En estudios anteriores, la descripción morfológica de la sardinilla peninsular se basaba únicamente en especímenes recolectados en la localidad tipo del oasis de San Ignacio (Evermann, 1908; Camarena-Rosales, 1999; Camarena-Rosales *et al.*, 2001). Es el estudio realizado por Reyes-Valdez *et al.* (2011) el que finalmente presenta un análisis detallado acerca de las variaciones morfométricas existentes entre las poblaciones de sardinilla peninsular a lo largo de todo su ámbito de distribución. Tomando en cuenta todas las poblaciones de *F. lima*, esta

especie presenta una longitud estándar promedio de 58.28 mm (Reyes-Valdez *et al.*, 2011), mientras que la longitud máxima registrada (127 mm) corresponde a uno de los especímenes recolectados en el arroyo San Luis en el año 2002 (Ruiz-Campos, 2012).

Además, estudios genéticos recientes de la especie incluyen al trabajo realizado por Bernardi *et al.* (2007). Basándose en un análisis de secuencias de la región mitocondrial, estos autores determinaron que *F. lima* y las dos subespecies de la sardinilla californiana (*F. parvipinnis parvipinnis* y *F. parvipinnis brevis*) forman una tricotomía que se separó entre hace 200,000 y 400,000 años. En el mismo trabajo se menciona la posibilidad de que los bajos niveles de conectividad existentes entre las poblaciones de San Ignacio y La Purísima se deban a este largo proceso de separación.

3. HIPÓTESIS

1. El pez dulceacuícola *Fundulus lima* posee un ciclo de vida corto menor o igual a tres años.
2. Las estructuras poblacionales de talla y edad de *F. lima* en las dos cuencas hidrológicas de su ámbito de distribución muestran una distribución similar y estable.
3. Los anillos de crecimiento anual en escamas de *F. lima* corresponden a cambios en el ritmo de crecimiento generados por las condiciones ambientales estacionales.
4. El crecimiento somático de los individuos de *F. lima* es de tipo isométrico en las dos cuencas hidrológicas de estudio.
5. La longitud asintótica de éste pez endémico es alcanzada a una edad menor o igual a tres años.

4. OBJETIVO

General:

Determinación de la estructura poblacional por tallas y edad del pez endémico *Fundulus lima* en dos cuencas hidrológicas de Baja California Sur, México, y de algunos parámetros de su crecimiento somático.

Particulares:

1. Caracterización de la estructura poblacional por talla y edad de *F. lima* en diferentes localidades de distribución en las cuencas hidrológicas de San Ignacio y La Purísima, Baja California Sur.
2. Estimación de tallas de *F. lima* para edades pretéritas basada en método de retrocálculo en anillos de crecimiento anual en escamas.
3. Determinación de parámetros del crecimiento somático (relación longitud- peso, longitud-longitud, factor de condición, función de crecimiento de von Bertalanffy) para las diferentes poblaciones de *F. lima* en las dos cuencas hidrológicas de estudio.

5. ÁREA DE ESTUDIO

La península de Baja California se extiende una longitud aproximada de 1,300 km abarcando los estados mexicanos de Baja California y Baja California Sur (Miller, 2005). A partir del Cretácico, esta región ha experimentado una intensa transformación geológica. En dicho periodo la península se encontraba unida al macizo continental y la mayor parte de ella se encontraba sumergida en el océano (Ferrusquía-Villafranca, 1993). En ocasiones, ésta estuvo confinada a una pequeña área norteña con su parte más sureña expresada en forma de islas, mientras que en periodos de emersión, se llegó a expandir hasta incluir áreas más allá de sus costas actuales (Ruiz-Campos, 2012). Más adelante, a inicios del Holoceno, la presencia del batolito peninsular y la Sierra La Giganta delimitaron el contorno de la península como se conoce actualmente (Padilla *et al.*, 1991). Como consecuencia de estos acontecimientos, las condiciones climáticas e hidrológicas de la península han cambiado históricamente. Evidencias fósiles y sedimentológicas sugieren que a principios del Cuaternario esta región experimentó lluvias torrenciales tipo monzónico durante el verano con intensas lluvias durante el invierno. Con el paso del tiempo, las lluvias disminuyeron gradualmente hasta que en el Holoceno se dieron las condiciones climáticas áridas características de la región (Camarena-Rosales, 1999).

Actualmente la península de Baja California es una de las regiones más áridas del país. Particularmente, en el estado de Baja California Sur la existencia de corrientes perennes es escasa debido a la baja precipitación y a la buena

permeabilidad del terreno. A pesar de esto, existen cuerpos de agua permanentes conocidos como oasis que son alimentados por escurrimientos a manera de manantiales (Ruiz-Campos *et al.*, 2014a). Durante temporadas de sequía estos oasis permanecen aislados, mismos que se llegan a conectar entre sí durante la temporada de lluvias (Echánove-Juan, 2009). Actualmente, varios de estos ecosistemas se encuentran dentro de las regiones hidrológicas prioritarias de La Purísima y San Ignacio, ambas pertenecientes a la subregión fitogeográfica Desierto El Vizcaíno (Arriaga-Cabrera *et al.*, 2000) (Figura 4).

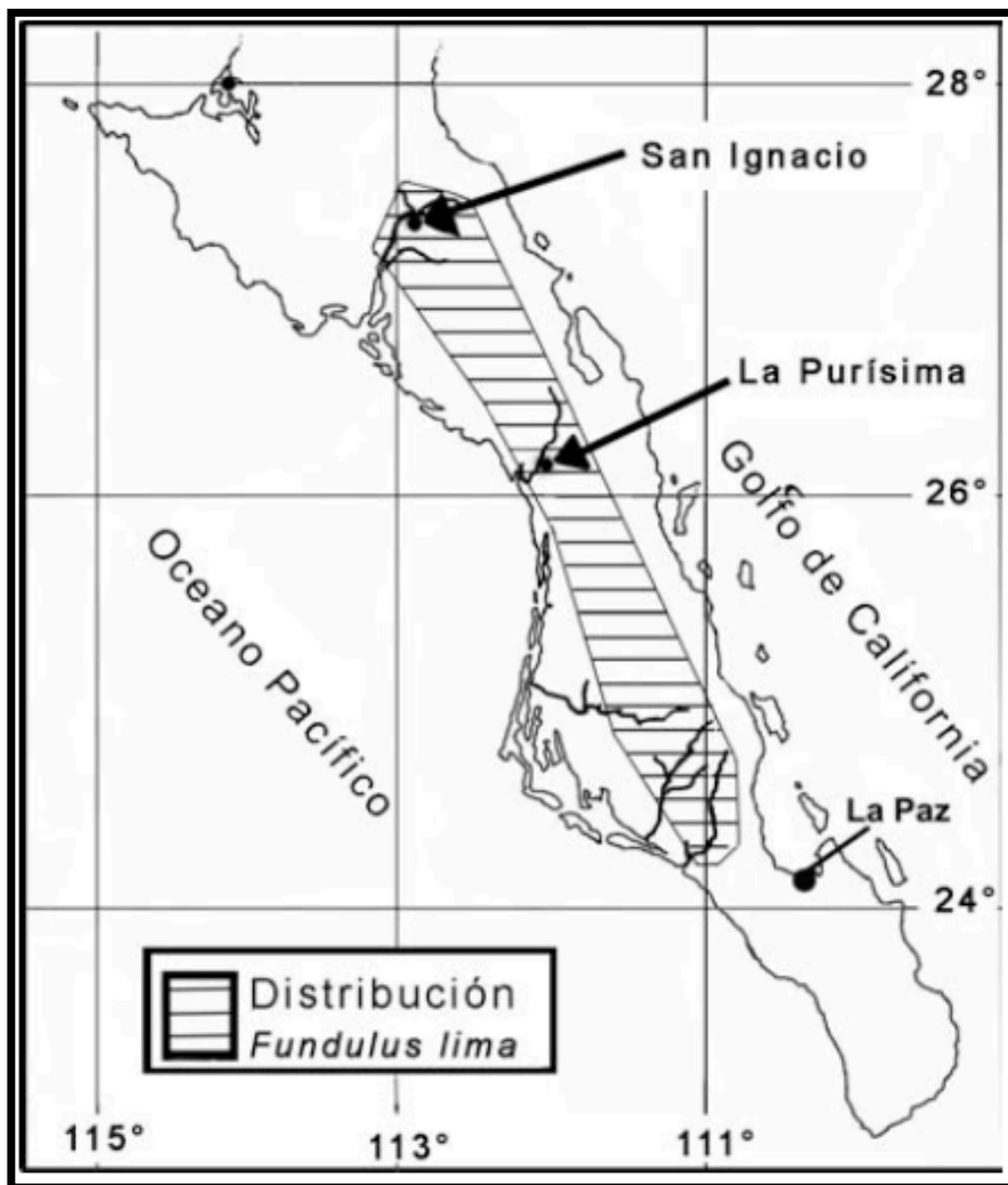


Figura 4. Ubicación geográfica de las dos regiones hidrológicas prioritarias objeto de este estudio, cuencas de los ríos La Purísima y San Ignacio. El área sombreada corresponde a la distribución actual del pez *Fundulus lima*. Imagen modificada de Ruiz-Campos *et al.* (2006b).

El Río San Ignacio se encuentra al sur de la Sierra de San Francisco, éste nace en la Planicie de Babisuri y continúa fluyendo intermitentemente en dirección hacia el oeste a través de las localidades de Santa Lucía, Cueva Colorada, Piñuela y Guamúchil hasta llegar al oasis de San Ignacio (Ruiz-Campos *et al.*, 2006b). Este último es la localidad tipo de *Fundulus lima* y de acuerdo a Grismer y McGuire (1993), se le considera un hábitat reducido con un impacto antropogénico aparente. Con una profundidad entre 2 y 4.5 m, un ancho promedio de 15 a 20 m y una longitud aproximada de 2 km, este cuerpo de agua se localiza 2 km al este del poblado de San Ignacio y 59 km al oeste de Santa Rosalía, Baja California Sur. El oasis se encuentra a una altitud de 135 msnm y forma parte de un arroyo somero bordeado por la sierra del mismo nombre. El arroyo se infiltra en el subsuelo y da lugar a una serie de lagunas para después desembocar en la Laguna de San Ignacio (Figura 5). El manantial que surte al oasis registra variaciones en los siguientes parámetros físico-químicos a través del año: temperatura de 21.8 °C a 30.4 °C, oxígeno disuelto de 3.2 a 6.4 mg/l, pH de 7.4 a 9.6, conductividad de 1.0 a 1.4 mS/cm, y sólidos disueltos totales de 0.65 a 8.9 g/l (Ruiz-Campos *et al.*, 2014a).

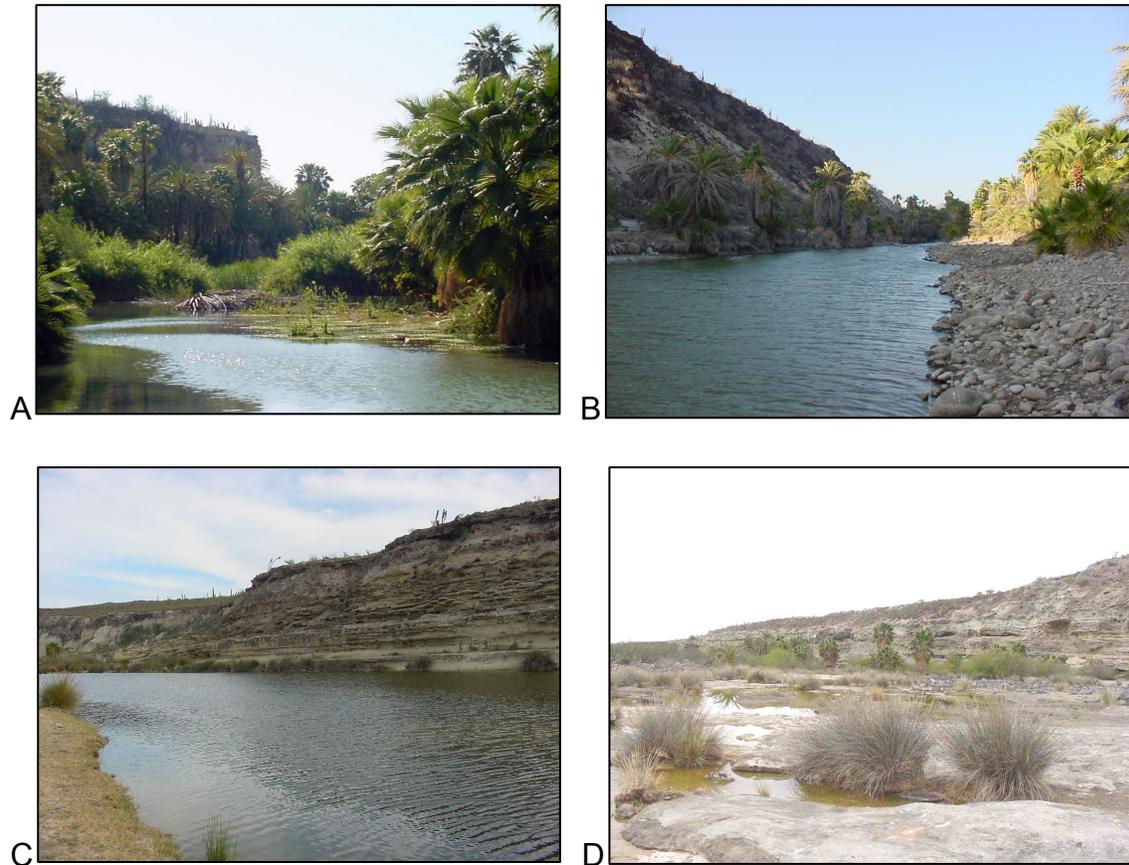


Figura 5. Localidades de oasis en la cuenca del Río San Ignacio: (A) San Ignacio, (B) Poza Larga, (C) Los Corralitos, (D) San Sabas (Ruiz-Campos *et al.*, 2008).

Fotografías: Gorgonio Ruiz-Campos.

Por su parte, el Río La Purísima se origina en la parte occidental de la cadena de montañas de la Sierra La Giganta. Se le considera una corriente de tipo perenne, siendo ésta la más grande del estado sudcaliforniano. Tiene una distancia aproximada de 32 km y fluye a través de las localidades de La Mochila, La Pintada, Huerta Vieja, Carambuche, San Isidro, La Purísima, El Sauzalito, Los Corrales y San Gregorio para, finalmente, llegar al estuario San Gregorio (Ruiz-Campos, 2012). A casi 72 km al noroeste de la localidad de Loreto se encuentra el

oasis de La Purísima, un cuerpo de agua somero y ancho bordeado por pequeñas colinas de limolita (Grismer y McGuire, 1993) (Figura 6).

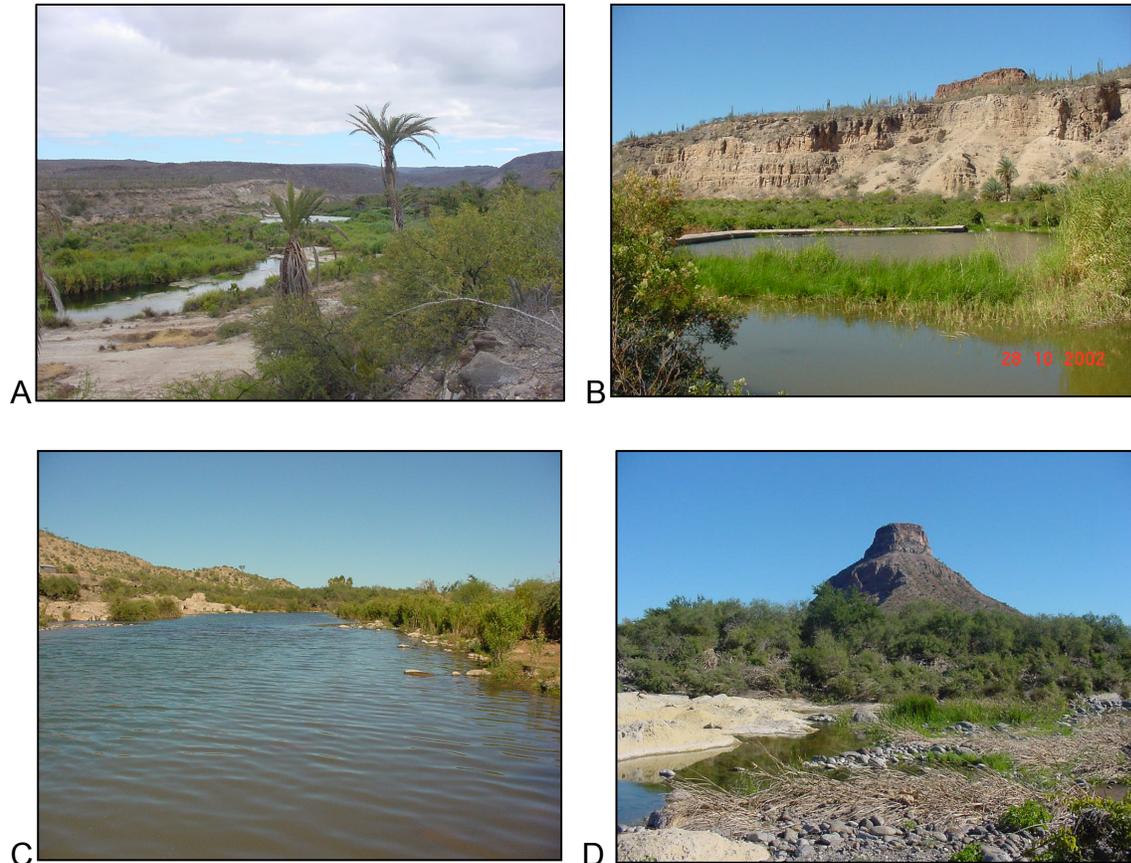


Figura 6. Localidades de oasis en la cuenca del Río La Purísima: (A) Carambuche, (B) Presa Carambuche, (C) Ojo de Agua, (D) El Pilón (Ruiz-Campos *et al.*, 2008).

Fotografías: Gorgonio Ruiz-Campos.

El clima en ambas cuencas se caracteriza por ser extremo, muy seco, semicálido y con lluvias en invierno. En base a la clasificación climática utilizada por Coria (1997), los tipos de clima correspondientes a las localidades donde se distribuye *F. lima* son: BW(h') muy seco, muy cálido; y BWh, muy seco,

semicálido. La temperatura media anual oscila entre los 18 y 24°C, y la precipitación total anual no supera los 100 mm (Arriaga *et al.*, 2000).

Influenciada por las condiciones climáticas, la vegetación dentro de la provincia Bajacaliforniana correspondiente al sector del Desierto del Vizcaíno cuenta con la mayor diversidad florística y fisonómica. Las comunidades vegetales de la zona son muy características e inexistentes fuera del área. Tan sólo el sistema de dunas El Vizcaíno, exclusivas de Norteamérica debido a su geomorfología y a la riqueza de su flora, alberga 183 plantas endémicas de la península (Peinado-Lorca *et al.*, 2009). Debido a la aridez ocasionada por la escasa precipitación, así como a las condiciones del suelo, la vegetación dominante de la región es el matorral xerófilo representado por especies como el cardón (*Pachycereus pringlei*), yuca (*Yucca valida*), cholla (*Opuntia cholla*), agave (*Agave deserti*), y gobernadora (*Larrea tridentata*) (Peinado-Lorca *et al.*, 2009).

En el Río San Ignacio la vegetación primaria está conformada por elementos xerófilos de tipo arbóreo como lomboy (*Jatropha cinerea*), palo fierro (*Olneya tesota*), acacia (*Acacia brandegeana*), palo verde (*Cercidium floridum*) y palo Eba (*Pithecellobium undulatum*) (Peinado-Lorca *et al.*, 2009). Por otra parte, dentro de la vegetación ribereña nativa podemos encontrar al carrizo (*Phragmites australis*), mezquite amargo (*Prosopis articulata*), junco (*Scirpus californicus*), palma de abanico (*Washingtonia robusta*), y junco espinoso (*Juncus acutus*) (Ruiz-Campos *et al.*, 2014a).

Las variables físico-químicas registradas en las localidades de distribución de *F. lima* en los oasis de las cuencas hidrológicas de Río San Ignacio y Río La Purísima se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1. Valores promedio de variables físico-químicas registradas en localidades de oasis en las cuencas hidrológicas de los ríos San Ignacio y La Purísima, Baja California Sur, México (extraído de Ruiz-Campos, 2012).

Localidad	Fecha	Hora	Temp. (°C)	Oxígeno (mg/l)	Cond. (mS/cm)	pH	S (‰)	TDS (g/l)
Poza Larga	24/10/02	11:07	19.13	8.75	0.604	8.8	0.3	0.388
	5/2/03	11:55	16.94	10.77	0.407	8.49	0.2	0.26
	22/9/03	18:12	26.6	*	0.39	7.98	0.2	0.246
	27/3/04	18:47	22.67	10.05	0.386	7.9	0.2	0.247
	4/7/04	14:05	27.21	11.32	4.81	9.27	2.6	3.08
	5/7/07	12:08	26.72	5.21	3.77	10.42	2.1	2.477
Los Corralitos	25/10/02	15:01	24.98	10.89	0.565	8.98	0.3	0.37
	5/2/03	13:53	14.45	12.43	0.424	9.17	0.2	0.288
	22/9/03	16:20	26.6	*	0.61	8.48	0.3	0.36
	4/7/04	12:35	26	12.83	5.55	10.34	3.1	3.55
	5/7/07	14:24	29.43	5.58	4.7	11.43	2.6	2.996
San Sabas	5/2/03	16:55	17.12	11.52	1.11	8.98	0.6	0.716
	28/3/04	16:12	26.1	15.85	0.543	8.67	0.3	0.349
	4/7/04	11:30	24.95	9.47	7.76	10	4.3	4.99
	5/7/07	15:20	33.96	5.46	6.776	11.45	3.8	4.403
Ojo de Agua	27/10/02	15:51	26.54	7.6	0.079	7.67	< 0.1	0.051
	8/2/03	13:43	23.32	13.29	0.075	9.06	< 0.1	0.048
	31/1/04	11:55	19.71	13.47	0.793	9.13	0.4	0.503
	1/7/04	11:22	26.53	8.79	0.96	9.11	0.5	0.62
Carambucho	8/2/03	10:43	18.53	11.15	0.163	8.61	0.1	0.104
	29/1/04	10:56	16.44	13.48	1.162	8.99	0.6	0.741
El Pílon	8/2/03	9:39	16.3	7.11	0.228	8.03	0.1	0.146
	29/1/04	10:06	16.28	13.82	1.95	8.93	1	1.248

6. MATERIALES Y MÉTODOS

6.1. Muestreo y captura de ejemplares

Para el presente trabajo se utilizaron ejemplares de *Fundulus lima* recolectados en las dos principales cuencas hidrológicas prioritarias de Baja California Sur: San Ignacio y La Purísima. Éstos se obtuvieron a partir de muestreos ictiológicos realizados entre octubre del 2002 y julio del 2004 en cinco localidades de la cuenca del Río San Ignacio y cuatro localidades de la cuenca del Río La Purísima (Figura 7).

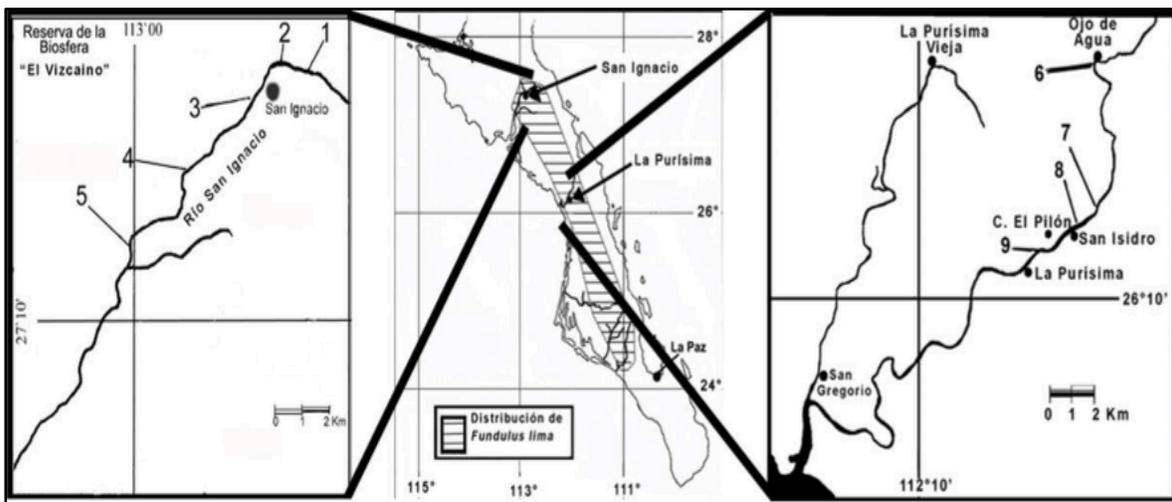


Figura 7. Localidades de muestreos ictiológicos en las cuencas de los ríos San Ignacio (izquierda) y La Purísima (derecha), Baja California Sur, México. Localidades: 1-El Tizón, 2-"Lake Side", 3-Poza Larga, 4-Los Corralitos, 5-San Sabas, 6-Ojo de Agua, 7-Presa Carambucho, 8-Carambucho, 9-La Purísima. Imágenes modificadas de Ruiz-Campos (2002).

En cada una de las localidades se llevaron a cabo muestreos estandarizados con equipos de captura pasiva (trampas tipo “minnow” y una red agallera experimental con tramos de paño de 4.5 m longitud x 1.80 m altura y luz de malla internodal de 0.5, 1.5, 3 y 4 pulgadas), y de captura activa (atarraya 4 m de diámetro y 1 pulgada de luz de malla, y chinchorro 7.8 m longitud x 1.9 m altura x 3.5 mm luz de malla) (Figura 8). Para las trampas, se utilizaron trozos de tortilla de maíz y malvaviscos como carnada.



Figura 8. Artes de captura pasiva (A-C) y activa (D y E) utilizados en el muestreo ictiológico en las diferentes localidades de recolecta en las cuencas de los ríos San Ignacio y La Purísima, Baja California Sur, México.

Los ejemplares recolectados fueron colocados de manera individual en bolsas de plástico, etiquetados con sus respectivos datos de recolecta (localidad, fecha y coordenadas geográficas) y almacenados en hielo seco para su transporte a laboratorio. En aquellas localidades donde el número de organismos capturados

fue escaso, las mediciones se realizaron en campo y los peces fueron regresados vivos a su localidad de origen. Cada ejemplar íctico fue medido (longitud total [LT] y patrón [LP] en mm) con un vernier (precisión 0.01 mm) y pesado con una balanza electrónica (precisión 0.01 g). Una vez en el laboratorio los organismos fueron colocados en formol al 10% (neutralizado con boato de sodio) para su fijación, permaneciendo así por una semana. Al término de este periodo, se realizó el lavado de los organismos con agua corriente para finalmente ser preservados en alcohol etílico al 70%. Todos los ejemplares de *F. lima* fueron depositados en la Colección Ictiológica de la Facultad de Ciencias de la Universidad Autónoma de Baja California.

6. 2. Edad y crecimiento

Para la determinación de la edad y el análisis del patrón de crecimiento de *Fundulus lima* se optó por realizar una interpretación de escamas y un análisis de las distribuciones de frecuencias de talla. El método de interpretación de edad basado en anillos de crecimiento anual en escamas ha sido validado y comúnmente utilizado para la determinación de la edad en peces de regiones con variación estacional en el clima (Maceina *et al.*, 2007).

De las muestras de peces antes referidas se seleccionaron de cinco a seis escamas de la región axilar de los ejemplares, ya que es uno de los sitios donde existe una menor posibilidad de encontrar escamas regeneradas (Jearld, 1983). Éstas fueron colocadas durante cinco minutos en una solución de hidróxido de potasio al 5% con el fin de remover cualquier porción de tejido. Posteriormente las

muestras fueron lavadas con agua destilada y aquellas escamas regeneradas (foco difuso) fueron descartadas. Finalmente, las escamas fueron colocadas en una laminilla o portaobjetos con una base de resina sintética y, sobre ellas, un cubreobjetos. Cada laminilla se rotuló con los datos de identidad del ejemplar en cuestión.

Las muestras de escamas fueron examinadas en un microscopio estereoscópico Carl Zeiss Stemi 2000-C, con una cámara AxioCam ICc5 integrada, y conectado a una computadora. Haciendo uso del programa computacional ZEN 2012 Blue Edition, se capturaron imágenes de las muestras de escamas para ser utilizadas en la interpretación de anillos de crecimiento, así como en la determinación de la relación entre el tamaño del organismo y la escama. Con el paquete de herramientas del programa Fiji (Schindelin *et al.*, 2012) se tomaron medidas a las imágenes de escamas, considerándose las distancias del foco a cada marca de crecimiento y el radio total de la escama.

Utilizando los promedios de las mediciones realizadas a cada escama, se ajustó una relación lineal entre radio de la escama y la longitud total del pez por el método de regresión lineal funcional de Ricker (1973):

$$LT = a + b * RT$$

Donde: LT es la longitud total del pez, RT el radio total de la escama, y a y b son constantes estimadas a partir del modelo de regresión.

Los mismos valores fueron utilizados para calcular las longitudes a edades pasadas empleando el modelo de retrocálculo de tallas representado mediante la siguiente ecuación:

$$Ln = (Sn/S) * L$$

Donde: L_n representa la longitud del pez cuando el anillo “n” fue formado, L la longitud del pez cuando la muestra de escama fue obtenida, S_n el radio del anillo “n”, y S el radio total de la escama. Los procedimientos implicados en este análisis están basados en Quist *et al.* (2012).

En la determinación de la edad de los ejemplares de *F. lima*, se tomó en cuenta el criterio internacional que consiste en estandarizar la fecha de nacimiento para los peces del hemisferio norte como el día 01 de enero (Jearld, 1983). Esto quiere decir que, la marca de crecimiento de invierno que se está formando al margen de la escama es catalogada como anillo de crecimiento a partir del 01 de enero. Por otra parte, los juveniles de edad cero son aquéllos que se encuentran en su primer año de vida sin haber cumplido su primer aniversario (01 de enero), por lo que sus escamas no presentan anillos de crecimiento (Ruiz-Campos, 1993).

6. 3. Estructura poblacional

Con el propósito de determinar la estructura poblacional de *Fundulus lima* a nivel de clases de talla se analizaron los datos biométricos provenientes de los muestreos ictiológicos antes aludidos. Para cada localidad y cuenca donde se realizaron muestreos, la composición poblacional fue representada mediante histogramas de frecuencia de talla. Las gráficas se realizaron con el programa estadístico SPSS utilizando una amplitud de clase de 2.5 mm. Para atribuir edades específicas a cada una de las modas se aplicó el método Bhattacharya (1967) mediante la utilización del programa informático FiSAT (Fish Stock Assessments Tools) (Gayanilo *et al.*, 1996). Este método distingue entre las diferentes modas

que conforman la distribución polimodal y permite estimar suposiciones iniciales sobre los valores medios de cada una.

6. 4. Relación Longitud-Peso y Longitud-Longitud

La relación entre el peso (W) y la longitud patrón o estándar (LP) de la sardinilla peninsular se calculó utilizando la transformación logarítmica de la ecuación de regresión lineal:

$$\text{Log } W = \log a + b * \log LP$$

Donde: W es el peso del pez (en gramos), LP es la longitud patrón (en mm), a y b son las constantes estimadas por el análisis de regresión. De manera análoga se determinó la relación longitud patrón-peso de esta sardinilla mediante la regresión lineal (sin transformación) y la ecuación de potencia descrita por Ricker (1975):

$$W = a + b * LP \text{ ----> regresión lineal}$$

$$W = a * L^b \text{ ----> ecuación de potencia}$$

Asimismo, la relación longitud patrón (LP)–longitud total (LT) de los individuos de la sardinilla peninsular fue estimada mediante una regresión lineal. Todas las ecuaciones fueron computarizadas con el programa XLSTAT 2009. El mismo procedimiento fue utilizado por Ruiz-Campos *et al.* (2010) para determinar ambas relaciones en nueve especies de diferentes familias a lo largo de la costa oeste de la península de Baja California. Una prueba “t de Student” fue aplicada para determinar si el crecimiento somático en cada población es alométrico ($b \neq 3$) o isométrico ($b=3$) (Sokal y Rohlf, 1981).

6. 5. Factor de condición

El factor de condición fue calculado para todos los ejemplares capturados utilizando para ello el modelo de Fulton (Anderson y Gutreuter, 1983). El factor de condición de Fulton (K) es descrito como el cociente del peso observado sobre el esperado con base en la longitud del pez. Su fórmula es la siguiente:

$$K = W/L^3 * 100,000$$

Donde: W y L son los valores del peso (g) y la longitud patrón (mm) respectivamente.

Utilizando una prueba de análisis de varianza de una vía (Sokal y Rohlf, 1981), los valores de K fueron comparados estadísticamente a nivel de fechas de muestreo, localidades y cuencas.

6. 6. Peso relativo

El índice de peso relativo (Wr) se calculó para la metapoblación de *Fundulus lima* que habita las cuencas de los ríos San Ignacio y La Purísima. A diferencia del factor de condición de Fulton (K) y LeCren (K), éste permite hacer una fácil interpretación y comparación de la condición de peces de diferentes especies y longitudes (Murphy *et al.*, 1991). El índice de peso relativo se calcula de la siguiente manera:

$$W_r = W/W_s * 100$$

Donde: W es el peso observado y W_s es el peso calculado a partir de un análisis de regresión longitud-peso que considera todas las poblaciones de la especie (metapoblación). La ecuación para el cálculo de W_s es la siguiente:

$$\text{Log } W_s = a + b * \text{log LP}$$

7. RESULTADOS

7. 1. Muestreo

Durante el periodo de octubre de 2002 a julio de 2004 se registraron datos biométricos de un total de 4,442 ejemplares de *Fundulus lima* correspondientes a las poblaciones de las cuencas de los ríos San Ignacio (n= 3,437) y La Purísima (n= 802). El número de individuos capturados varió entre localidades y fechas de muestreo, lo cual indica la variabilidad estacional en la abundancia de la especie en cuestión (Tabla 2). La localidad de Carambucho en la cuenca del Río La Purísima no fue incluida en los análisis biométricos debido a la poca representación numérica de ejemplares (n= 3).

La interpretación de edad en escamas y el análisis del radio de la escama-longitud patrón de los ejemplares de *F. lima* se realizó en muestras selectas de organismos recolectados en las localidades de El Piloncillo (n=25), Ojo de Agua (n=29) y Presa Carambucho (n=27), todas ellas pertenecientes a la cuenca del Río La Purísima.

Tabla 2. Número de individuos de *Fundulus lima* capturados en cada fecha y localidad de muestreo en las cuencas de los ríos La Purísima y San Ignacio, Baja California Sur, México.

Cuenca	Localidad	Fechas de Muestreo	Número de ejemplares capturados por fecha	Total de ejemplares por localidad
La Purísima	El Piloncillo	07-02-2003	59	155
		29-01-2004	7	
		02-07-2004	89	
	Ojo de Agua	27-10-2002	7	315
		08-02-2003	32	
		30-01-2004	8	
01-07-2004		268		
Presa Carambuche	28-10-2002	56	332	
	08-02-2003	112		
	30-01-2004	36		
	01-07-2004	128		
San Ignacio	Los Corralitos	28-10-2002	213	770
		05-02-2003	173	
		22-09-2003	267	
		27-03-2004	26	
		04-07-2004	90	
	Paso los Pinos	27-03-2004	62	62
	Poza Larga	25-10-2002	68	1021
		05-02-2003	40	
		21-09-2005	408	
		26-03-2004	49	
04-07-2004		456		
San Sabas	05-02-2003	100	1584	
	21-09-2003	719		
	27-03-2004	228		
	04-07-2004	537		

7. 2. Interpretación y biometría de escamas

7. 2. 1. Relación entre tamaño del pez y tamaño (radio total) de la escama

En la Figura 9 se muestra la relación entre el radio total de la escama (RT) y la longitud total (LT) de *Fundulus lima*, observándose que conforme aumenta el radio total de la escama aumenta también la talla de los individuos. Esto significa que existe una relación directamente proporcional entre ambas medidas, de tal manera que las escamas pueden ser utilizadas para estimar la talla de *F. lima* en edades pretéritas (Figura 10).

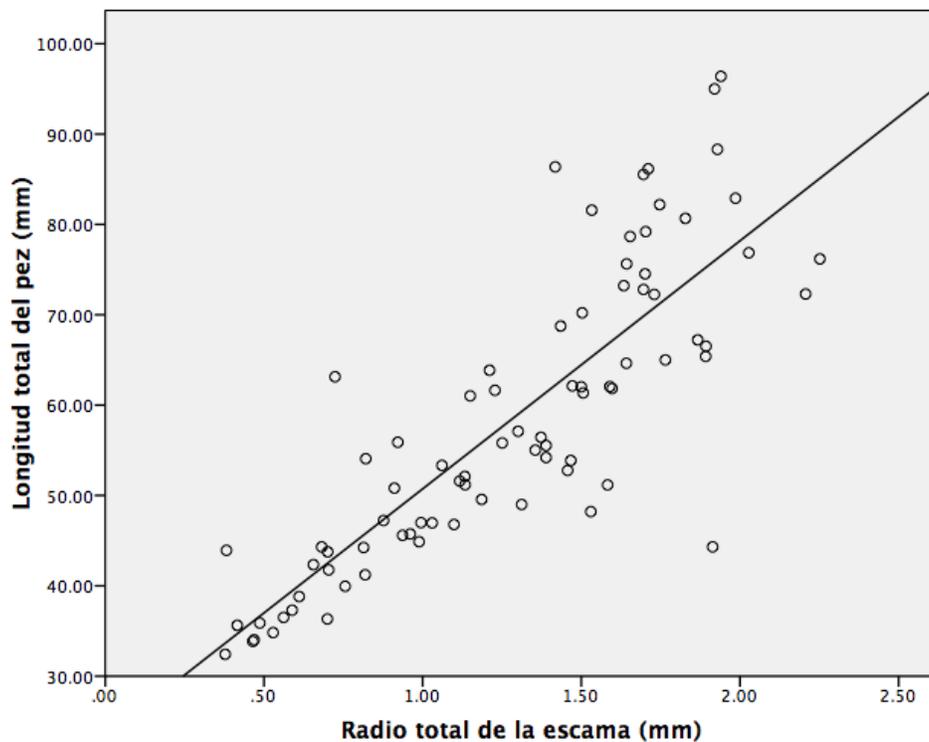


Figura 9. Relación entre la longitud total (LT) de *Fundulus lima* y el radio total de su escama (RT), en poblaciones de la cuenca del Río La Purísima, Baja California Sur, México.

La ecuación de la regresión que describe la relación directa entre RT y LT es la siguiente:

$$LT = 23.265 + 27.459 * RT$$

Esta relación se estableció con unos coeficientes de correlación y determinación de $r = 0.832$ y $r^2 = 0.692$, respectivamente; dichos valores indican un alto grado de relación entre ambas variables. La relación se comprobó con el análisis de varianza que arrojó una significancia <0.001 , lo que indica que la pendiente de la regresión tiene un valor diferente de cero.

7. 2. 2. Retrocálculo de tallas

El modelo de retrocálculo se aplicó sólo a aquellas muestras de escamas que denotaron anillos de crecimiento anual definidos. Los valores obtenidos a partir de este análisis se muestran en la Tabla 3.

Tabla 3. Resultados del retrocálculo de tallas pretéritas (longitud total [LT]) para los diferentes grupos de edad de la población de *Fundulus lima* en la cuenca del Río La Purísima, Baja California Sur, México.

Clases de edad (años)	N	LT observada (mm)			LT retrocalculada (mm)		
		Máxima	Media	Desv. típ.	Máxima	Media	Desv. típ.
1+	34	67.22	53.81	7.42	55.6	38.61	9.18
2+	16	96.39	62.84	7.26	86.42	68.81	8.6064

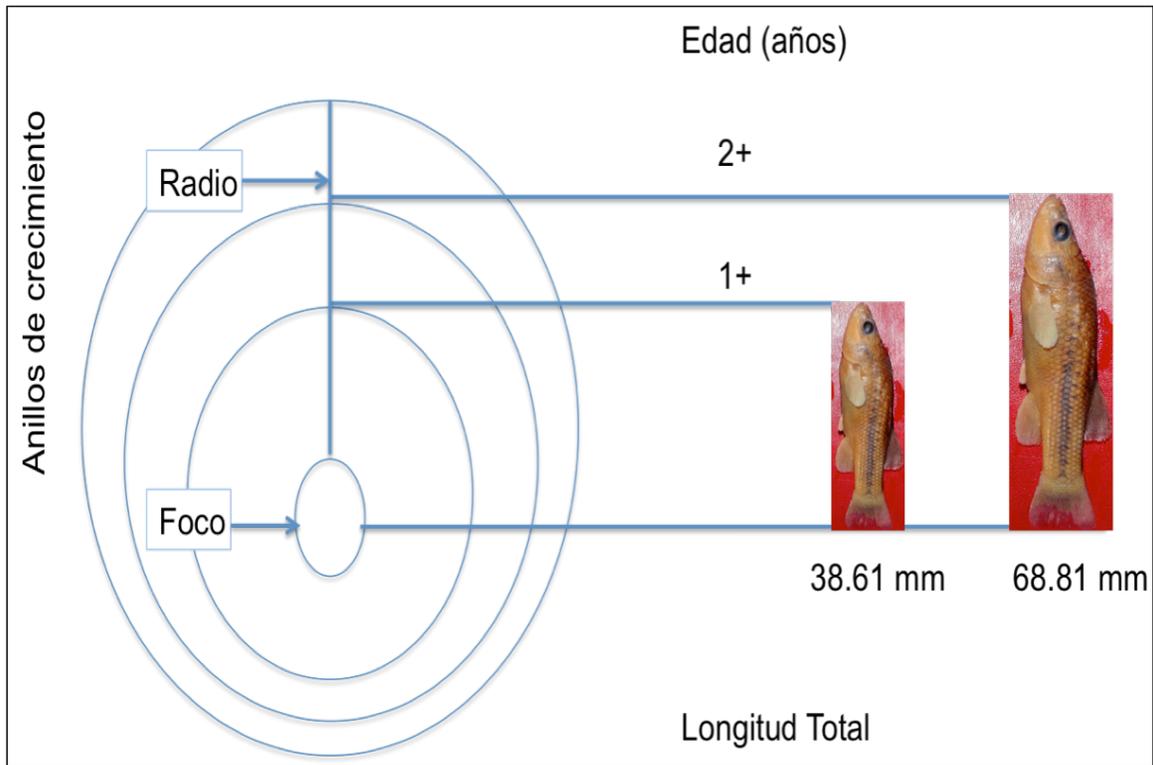


Figura 10. Proporcionalidad entre la longitud total (LT) de *Fundulus lima* y el radio de cada anillo de su escama (medida desde el foco hasta el margen del anillo).

7. 2. 3. Determinación de Edad

La interpretación de anillos de crecimiento mostró que la población de *Fundulus lima* que habita en la cuenca del Río La Purísima está compuesta por, al menos, tres clases de edad (0+, 1+ y 2+ años). Del total de muestras de escamas analizadas (n= 81), únicamente fue posible determinar la edad en 71 de éstas. Basado en lo anterior, el 28.2% perteneció a la clase de edad 0+, el 49.3% a la clase de edad 1+, y el 22.5% a la clase de edad 2+ (Tabla 4).

Los anillos de crecimiento anual en escamas se ilustran en las Figuras 11 a 13. En ellas se observa cómo los anillos de lento crecimiento (*circuli*) que se forman durante los meses de invierno están más próximos entre sí. En primavera

y verano, cuando ocurre el periodo de mayor crecimiento somático, los *circuli* se observan más espaciados entre sí. Cabe señalar que los individuos de la clase de edad 0+ exhiben círculos de crecimiento bien definidos y ampliamente espaciados.

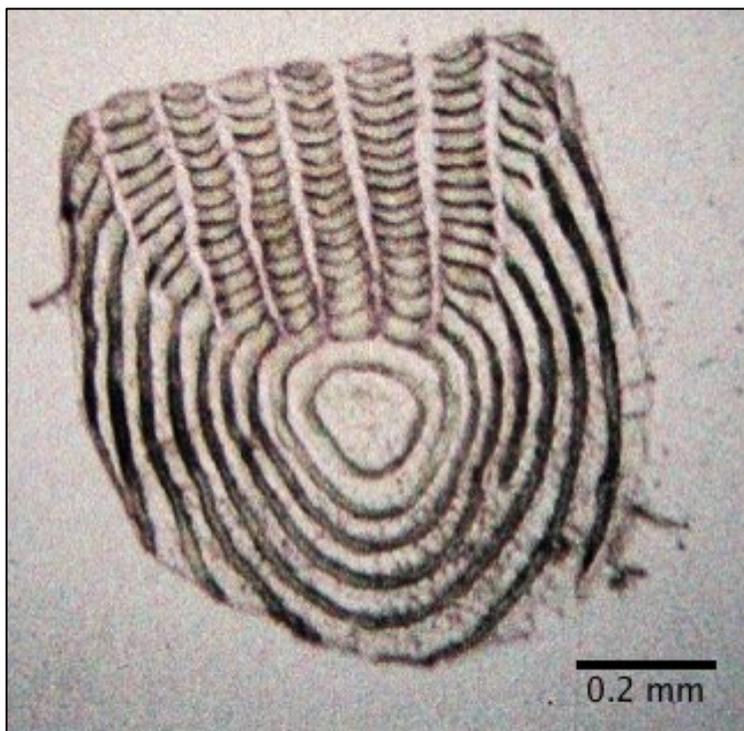


Figura 11. Escama de sardinilla peninsular, *Fundulus lima*, de edad cero.

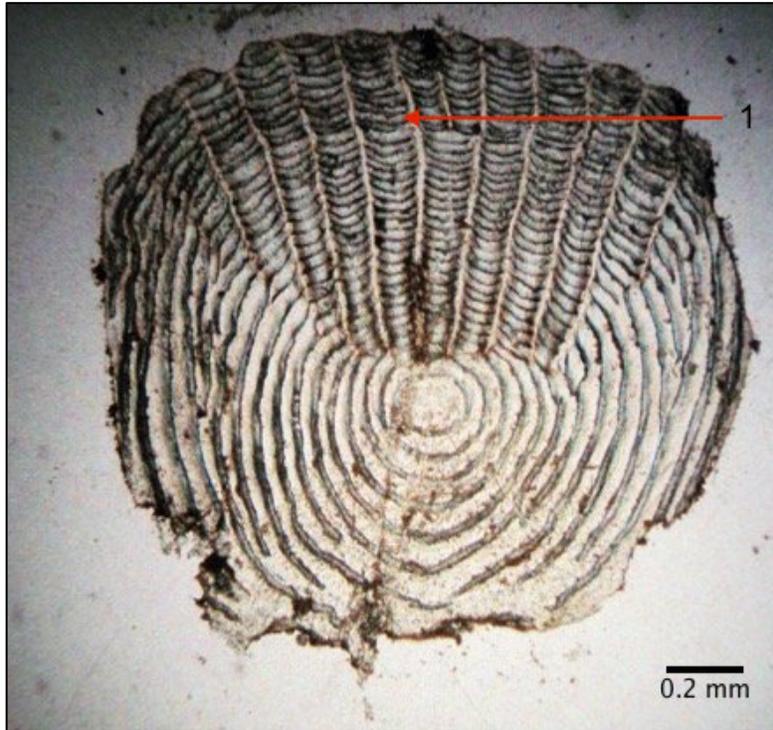


Figura 12. Escama de sardinilla peninsular, *Fundulus lima*, de edad 1+.

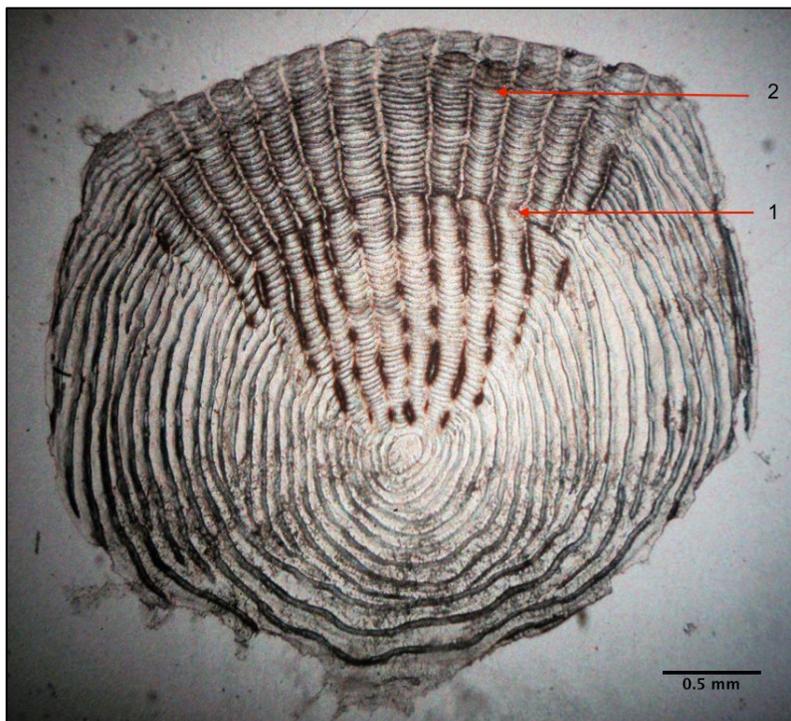


Figura 13. Escama de sardinilla peninsular, *Fundulus lima*, de edad 2+.

Tabla 4. Frecuencia de talla por clase de edad de *Fundulus lima* de la cuenca del Río La Purísima, Baja California Sur, México, basado en la interpretación de anillos de crecimiento anual en escamas.

Talla (mm)	Clases de edad (años)		
	0+	1+	2+
32.01 - 37.00	8	0	0
37.01 - 42.00	3	2	0
42.01 - 47.00	6	6	0
47.01 - 52.00	0	8	0
52.01 - 57.00	0	9	0
57.01 - 62.00	2	3	0
62.01 - 67.00	1	6	0
67.01 - 72.00	0	1	0
72.01 - 77.00	0	0	5
77.01 - 82.00	0	0	4
82.01 - 87.00	0	0	4
87.01 - 92.00	0	0	1
92.01+	0	0	2
Total de ejemplares (N)	20	35	16
Porcentaje %	28.2	49.3	22.5

7. 3. Crecimiento en peso y longitud

La interpretación de edad y crecimiento basado en escamas, al igual que el análisis polimodal de distribución de frecuencias de tallas de los individuos de la sardinilla peninsular (*Fundulus lima*), muestran un máximo de tres clases de edad (0+, 1+ y 2+ años). Debido al bajo número de grupos, no fue posible aplicar los modelos de crecimiento de Von Bertalanffy y Gompertz, ya que el resultado de ambos mostró una sobreestimación tanto de la longitud como del peso asintótico.

El peso promedio observado por clases de edad en la cuenca del Río La Purísima fue el siguiente: edad 0+ (1.206 ± 0.892 g), edad 1+ (2.398 ± 1.002 g), y edad 2+ (9.381 ± 3.272 g) (Figura 14). El signo (+) en cada edad estimada se refiere a que existe adición de círculos de crecimiento después del último anillo formado. Al aplicar una prueba ANOVA se comprobó que las medias de la clase 0+ y 1+ son estadísticamente diferentes (Prueba ANOVA, $F = 111.958$, $p < 0.05$). De igual manera, la longitud total promedio por clases de edad fue calculada dando como resultado los siguientes valores: edad 0+ (42.467 ± 9.337 mm), clase 1+ (53.718 ± 7.518 mm), y clase 2+ (82.01 ± 7.261 mm) (Figura 15). En este caso, existen diferencias significativas entre las medias de los tres grupos de edad (Prueba ANOVA $F = 113.395$, $p < 0.05$).

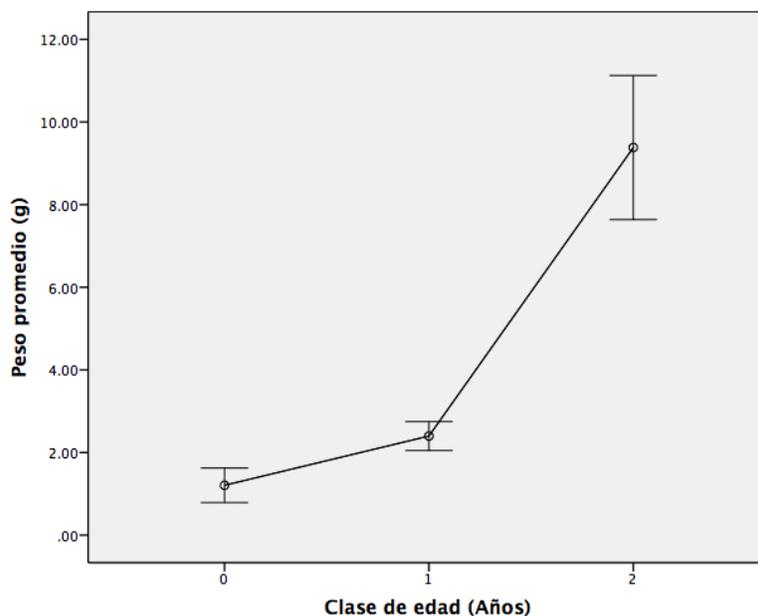


Figura 14. Crecimiento en peso (g) por clase de edad de la sardinilla peninsular, *Fundulus lima*, en la cuenca del Río La Purísima, Baja California Sur, México.

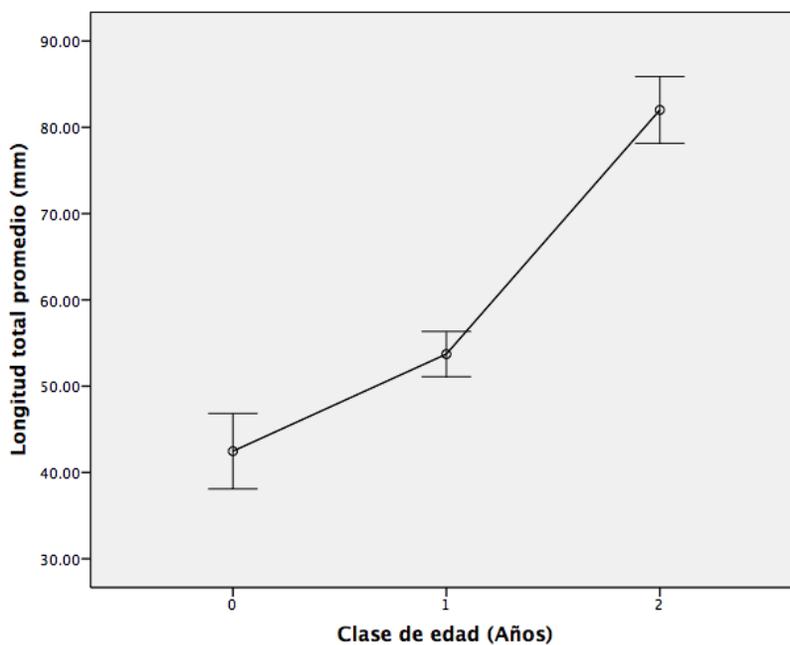


Figura 15. Crecimiento en longitud (mm) por clase de edad de la sardinilla peninsular, *Fundulus lima*, en la cuenca del Río La Purísima, Baja California Sur, México.

7. 4. Relación Longitud-Peso y Longitud-Longitud

La ecuación del peso en función de la longitud, $\log W = \log a + b * \log LP$, obtenida para la población de la cuenca del Río La Purísima, durante octubre de 2002 y julio de 2004, fue: $\log W = -4.889 + 3.152 * \log LP$ (Figura 16). Del mismo modo, la ecuación que describe el peso en San Ignacio fue: $\log W = -4.904 + 3.128 * \log LP$ (Figura 17). En ambos casos el crecimiento de la sardinilla peninsular es de tipo alométrico positivo (La Purísima: Prueba $t = 10.188$, $p < 0.05$; San Ignacio: Prueba $t = 9.143$, $p < 0.05$).

Las ecuaciones correspondientes a la relación longitud-peso de las poblaciones de esta especie en ambas cuencas hidrológicas, calculadas mediante la ecuación lineal ($W = a + b * LP$) y de potencia ($W = a * L^b$), fueron las siguientes: La Purísima, $W = -6.7554 + 0.2092 * LP$ y $W = 0.00000767 * LP^{3.450}$; San Ignacio, $W = -5.553 + 0.177 * LP$ y $W = 0.00000292 * LP^{3.493}$.

Un resumen de los parámetros obtenidos a partir de los análisis de regresión se muestra en las Tablas 5 a 8. De igual manera, se muestran los valores necesarios para realizar la conversión de longitud patrón (LP) a longitud total (LT), calculados mediante una regresión lineal simple.

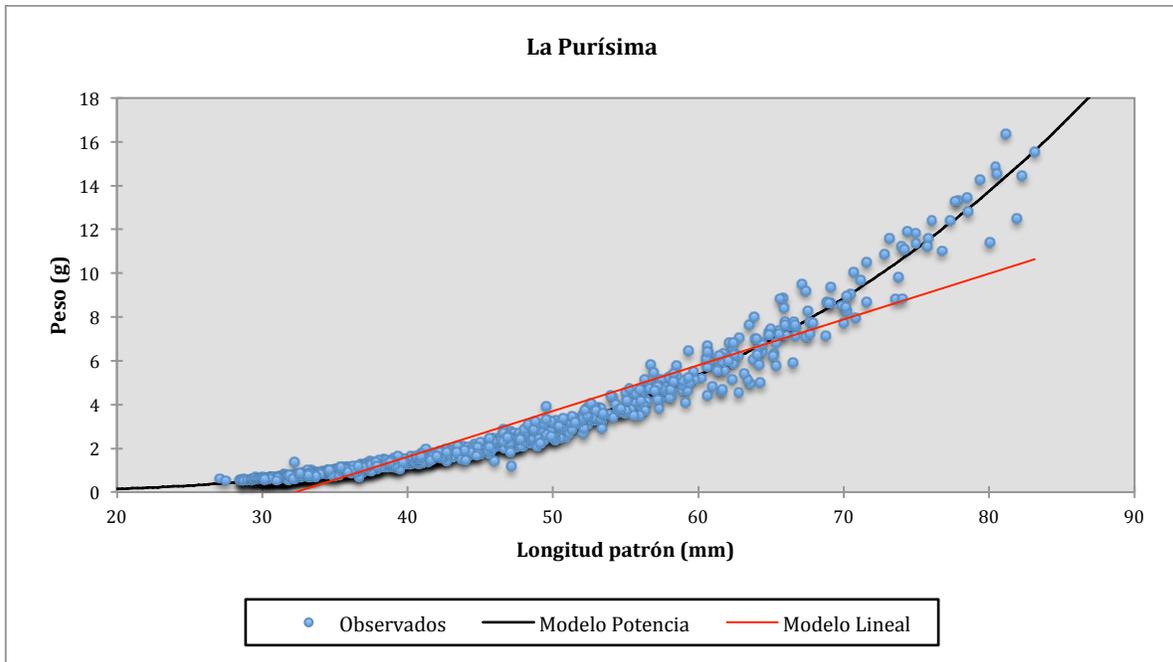


Figura 16. Relación longitud-peso de la población de sardinilla peninsular, *Fundulus lima*, en la cuenca del Río La Purísima, Baja California Sur, México.

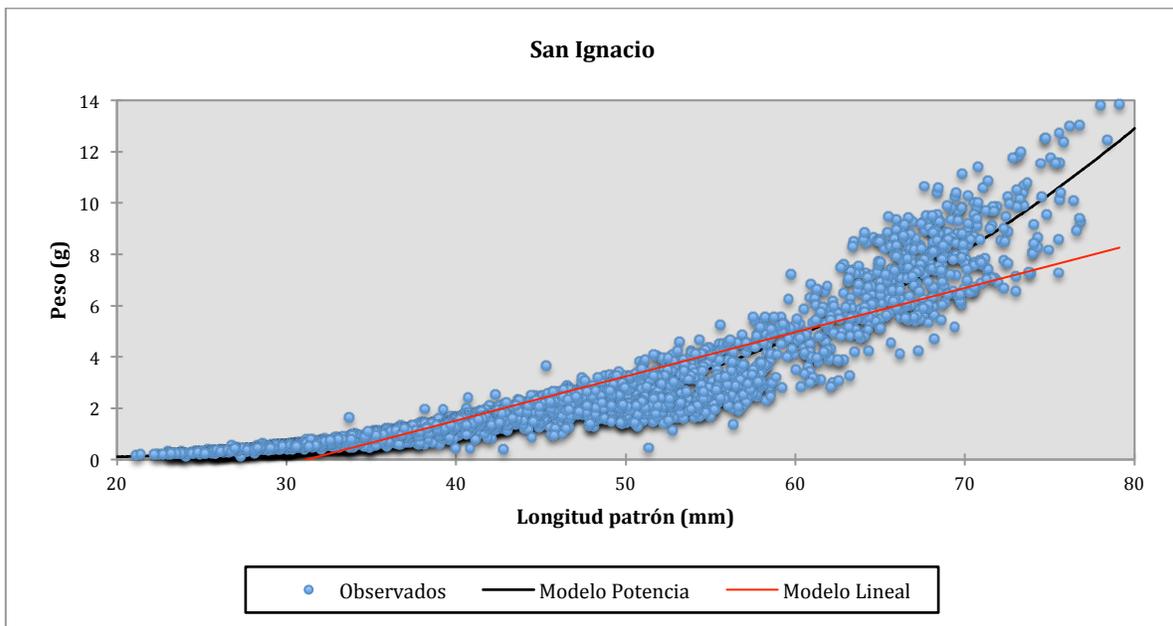


Figura 17. Relación longitud-peso de la población de sardinilla peninsular, *Fundulus lima*, en la cuenca del Río San Ignacio, Baja California Sur, México.

La relación longitud-peso también se determinó individualmente para cada localidad. Así, en El Piloncillo, la especie *Fundulus lima* presentó una relación $\log W = -5.076 + 3.261 * \log LP$ (Figura 18), siendo su crecimiento tipo alométrico positivo (Prueba $t = 6.368$, $p < 0.05$). En Ojo de Agua, la relación fue $\log W = -4.614 + 2.983 * \log LP$ (Figura 19), siendo su crecimiento de tipo isométrico (Prueba $t = -0.803$, $p > 0.05$). En Presa Carambucho se obtuvo una relación $\log W = -5.096 + 3.274 * \log LP$ (Figura 20), con un crecimiento alométrico positivo (Prueba $t = 8.997$, $p < 0.05$). En Los Corralitos se presentó una relación $\log W = -5.072 + 3.221 * \log LP$ (Figura 21), y un crecimiento alométrico positivo (Prueba $t = 8.006$, $p < 0.05$). En Paso los Pinos la relación fue $\log W = -4.919 + 3.189 * \log LP$ (Figura 22), mientras que el tipo de crecimiento fue alométrico positivo (Prueba $t = 2.662$, $p < 0.05$). Poza Larga presentó una relación $\log W = -4.827 + 3.108 * \log LP$ (Figura 23), y un crecimiento alométrico positivo (Prueba $t = 6.395$, $p < 0.05$). Por último, la relación en San Sabas está descrita por la ecuación $\log W = -4.446 + 2.837 * \log LP$ (Figura 24), observándose un crecimiento tipo alométrico negativo (Prueba $t = -6.502$, $p < 0.05$).

Las ecuaciones de la línea recta y de potencia que describen el peso en función de la longitud para las poblaciones de *F. lima* fueron las siguientes:

El Piloncillo, $W = -10.760 + 0.283 * LP$ y $W = 0.00000437 * LP^{3.420}$; Ojo de Agua, $W = -3.876 + 0.140 * LP$ y $W = 0.0000141 * LP^{3.126}$; Presa Carambucho, $W = -6.847 + 0.207 * LP$ y $W = 0.0000126 * LP^{3.164}$; Los Corralitos, $W = -5.180 + 0.176 * LP$ y $W = 0.000006369 * LP^{3.450}$; Paso los Pinos, $W = -5.210 + 0.171 * LP$ y $W = 0.00002 * LP^{3.059}$; Poza Larga, $W = -7.291 + 0.215 * LP$ y $W = 0.0000144 * LP^{3.120}$; San Sabas, $W = -4.429 + 0.144 * LP$ y $W = 0.00000179 * LP^{3.597}$.

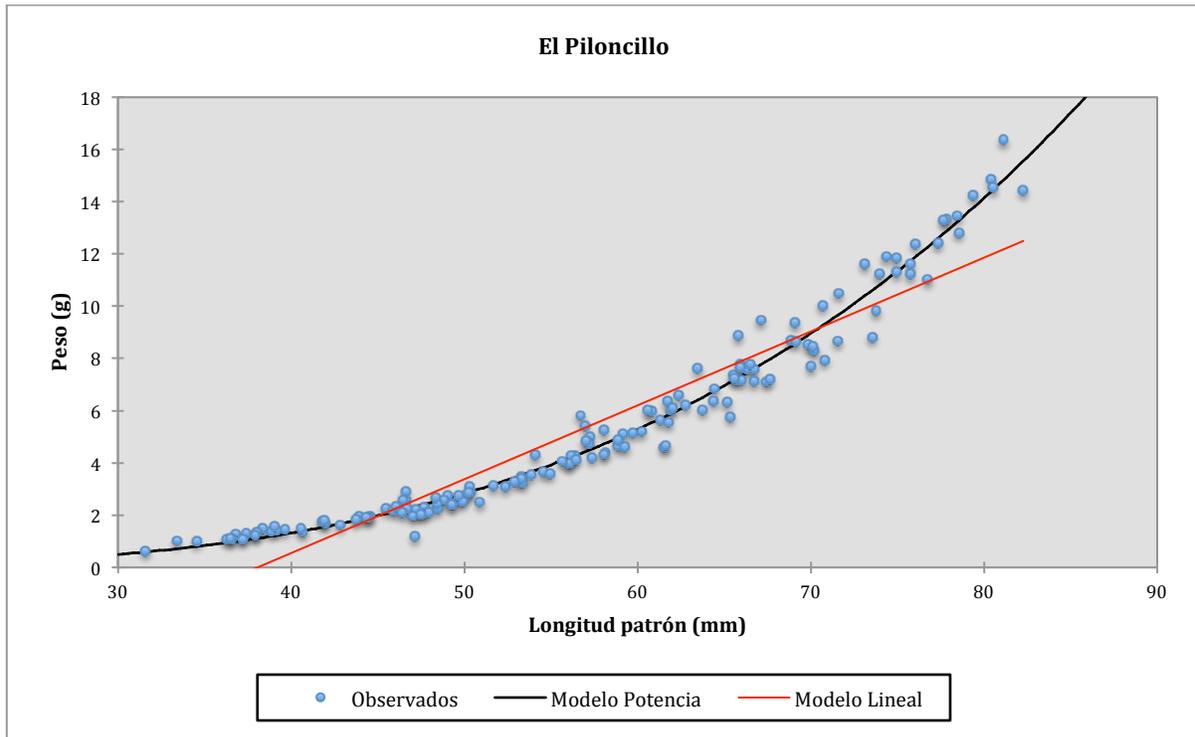


Figura 18. Relación longitud-peso de la población de sardinilla peninsular, *Fundulus lima*, encontrada en la localidad de El Piloncillo, Baja California Sur, México.

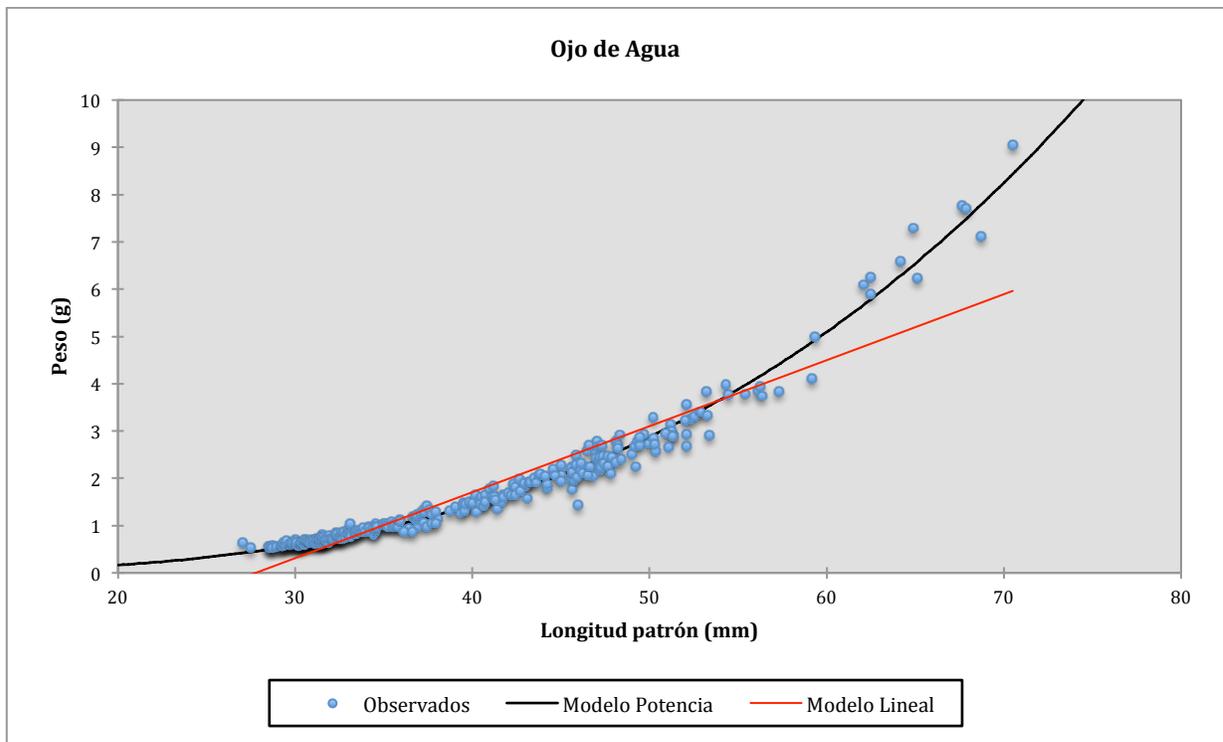


Figura 19. Relación longitud-peso de la población de sardinilla peninsular, *Fundulus lima*, encontrada en la localidad de Ojo de Agua, Baja California Sur, México.

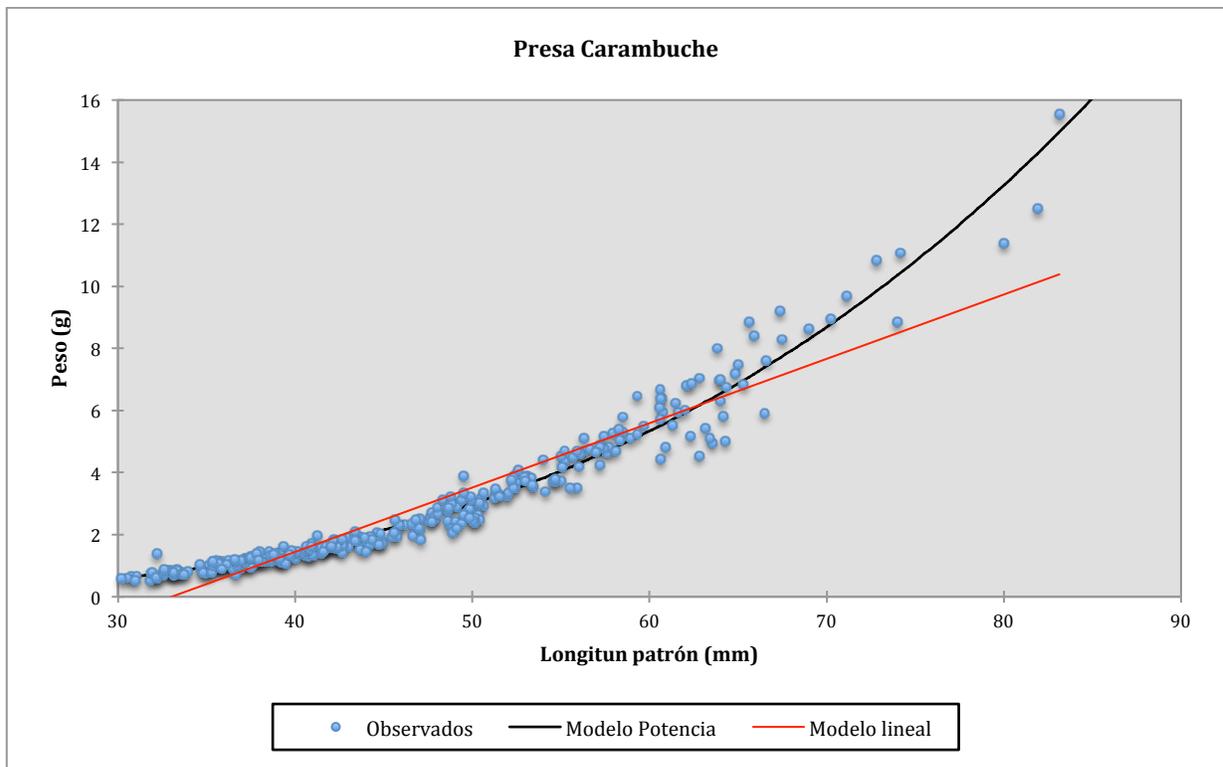


Figura 20. Relación longitud-peso de la población de sardinilla peninsular, *Fundulus lima*, encontrada en la localidad de Presa Carambucho, Baja California Sur, México.

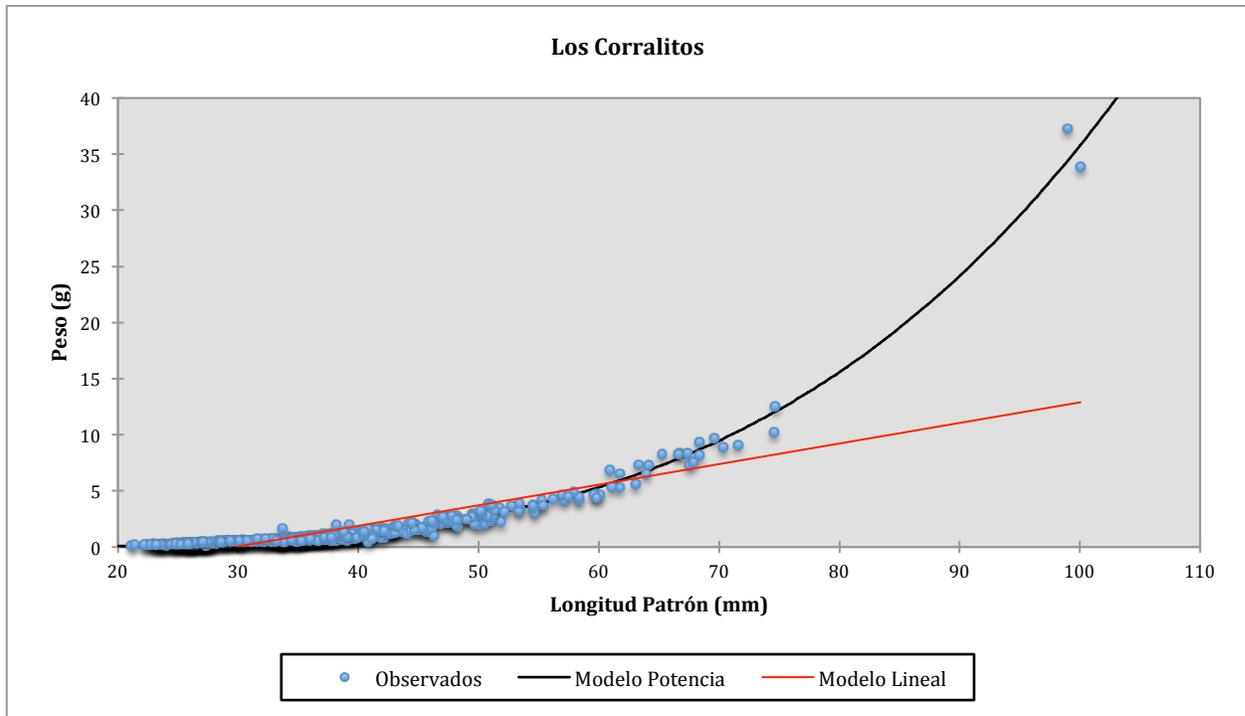


Figura 21. Relación longitud-peso de la población de sardinilla peninsular, *Fundulus lima*, encontrada en la localidad de Los Corralitos, Baja California Sur, México.

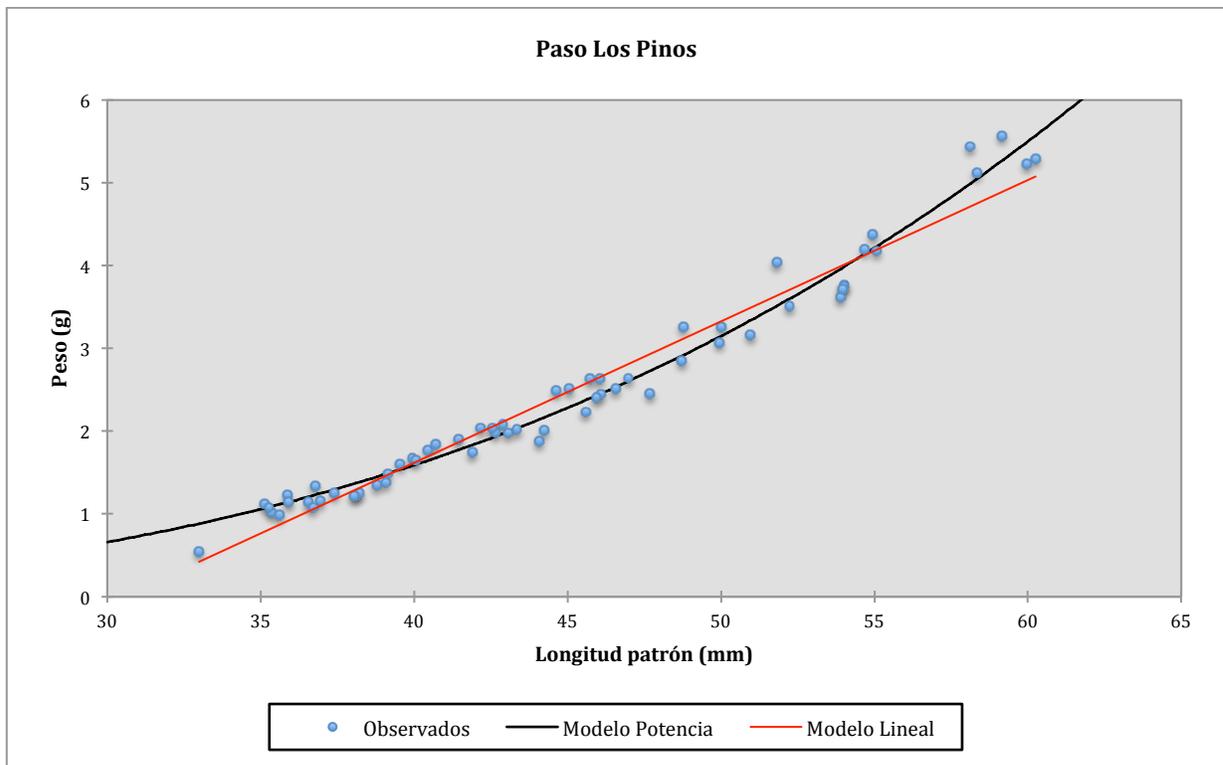


Figura 22. Relación longitud-peso de la población de sardinilla peninsular, *Fundulus lima*, encontrada en la localidad de Paso los Pinos, Baja California, México.

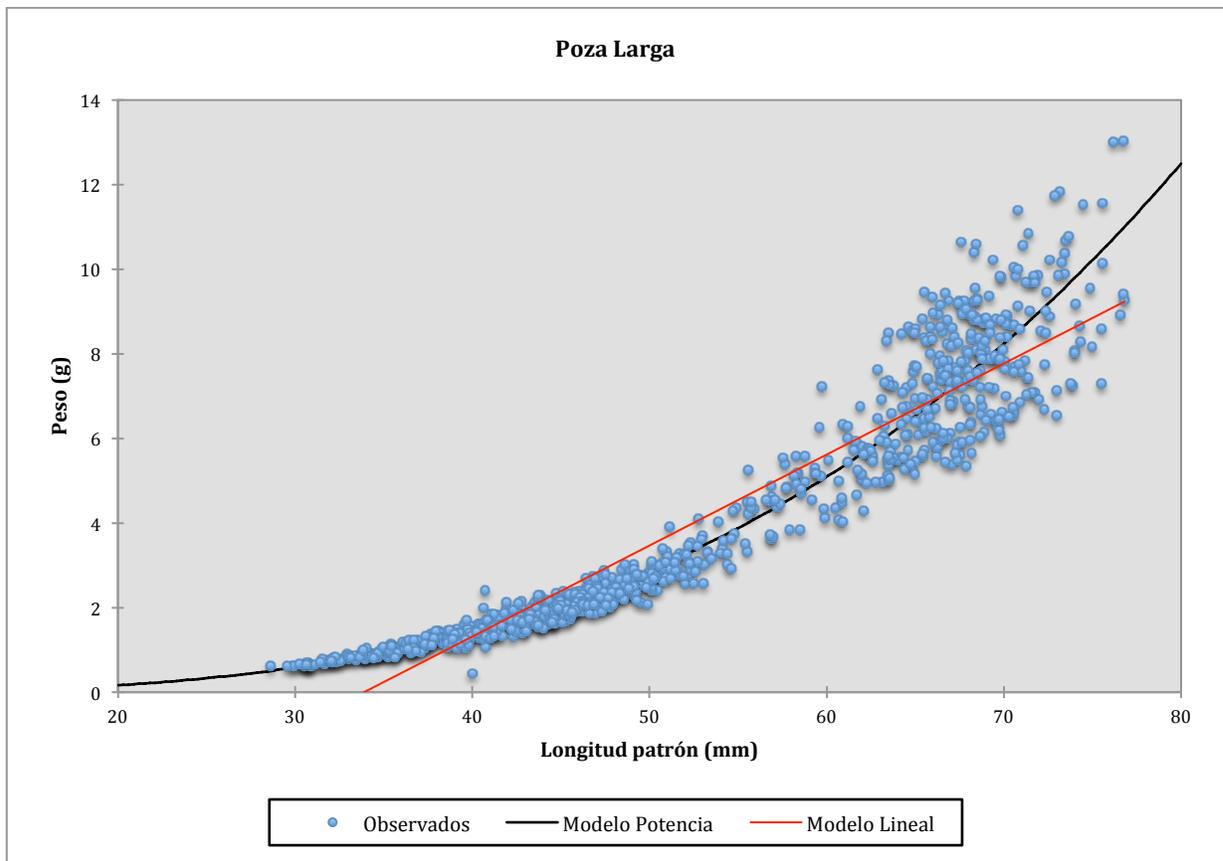


Figura 23. Relación longitud-peso de la población de sardinilla peninsular, *Fundulus lima*, encontrada en la localidad de Poza Larga, Baja California Sur, México.

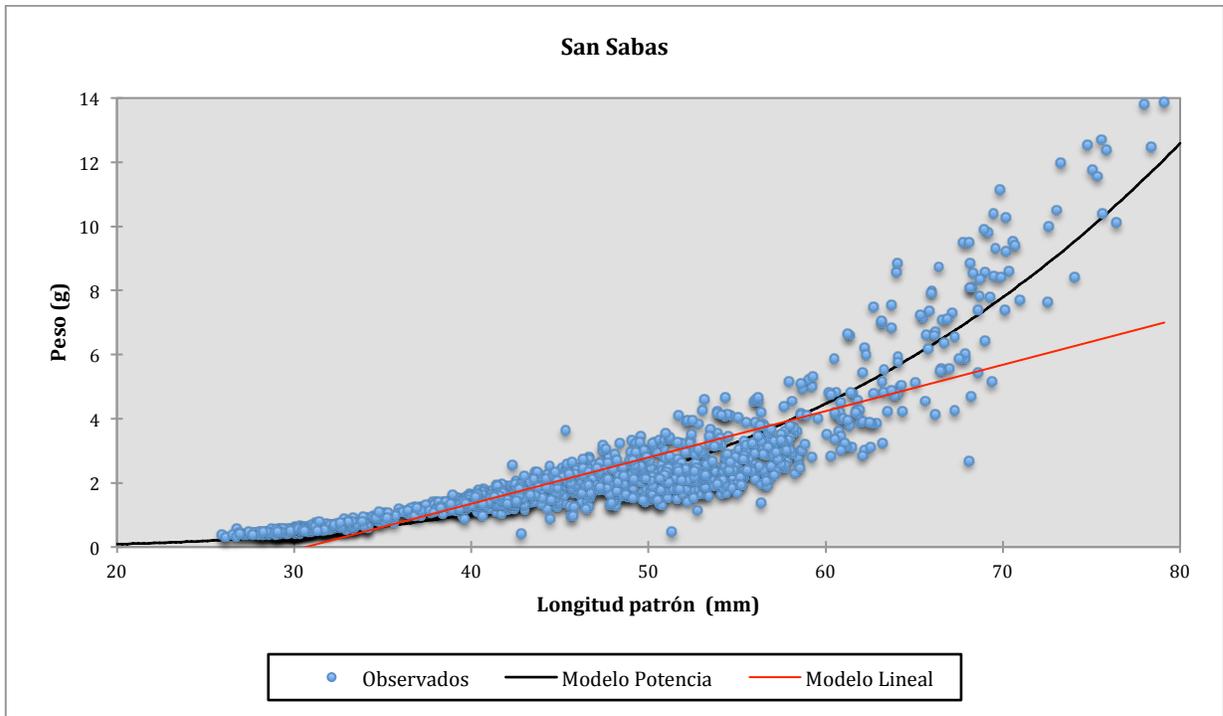


Figura 24. Relación longitud-peso de la población de sardinilla peninsular, *Fundulus lima*, encontrada en la localidad de San Sabas, Baja California Sur, México.

Existe una variación en los parámetros de regresión debido al modelo en el que se basa cada una de las ecuaciones utilizadas. A pesar de esto, el coeficiente de determinación (r^2) para la relación longitud-peso fue superior a 0.8 en ambas cuencas y en cada localidad analizada individualmente, independientemente del modelo utilizado. La excepción fue la localidad de Los Corralitos donde $r^2 = 0.768$; valor que se obtuvo a partir de la ecuación lineal. Estos resultados muestran un buen ajuste de los modelos de regresión, indicando un alto grado de relación entre el peso y la longitud patrón.

Tabla 5. Parámetros de la regresión Longitud-Peso (ecuación logarítmica) de la especie *Fundulus lima* en las cuencas de los ríos La Purísima (LP) y San Ignacio (SI), Baja California Sur, México.

Localidad	N	Relación LP-W			Intervalos de Confianza (b)	
		log a	b	r ²	Límite Inferior (95%)	Límite Superior (95%)
El Piloncillo (LP)	155	-5.076	3.261	0.977	3.181	3.341
Ojo de Agua (LP)	315	-4.614	2.983	0.984	2.940	3.025
Presa Carambucho (LP)	332	-5.096	3.274	0.972	3.214	3.334
Total (LP)	802	-4.889	3.153	0.981	3.123	3.183
Los Corralitos (SI)	768	-5.072	3.221	0.947	3.167	3.275
Paso los Pinos (SI)	62	-4.919	3.189	0.971	3.047	3.332
Poza Larga (SI)	1021	-4.827	3.108	0.971	3.075	3.141
San Sabas (SI)	1584	-4.446	2.837	0.890	2.788	2.886
Total (SI)	3431	-4.904	3.128	0.939	3.101	3.154

Tabla 6. Parámetros de la regresión Longitud-Peso (ecuación lineal) de la especie *Fundulus lima* en las cuencas de los ríos La Purísima (LP) y San Ignacio (SI), Baja California Sur, México.

Localidad	N	Relación LP-W			Intervalos de Confianza (b)	
		a	b	r ²	Limite Inferior (95%)	Limite Superior (95%)
El Piloncillo (LP)	155	-10.760	0.283	0.954	0.268	0.297
Ojo de Agua (LP)	315	-3.876	0.140	0.945	0.134	0.145
Presa Carambucho (LP)	332	-6.847	0.207	0.950	0.200	0.215
Total (LP)	802	-6.755	0.209	0.938	0.204	0.215
Los Corralitos (SI)	768	-5.180	0.176	0.768	0.165	0.186
Paso los Pinos (SI)	62	-5.210	0.171	0.982	0.162	0.179
Poza Larga (SI)	1021	-7.291	0.215	0.949	0.211	0.22
San Sabas (SI)	1584	-4.429	0.144	0.836	0.140	0.149
Total (SI)	3431	-5.553	0.177	0.877	0.173	0.18

Tabla 7. Parámetros de la regresión Longitud-Peso (potencia) de la especie *Fundulus lima* en las cuencas de los ríos La Purísima (LP) y San Ignacio (SI), Baja California Sur, México.

Localidad	N	Relación LP-W			
		a	b	r ²	Error asintótico (b)
El Piloncillo (LP)	155	0.000004378	3.420	0.978	0.0499
Ojo de Agua (LP)	315	0.0000141	3.126	0.982	0.0227
Presa Carambucho (LP)	332	0.00001263	3.164	0.964	0.0337
Total (LP)	802	0.000007679	3.386	0.978	0.0186
Los Corralitos (SI)	768	0.000003669	3.450	0.847	0.0391
Paso los Pinos (SI)	62	0.00002	3.059	0.979	0.0602
Poza Larga (SI)	1021	0.0000144	3.120	0.932	0.0344
San Sabas (SI)	1584	0.000001795	3.597	0.853	0.0359
Total (SI)	3431	0.000002925	3.493	0.896	0.0244

Tabla 8. Parámetros de la regresión Longitud (LT)–Longitud (LP) de la especie *Fundulus lima* en las cuencas de los ríos La Purísima (LP) y San Ignacio (SI), Baja California Sur, México.

Localidad	N	Relación LT-LP		
		a	b	r ²
El Piloncillo (LP)	155	1.151	0.134	0.993
Ojo de Agua (LP)	315	1.15	1.035	0.992
Presa Carambucho (LP)	332	1.155	-0.053	0.986
Total (LP)	802	1.138	1.089	0.992
Los Corralitos (SI)	768	1.129	1.558	0.925
Paso los Pinos (SI)	62	1.162	0.9	0.996
Posa Larga (SI)	1021	1.089	3.521	0.973
San Sabas (SI)	1584	1.149	1.07	0.977
Total (SI)	3431	1.122	2.079	0.971

7. 5. Factor de condición

El factor de condición de Fulton (K) para la población de la cuenca del Río La Purísima, durante el periodo de octubre de 2002 a julio de 2004, registró un promedio de 2.321 ± 0.273 (Figura 25). El valor promedio más alto se presentó en la localidad de El Piloncillo (2.413 ± 0.300) y el más bajo en Ojo de Agua (2.290 ± 0.188). Diferencias significativas se encontraron entre la localidad de El Piloncillo y las localidades de Ojo de Agua y Presa Carambucho (Prueba ANOVA $F = 11.498$, $p < 0.05$).

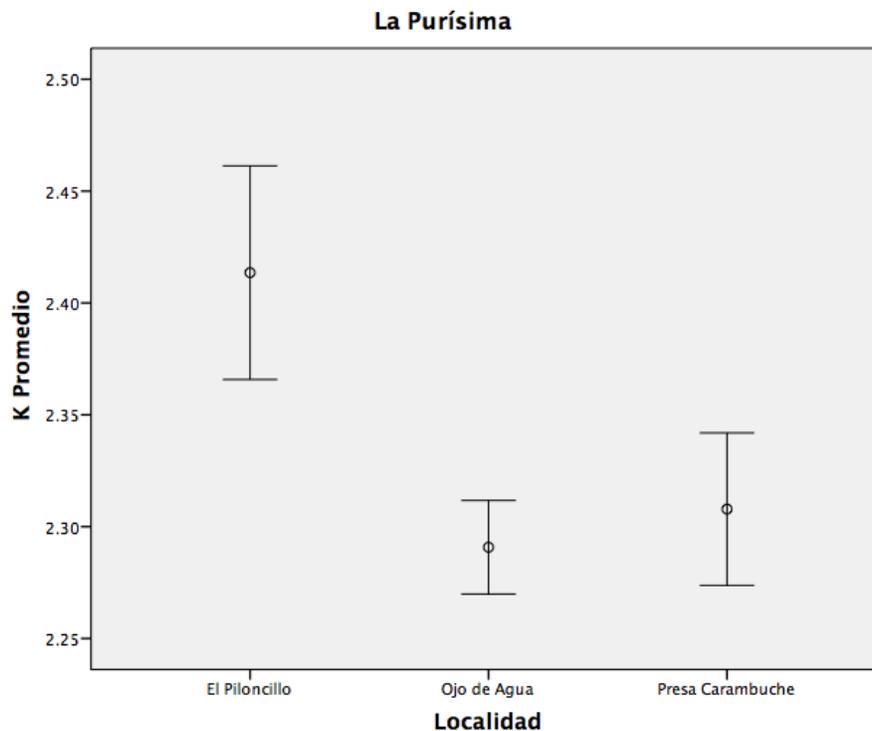


Figura 25. Factor de condición de Fulton (K) de la sardinilla peninsular, *Fundulus lima*, en la cuenca del Río La Purísima, Baja California Sur, México.

En la cuenca del Río San Ignacio el factor de condición de Fulton presentó un promedio de 2.064 ± 0.411 (Figura 26). El promedio más alto y el más bajo corresponden a las poblaciones de Paso los Pinos (2.487 ± 0.215) y Los Corralitos (1.899 ± 0.360), respectivamente. La diferencia de medias entre las cuatro localidades de muestreo fue significativa (Prueba ANOVA, $F = 227.581$, $p < 0.05$).

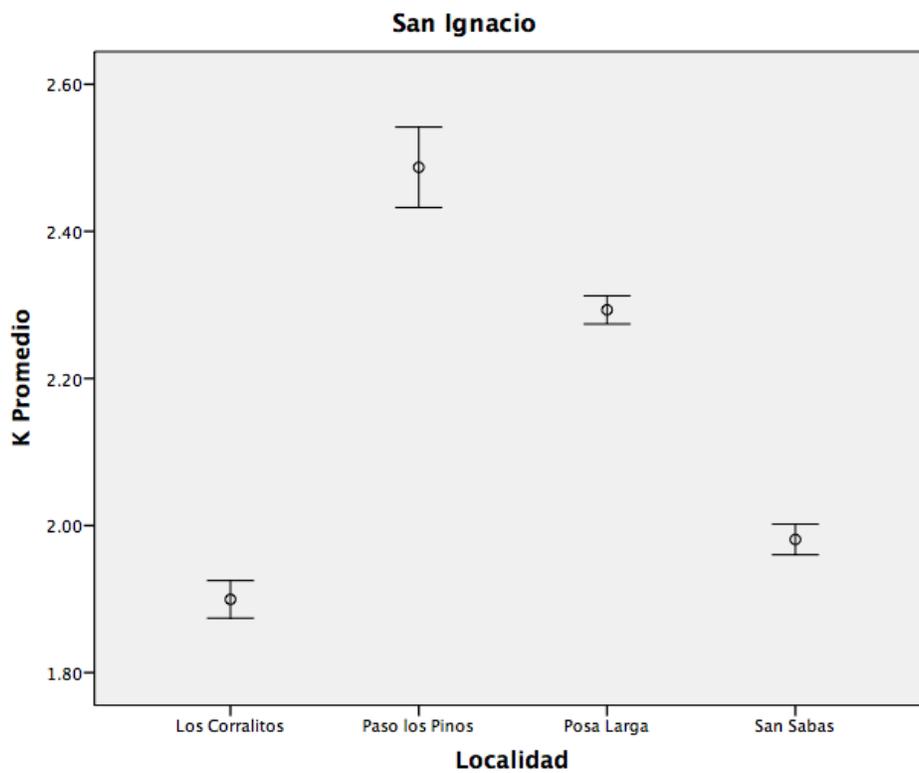


Figura 26. Factor de condición de Fulton (K) de la sardinilla peninsular, *Fundulus lima*, en la cuenca del Río San Ignacio, Baja California Sur, México.

A nivel de localidad, se observaron cambios en el factor de condición de Fulton a lo largo de las diferentes fechas de muestreo. En El Piloncillo, el valor promedio más alto (2.713 ± 0.190) se registró durante el muestreo de enero de 2004 (Figura 27). Una prueba ANOVA indicó la existencia de diferencias significativas entre la media del muestreo de febrero de 2003 y los dos muestreos correspondientes al año 2004 (Prueba ANOVA, $F = 20.799$, $p < 0.05$).

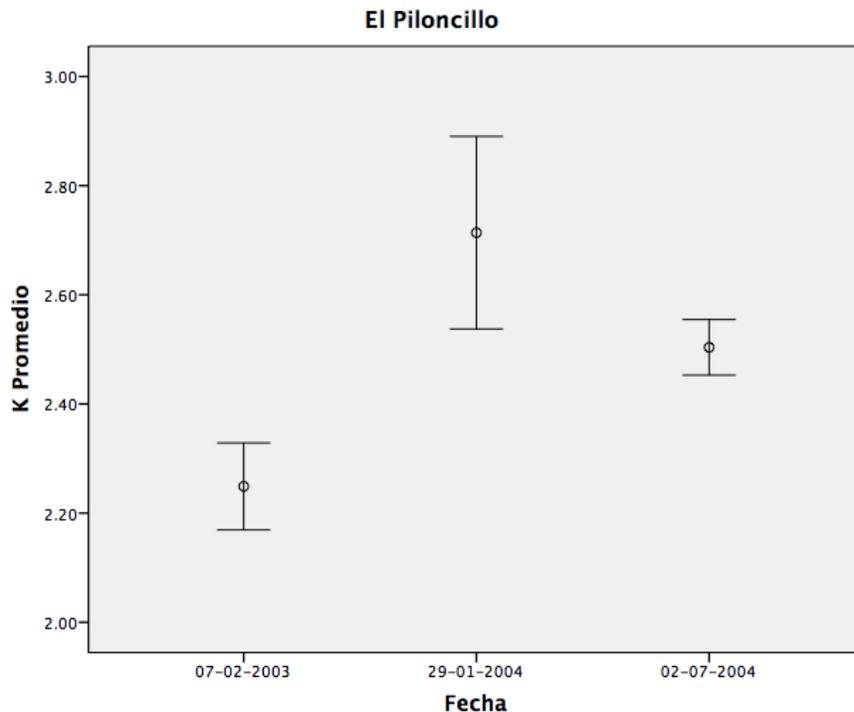


Figura 27. Factor de condición de Fulton (K) de la sardinilla peninsular, *Fundulus lima*, en la localidad de El Piloncillo, cuenca Río La Purísima, Baja California Sur, México.

En Ojo de Agua, el promedio de K registró un aumento de un año a otro (octubre 2002, $K = 2.144 \pm 0.141$; julio 2004, $K = 2.299 \pm 0.171$) (Figura 28).

Diferencias significativas existieron entre ambas fechas (Prueba ANOVA, $F = 9.686$, $p < 0.05$). En el análisis de esta localidad no se tomaron en cuenta los resultados de octubre de 2002 ($n=7$) y enero de 2003 ($n=8$) debido a la poca representación en el número de ejemplares.

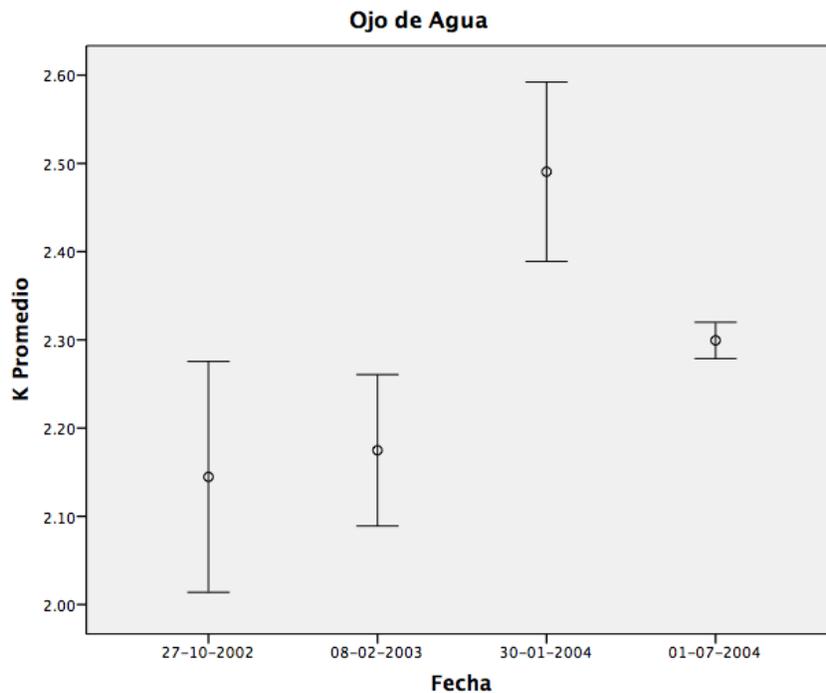


Figura 28. Factor de condición de Fulton (K) de la sardinilla peninsular, *Fundulus lima*, en la localidad de Ojo de Agua, cuenca Río La Purísima, Baja California Sur, México.

En Presa Carambuche el valor promedio de K se caracterizó por ser inferior durante los meses de octubre de 2002 ($K = 2.116 \pm 0.203$) y febrero de 2003 ($K = 2.114 \pm 0.246$) y mayor en enero (2.583 ± 0.250) y julio (2.485 ± 0.262) de 2004 (Figura 29). La prueba ANOVA no mostró diferencias significativas entre las

medias de K correspondientes a las primeras dos fechas (Prueba ANOVA, $F = 71.026$, $p = 1.000$). Sin embargo, éstas fueron diferentes al compararlas con las fechas del año 2004 (Prueba ANOVA, $F = 71.026$, $p < 0.05$).

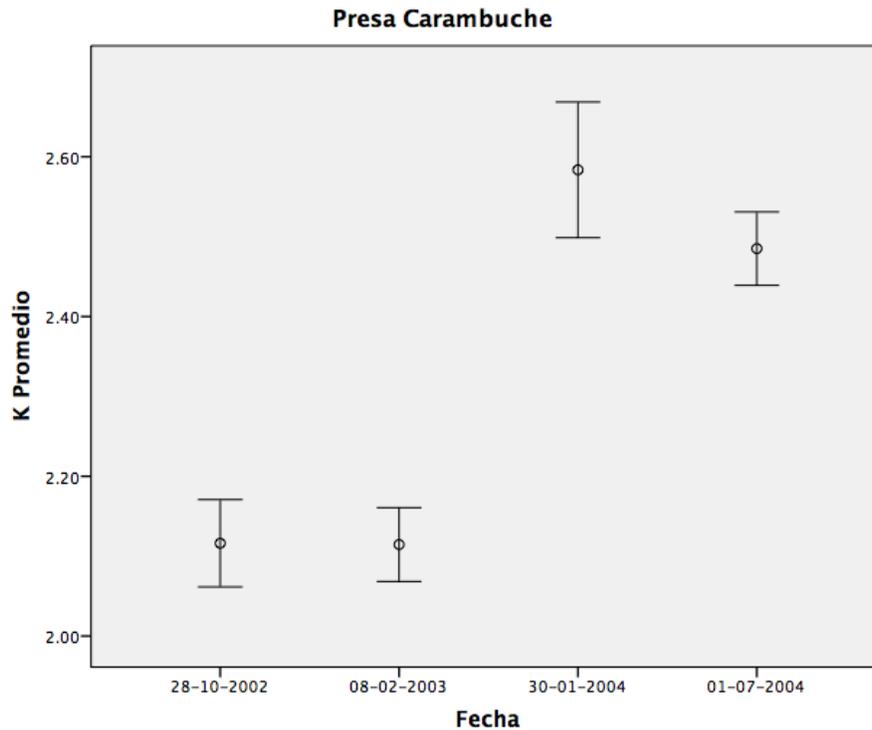


Figura 29. Factor de Condición de Fulton (K) de la sardinilla peninsular, *Fundulus lima*, en la localidad de Presa Carambuche, cuenca Río La Purísima, Baja California Sur, México.

En comparación con el resto de las localidades, los valores promedio correspondientes a las primeras tres fechas de muestreo en Los Corralitos, son relativamente bajos (octubre 2002, $K = 1.769 \pm 0.291$; febrero 2003, $K = 1.989 \pm 0.276$; septiembre 2003, $K = 1.760 \pm 0.356$) (Figura 30). Las únicas fechas que no mostraron diferencias significativas entre sí fueron el 28 de octubre de 2002 y el día 30 de enero de 2004 (Prueba ANOVA, $F = 86.587$, $p = 0.998$).

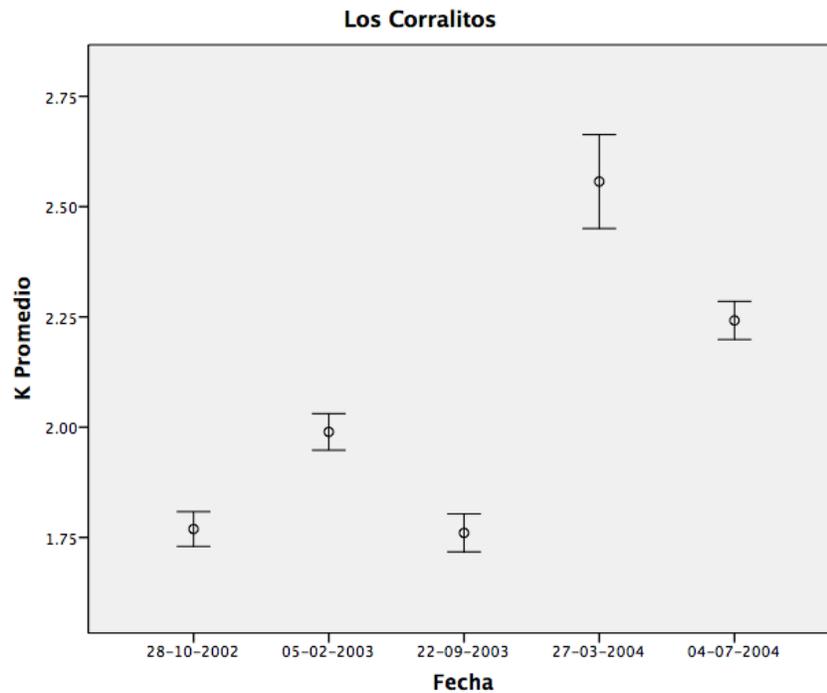


Figura 30. Factor de condición de Fulton (K) de la sardinilla peninsular, *Fundulus lima*, en la localidad de Los Corralitos, cuenca Río San Ignacio, Baja California Sur, México.

En la localidad de Paso los Pinos el valor promedio de K fue de 2.487 ± 0.215 . Estadísticamente no se realizaron más comparaciones debido a que en esta localidad solo se realizaron muestreos durante una sola fecha.

El comportamiento de los valores promedios en Poza Larga indican un aumento del factor de condición a lo largo del periodo de estudio (octubre 2002, $K = 1.987 \pm 0.173$; febrero 2003, $K = 2.357 \pm 0.249$; septiembre 2003, $K = 2.408 \pm 0.250$; marzo 2004, $K = 2.970 \pm 0.208$) (Figura 31). No obstante, dicha tendencia cambia en la última fecha con un descenso en el valor promedio de K (julio 2004, $K = 2.156 \pm 0.223$). Con excepción de los valores correspondientes a los días 5 de

febrero de 2003 y 21 de septiembre de 2003, las medias resultaron estadísticamente diferentes al momento de compararlas entre sí (Prueba ANOVA, $F = 198.741$, $p < 0.05$).

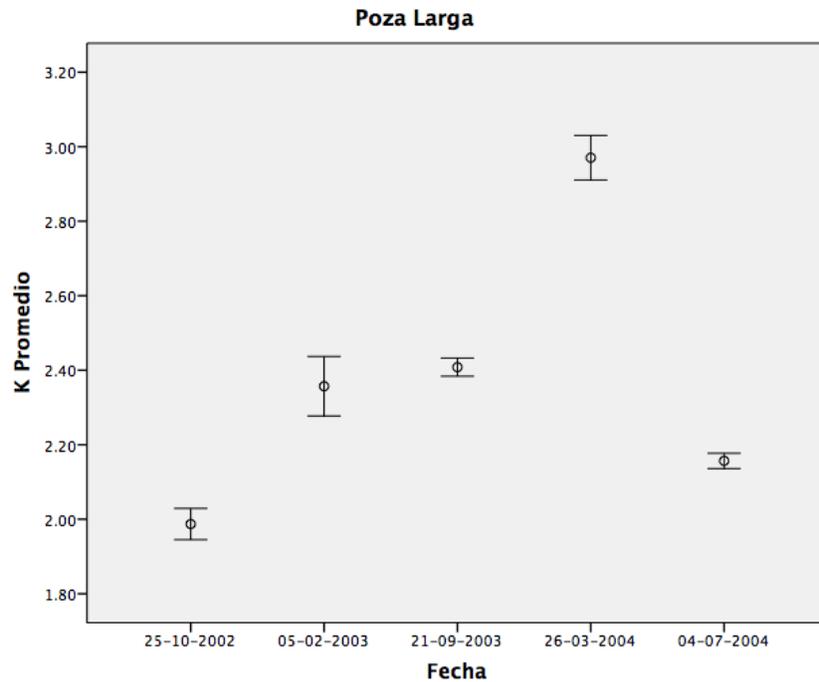


Figura 31. Factor de condición de Fulton (K) de la sardinilla peninsular, *Fundulus lima*, en la localidad de Poza Larga, cuenca Río San Ignacio, Baja California Sur, México.

En la localidad de San Sabas no se logró observar algún patrón en cuanto al comportamiento de los valores promedios de K. Los valores máximos y mínimos se registraron durante las fechas de febrero de 2003 (2.491 ± 0.375) y septiembre de 2003 (1.697 ± 0.329), respectivamente (Figura 32). El análisis de varianzas mostró diferencias significativas entre las medias de los días de febrero de 2003, y aquellas de los meses de septiembre de 2003 y julio de 2004 (Prueba ANOVA, $F =$

480.354, $p < 0.05$). Por el contrario, estadísticamente no hay diferencia con la media del mes de marzo de 2004 (Prueba ANOVA $F = 480.354$, $p = 0.332$).

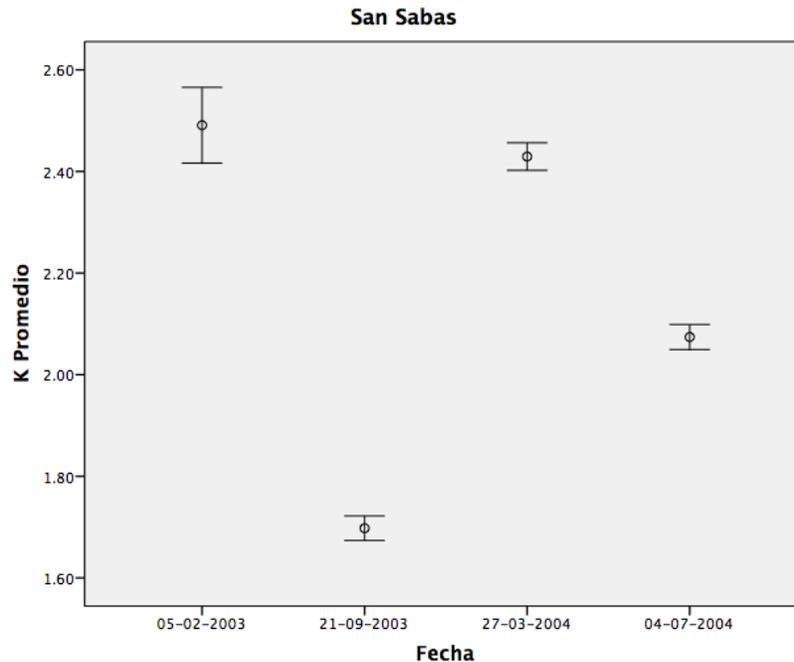


Figura 32. Factor de condición de Fulton (K) de la sardinilla peninsular, *Fundulus lima*, en la localidad de San Sabas, cuenca Río San Ignacio, Baja California Sur, México.

7. 6. Peso relativo.

El índice de peso relativo (W_r) fue calculado para la metapoblación de *Fundulus lima*, utilizando en todos los casos las constantes “a” y “b” de su respectiva regresión longitud-peso. La ecuación que se obtuvo para el cálculo del peso estándar (W_s) es $\log W_s = -4.902 + 3.133 * \log LP$.

Tomando en cuenta todo su ámbito de distribución, la especie *F. lima* presentó un W_s promedio de 101.883 ± 18.662 . Haciendo una comparación entre

cuencas, el valor promedio de La Purísima (111.730 ± 12.269) resultó ser mayor al de San Ignacio (99.584 ± 19.146) (Figura 33). Estadísticamente, no se encontraron similitudes entre las medias (Prueba $t = 17.161$, $p < 0.05$).

En la figura 34 se ilustra el comportamiento del peso relativo a lo largo del período de muestreo. Dicho comportamiento fue variable de una fecha a otra. Los valores del 25 de octubre de 2002 al 22 de septiembre de 2003 son inferiores a los que se registraron a partir del 29 de enero hasta el 2 de julio de 2004. El valor promedio máximo es 135.487 ± 9.549 y corresponde a la fecha del 26 de marzo de 2004, mientras que el mínimo es 86.437 ± 17.123 y es registrado el 22 de septiembre de 2003.

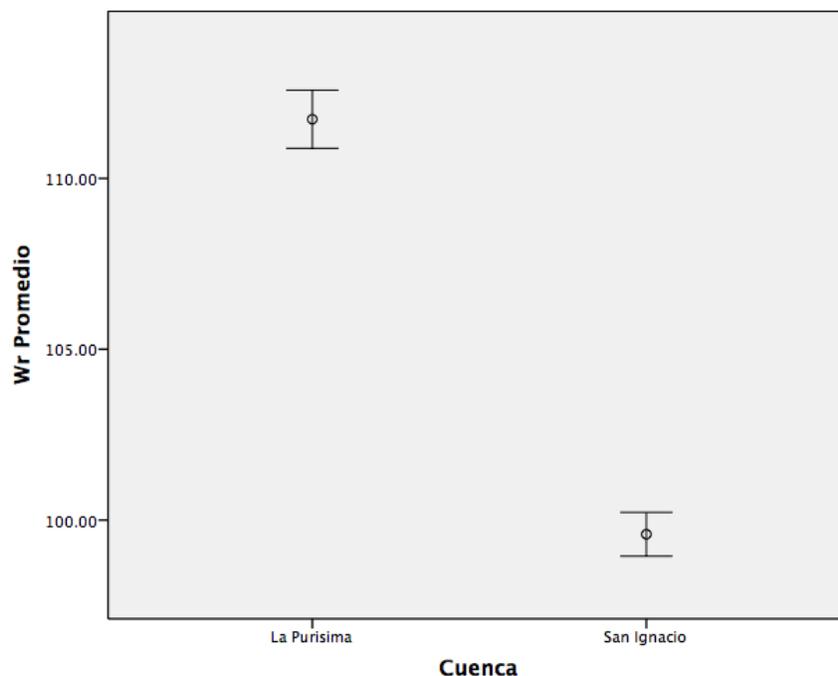


Figura 33. Índice de peso relativo (W_r) de la sardinilla peninsular, *Fundulus lima*, correspondiente a las cuencas de los ríos La Purísima y San Ignacio, Baja California Sur, México.

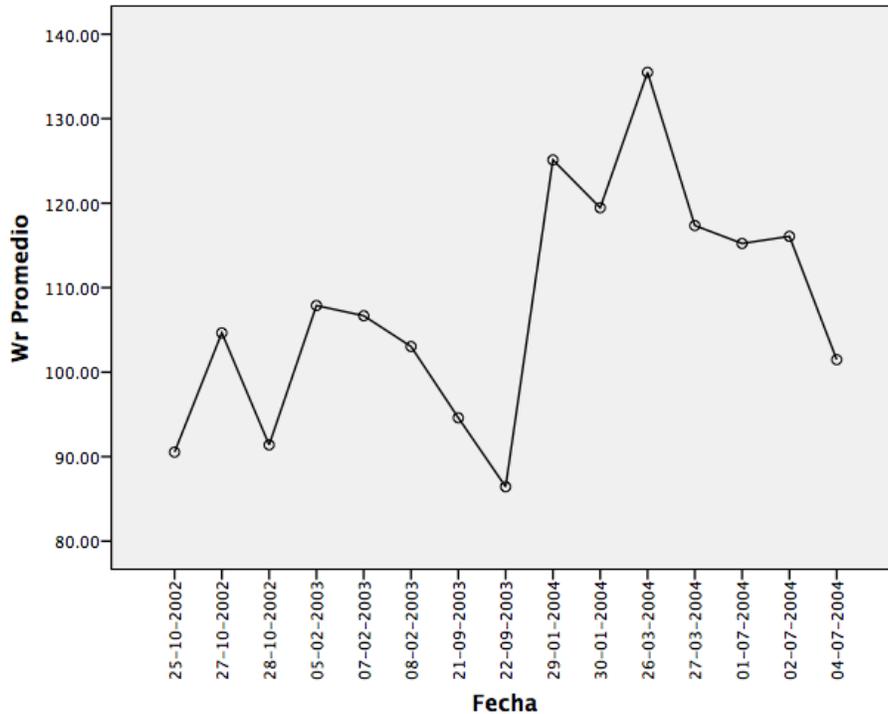


Figura 34. Índice de peso relativo (W_r) de la sardinilla peninsular, *Fundulus lima*, durante el periodo del 25 de octubre de 2002 al 4 de julio de 2004 en las cuencas de los ríos La Purísima y San Ignacio, Baja California Sur, México.

7. 7. Estructura poblacional.

7. 7.1. Composición poblacional por talla.

La composición poblacional de la sardinilla peninsular (*Fundulus lima*) a nivel de intervalos de talla (amplitud de clase = 2.5 mm de longitud patrón [LP]), en cada cuenca y sus respectivas localidades de muestreo, se ilustra en las Figuras 35-38.

De octubre de 2002 a julio de 2004, la población de la cuenca del Río La Purísima estuvo compuesta por individuos cuyas tallas oscilaron entre 27.06 y 83.13 mm LP, y registró un promedio de 45.97 ± 12.07 mm LP. Individuos de

30.00 a 30.20 mm LP fueron los más frecuentes en la población (Figura 35). Por otra parte, en la cuenca del Río San Ignacio la longitud promedio fue de 45.98 ± 12.07 mm LP, mientras que su población se compuso de individuos con tallas entre 21.15 y 79.11 mm LP, con una cantidad no mayor a los diez individuos que se encontraron entre los 95.00 y 100.04 mm LP. En esta última cuenca se observó una mayor frecuencia de individuos entre 40.00 y 42.50 mm LP (Figura 36).

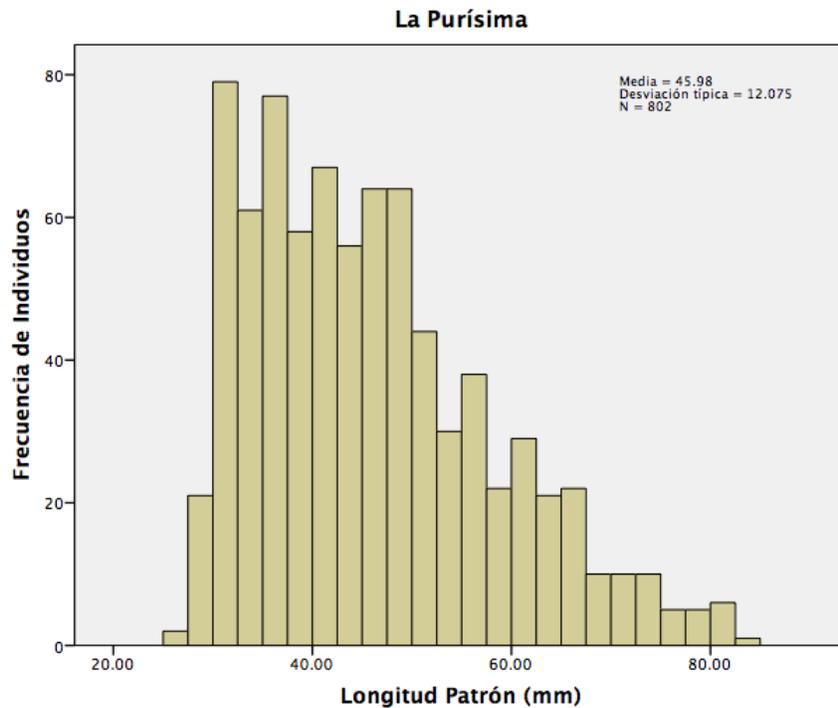


Figura 35. Composición poblacional por intervalo de talla de la sardinilla peninsular, *Fundulus lima*, en la cuenca del Río La Purísima, Baja California Sur, México (octubre de 2002 a julio de 2004).

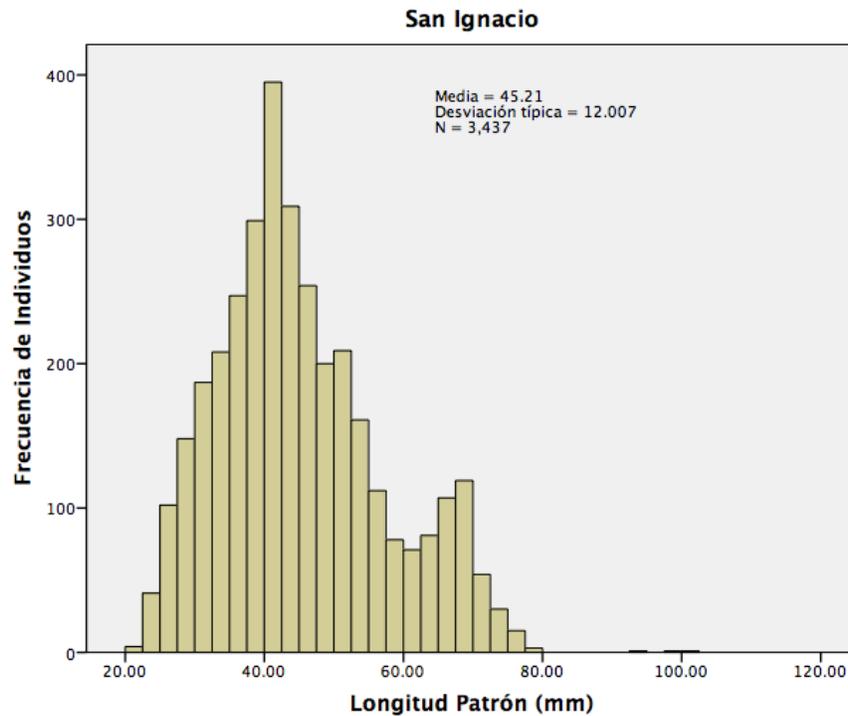


Figura 36. Composición poblacional por intervalo de talla de la sardinilla peninsular, *Fundulus lima*, en la cuenca del Río San Ignacio, Baja California Sur, México (octubre de 2002 a julio de 2004).

Los valores promedio que se obtuvieron para las localidades de recolecta en la cuenca del Río La Purísima son los siguientes: El Piloncillo (56.79 ± 12.61 mm LP), Ojo de Agua (39.78 ± 8.95 mm LP) y Presa Carambuche (46.80 ± 10.52 mm LP). Así mismo, los individuos que se presentaron más frecuentemente dentro de las poblaciones arriba citadas registraron tallas de 65.00 a 67.50 mm LP, 30.00 a 32.50 mm LP y 35.00 a 37.50 mm LP, respectivamente (Figura 37).

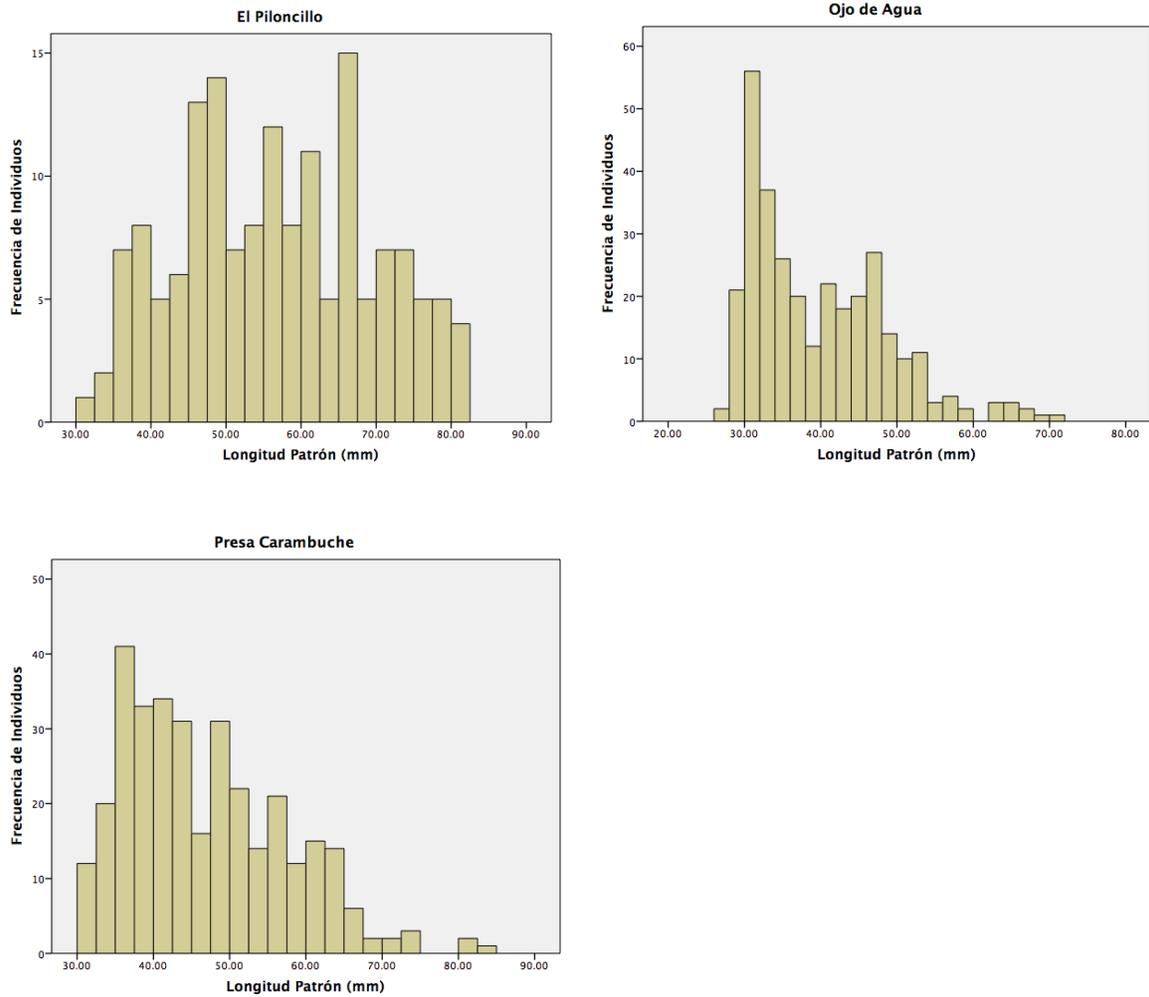


Figura 37. Composición poblacional por intervalo de talla de la sardinilla peninsular, *Fundulus lima*, en las localidades correspondientes a la cuenca del Río La Purísima, Baja California Sur, México (octubre del 2002 a julio del 2004).

En las localidades de recolecta dentro de la cuenca del Río San Ignacio, las longitudes promedio fueron las siguientes: Los Corralitos (36.77 ± 9.86 mm LP), Paso Los Pinos (44.83 ± 7.84 mm LP), Poza Larga (51.30 ± 12.51 mm LP) y San Sabas (45.39 ± 10.20 mm LP). Los individuos con una longitud entre 35.00 y 37.50 mm LP fueron los más frecuentes dentro de las poblaciones de Los Corralitos y

Paso los Pinos. Por último, las poblaciones de Poza Larga y San Sabas se compusieron principalmente de individuos de 42.50 a 45.00 mm LP y de 40.00 a 42.50 mm LP, respectivamente (Figura 38).

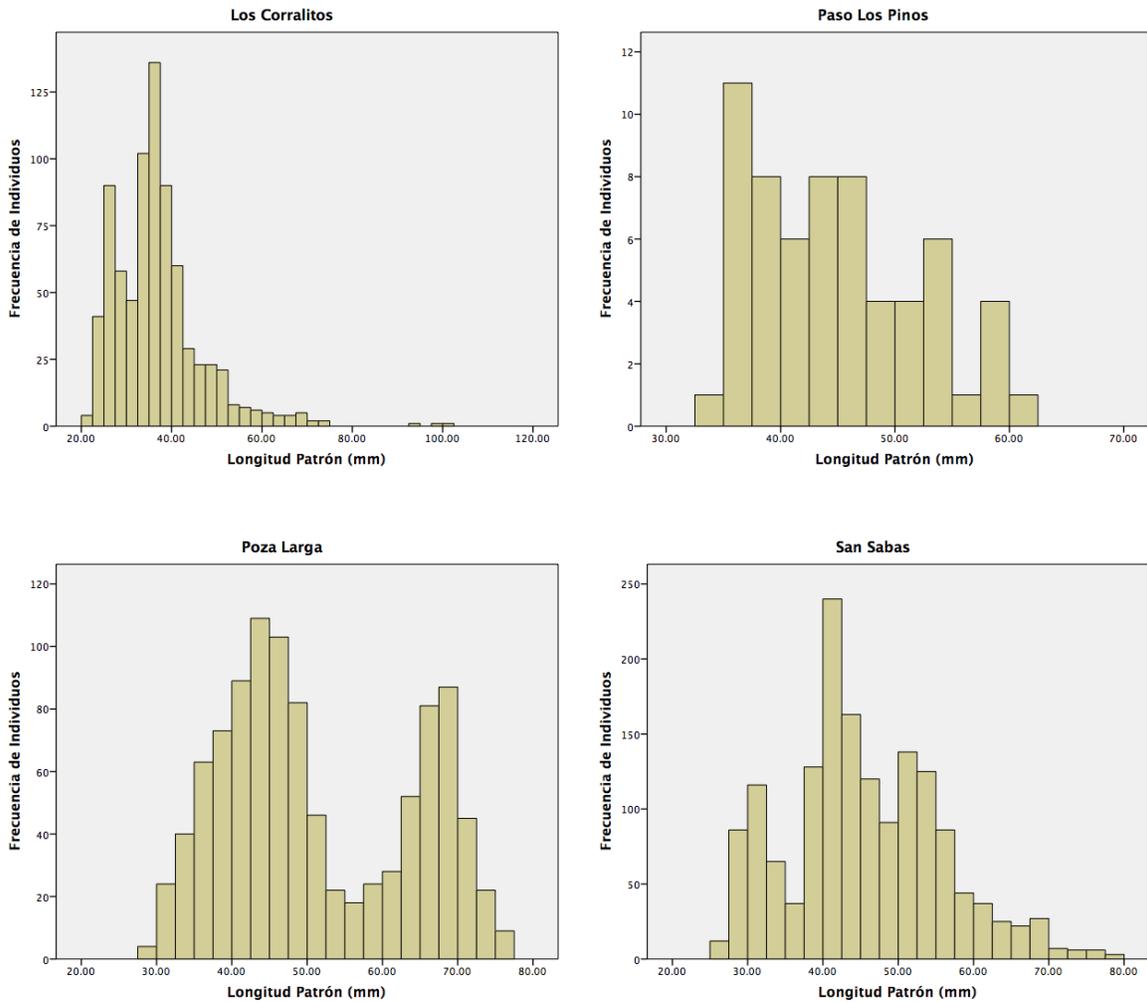


Figura 38. Composición poblacional por intervalo de talla de la sardinilla peninsular, *Fundulus lima*, en las localidades correspondientes a la cuenca del Río San Ignacio, Baja California Sur, México (octubre de 2002 a julio de 2004).

7. 7. 2. Estudio de las distribuciones de frecuencias de tallas

A continuación se presenta el análisis de la progresión modal de la distribución de frecuencias de tallas (longitud patrón [LP] en milímetros [mm]) en la totalidad de ejemplares procesados por cuenca y localidades muestreadas. Todas las distribuciones polimodales fueron ajustadas con índices de separación (S.I.) entre modas significativos ($S.I. \geq 2.0$, $p < 0.05$), sin embargo, no en todas las localidades quedan representadas el mismo número de clases.

Mientras la población de la cuenca del Río La Purísima presentó tres clases de edad, en San Ignacio sólo se observaron dos clases (Figuras 39 y 40). A nivel de localidad, están aquéllas que presentan un solo grupo o clase de edad (Paso los Pinos) (Figura 20), las que presentan dos clases (El Piloncillo, Ojo de Agua, Presa Carambucho y Poza Larga) (Figuras 41-43 y 46), y las que presentan tres clases (Los Corralitos y San Sabas) (Figuras 44 y 47). En las tablas 9 y 10 se muestra un resumen de los valores obtenidos al aplicar el método de Bhattacharya.

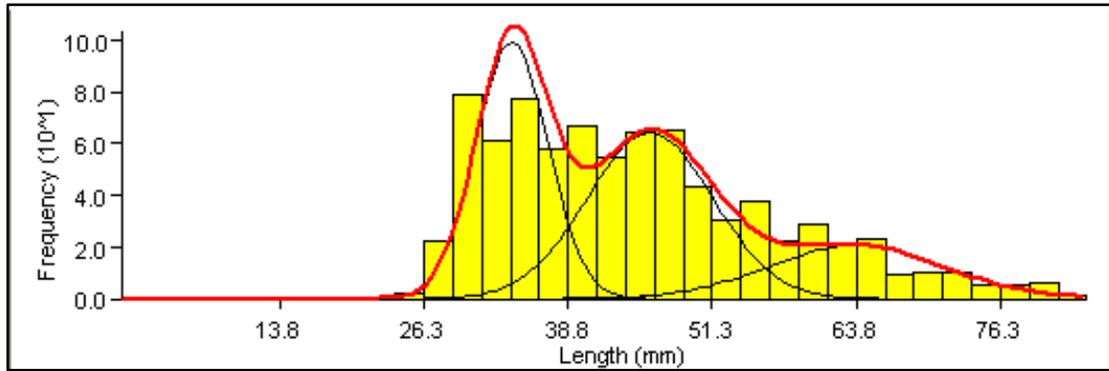


Figura 39. Análisis de la progresión modal de la distribución de frecuencias de tallas de ejemplares de *Fundulus lima* capturados en la cuenca del Río La Purísima, Baja California Sur, México.

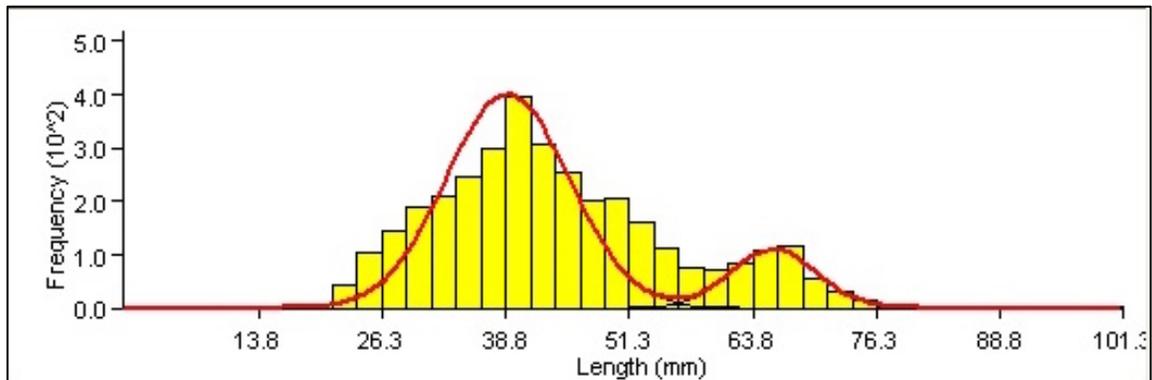


Figura 40. Análisis de la progresión modal de la distribución de frecuencias de tallas de ejemplares de *Fundulus lima* capturados en la cuenca del Río San Ignacio, Baja California Sur, México.

Tabla 9. Grupos de edad de la sardinilla peninsular, *Fundulus lima*, identificados a partir de frecuencias de tallas mediante el método de Bhattacharya, en las cuencas de los ríos La Purísima y San Ignacio, Baja California Sur, México.

Cuenca	Grupo modal (clase de edad)	Media LP (mm)	Desv. Típ	Población	Índice de Separación
La Purísima	1 (clase 0+)	33.88	3.12	311	-
	2 (clase 1+)	45.84	5.46	351	2.79
	3 (clase 2+)	63.74	7.58	157	2.75
San Ignacio	1 (clase 1+)	38.99	6.22	249	-
	2 (clase 2+)	65.84	4.35	479	5.09

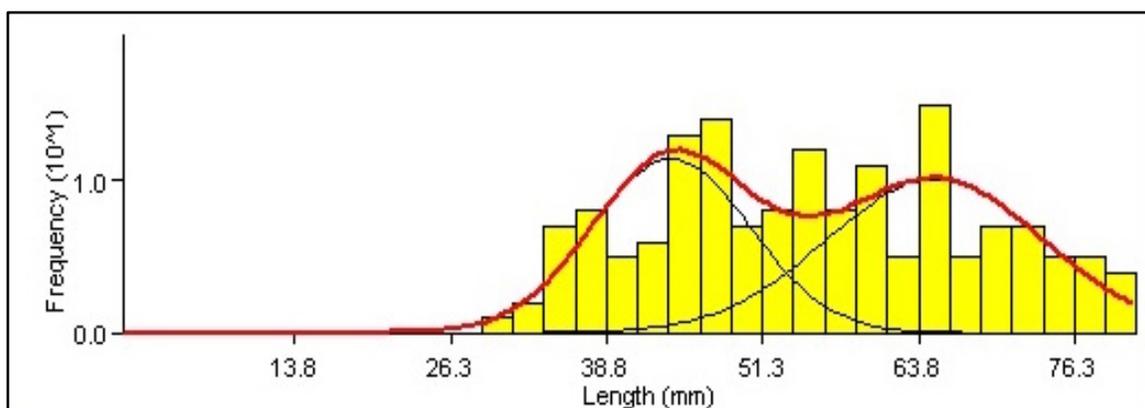


Figura 41. Análisis de la progresión modal de la distribución de frecuencias de tallas de ejemplares de *Fundulus lima* capturados en la localidad de El Piloncillo, cuenca Río La Purísima, Baja California Sur, México.

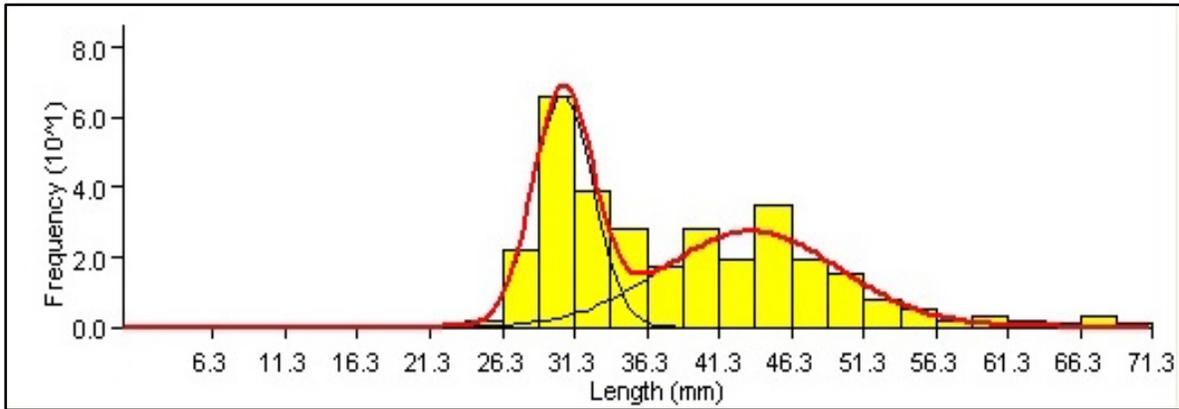


Figura 42. Análisis de la progresión modal de la distribución de frecuencias de tallas de ejemplares de *Fundulus lima* capturados en la localidad de Ojo de Agua, cuenca Río La Purísima, Baja California Sur, México.

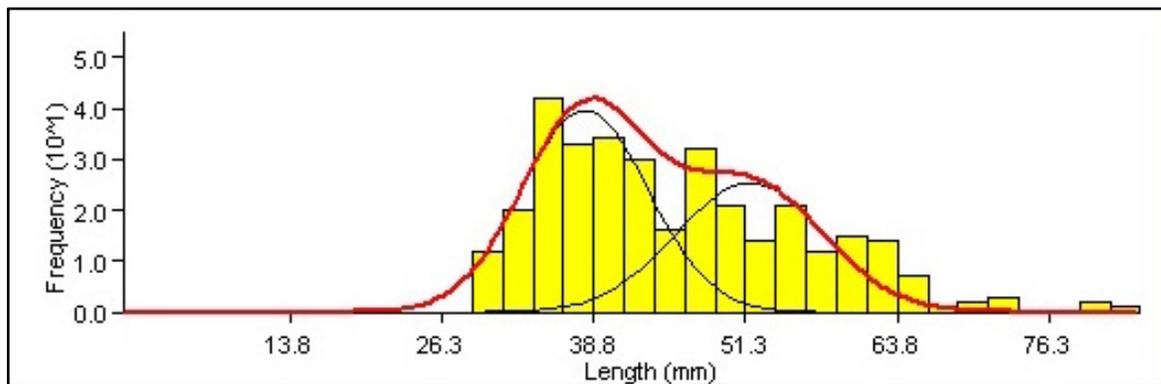


Figura 43. Análisis de la progresión modal de la distribución de frecuencias de tallas de ejemplares de *Fundulus lima* capturados en la localidad de Presa Carambucho, cuenca Río La Purísima, Baja California Sur, México.

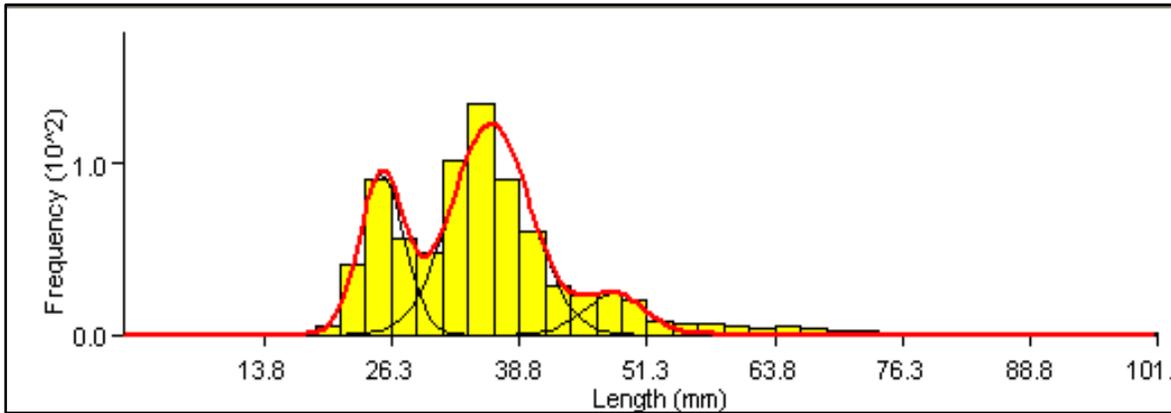


Figura 44. Análisis de la progresión modal de la distribución de frecuencias de tallas de ejemplares de *Fundulus lima* capturados en la localidad de Los Corralitos, cuenca Río San Ignacio, Baja California Sur, México.

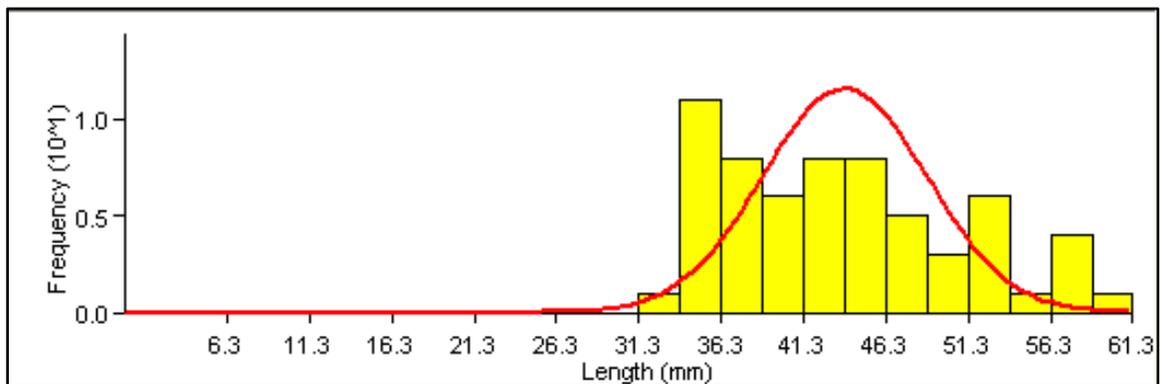


Figura 45. Análisis de la progresión modal de la distribución de frecuencias de tallas de ejemplares de *Fundulus lima* capturados en la localidad de Paso Los Pinos, cuenca Río San Ignacio, Baja California Sur, México.

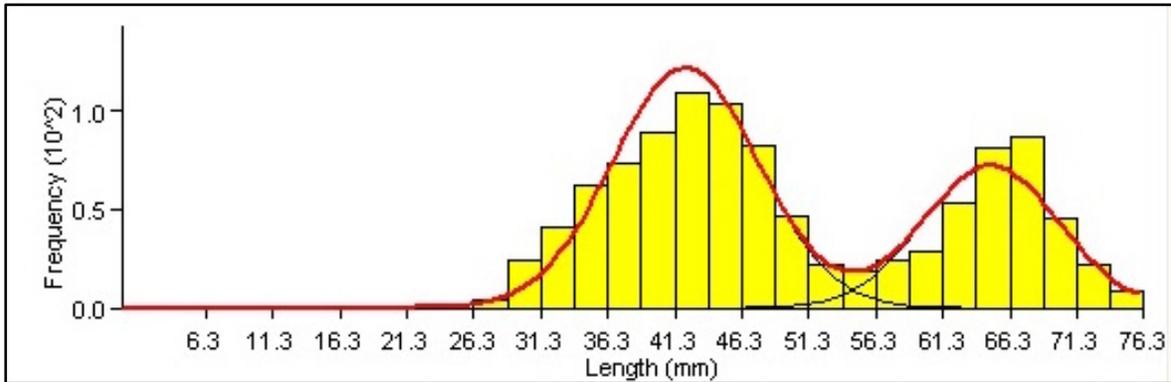


Figura 46. Análisis de la progresión modal de la distribución de frecuencias de tallas de ejemplares de *Fundulus lima* capturados en la localidad de Poza Larga, cuenca Río San Ignacio, Baja California Sur, México.

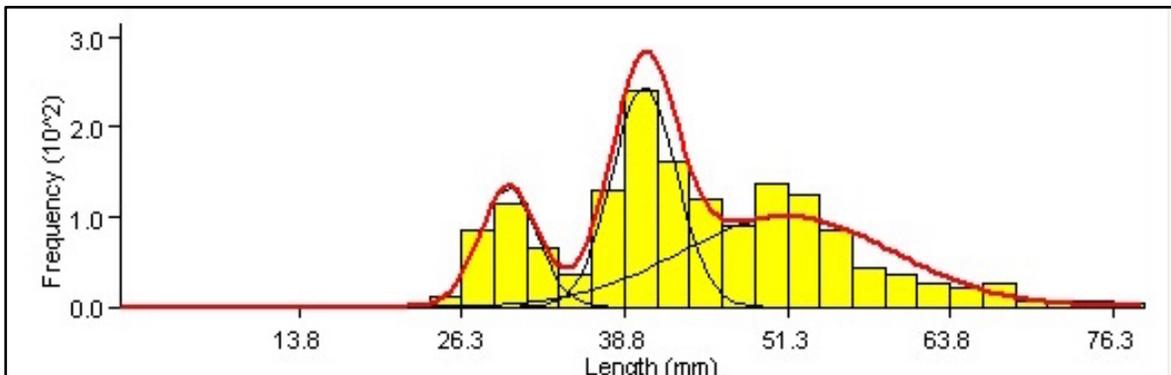


Figura 47. Análisis de la progresión modal de la distribución de frecuencias de tallas de ejemplares de *Fundulus lima* capturados en la localidad de San Sabas, cuenca Río San Ignacio, Baja California Sur, México.

Tabla 10. Grupos de edad de la sardinilla peninsular, *Fundulus lima*, identificados a partir de frecuencias de tallas mediante el método de Bhattacharya, en cada localidad de muestreo en las cuencas de los ríos La Purísima y San Ignacio, Baja California Sur, México.

Localidad	Grupo modal (clase de edad)	Media Longitud Patrón (mm)	Desv. Típ	Población	Índice de Separación
El Piloncillo	1 (clase 1+)	43.92	6.35	73	-
	2 (clase 2+)	65.06	8.67	88	2.81
Ojo de Agua	1 (clase 0+)	30.44	2.07	138	-
	2 (clase 1+)	43.47	6.17	169	3.16
Presa Carambucho	1 (clase 1+)	38.02	5.226	207	-
	2 (clase 2+)	51.62	6.07	154	2.41
Los Corralitos	1 (clase 0+)	25.3	2.2	206	-
	2 (clase 1+)	35.97	3.87	479	3.52
	3 (clase 2+)	48.04	3.04	73	3.49
Paso los Pinos	1 (clase 1+)	43.75	5.01	58	-
Poza Larga	1 (clase 1+)	42.04	5.47	665	-
	2 (clase 2+)	64.82	5.07	366	4.32
San Sabas	1 (clase 0+)	29.85	2.21	292	-
	2 (clase 1+)	40.27	2.5	611	4.42
	3 (clase 2+)	51.27	8.19	827	2.06

7. 7. 3. Composición poblacional por edad.

La composición poblacional por clases de edad de la sardinilla peninsular para la cuenca del Río La Purísima se ilustra en la Figura 48. En ella se muestra cómo la población se compone de tres clases de edad (0+, 1+ y 2+ años). Entre las muestras analizadas, la clase dominante pertenece a los individuos de 1 año. El caso contrario corresponde a los individuos de edad 2+, siendo éstos los menos frecuentes dentro de la población del Río La Purísima.

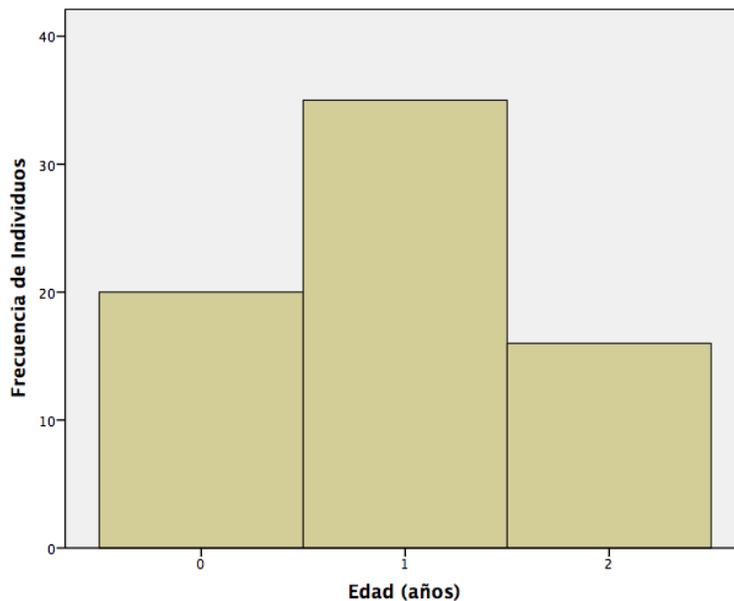


Figura 48. Composición poblacional por clase de edad de la sardinilla peninsular, *Fundulus lima*, en la cuenca del Río La Purísima, Baja California Sur, México (octubre de 2002 a julio de 2004).

8. DISCUSIÓN

8. 1. Muestreo

El muestreo ictiológico realizado durante el periodo de octubre de 2002 a julio de 2004, mostró que la abundancia en disponibilidad de la sardinilla peninsular, *Fundulus lima*, es mayor en la cuenca del Río San Ignacio en comparación con la cuenca del Río La Purísima; resultado que concuerda con lo señalado por Ruiz-Campos *et al* (2008). De todas las localidades de recolecta muestreadas, San Sabas fue el lugar en donde se capturó el mayor número de individuos (n= 1584), localidad donde la presencia del pez exótico *Tilapia cf. zillii* es todavía rara (Ruiz-Campos *et al.*, 2008). Este resultado es similar a lo encontrado por Ruiz-Campos *et al.* (2006a) y por Andreu-Soler y Ruiz-Campos (2013), quienes reportan que de las cinco especies de peces capturadas en San Sabas (*Fundulus lima*, *Cyprinus carpio*, *Poecilia reticulata*, *Xiphophorus hellerii*, y *Tilapia cf. zillii*), la sardinilla peninsular resultó ser la más abundante.

8. 2. Interpretación y biometría de escamas

Las marcas de crecimiento en escamas son consecuencia de periodos alternos favorables y desfavorables a lo largo de la vida de un pez. Éstas reflejan la variación en las tasas de crecimiento y pueden ser provocadas por factores externos o internos (Grosman, 1993). El método de interpretación de edad basado en anillos de crecimiento en escamas ya se ha utilizado anteriormente con otras especies del género *Fundulus*, por ejemplo, *F. heteroclitus* y *F. notatus* (Samaritan

y Schmidt, 1982; Welsh *et al.*, 2013). La relación lineal que se encontró entre el radio total de la escama (RT) y la longitud total (LT) de *Fundulus lima* nos indica que la escama es una estructura confiable para la determinación de la edad de la sardinilla peninsular.

El modelo de retrocálculo de tallas a edades pretéritas mostró que las tallas promedio retrocalculadas, son menores a las tallas observadas para los individuos de uno y dos años de edad. En este sentido, las longitudes promedio observadas son mayores debido a que éstas fueron basadas en las longitudes de individuos con “n” anillos completamente formados más los círculos (*circuli*) de crecimiento que se han adicionado después del último anillo anual. Por su parte, las longitudes retrocalculadas fueron basadas en las longitudes promedio de los individuos con “n” anillos anuales completamente formados. Esta situación forma parte de lo que se conoce como el fenómeno de Lee (Quist *et al.*, 2012) junto con otras causas que están asociadas a errores de retrocálculo, muestreo sesgado, mortalidad diferencial o una combinación de éstas (Terkan *et al.*, 2006).

El bajo número de clases de edad (0+, 1+ y 2+ años), identificadas a partir de la interpretación de escamas, indica que *F. lima* es una especie de longevidad corta con individuos que no alcanzan los tres años de vida. Casos de baja longevidad también han sido reportados en otras especies del mismo género, por ejemplo, *F. heteroclitus*, especie que no sobrevive una cuarta temporada de crecimiento (Samaritan y Schmidt, 1982; Fernández-Delgado, 1989).

8. 3. Crecimiento en peso y longitud

Al no poder aplicar los modelos de crecimiento de Von Bertalanffy y Gompertz, el crecimiento de la sardinilla peninsular en la cuenca del Río La Purísima se evaluó con base en la longitud y peso promedio de cada clase de edad. De acuerdo con los resultados obtenidos, en promedio, un individuo de un año de edad mide 53.718 ± 7.518 mm LT y pesa 2.398 ± 1.002 g. A los dos años de edad, un ejemplar de *Fundulus lima* mide y pesa en promedio 82.010 ± 7.261 mm LT y 9.381 ± 3.272 g, respectivamente. Las tallas registradas en este trabajo son similares a las de otras especies del mismo género, tal es el caso de *Fundulus heteroclitus*, especie con individuos de un año que miden entre los 18 y 67 mm LT e individuos de dos años que se encuentran entre los 40 y 77 mm LT (Samaritan y Schmidt, 1982), o bien, *Fundulus notatus* con individuos de un año con longitudes entre los 28 y 64 mm TL (Trautman, 1957)

8. 4. Relación Longitud-Peso y Longitud-Longitud

Entre las aplicaciones de la relación longitud-peso, se encuentran la posibilidad de la determinación del peso a través de la longitud, y el análisis del estado de condición del pez (Anderson y Gutreuter, 1983). En una población determinada, el coeficiente de regresión "b" tiende a asumir valores cercanos a 3.0 y es utilizado para describir el tipo de crecimiento somático (Ricker, 1979). De esta forma, para valores igual a 3.0 se establece que el crecimiento es isométrico. Del modo contrario, valores diferentes a 3.0 indican un crecimiento tipo alométrico (Sokal y Rohlf, 1981).

La relación longitud-peso de la sardinilla peninsular en las cuencas de los ríos La Purísima y San Ignacio se caracterizó por ser de tipo alométrico positivo ($b > 3.0$). Ruiz-Campos *et al.* (2006b) reportaron el mismo tipo de crecimiento para la sardinilla peninsular utilizando la ecuación de potencia, obteniendo valores para la pendiente de $b = 3.288$ en la cuenca del Río La Purísima y $b = 3.429$ en la cuenca del Río San Ignacio. Solo en la localidad de muestreo de San Sabas se observó un crecimiento tipo alométrico negativo ($b < 3.0$). Ruiz-Campos *et al.* (2006b) reportan una mayor prevalencia e intensidad media de parásitos en las sardinillas de la cuenca del Río San Ignacio, particularmente en la localidad de San Sabas, hecho al cual se le atribuye que éstas presenten un crecimiento tipo alométrico negativo.

8. 5. Factor de condición

La información referente al factor de condición de los fundúlidos es escasa, sin embargo, entre ella se encuentra lo reportado por Swingle (1965) sobre la especie *Fundulus olivaceus*. De acuerdo a este último autor, *F. olivaceus*, registra valores de K entre 0.86 y 2.83. Cabe aclarar que el factor de condición de Fulton (K) es exclusivo de cada especie y depende de la longitud de cada individuo, por lo tanto, no es posible realizar comparaciones entre individuos de diferentes especies (Murphy *et al.*, 1991).

El factor de condición de Fulton promedio (K) registrado en la sardinilla peninsular para la población de la cuenca del Río La Purísima ($K = 2.321 \pm 0.273$) fue mayor que la del Río San Ignacio ($K = 2.064 \pm 0.411$), indicando mejores

condiciones fisiológicas en los individuos de la primera cuenca. Esta tendencia difiere a lo encontrado por Ruiz-Campos *et al.* (2006b), quienes usaron el factor de condición relativo de LeCren (Kn) y obtuvieron un menor valor promedio para la cuenca del Río La Purísima (Kn= 1.002 ± 0.112) en comparación con aquél de la cuenca del Río San Ignacio (Kn= 1.058 ± 0.212).

De las poblaciones de sardinilla dentro de la cuenca del Río La Purísima, las que presentaron un factor de condición más bajo corresponden a las localidades de San Sabas y Los Corralitos, ambas con valores promedio de K menores a 2.0. Esto último puede estar asociado a diversos factores ecológicos, por ejemplo, el alto nivel de parasitismo encontrado en individuos de *Fundulus lima* dentro de ambas localidades (Ruiz-Campos *et al.*, 2006b), o a una mayor competencia causada por el aumento en la abundancia de especies ícticas exóticas (Andreu-Soler y Ruiz-Campos, 2013).

Con excepción de las localidades de Ojo de Agua y Poza Larga, el resto de las localidades de muestreo (El Piloncillo, Presa Carambucho, Los Corralitos, y San Sabas) registraron los valores promedio de K más bajos durante el mes de septiembre de 2003. Durante ese mismo mes se registraron fuertes inundaciones en la región debido a las condiciones climáticas extremas, causadas por la presencia del huracán Marty. Ese fenómeno tuvo efectos negativos sobre las poblaciones de *F. lima* en ambas cuencas hidrológicas, sin embargo, la especie mostró una recuperación significativa dentro de los siguientes 10 meses (Ruiz-Campos *et al.*, 2006a; Andreu-Soler y Ruiz-Campos, 2013). El aumento en los valores promedio de K que se observan en las fechas posteriores a septiembre de

2003, para todas las localidades, puede ser un reflejo de la recuperación previamente mencionada.

8. 6. Peso relativo

La condición de los peces es de suma importancia en el manejo de las pesquerías. Mientras que un pez corpulento puede ser un indicador de condiciones ambientales favorables, uno delgado de la misma especie puede indicar condiciones menos favorables (Blackwell *et al.*, 2000). La metapoblación de *Fundulus lima* que habita las cuencas hidrológicas de los ríos La Purísima y San Ignacio presentó un peso relativo (W_r) promedio de 101.883 ± 18.662 durante el periodo de octubre de 2002 a julio de 2004. Al igual que el factor de condición de Fulton (K), los valores del índice de peso relativo (W_r) mostraron una tendencia a disminuir durante el mes de septiembre del año 2003, seguido de un aumento considerable durante las siguientes fechas de muestreo. Las probables causas de esta situación fueron mencionadas con anterioridad en el apartado del factor de condición.

En el estudio de las pesquerías, el valor óptimo de W_r puede variar entre especies de acuerdo a los objetivos particulares de cada plan de manejo y a las limitaciones ambientales, no obstante, la mayoría de las investigaciones relacionadas sugieren un valor de W_r cercano o superior a 100 como indicador de condiciones fisiológicas y ecológicas saludables (Murphy *et al.*, 1991; Blackwell *et al.*, 2000). En virtud de lo anterior, la población de *Fundulus lima* de la cuenca del

Río La Purísima ($Wr=111.730 \pm 12.269$) se encuentra en mejores condiciones que la de la cuenca del Río San Ignacio ($W=99.584 \pm 19.146$).

8. 7. Estructura poblacional

La talla promedio de *Fundulus lima* es de 45.97 ± 12.07 mm LP en la cuenca del Río La Purísima, y de 45.98 ± 12.07 mm LP en la cuenca del Río San Ignacio; valores aproximadamente iguales a los promedios de 45.03 ± 12.31 mm LP (San Ignacio) y 45.99 ± 12.07 mm LP (La Purísima) reportados por Ruiz-Campos *et al.* (2006b). De octubre del 2002 a julio del 2004, ambas cuencas presentaron una composición poblacional por talla similar. Las clases de tallas oscilaron entre 21 y 84 mm LP, con la diferencia de que los individuos que se presentaron más frecuentemente en La Purísima (30.0-30.2 mm LP) eran más pequeños que en San Ignacio (40.0 y 42.5 mm LP).

La determinación de la edad basada en la técnica de interpretación de anillos de crecimiento en escamas, se complementó con un análisis polimodal de la distribución de frecuencia de tallas. Las gráficas de frecuencia en función de la longitud del pez son utilizadas para identificar grupos modales dentro de las diferentes clases de tallas, a los cuales se les asigna diferentes edades. Ésta es una técnica validada y que funciona bien con especies de rápido crecimiento y de longevidad corta (Quist *et al.*, 2012). Utilizando ambos métodos, Fritz (1975) registró una edad máxima de dos años para la especie hermana de *F. lima*, *F. parvipinnis*, en las costas de California, Estados Unidos.

A partir de los análisis previamente mencionados, se determinó que la estructura poblacional de sardinilla peninsular en las cuencas de los ríos La Purísima y San Ignacio está formada por un máximo de tres clases de edad (0+, 1+ y 2+ años). Mientras la población de la cuenca del Río La Purísima estuvo dominada por los individuos de un año, en la cuenca del Río San Ignacio dominaron los individuos con dos años de edad. Las clases 0+ y 2+ no estuvieron representadas en la totalidad de las localidades de muestreo. El que una clase de edad no se encuentre representada o no pueda ser identificada puede ser consecuencia de la baja susceptibilidad a las técnicas y equipo de muestreo por parte de los individuos del grupo en cuestión, o bien, al traslape entre los diferentes grupos de edad debido a las diferencias en el ritmo de crecimiento (Quist *et al.*, 2012).

9. CONCLUSIÓN

- La estructura poblacional de *Fundulus lima* evidencia la existencia de tres clases de edad (0+, 1+ y 2+ años), con lo que se comprueba su corta longevidad.
- La estructura poblacional de *Fundulus lima* en la cuenca del Río San Ignacio se integra de clases de tallas entre 21 y 101 mm LP, y en la cuenca del Río La Purísima, entre 27 y 84 mm LP.
- Las escamas pueden ser utilizadas en la determinación de la edad de *Fundulus lima*, evidenciando que la formación de anillos de crecimiento anuales corresponden a los cambios en el ritmo de crecimiento generado por condiciones ambientales estacionales.
- Las tallas promedio calculadas para edades pretéritas fueron: 38.61 mm LT para individuos de un año y 68.81 para individuos de dos años.
- Debido al bajo número de clases de edad (3), no es posible utilizar los modelos Von Bertalanffy y Gompertz para evaluar el crecimiento somático de *Fundulus lima*.
- La relación longitud-peso de la sardinilla peninsular para la población de la cuenca del Río La Purísima, es $\log W = -4.889 + 3.152 * \log LP$, y para la población de la cuenca del Río San Ignacio, $\log W = -4.904 + 3.128 * \log LP$; demostrando en ambos casos un crecimiento tipo alométrico positivo.

- La sardinilla peninsular tiene un factor de condición de Fulton (K) promedio de 2.321 ± 0.273 en la cuenca del Río La Purísima y de 2.064 ± 0.411 en la cuenca del Río San Ignacio.
- La metapoblación de *Fundulus lima* que habita las cuencas hidrológicas de los ríos San Ignacio y La Purísima tiene una condición somática expresada como peso relativo promedio (W_r) de 101.883 ± 18.662 .
- Los individuos de la población de *Fundulus lima* de la cuenca del Río La Purísima presentaron mejores condiciones fisiológicas que aquéllos de la cuenca del Río San Ignacio.
- La ecuación obtenida de peso estándar (W_s) de la especie *Fundulus lima* es $W_s = -4.902 + 3.133 * \log LP$

Literatura citada

- Acosta-Zamorano, D., G. Ruiz-Campos, A. Andreu-Soler, & C.A. Reyes-Valdez. 2011. Seasonal diet composition of *Fundulus lima* (Cyprinodontiformes: *Fundulidae*) in two oasis systems of Baja California Sur, Mexico. *Revista de Biología Tropical*, 59:1669-1678.
- Alaníz-García, J., G. Ruiz-Campos, F.J. Abarca-González & A. Valdez-González. 2004. Interacción trófica entre dos especies ícticas sintópicas, una nativa (*Fundulus lima*) y la otra exótica (*Xiphophorus helleri*), en el oasis San Ignacio, Baja California Sur, México. Págs. 193-216. En: Homenaje al Doctor Andrés Reséndez Medina: un ictiólogo mexicano. M.L. Lozano-Vilano & A.J. Contreras-Balderas (eds.). Universidad Autónoma de Nuevo León, Monterrey, México.
- Anderson, R.O., & S.J. Gutreuter. 1983. Length, weight, and associated structural índices. Págs. 283-300. En: Fisheries techniques. L.A. Nielsen y D.L. Johnson (eds.). American Fisheries Society, Bethesda (Maryland).
- Andreu-Soler, A. & Ruiz-Campos, G. 2013. Effects of exotic fishes on the somatic condition of the endangered killifish *Fundulus lima* (Teleostei: Fundulidae) in oases of Baja California Sur, Mexico. *The Southwestern Naturalist*, 58(2): 192-201.
- Arriaga-Cabrera, L., V. Aguilar-Sierra & J. Alcocer-Durand. 2000. Aguas continentales y diversidad biológica de México. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México, D.F. 153-162 pp.

- Axelrod, D.I. 1979. Age and origin of the Sonora Desert vegetation. *Occasional Papers of the California Academy of Science*, 132:1-74.
- Bernardi, G., G. Ruiz-Campos & F. Camarena-Rosales. 2007. Genetic isolation and evolutionary history of oases populations of the Baja California killifish, *Fundulus lima*. *Conservation Genetics*, 8: 547-554.
- Berra, T.M. 2001. Freshwater fish distribution. Academic Press, San Diego, California. 604 pp.
- Bhattacharya, C.G. 1967. A simple method of resolution of a distribution into gaussian components. *Biometrics*, 23: 115-135.
- Blackwell, B.G., M.L. Brown & D.W. Willis. 2000. Relative weight (Wr) status and current use in fisheries assessment and management. *Reviews in Fisheries Science*, 8(1): 1-44.
- Camarena-Rosales, F. 1999. Relaciones filogeográficas entre especies y subespecies de *Fundulus* (Pisces: Fundulidae) de la península de Baja California, México. Tesis de doctorado, Facultad de Ciencias Marinas/Instituto de Investigaciones Oceanológicas, Universidad Autónoma de Baja California, Ensenada, B.C. 89 pp.
- Camarena-Rosales, F., J. De la Rosa-Vélez, G. Ruiz-Campos & F. Correa. 2001. Biometric and allozymic characterization of three coastal and inland killifish populations (Pisces: Fundulidae) from the peninsula of Baja California, Mexico. *International Review of Hydrobiology*, 86(2): 229-240.
- Cashner, R.C., J.S. Rogers & J.M. Grady. 1992. Phylogenetic studies of the genus *Fundulus*. Págs. 421-437. En: *Systematics, Historical Ecology, & North*

- American Freshwater Fishes. R.L. Mayden (ed.). Stanford University Press. Stanford, California.
- Coria, S. 1997. Climatología. Págs. 27-34. En: Los oasis de la Península de Baja California. Publicación No. 13. L. Arriaga y R. Rodríguez-Estrella (eds.). Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste. La Paz, México.
- Echánove-Juan, J.A. 2009. Estructura genética poblacional de *Fundulus lima* (Teleostei) en los sistemas hidrológicos de San Ignacio y La Purísima, México. Tesis de licenciatura, Facultad de Ciencias, Universidad Autónoma de Baja California, Ensenada B.C. 62 pp.
- Evermann, B.W. 1908. Descriptions of a new species of trout (*Salmo nelsoni*) and a new cyprinodont (*Fundulus meeki*) with notes on other fishes from Lower California. *Proceedings of the Biological Society of Washington*, 21: 19-30.
- Fernandez-Delgado. 1989. Life-history patterns of the salt-marsh killifish *Fundulus heteroclitus* (L.) introduced in the estuary of the Guadalquivir river (South West Spain). *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 29: 573-582.
- Ferrusquía-Villafranca, A. 1993. Geology of Mexico: A synopsis. Págs. 1- 31 En: Biological diversity of Mexico, origin and distribution. T.P. Ramamoorthy, A. Bye & A. Lot (eds.). Biological Diversity of Mexico, origin and distribution. Oxford University Press, Oxford.
- Follett, W.I. 1960. The fresh-water fishes-their origins and affinities. Symposium on the biogeography of Baja California and adjacent seas. *Systematic Zoology*, 9: 212-232.
- Fritz, E.S. 1975. Life history of the california killifish *Fundulus parvipinnis* Girard, in Anaheim Bay, California. Págs. 91-106. En: The marine resources of

- Anaheim Bay. Fish Bulletin 65. E.D. Lane, y C.W. Hill (eds.). California Department of Fish and Game.
- Gayanilo, F.C, P. Sparre & D. Pauly 1996. The fao iclarm stock assessment tools (fisat). User's guide. *Fao computerized information series (fisheries)* 8, Fao, Rome: 126 pp.
- Grismer, L.L., & J.A. McGuire. 1993. The oases of Central Baja California, Mexico. Part I. A preliminary account of the relict mesophilic herpetofauna and the status of the oases. *Southern California Academy of Science*, 92: 1-52.
- Grosman, F. 1993. Comparación de diferentes metodologías para la estimación del crecimiento del pejerrey patagónico. *Ecología Austral*, 3: 33-41.
- Jearld, A., Jr. 1983. Age determination. Págs. 301-324. En: Fisheries techniques. L.A. Nielsen & D.L. Johnson (eds.). American Fisheries Society, Bethesda, Maryland.
- Maceina, M.J., J. Boxrucker, D.L. Buckmeier, R.S. Gangl, D.O. Lucchesi, D.A. Isermann, J.R. Jackson & P.J. Martínez. 2007. Current status and review of freshwater fish aging procedures used by state and provincial fisheries agencies with recommendations for future direction. *Fisheries*, 32(7): 329-340.
- Miller, R.R. 2005. Freshwater fishes of Mexico. University of Chicago Press. Chicago, EUA. 59 pp.
- Morehouse, R.L., S.B. Donabauer & A.C. Grier. 2013. Estimating largemouth bass age: Precision and comparisons among scales, pectoral fin rays, and dorsal fin spines as nonlethal methods. *Fisheries and Aquaculture Journal*, 12: 2-7.

- Murphy, B.R., D.W. Willis & T.A. Springer. 1991. The relative weight index in fisheries management: Status and needs. *Fisheries*, 16(2): 30-38.
- Myers, G.S. 1930. The killifish of San Ignacio and the stickleback of San Ramon, Lower California. *Proceedings of the California Academy of Science*, 19(9): 95-104.
- Myers, G.S. 1951. Freshwater fishes and East Indian zoogeography. *Stanford Ichthyological Bulletin*, 4: 11-21.
- Padilla, G., S. Pedrin & E. Troyo. 1991. Geología. Págs. 72-93. En: La Reserva de la Biosfera el Vizcaíno en la Península de Baja California, México. A.Ortega, & L. Arriaga (eds.). Centro de Investigaciones Biológicas de Baja California Sur. La Paz, Baja California Sur, México.
- Parenti, L.R. 1981. A phylogenetic and biogeographic analysis of cyprinodontiform fishes (Teleostei: Atherinomorpha). *Bulletin of the American Museum of Natural History*, 168(4): 335-557.
- Peinado-Lorca, M., M.A. Macías-Rodríguez, J.L. Aguirre-Martínez & J. Delgadillo-Rodríguez. 2009. *Fitogeografía de la costa del Pacífico de Norteamérica*. *Anales del Jardín Botánico de Madrid*, 62(2): 151-194.
- Quist, M.C., M.A. Pegg & D. R. DeVries. 2012. Age and growth. Págs. 677-731. En: Fisheries techniques, third edition. A. Zale, D. Parrish y T. Sutton (eds.). American Fisheries Society, Bethesda, Maryland.
- Reyes-Valdez, C. A. 2011. Caracterización morfométricas y merística de poblaciones costeras y continentales del genero *Fundulus* (Teleostei: Fundulidae), de la Península de Baja California, México. Tesis de

- Doctorado. Facultad de Ciencias Marinas. Instituto de Investigaciones Oceanológicas, Ensenada B.C. 151pp.
- Reyes-Valdez, C.A., G. Ruiz-Campos, F. Camarena-Rosales, J.L. Castro-Aguirre & G. Bernard. 2011. Population morphometric variation of the endemic freshwater killifish, *Fundulus lima* (Teleostei: Fundulidae), and its coastal relative *F. parvipinnis* from the Baja California Peninsula, Mexico. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 21(3): 543-558.
- Ricker, W.E. 1973. Linear regression in fishery research. *Journal of the Fisheries Research Board of Canada*, 30: 409-434.
- Ricker, W. E. 1975. Computation and interpretation of biological statistics of fish populations. Fisheries Research Board of Canada Bulletin 191. Ottawa, Ontario.
- Ricker, W.E. 1979. Growth rates and models. Págs. 678-786. En: Fish Physiology, Vol. III. Bioenergetics and growth. W.S. Hoar, D.J. Randall y J.R. Brett (eds.). Academic Press. New York.
- Ruiz-Campos, G. & S. Contreras-Balderas. 1987 Ecological and zoogeographical check-list of the continental fishes of the Baja California Peninsula. *Proceedings of the Desert Fishes Council*, 17: 105–117.
- Ruiz-Campos, G. 1993. Bionomía y ecología poblacional de la trucha arcoíris, *Oncorhynchus mykiss nelsoni* (Evermann), de la Sierra San Pedro Mártir, Baja California, México. Tesis de Doctorado, Universidad Autónoma de Nuevo León. 223 pp.
- Ruiz-Campos, G., E.P. Pister & G.A. Compean-Jimenez. 1997. Age and growth of Nelson's Trout, *Oncorhynchus mykiss nelsoni*, from Arroyo San Rafael,

- Sierra San Pedro Mártir, Baja California, Mexico. *The Southwestern Naturalist*, 42(1):74-85.
- Ruiz-Campos, G. 2000. Threatened fishes of the world: *Fundulus lima* Vaillant, 1894 (Fundulidae). *Environmental Biology of Fishes*, 59: 20.
- Ruiz-Campos, G., J.L. Castro-Aguirre, S. Contreras-Balderas, M.L. Lozano-Vilano, A.F. González-Acosta & S. Sánchez-González. 2002. An annotated distributional checklist of the freshwater fish from Baja California Sur, Mexico. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 12: 143-155.
- Ruiz-Campos, G., F. Camarena-Rosales, S. Contreras-Balderas, C.A. Reyes-Valdez, J. De la Cruz-Agüero, & E. Torres-Balcázar. 2006a. Distribution and abundance of the endangered killifish, *Fundulus lima* (Teleostei: Fundulidae), and its interaction with exotic fishes in oases of central Baja California peninsula, Mexico. *Southwestern Naturalist*, 51: 502–509.
- Ruiz-Campos, G., F. Camarena-Rosales, C.A. Reyes-Valdez, E. Torres-Balcázar, & M.E. Valles-Ríos. 2006b. Length-weight relationship, condition factor and level of parasitism of the Baja California killifish, *Fundulus lima* (Teleostei: Fundulidae). Págs. 62- 71. En: Studies of North American desert fishes in honor of E. P. (Phil) Pister, conservationist. M.L. Lozano- Vilano & A.J. Contreras-Balderas, (eds.). Universidad Autónoma de Nuevo León. Monterrey, México.
- Ruiz-Campos, G., F. Camarena-Rosales, S. Contreras-Balderas, G. Bernardi, y J. De La Cruz-Agüero. 2008. Evaluación ecológica y distribucional de peces exóticos en las regiones hidrológicas de San Ignacio y La Purísima, Baja California Sur, y su impacto en las poblaciones del pez endémico

- amenazado, *Fundulus lima*. Informe Final Proyecto SEMARNA T-CONACyT-2002-C01-173. 33 pp.
- Ruiz-Campos, G., A. Ramírez-Valdez, S. González-Guzmán, A.F. González-Acosta & D. Acosta-Zamorano. 2010. Length-weight and length-length relationships for nine rocky tidal pool fishes along the Pacific coast of Baja California Peninsula, Mexico. *Journal of Applied Ichthyology*, 26: 118-119.
- Ruiz-Campos, G. 2012. Catálogo de peces dulceacuícolas de Baja California Sur. Instituto Nacional de Ecología, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Distrito Federal, México. 157 pp.
- Ruiz-Campos, G., A. Andreu-Soler, M.R. Vidal-Abarca, J. Delgadillo-Rodríguez, M.L. Suárez-Alonso, C. González-Abraham & V.H. Luja. 2014a. Catálogo de humedales dulceacuícolas de Baja California Sur, México. Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Distrito Federal, México. 135 pp.
- Ruiz-Campos, G., F. Camarena-Rosales, A.F. González-Acosta, A.M. Maeda-Martínez, F.J. García de León, A. Varela-Romero & A. Andreu-Soler. 2014b. Estatus actual de conservación de seis especies de peces dulceacuícolas de la península de Baja California, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 85: 1235-1248.
- Samaritan, J.M. & R.E. Schmidt. 1982. Aspects of the life history of a freshwater population of the mummichog, *Fundulus heteroclitus* (Pisces: Cyprinodontidae), in the Bronx River, New York, USA. *Hidrobiología*, 94: 149-154.

- Schindelin J., I. Arganda-Carreras, E. Frise, V. Kaynig, M. Longair, T. Pietzsch, S. Preibisch, C. Rueden, S. Saalfeld, B. Schmid, J.Y. Tinevez, D.J. White, V. Hartenstein, K. Eliceiri, P. Tomancak, & A. Cardona. 2012. Fiji: an open-source platform for biological-image analysis. *Nature Methods*, 9: 676-682.
- Semarnat (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales). 2010. Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT- 2010, Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-Lista de especies en riesgo. Diario Oficial de la Federación, 30 de diciembre de 2010, Segunda Sección. México.
- Sokal, R.R. & F.J. Rohlf. 1981. *Biometry*. 2nd. Ed. Freeman, W. H. and company. New York. 859 pp.
- Swingle, W. E. 1965. Length-weight relationships of Alabama fishes. Auburn University Zoology-Entomology Department Series Number 3. Auburn Agricultural Experiment Station, Auburn University, Auburn, Alabama, USA. 3-87 pp.
- Tarkan, A.S., O. Gaygusuz, H. Acipinar & C. Gursoy. 2006 Validation of different backcalculation methods by using scales, opercula and cleithra of three coexisting cyprinid species. *Journal of Fisheries and Aquatic Science*. 1: 54-63.
- Trautman, M.B. 1957. The fishes of Ohio. Ohio State University Press. Columbus, Ohio. 683 pp.
- Welsh D.P., M. Zhou, S.M. Mussmann, L.G. Fields, C.L. Thomas, S.P. Pearish, S.L. Kilburn, J.L. Parker, L.R. Stein, J.A. Bartlett, C.R. Bertram, T.J. Bland,

K.L. Laskowski, B.C. Mommer, X. Zhuang & R.C. Fuller. 2013. The effects of age, sex, and habitat on body size and shape of the blackstripe topminnow, *Fundulus notatus* (Cyprinodontiformes: Fundulidae) (Rafinesque 1820). *Biological Journal of the Linnean Society*, 108: 784-789.