

Universidad Autónoma de Sinaloa
Colegio de Ciencias Agropecuarias
Facultad de Ciencias del Mar
Doctorado en Ciencias Agropecuarias



TESIS:

*Replanteamiento del ciclo de vida de los camarones
costeros del Pacífico mexicano*

**Que para obtener el grado de
Doctor en Ciencias Agropecuarias**

PRESENTA:

José Adán Félix Ortiz

DIRECTOR DE TESIS:

Dr. Nicolás Castañeda Lomas

CO-DIRECTOR DE TESIS:

Dr. Eugenio Alberto Aragón Noriega

ASESORES:

Dr. Guillermo Rodríguez Domínguez
Dr. Wenceslao Valenzuela Quiñónez
Dr. Sergio Gustavo Castillo Vargasmachuca

Culiacán, Sinaloa, México; a 18 de octubre de 2018

ESTA TESIS FUE REALIZADA POR **-JOSÉ ADÁN FÉLIX ORTIZ-**, BAJO LA DIRECCIÓN DEL CONSEJO PARTICULAR QUE SE INDICA, Y HA SIDO APROBADA POR EL MISMO, COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE:

DOCTOR EN CIENCIAS AGROPECUARIAS

CONSEJO PARTICULAR

DIRECTOR



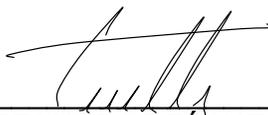
DR. NICOLÁS CASTAÑEDA LOMAS

CO-DIRECTOR



DR. EUGENIO ALBERTO ARAGÓN NORIEGA

ASESOR



DR. GUILLERMO RODRÍGUEZ DOMÍNGUEZ

ASESOR



DR. WENCESLAO VALENZUELA QUIÑÓNEZ

ASESOR



DR. SERGIO GUSTAVO CASTILLO VARGASMACHUCA

CULIACÁN, SINALOA, OCTUBRE DE 2018



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SINALOA

COLEGIO DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

FACULTAD DE AGRONOMÍA CULIACÁN
FACULTAD DE AGRONOMÍA VALLE DEL FUERTE
FACULTAD DE CIENCIAS DEL MAR
FACULTAD DE AGRONOMÍA VALLE DEL CARRIZO

En la Ciudad de Culiacán Rosales, Sinaloa, el día 20 de enero del año 2020, el que suscribe José Adán Félix Ortiz, alumno del Programa de Doctorado en Ciencias Agropecuarias, con número de cuenta 11956097, de la Unidad Académica Facultad de Ciencias del Mar, del Colegio de Ciencias Agropecuarias de la UAS, manifiesta que es autor intelectual del presente trabajo de Tesis bajo la dirección de la Dr. Nicolás Castañeda Lomas y del Dr. Eugenio Alberto Aragón Noriega y cede los derechos del trabajo titulado “Replanteamiento del ciclo de vida de los camarones costeros del Pacífico mexicano”, a la Facultad de Ciencias del Mar, del Colegio de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Autónoma de Sinaloa, para su difusión, con fines académicos y de investigación por medios impresos y digitales, todo esto en apego al artículo 27 de la Ley Federal de Derechos de Autor.

La Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México) protege el contenido de la presente tesis. Los usuarios de la información contenida en ella deberán citar obligatoriamente la tesis como fuente, dónde la obtuvo y mencionar al autor intelectual. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

ATENTAMENTE

José Adán Félix Ortiz

CORREO ELECTRÓNICO: feocabo@yahoo.com.mx
CURP: FEOA660531HSLLRD05



UAS- Dirección General de Bibliotecas

Repositorio Institucional

Restricciones de uso

Todo el material contenido en la presente tesis está protegido por la Ley Federal de Derechos de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

Queda prohibido la reproducción parcial o total de esta tesis. El uso de imágenes, tablas, gráficas, texto y demás material que sea objeto de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente correctamente mencionando al o los autores del presente estudio empírico. Cualquier uso distinto, como el lucro, reproducción, edición o modificación sin autorización expresa de quienes gozan de la propiedad intelectual, será perseguido y sancionado por el Instituto Nacional de Derechos de Autor.



Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución-No Comercial-Compartir Igual, 4.0 Internacional.

DEDICATORIA

A mi esposa

DOLORES SALAZAR RODRÍGUEZ

A mis hijos

LUIS ADÁN

Y

ERICK JESÚS

A mis padres

JOSÉ ADÁN FÉLIX CORRAL

PASTORA ORTIZ ORONIA

AGRADECIMIENTOS

AL CONACYT su apoyo a través de la beca crédito otorgada.

A la Universidad Autónoma de Sinaloa, siempre ha sido, mi ***Alma Mater***.

A la Facultad de Ciencias del Mar, donde he pasado gran parte de mi vida, desde que inicié mis estudios de licenciatura y mi vida laboral.

A la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Autónoma de Sinaloa.

A la Dirección General de Investigación y Posgrado de la Universidad Autónoma de Sinaloa, por el financiamiento del proyecto PROFAPI2011/171.

Al **Dr. Ignacio del Valle Lucero** (†), por haberme proporcionado la oportunidad de trabajar y aprender. Además, los datos generados durante el proyecto “Estrategias para la Reestructuración de las Pesquerías Demersales del Pacífico Mexicano”.

Al **Dr. Saul Alvarez Borrego**, mi director en CICESE, se la debía Doctor.

A los miembros de mi comité **Dr. Eugenio Alberto Aragón Noriega**, por sus consejos y guía académica. Al **Dr. Nicolás Castañeda Lomas**, por sus consejos y sugerencias en la realización de este trabajo. Al **Dr. Guillermo Rodríguez Domínguez**, al **Dr. Wenceslao Valenzuela Quiñónez** y al **Dr. Sergio Gustavo Castillo Vargasmachuca**, por sus acertadas sugerencias.

Al posgrado de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, sede del posgrado del Colegio de Ciencias Agropecuarias. **Dr. Javier Alonso Romo Rubio**, y a **M.V.Z. Gabriela Juárez Cruz**, por su apoyo.

Al departamento de control escolar y al posgrado de la Facultad de Ciencias del Mar. **Eminick, Sonia, Araceli y Nerica**, por su apoyo.

A Estrella del Mar Resort, en especial a la **Biol. Erendira González Diego** encargada del programa de tortuga marina, que nos abrió las puertas para llevar a cabo los nuestros muestreos biológicos de 2011-2016, prestándonos sus instalaciones y sus servicios.

Al **M.C. Manuel Efren Siu Quevedo**, responsable del proyecto PROFAPI2011/171.

A todos los estudiantes que participaron con los muestreos para la culminación de este trabajo. 2011-2013, Alan Guerrero Avalos, Lucio Ernesto Jara Maldonado, Miguel Angel Medina Sánchez (†), Víctor Acosta Arce, Martín de Jesus Castro Atondo, Félix Raygoza Lizárraga y José Luis González Corona. 2015-2016, Ricardo Luis Villaseñor, Luis Adán Félix Salazar, Francisco Molina Osuna, Erandy Isabel Ruelas Angulo, Esmeralda Yedid Barrón Cordova, Armando Flores Lizárraga, Mauro Miguel Espinoza Montes, Gabriela del Rocío Espinoza Tirado, Josue Francisco Sarabia Barraza, Josue Trujillo Rodriguez, Fidel Ábrego Pantoja, Gustavo Alonzo Lugo Payan, Jesús Federico Peinado Bautista, Jesús Saúl Bautista Peinado, Alfonso Hernández Martínez y Jesus Oswaldo Sarabia Aréchiga.

A todos los compañeros y amigos de la Facultad de Ciencias del Mar, muchas gracias, en especial, a los que junto conmigo trabajamos en el Proyecto del Nacho del Valle, a Guillermo Rodríguez, Oswaldo Morales, Israel Castro, Luis Alberto Aguilar, Graciano Valenzuela, Hipólito Galaviz, Trinidad Montoya, Gloria etc.

A todos los estudiantes de servicio social que muestrearon en la playa "Botadero" y La Boca de Tonalá en Chiapas.

CONTENIDO

ÍNDICE DE CUADROS	viii
ÍNDICE DE FIGURAS	xiii
RESUMEN	xix
ABSTRAC	xx
CAPÍTULO 1. JUSTIFICACIÓN	1
1.1. INTRODUCCIÓN	1
1.2. REVISIÓN DE BIBLIOGRAFÍA	4
1.3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	6
1.4. HIPÓTESIS.....	6
1.5. OBJETIVO GENERAL	6
1.5.1. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	6
1.6. METODOLOGÍA GENERAL	7
1.6.1. ÁREA DE ESTUDIO.....	7
1.6.2. INFORMACIÓN BIOLÓGICA	14
1.6.3. INFORMACIÓN METEOROLÓGICA	14
1.6.4. INFORMACIÓN OCEANOGRÁFICA	15
CAPÍTULO 2. VARIABILIDAD LATITUDINAL Y LA ABUNDANCIA DE POSTLARVAS DE CAMARONES	16
2.1. INTRODUCCIÓN	16
2.2. MATERIALES Y MÉTODOS.....	17
2.2.1. ÁREA DE ESTUDIO.....	17
2.2.2. MUESTREO BIOLÓGICO.....	18
2.2.3. VARIABLES AMBIENTALES	19
2.3. RESULTADOS Y DISCUSIONES	19
2.3.1. CLIMATOLOGÍA.	19
3.3.2. ABUNDANCIA DE POSTLARVAS	25
2.4. CONCLUSIONES	36
CAPÍTULO 3. PATRONES DE MIGRACIÓN	37
3.1. INTRODUCCIÓN	37
3.2. MATERIALES Y MÉTODOS.....	38

3.2.1. ÁREA DE ESTUDIO.....	38
3.2.2 RECOLECTA DE MUESTRAS BIOLÓGICAS	38
3.2.3 REGISTROS DE MAREAS	40
3.3. RESULTADOS Y DISCUSIONES	41
3.3.1. ABUNDANCIA DE POSTLARVAS	41
3.3.2. INMIGRACIÓN POSTLARVAS EN EL ESTERO OSTIAL QUE COMUNICA A LA LAGUNA HUIZACHE-CAIMANERO	46
3.3.3. COMPOSICIÓN ESPECIFICA DE LA CAPTURA DE JUVENILES DE CAMARONES EN LA LAGUNA HUIZACHE-CAIMANERO (LHC)	48
3.4. CONCLUSIONES	52
CAPÍTULO 4. CRECIMIENTO	53
4.1. INTRODUCCIÓN	53
4.2. MATERIALES Y MÉTODOS.....	56
4.3. RESULTADOS Y DISCUSIONES	66
4.3.1. SISTEMA LAGUNAR DE AGIABAMPO.....	66
4.3.2. SISTEMA LAGUNAR HUIZACHE-CAIMANERO	99
4.3.3. SISTEMA LAGUNAR LAGUNA MAR MUERTO	111
4.4. CONCLUSIONES	127
CAPITULO 5. CONCLUSIONES GENERALES.....	128
LITERATURA CITADA.....	131

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro	Titulo	Página
II.1	Coeficiente de correlación (<i>r-Pearson</i>), entre la temperatura de la superficie del mar y la abundancia postlarvas (transformada $\ln(x+1)$) en las cuatro zonas litorales del Pacífico mexicano.	32
III.1	Coeficiente de correlación (<i>r-Pearson</i>) entre la hora mareal y la abundancia postlarvas ($\ln(x+1)$); A, <i>P. vannamei</i> , B, <i>P. stylirostris</i> , C, <i>P. californiensis</i> y C, <i>P. brevirostris</i> en las tres zonas litorales del Pacífico mexicano.	45
III.2	Resultado del análisis de varianza de dos factores para la abundancia de postlarvas en el estero Ostial de julio y agosto de 2015.	47
IV.1	Valores <i>AIC</i> , σ , Δ_i y w_i (%) para selección del mejor modelo de crecimiento de hembras de <i>P. californiensis</i> en la laguna Agiabampo y zona marina adyacente (* mejor ajuste).	69
IV.2	Valores <i>AIC</i> , σ , Δ_i y w_i (%) para selección del mejor modelo de crecimiento de machos de <i>P. californiensis</i> en la laguna Agiabampo y zona marina adyacente (* mejor ajuste).	69
IV.3	Parámetros calculados para los modelos en hembras de <i>P. californiensis</i> en SLA y zona marina adyacente (* modelo ganador).	70
IV.4	Parámetros calculados para los modelos en machos de <i>P. californiensis</i> en SLA y zona marina adyacente (* modelo ganador).	71
IV.5	Valores <i>AIC</i> , σ , Δ_i y w_i (%) enfoque multicriterio para la selección del mejor modelo de crecimiento de <i>P. californiensis</i> en la laguna Agiabampo y zona marina adyacente (* modelo ganador).	73

IV.6	Parámetros para los modelos candidatos, clasificados según su AIC_c , para <i>P. californiensis</i> en SLA y zona marina adyacente (* modelo ganador).	75
IV.7	Valores AIC , σ , Δ_i y w_i (%) para selección del mejor modelo de crecimiento de hembras de <i>P. californiensis</i> , con el criterio MCGD, en la laguna Agiabampo y zona marina adyacente (* mejor ajuste).	77
IV.8	Valores AIC , σ , Δ_i y w_i (%) para selección del mejor modelo de crecimiento de machos de <i>P. californiensis</i> , con el criterio MCGD, en la laguna Agiabampo y zona marina adyacente (* mejor ajuste).	77
IV.9	Parámetros para los modelos candidatos calculados con criterio MCGD, clasificados según su AIC_c , para <i>P. californiensis</i> en SLA y zona marina adyacente.	78
IV.10	Parámetros e intervalos de confianza para los modelos de crecimiento ganadores con enfoque multicriterio de <i>P. californiensis</i> para hembras y machos en SLA y zona marina adyacente (a<b<c).	81
IV.11	Valores AIC , σ , Δ_i y w_i (%) para selección del mejor modelo de crecimiento de hembras de <i>P. stylirostris</i> en la laguna Agiabampo y zona marina adyacente (* mejor ajuste).	83
IV.12	Valores AIC , σ , Δ_i y w_i (%) para selección del mejor modelo de crecimiento de machos de <i>P. stylirostris</i> en la laguna Agiabampo y zona marina adyacente (* mejor ajuste).	86
IV.13	Parámetros para los primeros cuatro modelos, según su AIC_c , en hembras de <i>P. stylirostris</i> en SLA y zona marina adyacente.	87
IV.14	Parámetros para los seis modelos considerados, en machos de <i>P. stylirostris</i> en SLA y zona marina adyacente.	87
IV.15	Valores AIC , σ , Δ_i y w_i (%) enfoque multicriterio para la selección del mejor modelo de crecimiento de <i>P. stylirostris</i>	90

	en la laguna Agiabampo y zona marina adyacente (* mejor ajuste).	
IV.16	Parámetros para los modelos candidatos, clasificados según su AIC_c , para <i>P. stylirostris</i> en SLA y zona marina adyacente.	91
IV.17	Valores AIC , σ , Δ_i y w_i (%) para selección del mejor modelo de crecimiento de hembras de <i>P. stylirostris</i> , con el criterio MCGD, en la laguna Agiabampo y zona marina adyacente (* mejor ajuste).	93
IV.18	Valores AIC , σ , Δ_i y w_i (%) para selección del mejor modelo de crecimiento de machos de <i>P. stylirostris</i> , con el criterio MCGD, en la laguna Agiabampo y zona marina adyacente (* mejor ajuste).	93
IV.19	Parámetros para los modelos candidatos calculados con criterio MCGD, clasificados según su AIC_c , para <i>P. stylirostris</i> en SLA y zona marina adyacente.	94
IV.20	Parámetros e intervalos de confianza para los modelos de crecimiento ganadores con enfoque multicriterio de <i>P. stylirostris</i> para hembras y machos en SLA y zona marina adyacente.	97
IV.21	Valores AIC , σ , Δ_i y w_i (%) para selección del mejor modelo de crecimiento <i>P. vannamei</i> en la laguna Huizache-Caimanero y zona marina adyacente (* mejor ajuste).	103
IV.22	Parámetros para modelos en <i>P. vannamei</i> en la laguna Huizache-Caimanero y zona marina adyacente.	103
IV.23	Valores AIC , σ , Δ_i y w_i (%) enfoque multicriterio para la selección del mejor modelo de crecimiento de <i>P. vannamei</i> en la laguna Huizache-Caimanero y zona costera adyacente (* mejor ajuste).	105
IV.24	Parámetros para los modelos candidatos clasificados según su AIC_c , para <i>P. vannamei</i> en laguna Huizache-Caimanero y zona marina adyacente.	106

IV.25	Valores AIC , σ , Δ_i y $w_i(\%)$ para selección del mejor modelo de crecimiento <i>P. vannamei</i> , con el criterio MCGD, en la laguna Huizache-Caimanero y zona costera adyacente (* mejor ajuste).	108
IV.26	Parámetros para los modelos candidatos calculados con el método Mixto, para <i>P. vannamei</i> en laguna Huizache-Caimanero y zona marina adyacente	108
IV.27	Parámetros e intervalos de confianza para los modelos de crecimiento ganadores con enfoque multicriterio de <i>P. vannamei</i> en LHC y zona marina adyacente ($a < b < c$).	110
IV.28	Valores AIC , σ , Δ_i y $w_i(\%)$ para selección del mejor modelo de crecimiento <i>P. vannamei</i> en la laguna Mara Muerto y zona marina adyacente (* mejor ajuste).	114
IV.29	Parámetros para modelos en <i>P. vannamei</i> en la laguna Mar Muerto y zona marina adyacente.	115
IV.30	Valores AIC , σ , Δ_i y $w_i(\%)$ enfoque multicriterio para la selección del mejor modelo de crecimiento de <i>P. vannamei</i> en la laguna Mar Muerto y zona costera adyacente (* mejor ajuste).	117
IV.31	Parámetros para los modelos candidatos clasificados según su AIC_c , para <i>P. vannamei</i> en laguna Mar Muerto y zona marina adyacente.	118
IV.32	Valores AIC , σ , Δ_i y $w_i(\%)$ para selección del mejor modelo de crecimiento <i>P. vannamei</i> , con el criterio MCGD, en la laguna Mar muerto y zona costera adyacente (* mejor ajuste).	120
IV.33	Parámetros para los modelos candidatos calculados con el método Mixto, para <i>P. vannamei</i> en laguna Mar muerto y zona marina adyacente.	120

IV.34	Parámetros e intervalos de confianza para los modelos de crecimiento ganadores con enfoque multicriterio de <i>P. vannamei</i> en LHC y zona marina adyacente ($a < b < c < d$).	122
-------	--	-----

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Título	Página
1.1	Localización del área de estudio, a, Alto Golfo de California (AGC), b, Sistema lagunar de Agiabampo (SLA), c, Sistema lagunar Huizache-Caimanero (LHC) y d, Sistemas lagunarios del Golfo de Tehuantepec.	11
1.2	Localización del Alto Golfo de California (AGC)	12
1.3	Localización del sistema lagunar de Agiabampo (SLA)	12
1.4	Sistema lagunar Huizache-Caimanero.	13
1.5	Sistemas lagunares del Golfo de Tehuantepec.	13
2.1	Localización geográfica de las zonas de estudio; A, zona litoral de San Felipe, B, zona litoral adyacente a la Boca Barrón, C, zona litoral de la Bahía Ventosa, y D, zona litoral adyacente a la Boca de Tonalá.	18
2.2	Temperatura promedio del aire en las zonas de estudio en estaciones cercanas a AGC (Alto Golfo de California), LHC (Sistema Lagunar Huizache-Caimanero), SGL (Sistema de las Grandes Lagunas de Oaxaca) y LMM (Laguna Mar Muerto) (Fuente SMN-CONAGUA).	20
2.3	Variación latitudinal de la temperatura del aire para las cuatro zonas de estudio (Fuente SMN-CONAGUA).	21
2.4	Precipitación promedio mensual en las zonas de estudio en estaciones cercanas a AGC (Alto Golfo de California), LHC (Sistema Lagunar Huizache-Caimanero), SGL (Sistema de las Grandes Lagunas de Oaxaca) y LMM (Laguna Mar Muerto) (Fuente SMN-CONAGUA).	22
2.5	Variación latitudinal de la precipitación acumulada anual para las cuatro zonas de estudio (Fuente SMN-CONAGUA).	23
2.6	Promedios mensuales de la temperatura de la superficie del mar de 1983 a 2015 para las tres zonas del Pacífico mexicano.	24

2.7	Variación latitudinal de la temperatura de la superficie del mar de 1983 a 2015 para las tres zonas del Pacífico mexicano.	25
2.8	Composición específica de postlarvas de camarón en cuatro zonas litorales del Pacífico Mexicano, A, zona litoral de San Felipe, B.C., B, zona litoral adyacente a la LHC, C, zona litoral de bahía La Ventosa, Oaxaca y D, zona litoral adyacente a LMM, Chiapas.	26
2.9	Transformada $\ln(X+1)$ de la abundancia de postlarvas (PI m^{-3}) en las cuatro zonas litorales del Pacífico mexicano.	27
2.10	Transformada $\ln(X+1)$ de la abundancia de postlarvas de <i>P. vannamei</i> (PI m^{-3}) en tres zonas litorales del Pacífico mexicano.	28
2.11	Transformada $\ln(X+1)$ de la abundancia de postlarvas de <i>P. stylirostris</i> (PI m^{-3}) en las cuatro zonas litorales del Pacífico mexicano.	29
2.12	Transformada $\ln(X+1)$ de la abundancia de postlarvas de <i>P. californiensis</i> (PI m^{-3}) en las cuatro zonas litorales del Pacífico mexicano.	30
2.13	Transformada $\ln(X+1)$ de la abundancia de postlarvas de <i>P. brevisrostris</i> (PI m^{-3}) en tres zonas litorales del Pacífico mexicano.	31
3.1	Localización geográfica de las zonas de estudio; A, zona litoral adyacente a LHC, B, Tapo Botadero, C, zona litoral de la Bahía Ventosa, y D, zona litoral adyacente a la Boca de Tonalá.	39
3.2	Composición de la abundancia de postlarvas de camarón en A, zona litoral adyacente al LHC de 1988-1994, B, zona litoral adyacente al LHC de 2011-2012, C, zona litoral adyacente al SGL y D, zona litoral adyacente a LMM.	42
3.3	Logaritmo natural de la abundancia relativa de postlarvas de <i>P. vannamei</i> (columna izquierda) y <i>P. stylirostris</i> (columna derecha) y la amplitud de marea, con respecto a la hora mareal. A, Zona litoral adyacente LHC, B, Zona litoral adyacente SGL y C, Zona litoral Adyacente LMM.	43

3.4	Logaritmo natural de la abundancia relativa de postlarvas de <i>P. californiensis</i> (columna izquierda) y <i>P. brevirostris</i> (columna derecha) y la amplitud de marea, con respecto a la hora mareal. A, Zona litoral adyacente LHC, B, Zona litoral adyacente SGL y C, Zona litoral Adyacente LMM	44
3.5	Composición de la abundancia de postlarvas de camarón en A, flujo de marea y B, Reflujo de la marea en el estero Ostial de julio a agosto de 2015.	46
3.6	Abundancia promedio e intervalo de confianza de postlarvas de camarones en el estero Ostial en julio y agosto de 2015.	47
3.7	Composición específica juveniles en el tapo El Ostial de la laguna Huizache-Caimanero, al inicio de la temporada de pesca (25 y 30 de agosto de 2015).	48
3.8	Frecuencia relativa de las tallas de captura de camarones en la laguna Huizache en septiembre de 2015, A, <i>P. vannamei</i> y B, <i>P. stylirostris</i> .	49
4.1	Ubicación de las zonas de estudio, A, sistema lagunar de Agiabampo, Sinaloa-Sonora, B, sistema lagunar Huizache-Caimanero, Sinaloa, C, laguna Mar Muerto, Oaxaca y Chiapas, y zona costera marina adyacente (área sombreada).	57
4.2	Estructura de talla del camarón café, <i>P. californiensis</i> para las muestras recolectadas en el sistema lagunar Agiabampo, Sinaloa-Sonora, México de enero de 2002 a enero de 2003.	67
4.3	Progresión modal de <i>P. californiensis</i> , A, hembras y B, machos recolectadas en el sistema lagunar Agiabampo, y zona marina adyacente, Sinaloa-Sonora, México de enero de 2002 a enero de 2003.	68
4.4	Curvas de crecimiento generadas para los seis modelos candidatos, A, hembras y B, machos de <i>P. californiensis</i> en el sistema lagunar Agiabampo, Sinaloa-Sonora, México.	72

4.5	Curvas de crecimiento multicriterio, A y D, criterio depensatorio, B y E, criterio compensatorio; C y F, criterio cola gorda, para hembras (A, B y C) y machos (D, E y F) de <i>P. californiensis</i> en SLA y zona costera adyacente.	76
4.6	Curvas de crecimiento calculadas con el criterio MCGD, A hembras y B machos de <i>P. californiensis</i> en SLA y zona costera adyacente.	79
4.7	Comparación multicriterio de las curvas de crecimiento para, A, hembras y B, machos de <i>P. californiensis</i> en SLA y zona costera adyacente.	82
4.8	Estructura de talla del camarón azul, <i>P. stylirostris</i> para las muestras recolectadas en el sistema lagunar Agiabampo, Sinaloa-Sonora, México de enero de 2002 a enero de 2003.	84
4.9	Progresión modal de <i>P. stylirostris</i> , A, hembras y B, machos recolectadas en el sistema lagunar Agiabampo, y zona marina adyacente, Sinaloa-Sonora, México de enero de 2002 a enero de 2003.	85
4.10	Curvas de crecimiento generadas para los seis modelos candidatos, A, hembras y B, machos de <i>P. stylirostris</i> en el sistema lagunar Agiabampo, Sinaloa-Sonora, México.	89
4.11	Curvas de crecimiento multicriterio, A y D, criterio depensatorio, B y E, criterio compensatorio; C y F, criterio cola gorda, para hembras (A, B y C) y machos (D, E y F) de <i>P. stylirostris</i> en SLA y zona costera adyacente.	92
4.12	Curvas de crecimiento calculadas con el criterio MCGD, A hembras y B machos de <i>P. stylirostris</i> en SLA y zona costera adyacente.	95
4.13	Comparación multicriterio de las curvas de crecimiento para, A, hembras y B, machos de <i>P. stylirostris</i> en SLA y zona costera adyacente.	98

4.14	Distribución de frecuencia de tallas para juveniles en LHC, A, julio-agosto de 2015 (INAPESCA, 2015), B, septiembre 2015 y C, septiembre-octubre de 2016.	100
4.15	Distribución de frecuencia de tallas para los camarones capturados por la flota comercial en el sur de Sinaloa, A, temporada 1990-91, B, temporada 1991-92, C, temporada 1992-93, y D, Temporada 1993-94.	101
4.16	Progresión modal para juveniles de <i>P. vannamei</i> en la laguna Huizache-Caimanero, Sinaloa. A, julio-agosto 2015 INAPESCA 2015) y septiembre 2015, y B, de septiembre a octubre de 2016.	102
4.17	Progresión modal para adultos de <i>P. vannamei</i> capturados en la zona costera del sur de Sinaloa, en las temporadas, A, 1990-91, B, 1991-92, C, 1992-93 y D, 1993-1994.	102
4.18	Curvas de crecimiento multimodelo calculadas para <i>P. vannamei</i> en la laguna Huizache-Caimanero y zona costera adyacente.	104
4.19	Curvas de crecimiento multicriterio calculadas para <i>P. vannamei</i> en la laguna Huizache-Caimanero y zona costera adyacente.	107
4.20	Curvas de crecimiento calculadas con el enfoque MCGD para <i>P. vannamei</i> en la laguna Huizache-Caimanero y zona costera adyacente.	109
4.21	Comparación multicriterio de las curvas de crecimiento de <i>P. vannamei</i> en Huizache-Caimanero y zona costera adyacente.	111
4.22	Distribución de frecuencia de tallas para los camarones capturados por la flota comercial en el Golfo de Tehuantepec, A, temporada 1990-91, B, temporada 1991-92, C, temporada 1992-93, y D, Temporada 1993-94.	112
4.23	Progresión modal para adultos de <i>P. vannamei</i> capturados en la zona costera del Golfo de Tehuantepec, en las temporadas, A, 1990-91, B, 1991-92, C, 1992-93 y D, 1993-1994.	113
4.24	Datos observados con la que se trabajó en el análisis de crecimiento multimodelo para la LMM en el Golfo de Tehuantepec.	114

4.25	Curvas de crecimiento multimodelo calculadas para <i>P. vannamei</i> en la laguna Huizache-Caimanero y zona costera adyacente.	116
4.26	Curvas de crecimiento multicriterio calculadas para <i>P. vannamei</i> en la laguna Mar muerto y zona costera adyacente.	119
4.27	Curvas de crecimiento calculadas con el enfoque MCGD para <i>P. vannamei</i> en la laguna Huizache-Caimanero y zona costera adyacente.	121
4.28	Comparación multicriterio de las curvas de crecimiento de <i>P. vannamei</i> en Huizache-Caimanero y zona costera adyacente.	123

RESUMEN

Replanteamiento del ciclo de vida de los camarones costeros del Pacífico mexicano

José Adán Félix Ortiz

En México, el camarón es el recurso pesquero más importante del país, a pesar de que ocupa el tercer lugar en volumen de captura se encuentra posicionado en el primer lugar en valor comercial del producto, número de embarcaciones mayores y menores involucradas en la pesca e infraestructura Instalada. Este recurso biológico es muy apreciado tanto en el mercado nacional como en el extranjero, representando la comercialización en el último mercado una importante fuente de divisas. Sin embargo, las medidas de manejo del recurso se realizan como si fuera una sola especie, además de que no se toma en cuenta las diferentes regiones del Pacífico mexicano. El replanteamiento del ciclo de vida de los camarones del pacífico mexicano, nos ayudaría a proponer un manejo adecuado del recurso, para cada especie y por tanto un aprovechamiento sustentable. Para ello se seleccionaron el Golfo de California y el Golfo de Tehuantepec, dos regiones del Pacífico mexicano de suma importancia en esta pesquería. Se analizó información biológica de abundancia de postlarvas, juveniles y adultos de camarones de las cuatro especies que se distribuyen en el Pacífico mexicano y se relacionó con la climatología meteorológica y oceanográfica de cada una de las regiones. Además, se determinaron las curvas crecimiento individual en toda la historia de vida de las cuatro especies uniendo el crecimiento de cada una de las diferentes etapas del ciclo de vida. Se encontró una estacionalidad en la abundancia de postlarvas en las zonas litorales del Alto Golfo de California y Laguna Huizache-Caimanero, así como, una alta correlación con la Temperatura Superficial del Mar TSM. Por lo tanto, la TSM es la variable que regula los tiempos de reproducción y arribo de las postlarvas de camarones a la zona litoral. *P. vannamei* presenta el ciclo de vida tipo 2, ya que su comportamiento migratorio, se ha adaptado para ingresar a los estuarios usando advección pasiva por medio del flujo de la marea. *P. brevirostris* presenta evidencia de correlaciones negativas con la hora mareal, concluyéndose que esta especie presenta un tipo 3 de ciclo de vida. El crecimiento de *P. californiensis*, *P. stylirostris* y *P. vannamei* presentan un tipo de crecimiento tipo sigmoideo y asintótico en toda su historia de vida. Sobre esta base se propone un manejo alternativo de pesca que incluya tanto los meses de crecimiento de los organismos, como aquellos meses de alta actividad reproductiva, de tal forma se permita que una mayor proporción de la población alcance la madurez sexual.

Palabras clave: Abundancia de postlarvas, Historia de vida, Crecimiento, Golfo de California, Golfo de Tehuantepec.

ABSTRAC

Rethinking of the life cycle of the Mexican Pacific coastal shrimp

José Adán Félix Ortiz

In Mexico, shrimp is the most important fishery resource, although its volume is positioned in third place. It is ranked in first place in revenues, number of vessels, major and minor, involved in fishing and installed infrastructure. This biological resource is greatly appreciated both domestically and international seafood market. It is the major source of foreign exchange. However, resource management measures are performed as a single species, without taking into account the different regions of the Mexican Pacific. The rethinking of the life cycle of the shrimp of the Mexican Pacific would help us to propose an adequate fishery management, for each species producing a sustainable use. The Gulf of California and the Gulf of Tehuantepec, two regions of the Mexican Pacific of great importance in this fishery, were selected. The biological information on abundance of postlarvae, juveniles and adults of shrimp of the four species was analyzed and related to the meteorological and oceanographic climatology for each region. In addition, individual growth curves were computed linking all different stages of the life cycle for the four species. Seasonality was found in the abundance of postlarvae in the coastal zones of the Upper Gulf of California and Huizache Caimanero Lagoon highly correlated with sea surface temperature SST. Therefore, SST is the variable heading the reproduction and arrival times of shrimp postlarvae to the shoreline zone. *P. vannamei* presents the type 2 life cycle, since its migratory behavior has adapted to enter the estuaries using passive advection by means of tidal flow. *P. brevirostris* presents evidence of negative correlations with the tide in the tidal hour; therefore, this species presents a type 3 life cycle. The growth of *P. californiensis*, *P. stylirostris* and *P. vannamei* present a sigmoid shape and asymptotic growth throughout their life history. On this basis an alternative fishing management is proposed that includes both, the months of growth of the individuals, and those months of high reproductive activity, in such a way that a greater proportion of the population is allowed to reach sexual maturity. Key words: Abundance of postlarvae, Life history, Growth, Gulf of California, Gulf of Tehuantepec.

CAPÍTULO 1. JUSTIFICACIÓN

1.1. INTRODUCCIÓN

Los camarones se distribuyen en los mares tropicales, subtropicales y templados del mundo. Las especies de camarón de importancia comercial son algo menos de 300 en todo el mundo. Seis grupos de especies representan el 83% de las capturas mundiales, donde se incluyen los tres grupos principales, los peneidos, los carideos y los sergestidos (Gillet, 2010).

La familia Penaeidae está compuesta por poco más de 168 especies que se distribuyen junto con la mayor parte de la fauna marina de aguas poco profundas de las cuatro regiones tropicales y subtropicales descritas por Ekman (1953), estas son la región del Indo-Pacífico Occidental, Pacífico Oriental, Atlántico Occidental y Atlántico Oriental (Dall et al., 1990). Los peneidos del género *Penaeus* son los camarones más importantes y comerciales del mundo ya que su cola comestible es más grande que en los otros camarones.

En la región del Pacífico Oriental se distribuyen 16 especies de peneidos de las cuales 5 corresponden al género *Penaeus*, Sin embargo, en el Pacífico mexicano se distribuyen cuatro especies, *Penaeus vannamei* (Boone, 1931) “camarón blanco”, *P. stylirostris* (Stimpson, 1874) “camarón azul”, *P. californiensis* (Holmes, 1900) “camarón café” y *P. brevis* (Kingsley, 1938) “camarón rojo” o “cristal” (Ramos Cruz, 2001; Félix Ortiz, 2013).

La captura de los camarones peneidos costeros de la zona intertropical es una actividad muy antigua, tradicionalmente explotados por la pesca artesanal de numerosos países (México, Senegal, Benín, India, entre otros.), este recurso ha tenido que soportar, desde principios de los cincuenta del siglo XX, un enorme incremento de la explotación debido al desarrollo de una pesca industrial más perfeccionada y especializada. (García y Le Reste, 1986).

La producción mundial, tanto de la pesca como de la acuicultura, es de aproximadamente seis millones de toneladas, de las cuales alrededor del 60 por ciento entra en el mercado mundial, el área de Asia es la zona de mayor producción. En términos de valor, el camarón es hoy el producto pesquero comercializado internacionalmente más importante (Gillet, 2010).

En México, el camarón es el recurso pesquero más importante del país, a pesar de que esta actividad por su volumen de captura se encuentra posicionada en el tercer lugar de la producción pesquera. Sin embargo, esta pesquería es una de las más importantes ocupando el primer lugar en valor comercial del producto, número de embarcaciones mayores y menores involucradas en la pesca e infraestructura instalada. Este recurso biológico es muy apreciado tanto en el mercado nacional como en el extranjero, representando la comercialización en este último mercado una importante fuente de divisas (DOF, 2013). En la década de los noventa cuando se intensificó la camaronicultura, la captura comercial se realizaba prácticamente durante todo el ciclo de vida: postlarvas, juveniles, adultos y reproductores (Félix Ortiz, 2013).

Actualmente la producción de camarón es un poco más de 158 mil toneladas para el 2014 de las cuales el 55% provienen de la acuicultura y el 45% de la pesca en esteros y bahías, así como de altamar. En el Pacífico mexicano se captura más del 86%; de las cuales, gran parte se obtienen en el Golfo de California y el Golfo de Tehuantepec. Sinaloa es el principal productor, ya que aporta el 42% de la producción y junto con Sonora aportan el 67% de la producción nacional (CONAPESCA 2014).

Este recurso ocupa diferentes hábitats a lo largo de su ciclo de vida, lo que le confiere a la pesquería un carácter secuencial, por lo cual su explotación en las diferentes etapas de crecimiento y reproducción no afecten el reclutamiento, el potencial reproductivo y la producción pesquera de las especies, es necesario

mantener un balance óptimo para el aprovechamiento sustentable del recurso (DOF, 2013).

Sin embargo, las medidas de manejo del recurso se realizan como si fuera una sola especie, además de que no se toma en cuenta las diferentes regiones del Pacífico mexicano. El replanteamiento del ciclo de vida de los camarones del pacífico mexicano, nos ayudaría a proponer un manejo adecuado del recurso, para cada especie y por tanto un aprovechamiento sustentable.

Para ello, en el Capítulo II nos enfocaremos en describir la climatología y la abundancia de postlarvas de camarones que arriban en las zonas de estudio, lo anterior para conocer la variabilidad climática de las regiones de estudio y su relación con la abundancia de las postlarvas de camarones. En el Capítulo III, trataremos los patrones migración. Mientras que en el Capítulo IV, abordaremos el tema del crecimiento de las especies de camarones. Por último, en el Capítulo V se realizarán las conclusiones generales de la presente investigación.

1.2. REVISIÓN DE BIBLIOGRAFÍA

Existen muchos estudios sobre la historia de vida de los camarones, el pionero en el tema, fue Pearson (1939), quien realizó una descripción de la ecología de los peneidos del Golfo de México y mencionó que los estadios de larva se mantenían en la zona marina y cuando entran al estadio de postlarva se acercan a la línea de costa para su ingreso en las lagunas costeras. Sin embargo, Kuhtkun (1966) describió el hábitat preferido de las especies de camarones, en el cual incluye los camarones del Pacífico mexicano y menciona que *P. vannamei* y *P. stylirostris* son especies someras y mantienen una relación con los estuarios, mientras que *P. californiensis* y *P. brevirostris* son de ambientes mas oceánicos y no tiene relación con los estuarios.

Dall et al. (1990) describieron el ciclo de vida de los camarones de la familia Penaeidae, desde los estadios larvarios planctonicos, incluyendo nauplios, protozoeas, mysis y postlarvas, seguidos por etapas juveniles y adultos. La gran diferencia entre géneros se encuentra en el hábitat preferido por las postlarvas, juveniles y adultos, ya sea en los estuarios o lagunas costeras, plataforma continental u oceánico. También mencionaron que la base para clasificar el ciclo de vida de los peneidos es el ambiente en el que los adultos desovan y las postlarvas se establecen.

Con ese fundamento, distinguieron cuatro tipos de ciclos de vida. Las especies del tipo 1 su ciclo de vida es completamente estuarino. Las del tipo 2 los adultos desovan en la zona costera, los huevos y larvas son dispersados en la zona oceánica, en el estadio de postlarvas migran a la zona litoral cercana a las bocas de los estuarios para establecerse en ellos para su desarrollo, regresan a la zona costera para completar su ciclo. Las especies del tipo 3 los adultos desovan en la zona oceánica los huevo y larvas permanecen en la zona en el estadio de postlarvas migran a la zona litoral para establecerse hasta juveniles para luego migrar a la zona oceánica para completar su ciclo. Los del tipo 4 todo su ciclo de vida es completamente oceánico. Aunque esta clasificación proporciona un patrón para las comparaciones iniciales de las estrategias del ciclo de vida de las especies. Hay

que subrayar que existe controversia en las especies costeras sobre todo en los Tipos 2 y 3 de ciclo de vida (Garcia, 1988 citado en Dall et al., 1990).

Pérez-Farfante y Kensley (1997) elevaron los subgéneros *Litopenaeus* y *Farfantepenaeus* a nivel genérico. Teniendo en cuenta la nueva nomenclatura, las especies que presentan ciclo de vida tipo 2, se incluyen en los subgéneros *Litopenaeus*, mientras que aquellos con ciclo vida tipo 3, se clasifican como subgénero *Farfantepenaeus*. Anteriormente Garcia (1985) separó en camarones “blancos” *Litopenaeus* (Tipo 2) y “Obscuros” *Farfantepenaeus* (Tipo 3). Aunque Ma et al. (2011) en su análisis mitocondrial y genética nuclear propusieron de nuevo el género *Penaeus*.

En el ciclo de vida de los camarones peneidos del Pacífico mexicano, todas las especies están estrechamente ligadas a la zona costera, pero de manera específica, *Penaeus vannamei* y *P. stylirostris* (los camarones “claros”) son altamente dependientes de los ambientes estuarinos o lagunares, a los que ingresan en el estadio de postlarva y permanece en su interior hasta alcanzar la fase preadulta cuando sale de ellos y se incorpora a la población marina en donde se reproduce. Mientras que el ciclo de las dos especies restantes, *Penaeus californiensis* y *P. brevirostris* transcurre en su mayor parte en el área marina (Ramos Cruz y Ramos Santiago, 2006). Aunque *P. californiensis* es una especie que se encuentra en estadios juveniles en los grandes sistemas lagunarios con boca permanente de los estados de Sinaloa y Sonora (INAPESCA, 2012).

En estudios sobre los camarones en el Pacífico mexicano, se observa la presencia de las cuatro especies de postlarvas, *P. vannamei*, *P. stylirostris*, *P. californiensis* y *P. brevirostris*, en las zonas litorales adyacentes a la laguna Huizache-Caimanero del sur de Sinaloa y Tonalá, Chiapas (Félix Ortiz et al., 2014), mientras que Del Valle (1989) en su estudio, solo registra a *P. vannamei* en las capturas de Huizache-Caimanero.

En las lagunas costeras de Oaxaca y Chiapas, las especies que se capturan son el camarón blanco, el café y el azul; la primera especie aporta hasta el 97% de las capturas (Ramos Cruz, 2000). Asimismo, se han registrado juveniles de camarón café en la laguna Oriental y el Mar Muerto (Medina Reyna et al. 2001).

Ramírez-Rojo y Aragón-Noriega (2006) concluyeron que el camarón *P. stylirostris* presenta el ciclo de vida tipo 2 y *P. californiensis* el ciclo de vida tipo 3, para el delta del Rio Colorado en el Alto Golfo de California.

En lagunas costeras de Sonora se han encontrado juveniles de camarón café superiores a 100 mm de Longitud total en todo el año. En el estero de La Cruz y Agiabampo, se registró la entrada de postlarvas de camarón café (Loesch, 1980; Grijalva-Chon y Barraza-Guardado, 1992; Valenzuela-Quíñonez et al., 2006).

1.3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Debido a la controversia que existe sobre el tipo del ciclo de vida de los camarones costeros del Pacífico mexicano se plantea un manejo pesquero sin distingo de especies, lo que genera una explotación del recurso con tendencia a subexplotación de una y sobreexplotación de otras.

1.4. HIPÓTESIS

Los factores ambientales de las lagunas costeras y las características fisiográficas de cada una de las regiones del Pacífico mexicano hacen posible el replanteamiento en el tipo de ciclo de vida de los camarones peneidos.

1.5. OBJETIVO GENERAL

Replantear el ciclo de vida de los camarones costeros en cada una de las regiones del Pacífico mexicano.

1.5.1. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a. Determinar el ciclo de vida de los camarones costeros del Alto Golfo de California
- b. Determinar el ciclo de vida de los camarones costeros a la Laguna costera de Agiabampo.
- c. Determinar el ciclo de vida de los camarones costeros que ingresan a la laguna costera del Huizache-Caimanero

- d. Determinar el ciclo de vida de los camarones costeros que ingresan a las grandes lagunas del Istmo de Tehuantepec, Oaxaca.
- e. Determinar el ciclo de vida de los camarones que ingresan a la laguna costera del Mar Muerto, Chiapas.
- f. Describir las características fisiográficas de cada laguna.
- g. Establecer la climatología y el patrón ambiental.
- h. Estimar el crecimiento de los camarones.

1.6. METODOLOGÍA GENERAL

1.6.1. ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio comprende cuatro zonas, de dos regiones del Pacífico mexicano de importancia en la pesquería del camarón, el Golfo de California y el Golfo de Tehuantepec (fig. 1.1).

1.6.1.1. GOLFO DE CALIFORNIA

Las condiciones climáticas del Golfo de California, están influenciadas por los patrones de corrientes oceánicas, pertenecientes al sistema ecuatorial (Contra Corriente Norecuatorial y Corriente de Costa Rica) y el giro anticiclónico del Pacífico Norte (Corriente de California). Al respecto Wyrcki (1966), describió dos principales patrones de circulación, uno en primavera y el otro en otoño. La boca del Golfo de California está localizada dentro de una región de transición de masas de agua, el clima oceánico del Golfo es sensible a la variabilidad interanual en la circulación de gran escala (Baumtgartner y Christensen, 1985).

1.6.1.1.1. ALTO GOLFO DE CALIFORNIA

Alto Golfo de California (AGC), está localizado al norte del Golfo de California entre los 31.0° y 31.3° N y 114.7° y 114.0° O (fig. 1.2). El único aporte significativo de agua dulce viene de vez en cuando desde el río Colorado. Comprende un área triangular de 5.000 km² dentro de los límites de una línea imaginaria entre la ciudad de San Felipe, B.C. y Punta Borrascoso, en Sonora y la antigua desembocadura del río Colorado (Lavín et al., 1997). Es relativamente poco profundo, con una

profundidad máxima de 30 m, y una profundidad promedio de 15 m. En ausencia de flujo de agua dulce del Río Colorado, la salinidad superficial generalmente aumenta hacia el noroeste, de aproximadamente 36 fuera del estuario a aproximadamente 38.5 en el extremo norte de la isla Montague en invierno, y de 38 a aproximadamente 40 en verano, por lo tanto, estableciendo condiciones de estuario inverso (Alvarez-Borrego, 2001).

1.6.1.1.2. SISTEMA LAGUNAR AGIABAMPO

El Sistema Lagunar Agiabampo (SLA) se encuentra ubicado a los 26.3°N y 109.25° O, tiene una superficie 184 km², la profundidad media de 2 m, se comunica al Golfo de California mediante una boca de aproximadamente 1.5 km de ancho. Se encuentra permanentemente comunicado con el mar. La circulación está definida por las mareas. El clima que caracteriza a la región es considerado semiárido, con promedio anual de precipitación de 300 mm y una temperatura anual de 30°C, con máximas en verano de 35°C y mínimas en invierno de 10°C (Ayala-Castañares et al., 1990). Los 2300 mm anuales de evaporación en la zona exceden a los poco más de 300 mm de precipitación, éstas condiciones y la carencia de afluentes continentales, le confieren un carácter de estuario negativo o antiestuarino (Gómez-Aguirre y Rivero-Beltrán, 1987; Valenzuela-Quiñónez, 2007). Las salinidades varían de 35 ups en octubre a 39 ups en febrero (Valenzuela-Quiñónez et al. 2006).

1.6.1.1.3. SISTEMA LAGUNAR HUIZACHE–CAIMANERO

Sistema Lagunar Huizache–Caimanero (LHC). Se localiza en el noroeste de México, sobre la planicie costera del sur de Sinaloa, se ubica entre los 22.8 y 23.1°N, 106° y 106.2° O. Está delimitada al norte por el río Presidio y al sur por el río Baluarte, separado del mar por una barra de arena. Este cuerpo de agua tiene una superficie aproximada de 1700 hectáreas. Se conecta al mar por el estero Ostial al norte y el estero Aguadulce al sur estos son relativamente angostos.

El ciclo hidrológico anual del sistema lagunar se describe en el siguiente esquema: octubre - febrero, fin de las lluvias, descenso del nivel del mar, persisten las descargas residuales del drenaje continental sobre la laguna, flujo neto de agua

hacia el mar, el agua en la laguna es inicialmente hiposalina cambiando a mesosalina; marzo – abril, temporada de estío, el volumen de agua en la laguna decrece, la evaporación aumenta, el agua tiende a ser hipersalina, hacia el final de este periodo el nivel medio del mar alcanza su mínimo, la boca que comunica con el mar se cierra; abril – junio, el nivel medio del mar inicia su ascenso, en este periodo se abre la boca que comunica con el mar, el efecto de la evaporación disminuye; y por último, julio – agosto, inicio de la temporada de lluvias, comienza el llenado de la laguna a través de las .descargas fluviales y precipitación directa, en este periodo el nivel de la superficie del agua en la laguna se eleva más allá del nivel medio del mar, el agua es hiposalina (Moore y Slinn, 1984; Del Valle, 1989).

1.6.1.2. GOLFO DE TEHUANTEPEC

El Golfo de Tehuantepec está situado en la costa sur de México, es sujeto a fuertes e intermitentes vientos del Norte, conocidos localmente como “Nortes”, durante los meses de invierno. La ocurrencia de los “Nortes” está determinada por la topografía de la región. Las montañas de la Sierra Madre se extienden a lo largo de México y Centro América con una elevación máxima promedio de 2000 m. En el Istmo de Tehuantepec esta cadena montañosa se ve interrumpida por un paso de 40 km de ancho y de altura promedio de 200 m, “Paso de Chivela”.

Cada invierno, los sistemas de alta presión atmosférica que ocurren en Norte América avanzan hacia el sur, sobre el Golfo de México. Cuando estos sistemas alcanzan la latitud del Istmo de Tehuantepec, dado que la presión sobre el Pacífico no es afectada, se establece una diferencia de presión a través del Paso de Chivela. Es entonces que se canaliza un chorro intenso de viento frío y seco (Trasviña et al., 1995). El viento tiene influencia sobre muchos cientos de kilómetros mar afuera. Estos eventos alcanzan velocidades mayores a 20 m s^{-1} con duración de 3 a 4 días (Barton et al., 1993). Su empuje crea un chorro de agua que fluye perpendicular a la costa cientos de kilómetros al sur, el nivel del mar disminuye y la surgencia costera puede reducir la temperatura a casi 10°C en un día y suele ser significativamente diferente a las surgencias costeras (Legeckis, 1985).

1.6.1.2.1. SISTEMAS LAGUNARES DEL GOLFO DE TEHUANTEPEC

El Sistema Lagunares del Golfo de Tehuantepec, lo componen las Grandes Lagunas de Oaxaca (SGL) y la Laguna Mar Muerto (LMM) (fig.1.5). Tienen una extensión aproximada de 140 km² (Flores-Verdugo et al. 2001) y sus condiciones hipersalinas (salinidad hasta 55 ups) son muy comunes.

SGL se ubican entre los 16.25° y 16.4° N y 94.78° y 95.08° O. Constituye el sistema lagunar más grande de la costa del Pacífico mexicano, está integrado por la laguna Superior (38,000 Ha), laguna Inferior (27,000 Ha), "Mar" Tileme (4,300 Ha), laguna Occidental (1,000 Ha) y laguna Oriental (7,000 Ha).

El sistema lagunar se comunica con el Golfo de Tehuantepec a través de la Boca de San Francisco, que sólo se cierra ocasionalmente por el acarreo litoral. Esta boca-barra alimenta la Laguna Inferior y se conecta con la Laguna Oriental a través de los Esteros los Otates y Lagartero, con la Laguna Superior por medio de la Boca de Santa Teresa y directamente con el Mar Tileme (Salinas et al., 1996). Los aportes de agua dulce provienen del río de los Perros, el arroyo Estacudo, el río Chilapa, el arroyo de San José y el río Ostuta.

LMM se encuentra ubicada entre los 16 y 16.28° de Latitud Norte y 93.8 y 94.4° de Longitud Oeste. Se localiza en la parte norte del Golfo de Tehuantepec en el Pacífico Sur mexicano, formando parte de los estados de Oaxaca y Chiapas. Tiene una longitud aproximada de 12 km en su parte más ancha y 60 km de largo y se conecta con la línea de costa del Océano Pacífico por la Boca de Tonalá (Tapia García et al. 1997).

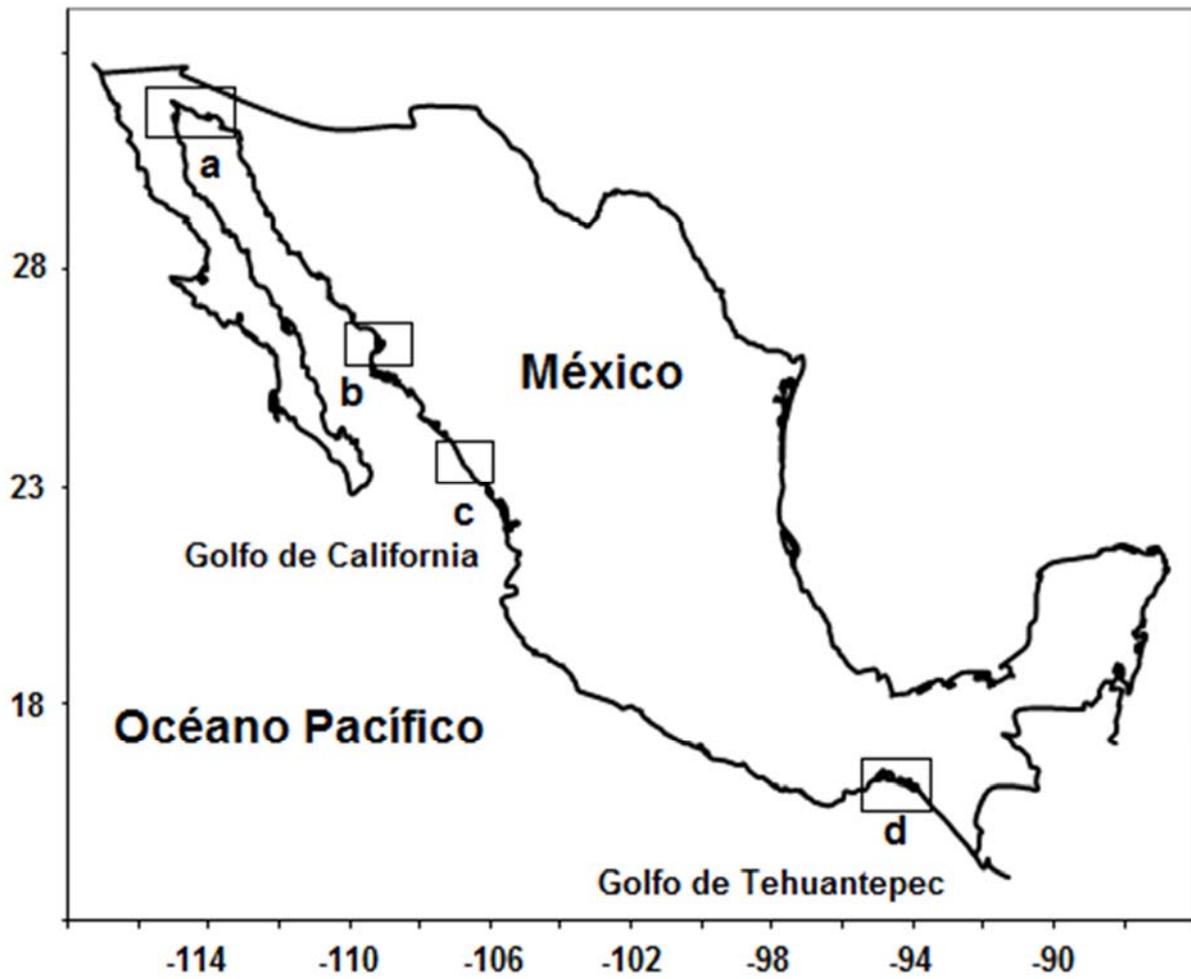


Figura 1.1. Localización del área de estudio, a, Alto Golfo de California (AGC), b, Sistema lagunar de Agiabampo (SLA), c, Sistema lagunar Huizache-Caimanero (LHC) y d, Sistemas lagunarios del Golfo de Tehuantepec.

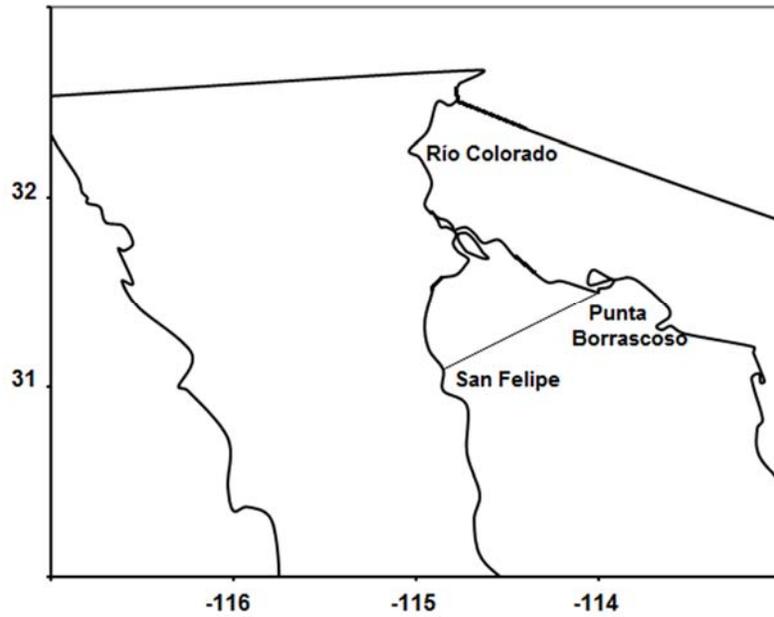


Figura 1.2. Localización del Alto Golfo de California (AGC)

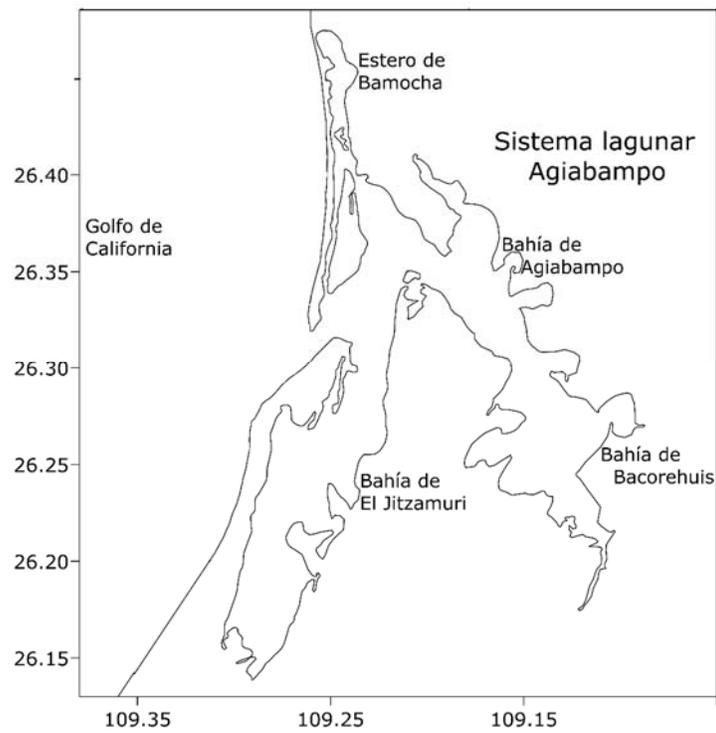


Figura 1.3. Localización del sistema lagunar de Agiabampo (SLA)

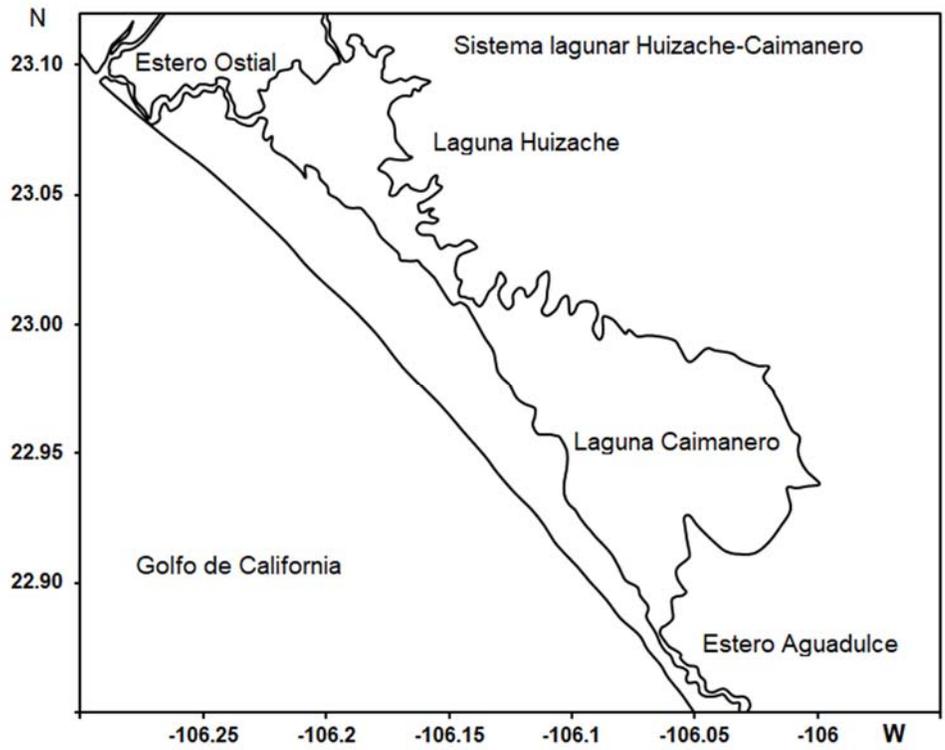


Figura 1.4. Sistema lagunar Huizache-Caimanero.

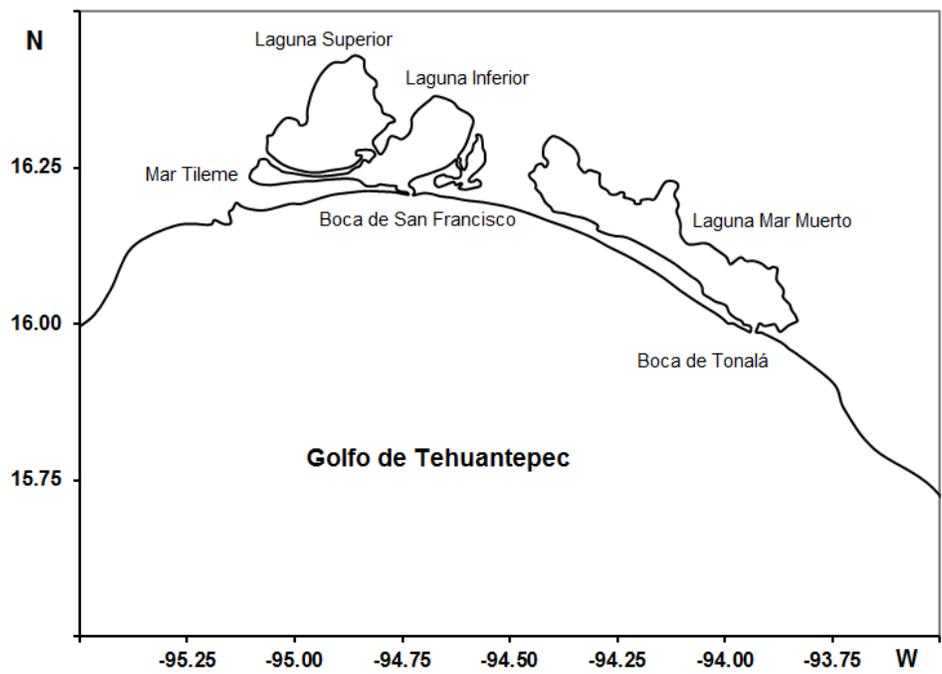


Figura 1.5. Sistemas lagunares del Golfo de Tehuantepec.

1.6.2. INFORMACIÓN BIOLÓGICA

Postlarvas

La base de datos para cada zona de estudio son las siguiente: periodos de reproducción de mayo a octubre de los años de mayo de 1993 a octubre de 1994 para la zona del Alto Golfo de California (AGC); de abril de 1988 a marzo de 1995 y los periodos de reproducción de 2011 y 2012 para la zona litoral adyacente a la laguna Huizache-Caimanero (LHC); de abril de 1993 a abril de 1994 en la zona litoral adyacente a la boca de San Francisco (SGL); y de octubre de 1990 a diciembre de 1992 en la zona litoral adyacente a la boca de Tonalá, Chiapas(LMM).

Juveniles

En la laguna de Agiabampo la recolecta se llevó a cabo de enero de 2002 a enero de 2003; mientras que para la laguna Huizache-Caimanero, se realizaron muestreos de las capturas de camarón en los sitios el Ostial y Los Pozos en las temporadas de pesca de 2015 y 2016; y en la laguna Mar Muerto, se obtuvieron de Ramos Cruz (2001).

Adultos

En la zona costera adyacente a la laguna de Agiabampo, la recolecta se llevó a cabo de enero de 2002 a enero de 2003; Para las zonas costeras de LHC y LMM, se analizaron los datos generados por observadores a bordo de la flota comercial en las temporadas de capturas de 1990-1991, 1991-1992, 1992-1993 y 1993-1994.

1.6.3. INFORMACIÓN METEOROLÓGICA

Los datos climatológicos de temperatura del aire y la precipitación pluvial de las estaciones cercanas para cada zona, se obtuvieron del Servicio Meteorológico Nacional de la Comisión Nacional del Agua en la página web <http://smn.cna.gob.mx/es/climatologia/informacion-climatologica>.

1.6.4. INFORMACIÓN OCEANOGRÁFICA

Los promedios mensuales de la temperatura de la superficie del mar (TSM) de enero de 1983 a diciembre de 2015, se obtuvieron del Comprehensive Oceanic and Atmospheric Data Set (COADS), de la National Oceanographic and Atmospheric Administration–Cooperative Institute for Research in Environmental Science (NOAA-CIRES). Los datos son generados mediante un análisis de interpolación óptima (OI) de estimaciones semanales *in situ* y de satélite en una malla de un grado (Reynold et al., 2002).

Los registros de marea, se obtuvieron mediante el programa MAR V1.0 2011 del Departamento de Oceanografía del CICESE en la página <http://predmar.cicese.mx/datos/basedat.html>.

CAPÍTULO 2. VARIABILIDAD LATITUDINAL Y LA ABUNDANCIA DE POSTLARVAS DE CAMARONES

2.1. INTRODUCCIÓN

Dada la gran variabilidad en los tipos de historia de vida y el rango de hábitats ocupados por diferentes estadios, no es sorprendente que los camarones peneidos muestren patrones de historia de vida estacionales bastantes complejos (Dall et al., 1990). El periodo de vida de la mayoría de los peneidos costeros es entre uno y dos años en los trópicos, pero puede ser más en aguas templadas. En poblaciones muy explotadas de *Penaeus*, el tiempo de vida a menudo parece ser inferior a 1.5 años. En el laboratorio, el periodo de desarrollo para muchas especies desde el desove hasta la primera postlarva varía de 8 a 24 días, una gran parte de esta variabilidad se explica por las diferencias en la temperatura (Dall et al., 1990). La mayoría de los investigadores han señalado que el uso de información sobre el clima en la evaluación de poblaciones, haciendo hincapié en la relación de la TSM con la evaluación pesquera (Bakun 1996). El mismo autor, menciona que la variable oceanográfica más importante que influye en la biología de los organismos es la TSM.

Dall et al. (1990), mencionaron que para comparar y contrastar estos efectos latitudinales se debe considerar la dinámica del ciclo de vida de los peneidos en tres zonas latitudinales: ecuatorial, tropical/subtropical y templada. Además, proponen las hipótesis de que existen diferencias latitudinales entre los tiempos de reproducción, los tiempos de los picos de abundancia de postlarvas y parámetros poblacionales de los peneidos. Estas hipótesis han sido probadas por Aragón-Noriega y Alcántara-Razo (2005) para *Penaeus californiensis*, Castilho et al. (2007) para *Artemesia longinaris*. Ambos estudios concluyen que la talla de madurez aumenta con la latitud. Barbosa-Saldaña et al. (2012) encontró diferencias morfológicas en *P. californiensis* en diferentes latitudes del Pacífico mexicano. Mientras que en los tiempos de arribo de las postlarvas Félix-Ortiz et al. (2014), concluyeron que en latitudes bajas se incrementa el periodo de arribo de las postlarvas a las zonas litorales.

En el Golfo de California, algunos estudios indican la influencia de la temperatura en la reproducción de camarón café *P. californiensis* (Leal et al., 2001), Aragón y Alcántara (2005) concluyeron que a mayor temperatura esta especie se reproduce más frecuente. Aragón-Noriega (2007) estudió el periodo reproductivo de *P. stylirostris* y encontró una relación entre el periodo reproductivo y la variabilidad estacional de la temperatura, a menor variabilidad de la temperatura mayor periodo reproductivo. Los mismos autores mencionan que la dinámica del ciclo de vida varía marcadamente entre las especies, probablemente como resultado de las condiciones ambientales en que se encuentran los diferentes estadios.

Existen algunas evidencias de que las poblaciones de camarón están segregadas genéticamente en el Golfo de California (De la Rosa-Vélez et al., 2000). Las diferencias podrían producir diferentes tiempos para la reproducción y pueden estar relacionadas con diferencias en el hábitat (Aragón-Noriega y Alcántara-Razo, 2005). Con el propósito de conocer la relación latitudinal, en el presente capítulo, se analiza la climatología de las variables ambientales, los tiempos de arribo y picos de abundancia de las postlarvas de camarones peneidos en las dos regiones del Pacífico mexicano.

2.2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.2.1. ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio comprende cuatro zonas litorales adyacentes a lagunas costeras de dos regiones de importancia en la pesquería del camarón del Pacífico mexicano, el Golfo de California y el Golfo de Tehuantepec (fig. 2.1): A) Zona litoral de San Felipe, B.C. se encuentra localizada a 31.03°N y 114. 82°O en el Alto Golfo de California (AGC), B) Zona litoral adyacente a la Laguna Huizache-Caimanero (LHC), se encuentra ubicada en 23.08°N y 106.27°O, C) Zona litoral de la Bahía Ventosa, adyacente al Sistema de las Grandes Lagunas de Oaxaca (SGL) se encuentra en 16.18°N y 95.17°O y D) Zona litoral adyacente a la Laguna Mar Muerto (LMM), se encuentra ubicada en 15.98°N y 93.97°O.

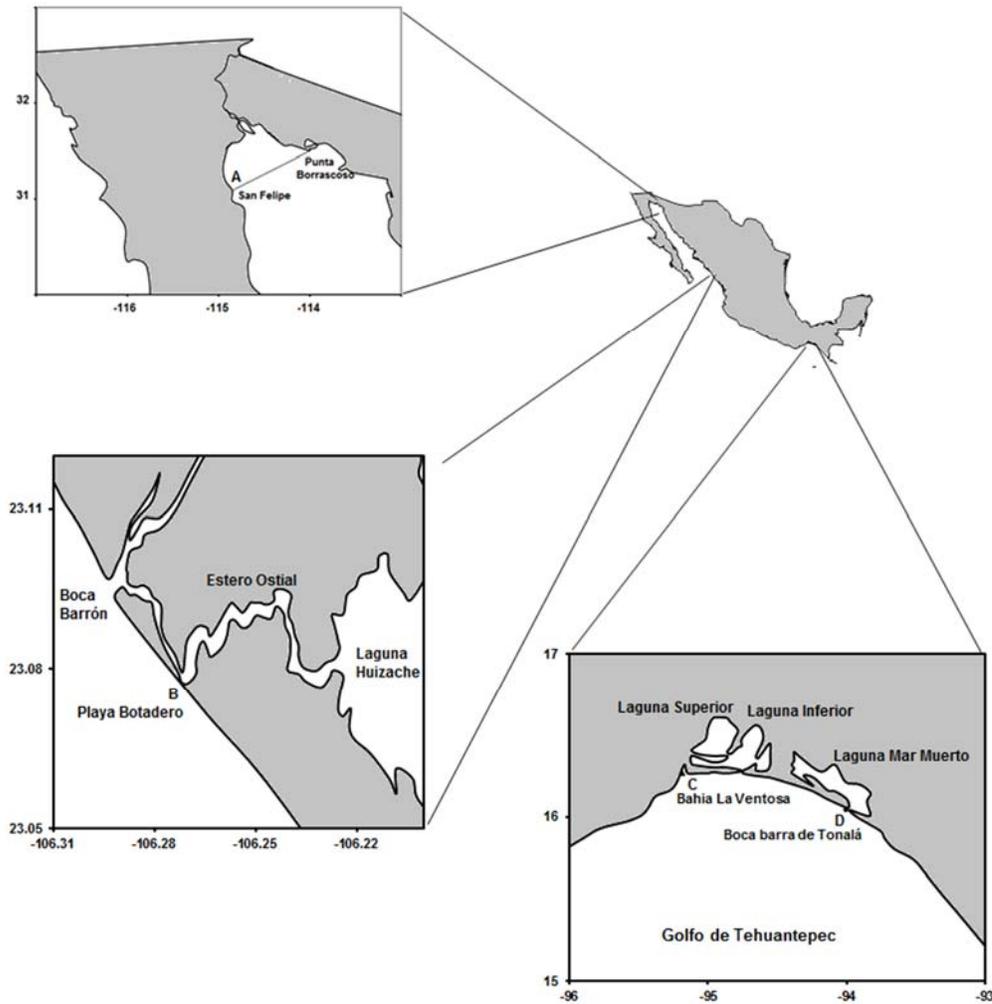


Figura 2.1. Localización geográfica de las zonas de estudio; A, zona litoral de San Felipe, B, zona litoral adyacente a la Boca Barrón, C, zona litoral de la Bahía Ventosa, y D, zona litoral adyacente a la Boca de Tonalá.

2.2.2. MUESTREO BIOLÓGICO

Los datos de abundancia de postlarvas se obtuvieron de recolectas de zooplancton que se realizaron en cada zona de estudio, de mayo de 1993 a octubre de 1994 para la zona litoral de San Felipe, B.C. en el AGC; de abril de 1988 a marzo de 1995, para la zona litoral adyacente a la LHC; de abril de 1993 a abril de 1994 en la zona litoral adyacente a la boca de SGL y de octubre de 1990 a enero de 1993 en la zona litoral adyacente a la boca de LMM. Las cuales se llevaron a cabo cada dos

semanas en las fases de luna llena y nueva, con redes de plancton circulares de 0.3 m de diámetro, 1.5 m de longitud, y luz de malla de 450 μm con un flujómetro colocado en la boca de la red. Los arrastres se realizaron cada dos horas, en los cuales la red se sujetó y se arrastró contra la corriente entre dos personas en la zona de rompientes durante 5 minutos, a lo largo de un transecto paralelo a la línea de playa.

Se obtuvo el número de postlarvas por metro cúbico (PI m^{-3}) para el día de muestreo dividiendo el número de postlarvas entre el volumen filtrado, se le realizó una transformación logarítmica ($\text{Ln}(x+1)$) y se calculó el promedio mensual para establecer los periodos de abundancia de postlarvas.

2.2.3. VARIABLES AMBIENTALES

Los datos meteorológicos de temperatura y precipitación, de las estaciones cercanas para cada zona, se obtuvieron del Servicio Meteorológico Nacional de la Comisión Nacional del Agua¹. La temperatura de la superficie del mar (TSM), para cada región, se obtuvieron del Comprehensive Oceanic and Atmospheric Data Set (COADS), de la National Oceanographic and Atmospheric Administration–Cooperative Institute for Research in Environmental Science (NOAA-CIRES). Los datos son generados mediante un análisis de interpolación óptima (OI) de estimaciones semanales *in situ* y de satélite en una malla de un grado (Reynold et al., 2002). Se seleccionaron tres áreas AGC (30.5–31.5°N 113.5–114.4°O), Mazatlán (22.524.5°N 106.5–107.5°O) y Gofo de Tehuantepec (15.5–16.5°N 93.5–96.5°O) y se calculó la climatología regional de los promedios mensuales de enero de 1983 a diciembre de 2015.

2.3. RESULTADOS Y DISCUSIONES

2.3.1. CLIMATOLOGÍA.

Los promedios mensuales de temperatura del aire en el AGC, muestra una marcada estacionalidad; las mínimas en invierno con promedio mensual de 14.6°C en enero y máximas en verano de 30.6°C en agosto, el rango de variación es de 15°C. Para

¹<http://smn.cna.gob.mx/es/climatologia/informacion-climatologica>

la región cercana a LHC, también muestra estacionalidad; la mínima promedio en enero con 20.2°C y máximo promedio en julio con 29°C, el rango de variación de 8.8°C. En la zona de SGL, las temperaturas promedio no muestra estacionalidad; el mayor promedio mensual de temperatura se presenta en mayo con 29.6°C y mínima en enero con 24.8°C, el rango es de 4.5°C. Mientras que para LMM, tampoco muestra estacionalidad; la mínima en enero con 25.2°C y máxima en abril con 27.3°C, el rango de variación es de 2.1°C (fig. 2.2).

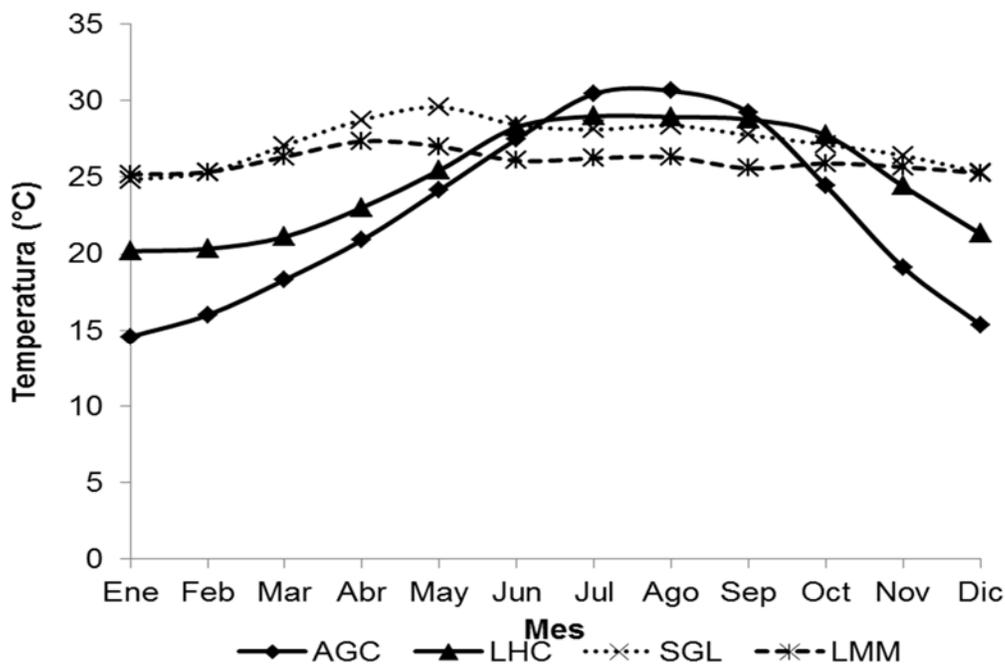


Figura 2.2. Temperatura promedio del aire en las zonas de estudio en estaciones cercanas a AGC (Alto Golfo de California), LHC (Sistema Lagunar Huizache-Caimanero), SGL (Sistema de las Grandes Lagunas de Oaxaca) y LMM (Laguna Mar Muerto) (Fuente SMN-CONAGUA, 1951-2010).

En cuanto a las temperaturas del aire de las cuatro zonas, la de mayor temperatura es en SGL con 27.3°C y la de menor temperatura es AGC con 22.4°C, el rango de variación latitudinal es de 4.8°C. No existen diferencias significativas en las zonas de la región del Golfo de California ($t_{(22)} = 2.07$, $P > 0.05$), Mientras que para las

zonas del Golfo de Tehuantepec sí existen diferencias significativas ($t_{(15)} = 2.14$, $P < 0.05$)(fig. 2.3).

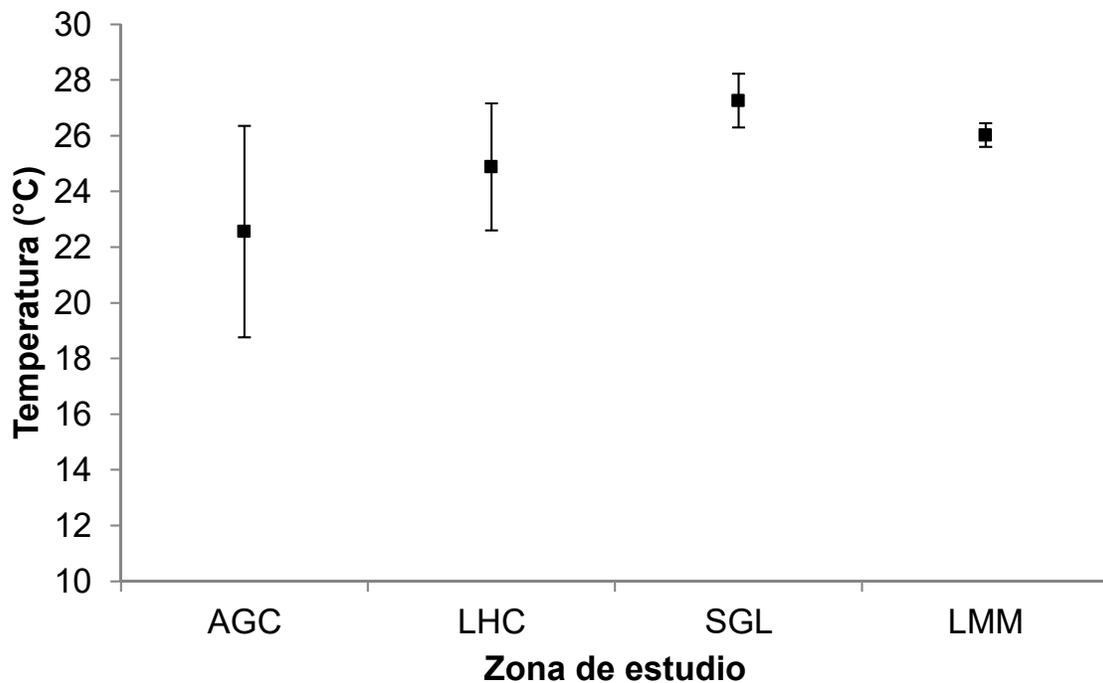


Figura 2.3. Variación latitudinal de la temperatura del aire para las cuatro zonas de estudio (Fuente SMN-CONAGUA, 1951-2010).

Los promedios de la precipitación mensual para las zonas de estudio, nos muestra que, en el AGC las lluvias no sobrepasan los 40 mm; los meses más húmedos son de agosto a octubre, el máximo promedio es de 13 mm en el mes de septiembre. En LHC, las lluvias se presentan en verano-otoño; el mes con el promedio más alto es agosto con 241 mm, mientras que los meses secos son de marzo a mayo. Para las zonas de SGL, el periodo de lluvias se presenta en los meses de primavera a otoño, el mes con mayores precipitaciones es septiembre con 245 mm. Asimismo, para la zona de LMM, las lluvias también se presentan de primavera a otoño, el mes de mayores precipitaciones es septiembre con 349 mm (fig. 2.4).

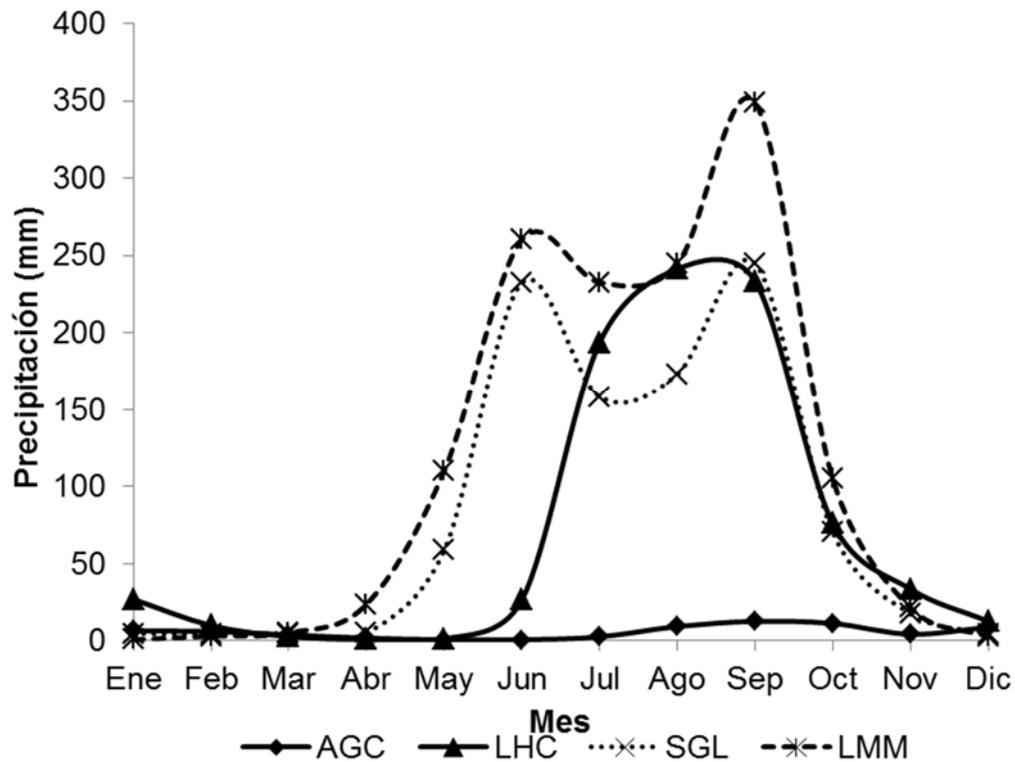


Figura 2.4. Precipitación promedio mensual en las zonas de estudio en estaciones cercanas a AGC (Alto Golfo de California), LHC (Sistema Lagunar Huizache-Caimanero), SGL (Sistema de las Grandes Lagunas de Oaxaca) y LMM (Laguna Mar Muerto) (Fuente SMN-CONAGUA, 1951-2010).

La variación latitudinal de la precipitación la zona de menor promedio acumulado, es AGC con 31 mm anuales y la de mayores precipitaciones es en LMM, con 615 mm anuales el rango variación latitudinal es de 586 mm (fig. 2.5).

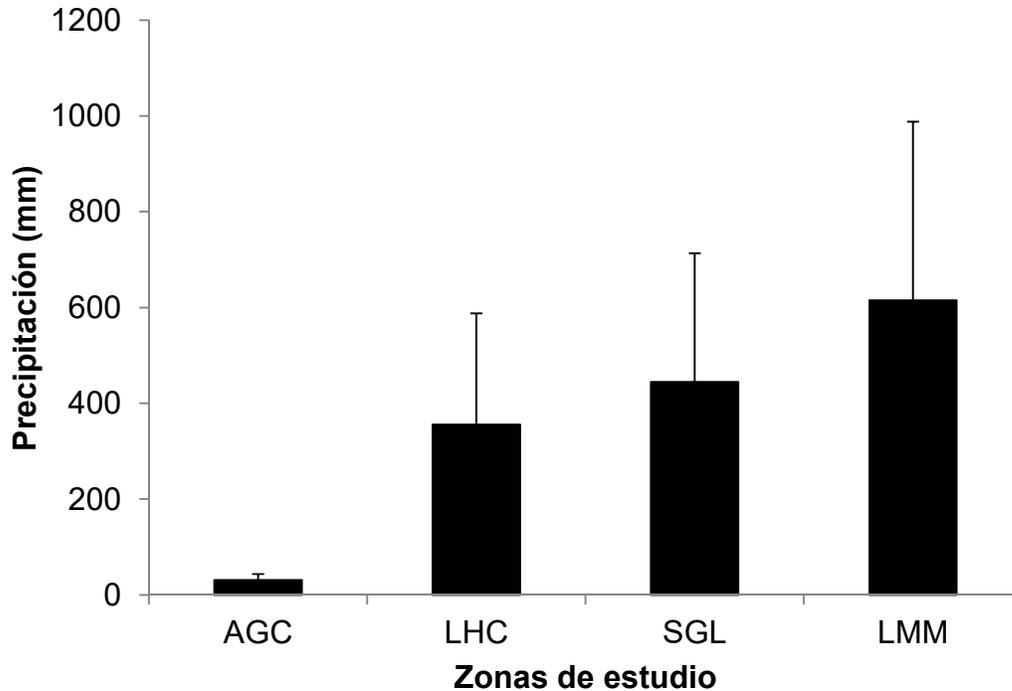


Figura 2.5. Variación latitudinal de la precipitación acumulada anual para las cuatro zonas de estudio (Fuente SMN-CONAGUA, 1951-2010).

Los promedios mensuales de la temperatura de la superficie del mar para las dos áreas AGC y LHC existe una marcada estacionalidad con las mínimas en febrero 16.4°C y 22.5°C y máximas en agosto con 29.7°C y 30°C con rangos de variación de 13.3°C y 7.5°C, respectivamente. Mientras que, para el área del Golfo de Tehuantepec, no existe esa marcada estacionalidad, pues los mínimos promedios se muestran en enero con 26.7°C y máxima en agosto con 29.9°C, con un rango de variación de 3.2°C (fig. 2.6).

Los promedios mensuales fueron significativamente diferentes entre las tres zonas (ANOVA, $F_{(2, 5709)} = 1546$, $P < 0.05$). La temperatura de la superficie del mar, se incrementó de 22.3 ± 4.9 en AGC a 28.6 ± 1.3 en el Golfo de Tehuantepec (Fig. 2.7).

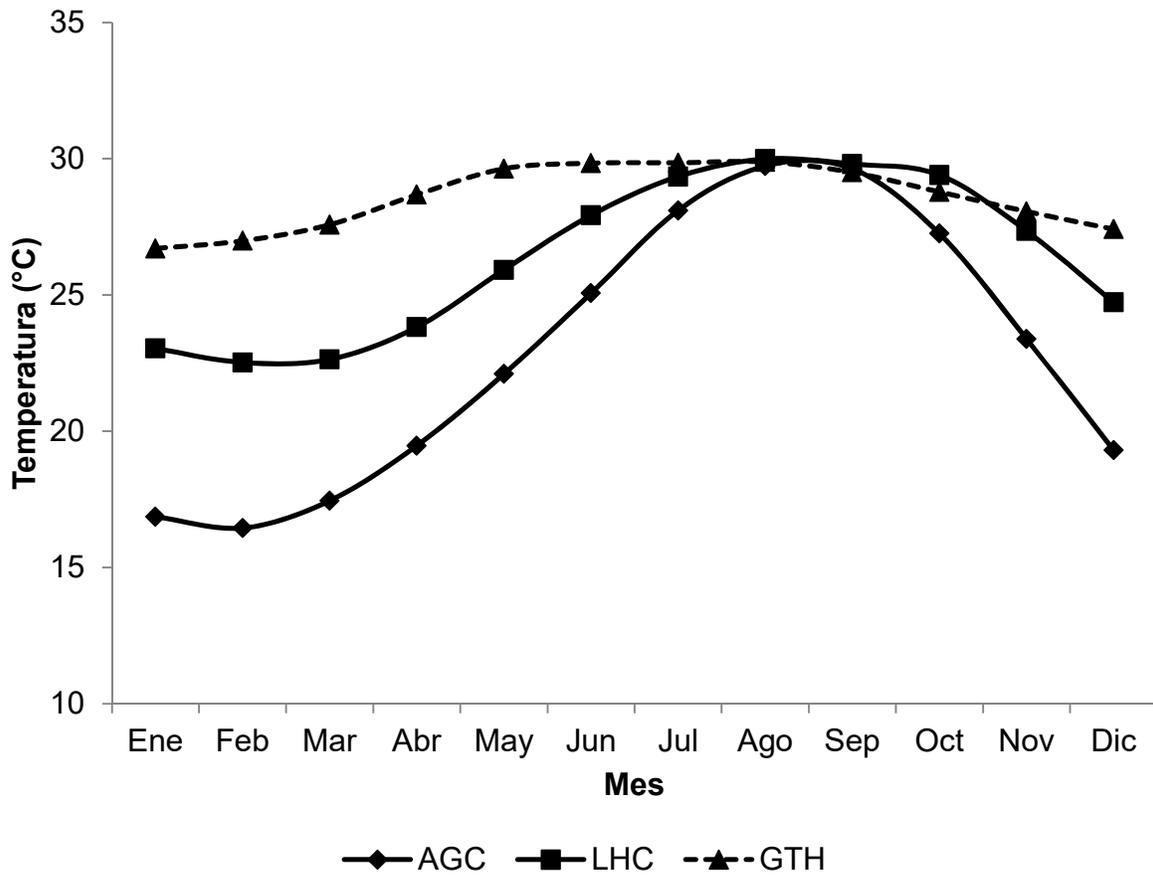


Figura 2.6. Promedios mensuales de la temperatura de la superficie del mar de 1983 a 2015 para las tres zonas del Pacífico mexicano.

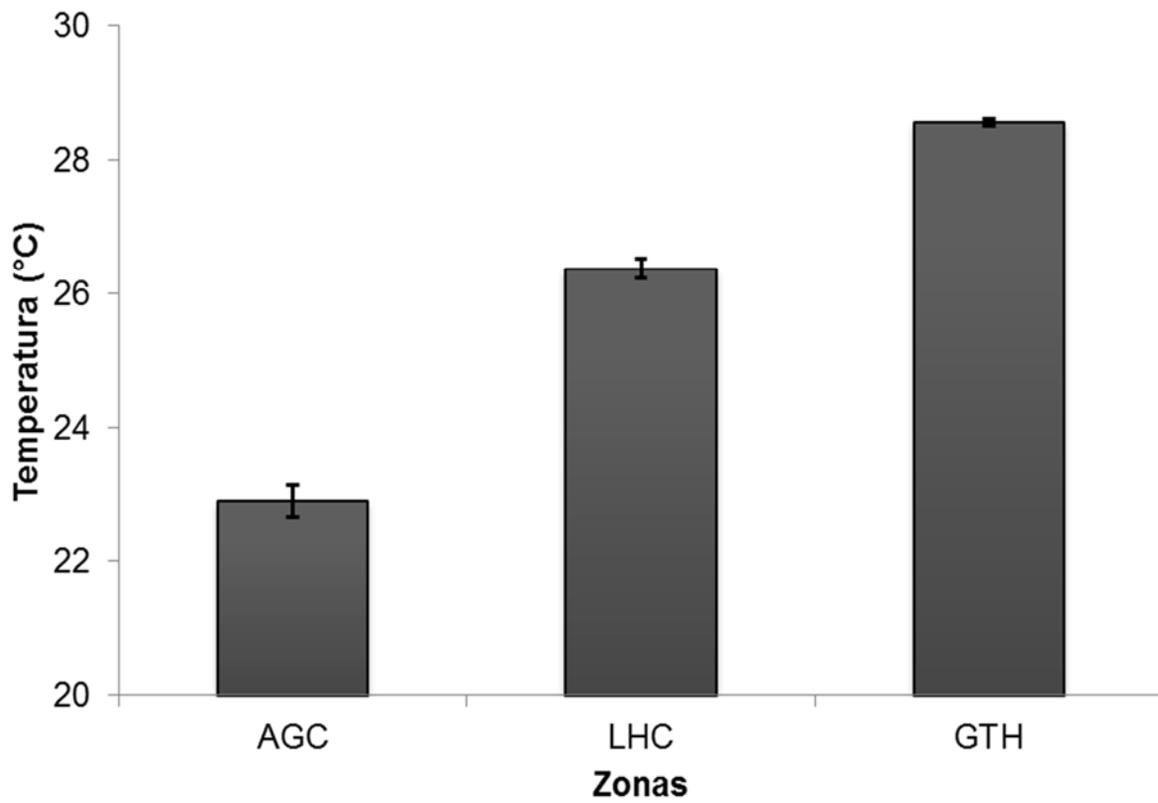


Figura 2.7. Variación latitudinal de los promedios mensuales de la temperatura de la superficie del mar de 1983 a 2015 para las tres zonas del Pacífico mexicano.

2.3.2. ABUNDANCIA DE POSTLARVAS

Con respecto a la composición específica de las postlarvas para la zona litoral de San Felipe en el AGC, solo se encontraron dos especies, *P. californiensis* con el 70% y *P. stylirostris* con el 30%. Para la zona litoral adyacente a la LHC, se encontraron las cuatro especies de postlarvas, *P. vannamei* con 40% seguida de *P. californiensis* con el 36%, *P. brevirostris* con el 18% y *P. stylirostris* con el 6%. Mientras que en la zona litoral de la bahía La Ventosa adyacente a SGL, la especie dominante fue *P. californiensis* con el 61%, seguida de *P. vannamei* con el 31%, *P. brevirostris* con el 7% y *P. stylirostris* con el 1%. Asimismo, en la zona litoral adyacente a la LMM, *P. californiensis* presentó el 44%, *P. vannamei* el 40%, *P. brevirostris* el 14% y *P. stylirostris* el 2% (fig. 2.8).

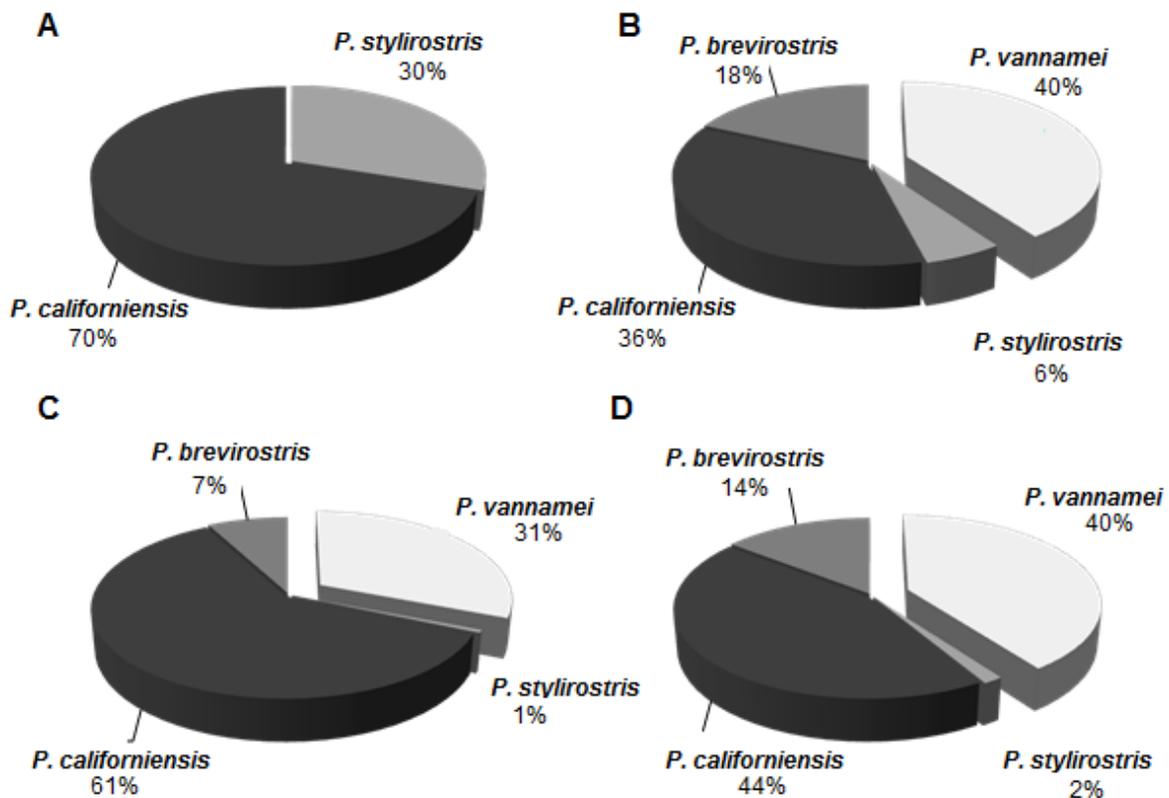


Figura 2.8. Composición específica de postlarvas de camarón en cuatro zonas litorales del Pacífico Mexicano, A, zona litoral de San Felipe, B.C., B, zona litoral adyacente a la LHC, C, zona litoral de bahía La Ventosa, Oaxaca y D, zona litoral adyacente a LMM, Chiapas.

La abundancia de postlarvas (transformada $\ln(X+1)$), muestra un periodo de 5 meses de presencia de junio a octubre en la zona litoral de San Felipe en AGC, con máximos en julio y agosto. En la zona litoral adyacente a la LHC, se presentan un periodo de 7 meses de junio a diciembre, con máximos de agosto a octubre. Mientras que en las zonas litorales adyacentes a SGL y LMM, tienen presencia todo el año (fig. 2.9).

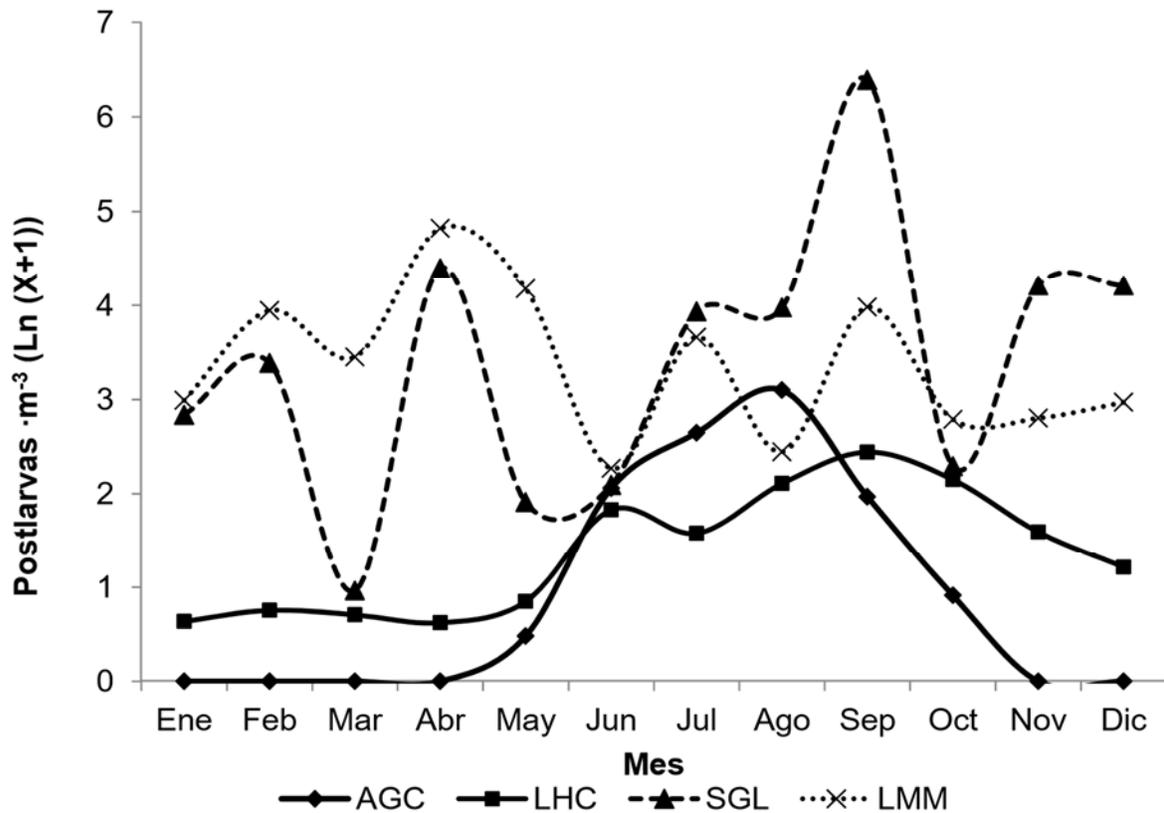


Figura 2.9. Transformada $\ln(X+1)$ de la abundancia de postlarvas (PI m^{-3}) en las cuatro zonas litorales del Pacífico mexicano.

La abundancia de postlarvas de *P. vannamei*, no se registra en el AGC, ya que el límite norte de su distribución es el sur de Sonora y norte de Sinaloa (Rodríguez de la Cruz, 1981). En la zona litoral adyacente a la LHC, su periodo de presencia va de junio a noviembre con máximas de julio a septiembre, mientras que, en las zonas litorales del Golfo de Tehuantepec, no hay un periodo definido de presencia, ya que se registran todo el año (fig. 2.10).

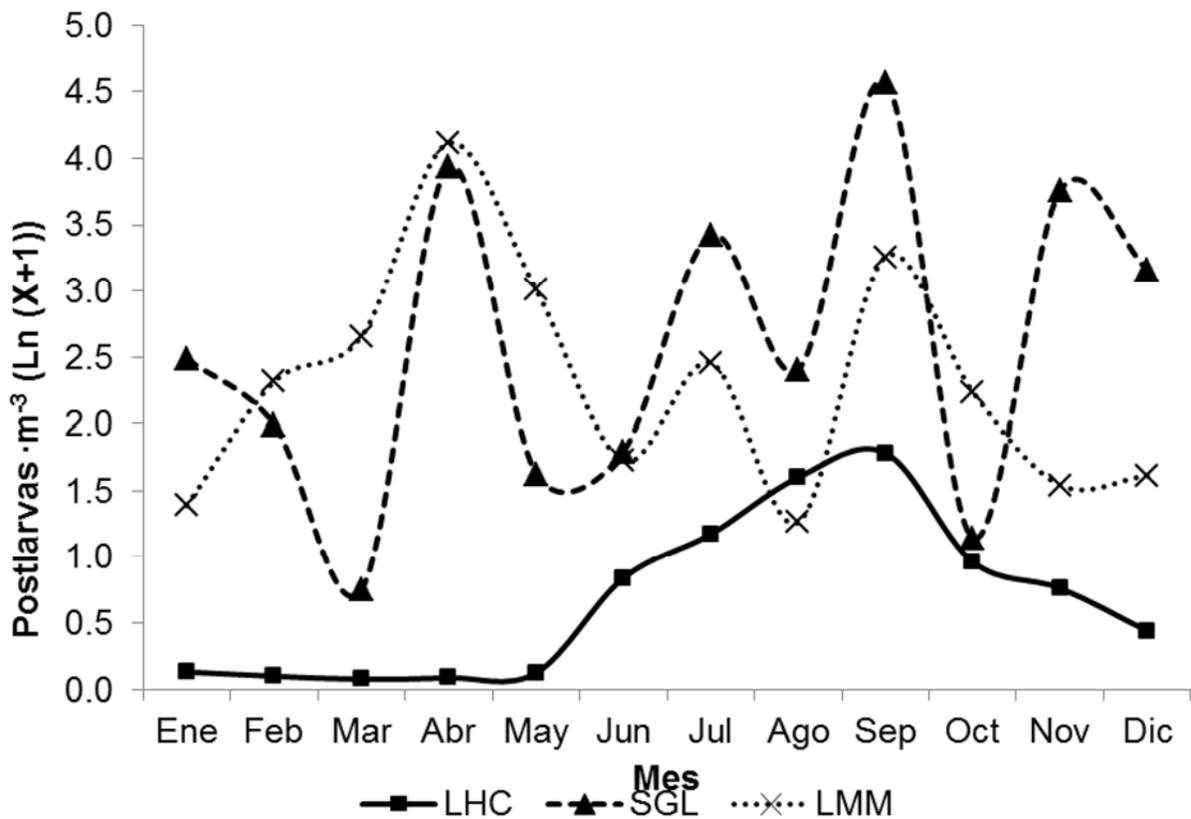


Figura 2.10. Transformada $\ln(X+1)$ de la abundancia de postlarvas de *P. vannamei* (PI m^{-3}) en tres zonas litorales del Pacífico mexicano.

La abundancia de postlarvas de *P. Stylirostris*, para las cuatro zonas del Pacífico mexicano, muestra que esta especie se registra en cada una de ellas. La mayor abundancia se registra en al AGC, con abundancia cercana a 2 en agosto, con un periodo de presencia bien definido de mayo a agosto. En la zona litoral adyacente a LHC, no se define un periodo de presencia, pero sí dos picos de abundancia en junio y septiembre. Mientras que, en la región del Golfo de Tehuantepec, solo en la zona litoral adyacente a LMM, se aprecia un periodo de presencia de febrero a junio (fig. 2.11).

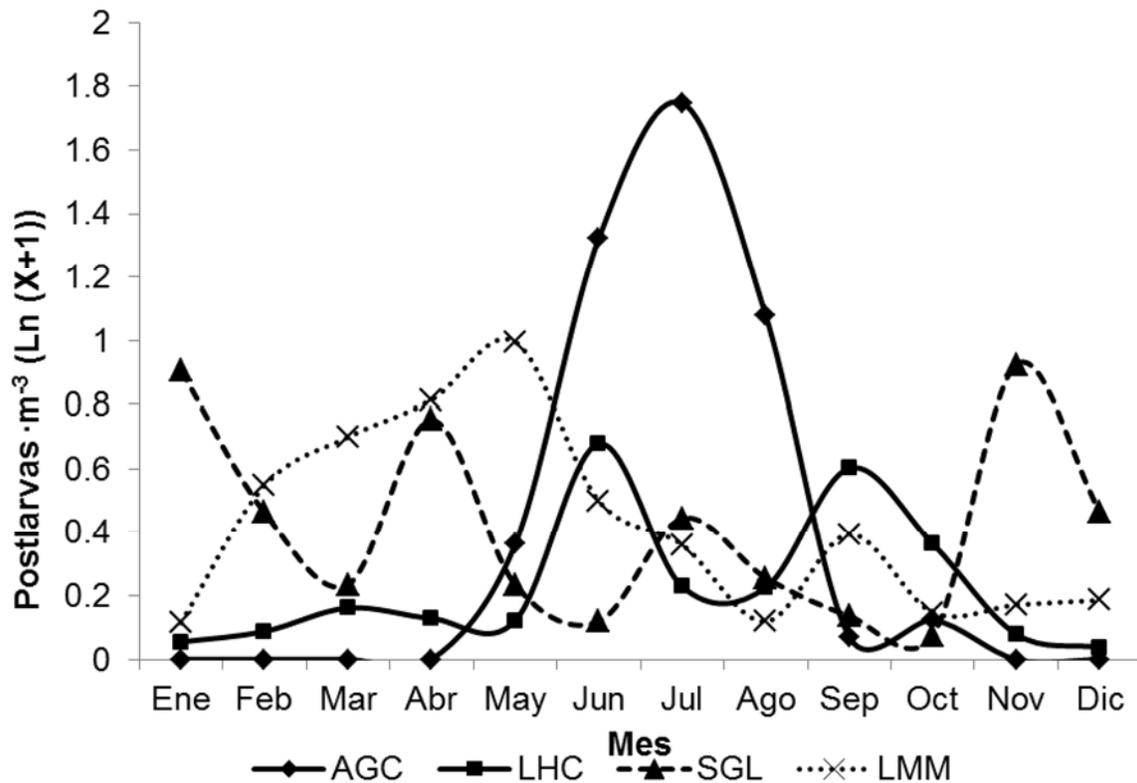


Figura 2.11. Transformada $\ln(X+1)$ de la abundancia de postlarvas de *P. stylirostris* (PI m^{-3}) en las cuatro zonas litorales del Pacífico mexicano.

La abundancia de *P. californiensis*, también se registró en las cuatro zonas de estudio, en las cuales, muestra periodo de presencia de 5 meses tanto en AGC como en LHC, las máximas se presentaron en agosto y octubre respectivamente. Mientras que, en las zonas litorales del Golfo de Tehuantepec, se presenta en todo el año, el pico máximo de abundancia se presenta en octubre para la Zona litoral adyacente al SGL (fig. 2.12).

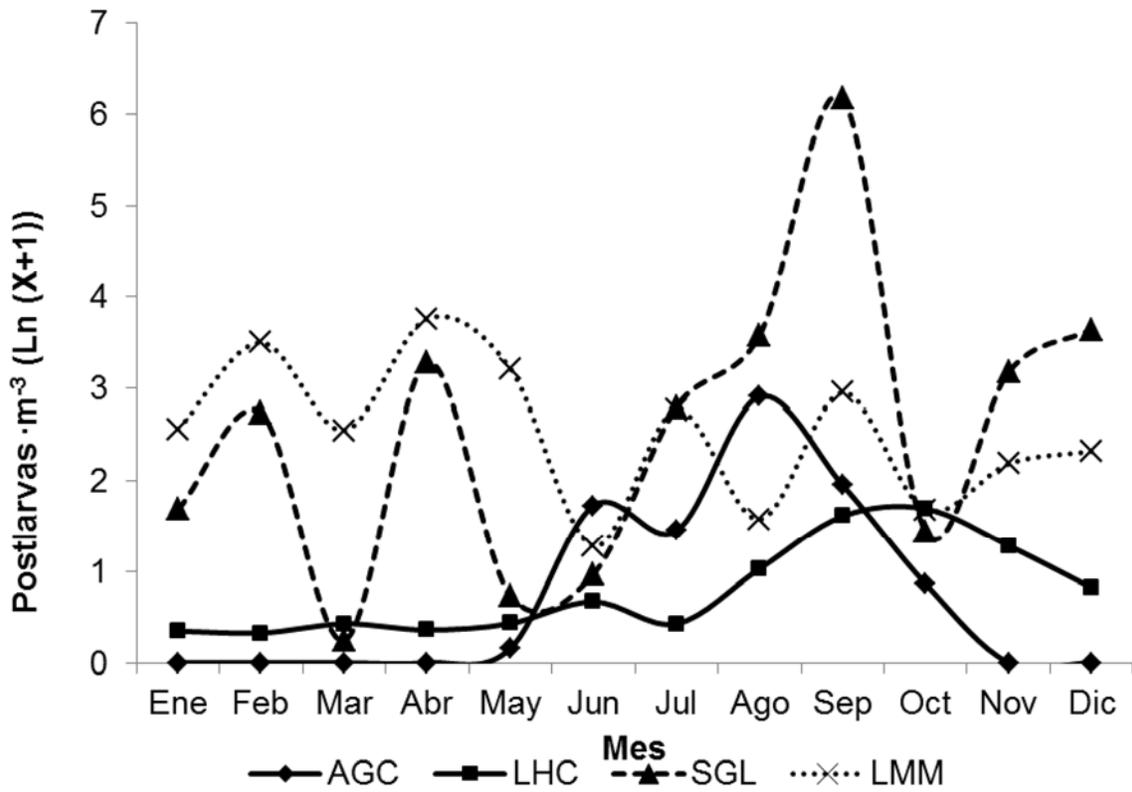


Figura 2.12. Transformada $\ln(X+1)$ de la abundancia de postlarvas de *P. californiensis* (PI m-3) en las cuatro zonas litorales del Pacífico mexicano.

En lo que respecta a *P. brevirostris*, solo se registró en las zonas litorales de LHC, SGL y LMM, de las cuales en la zona litoral adyacente a LHC muestra un periodo de presencia de mayo a noviembre con picos máximos en junio, septiembre y octubre (fig. 2.13).

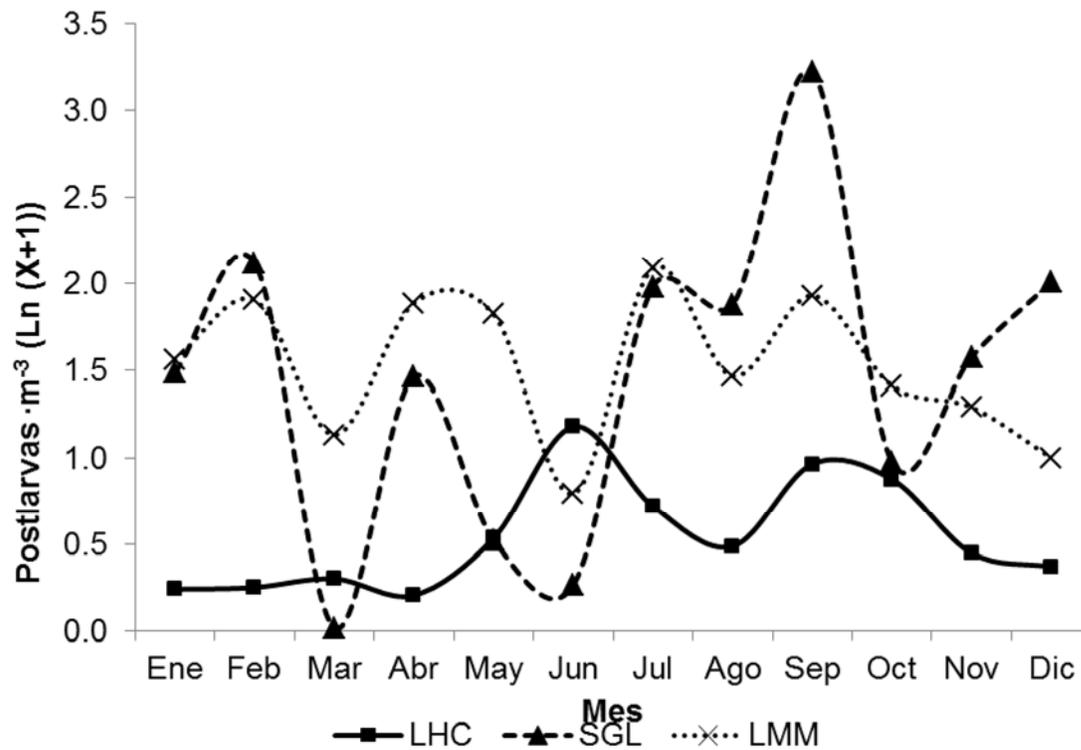


Figura 2.13. Transformada $\ln(X+1)$ de la abundancia de postlarvas de *P. brevis* ($PI\ m^{-3}$) en tres zonas litorales del Pacífico mexicano.

Se encontraron relaciones significativas positivas entre la temperatura de la superficie del mar y la transformada abundancia relativa de postlarvas para las zonas litorales de AGC y LHC con $r = 0.863$ y $r = 0.930$ respectivamente. Mientras que, para las zonas litorales del Golfo de Tehuantepec, no se encontraron relaciones significativas (Cuadro II.1).

Cuadro II.1. Coeficiente de correlación (r Pearson), entre la temperatura de la superficie del mar y la abundancia postlarvas (transformada $\ln(x+1)$) en las cuatro zonas litorales del Pacífico mexicano.

	r	$t(10)$	$Prob.$
<i>AGC</i>	0.863*	5.79	0.000
<i>LHC</i>	0.930*	8.00	0.000
<i>SGL</i>	0.157	0.50	0.626
<i>LMM</i>	-0.030	0.10	0.926

* significativas $P < 0.05$

La vida adulta y la fase reproductiva de los peneidos transcurre mar adentro, sobre la plataforma continental, donde individualmente las hembras presentan desoves parciales, pero sus poblaciones tienden a 1 o 2 desoves masivos (Dall et al., 1990). La etapa larvaria, nauplio, protozoa y mysis ocurre en el medio oceánico, pero al alcanzar el estadio de postlarva emigran a aguas estuarinas o costeras. Aquí completan las etapas juvenil y preadulto y finalmente emigra mar adentro para completar su ciclo biológico (Del Valle, 1989).

Los camarones suelen dividirse en dos grupos para facilitar su comparación, “blancos” y “oscuros”, que corresponden a los subgéneros *Litopenaenaeus* y *Farfantepenaeus*, respectivamente. En general se sabe que los camarones “blancos” viven en zonas más cercanas a la costa, son resistentes a las variaciones de salinidad y su actividad es principalmente durante el día. En contraste, los camarones “oscuros” se distribuyen en zonas más profundas que los blancos, son sensibles a los cambios en salinidad y su actividad es principalmente nocturna (Kutkhun, 1966; García, 1985; Gracia, 1996).

Dall et al. (1990) clasificó en cuatro tipos de ciclo de vida a los camarones peneidos, con base al lugar donde desovan los adultos y donde se desarrollan los juveniles.

Sin embargo, consideraron que existe controversia entre las especies del tipo 2 y tipo 3. Los del primer tipo, los adultos desovan en el océano y los juveniles se desarrollan en estuarios y los del segundo tipo son completamente marinos. Kuthkun (1966), Rodríguez de la Cruz (1981) y García (1988), mencionan que las especies de *P. stylirostris* y *P. vannamei* son altamente dependientes de zonas estuvinas; mientras que las especies de *P. californiensis* y *P. brevirostris*, son completamente marinos.

En este estudio realizado en cuatro zonas litorales de dos regiones del Pacífico mexicano, solo en el AGC se encontraron dos especies y en las demás zonas si se presentaron las cuatro especies comercialmente explotadas en el Pacífico mexicano; pero con marcada diferencia en porcentaje de aparición de dos de ellas: una de camarones oscuros *P. californiensis* y otra de camarones blancos *P. vannamei*.

Es importante aclarar que, a pesar de haberse capturado en el litoral, la recolecta de postlarvas fue adyacente a la boca de una laguna costera en cada zona, LHC en Sinaloa, SGL en Oaxaca y LMM en Chiapas. Por lo que es explicable que la abundancia de camarón blanco respondiera a organismos que estaban intentando ingresar a sus respectivas áreas de crianza y el camarón café respondía a que es la zona de distribución reconocida para la especie.

El AGC, es una región árida con lluvias escasas, de altas salinidades, por lo cual es considerado como un estuario inverso (Alvarez et al., 1975; Lavin et al., 1997; Alvarez, 2010; Brusca et al., 2017). Sin embargo, en esta zona se distribuyen *P. californiensis* y *P. stylirostris*. Por lo mismo se encontró mayores abundancias de postlarvas de estas especies que en las otras tres zonas litorales. Al respecto Aragón-Noriega y Calderón-Aguilera (2001), encontraron postlarvas de 7 a 13 mm. Posiblemente el éxito en esta región de *P. stylirostris* y *P. californiensis* se debe a que utilizan el AGC como área de crianza.

El paradigma de los tiempos de reproducción es bimodal, primavera y otoño para la mayoría de las especies de peneidos (Dall et al. 1990). En este estudio, en la zona litoral del AGC se empieza a notar la característica bimodal de la abundancia de postlarva, si se maneja por separado a las especies, se muestra que *P. stylirostris*

solo muestra un pico de abundancia en verano, cabe aclarar que el AGC es el límite norte de distribución de esta especie (Hendrickx 1996), Mientras que *P. californiensis* sí muestra la característica bimodal con un pico junio y otro más intenso en agosto.

En la zona de LHC, el periodo de presencia de postlarvas es bimodal, se presenta un pico junio y otro en septiembre, las especies por separado solo *P. vannamei* muestra un solo pico de abundancia que va de junio a septiembre, esto coincide con las fechas de apertura de la boca de Barrón que comunica el sistema lagunar con el mar (Del Valle, 1989). Coincide también con la temporada de lluvias, lo cual incrementa y favorece el hábitat para esta especie; esta zona se encuentra cercana al límite norte de distribución (Rodríguez de la Cruz 1981).

Por su parte, *P. stylirostris*, *P. californiensis* y *P. brevirostris* si presentan la característica bimodal en la abundancia en junio y en septiembre para la primera y tercera especie y para *P. californiensis* en junio y octubre.

Aunque en esta zona se presentan las cuatro especies de postlarvas, en las capturas de juveniles en la laguna Huizache-Caimanero, no se encuentran los juveniles de *P. stylirostris*, *P. californiensis* y *P. brevirostris* (Poli, 1983; Del Valle, 1989).

En las zonas litorales del Golfo de Tehuantepec, se presentan durante todo el año y además las zonas estuarinas se encuentran en permanente comunicación con el mar. Sin embargo, más del 96% de las capturas de juveniles son de *P. vannamei* y el resto de *P. californiensis* y *P. stylirostris*.

Los porcentajes de *P. californiensis* en las tres zonas litorales que cuentan con una laguna costera adyacente van del 36 al 61%.

En cuanto a la variabilidad latitudinal de TSM y su relación con los periodos reproductivos de las especies, Bakun (1996), la considera como la variable oceanográfica más importante que influye en la biología de los organismos acuáticos. En el presente estudio, se encontró una marcada estacionalidad en la TSM, que disminuye de latitudes medias a latitudes bajas, así como en la abundancia de postlarvas de las zonas del AGC y LHC, los cuales presentan una alta correlación positiva.

Los requisitos térmicos para la reproducción a menudo se limitan a una estrecha ventana de temperatura que separa el crecimiento del rango de temperatura reproductiva.

Con fundamento en estudios como el de Villarreal et al. (1994), sobre las temperaturas a las cuales se encuentra el óptimo reproductivo de los adultos de camarón café *P. californiensis* y el trabajo de Aquacop (1979) para camarón blanco *P. vannamei*, se puede deducir que la región del golfo de Tehuantepec reúne las condiciones óptimas de temperatura para la reproducción durante todo el ciclo anual.

Si se conoce la temperatura reproductiva óptima para cada especie, factores adicionales, como la disponibilidad de alimentos, desempeñan un papel importante (Halsband y Hirche 2001). Se insiste entonces en que las condiciones oceanográficas serán las que determinen la concentración de postlarvas a las zonas costeras. Al respecto, Aragón-Noriega y Alcantara (2005), encontraron alta correlación entre el periodo de reproducción de *P. californiensis* y la TSM para el Golfo de California. Además, Aragón-Noriega et al. (2012) mencionan que *P. vannamei* a bajas latitudes, incrementa su periodo reproductivo. Mientras que en los tiempos de arribo de las postlarvas Félix-Ortiz et al. (2014), concluyeron que en latitudes bajas se incrementa el periodo de arribo de las postlarvas a las zonas litorales. Van de Kerk et al. (2016), desarrollaron un modelo en *Penaeus aztecus* y confirmaron el paradigma clásico de la reproducción continua en latitudes bajas, con una mayor estacionalidad del período de reproducción hacia los polos.

En cuanto a la varibilidad latitudinal de los parámetros poblacionales en peneidos, Aragón-Noriega y Alcántara-Razo (2005), mencionan que la talla de primera madurez de *P. californiensis* varía según la TSM. Por otro lado, Castilho et al. (2007) concluyeron que en *Artemesia longinaris* alcanzan las mayores tallas de primera madurez a altas latitudes. Mientras que, Barbosa-Saldaña et al. (2012) encontraron diferencias morfológicas en adultos de *P. californiensis* a diferentes latitudes.

2.4. CONCLUSIONES

Debido a que se encontró una estacionalidad en la abundancia de postlarvas en las zonas litorales del AGC y LHC y una alta correlación con la TSM, se concluye que la temperatura de la superficie del mar efectivamente, es la variable que afecta a los tiempos de reproducción y arribo de las postlarvas de camarones a la zona litoral.

CAPÍTULO 3. PATRONES DE MIGRACIÓN

3.1. INTRODUCCIÓN

La mayoría de las especies de camarones peneidos costeros de importancia comercial están ligadas a la zona estuarino-costera (Kutkuhn, 1966), y han sido objeto de estudio desde el punto de vista del hábitat donde se establecen los diferentes estadios del ciclo de vida.

Dall et al. (1990), mencionan que las distintas etapas del ciclo vital de los peneidos ocupan diferentes hábitats, tienen que migrar entre estos hábitats para completar su ciclo de vida. Por lo tanto, se encuentran cuatro tipos de migraciones: 1. Larvas y postlarvas migración desde la zona de desove a las zonas de crianza; 2. Migración de juveniles fuera de la zona de crianza; 3. Migración de los adultos, por lo general a aguas más profundas; y 4. Migración de desove en algunas especies.

Los camarones Penaeidos pasan su vida adulta y la fase de desove en la zona oceánica. Los huevos eclosionan pronto (~14 h), después de su desove y las primeras larvas pasan rápidamente por una serie de etapas planctónicas (10-14 días); Migran como postlarvas a las regiones litorales y estuarinas (García y Le Restre, 1986). Los mecanismos de transporte de las larvas de camarones hacia la línea de costa son aun controversiales. Algunos estudios sugieren que la migración es pasiva y que usan las corrientes residuales como medio de transporte (Lavin et al., 1997; Galindo et al., 2010). Por su parte, Blanton et al. (2001) han mencionado que el transporte de postlarvas de peneidos es un tema complejo en el que más de un mecanismo puede estar implicado. En su estudio utilizaron seis variables predictivas de la migración de postlarvas hacia la zona litoral: la temperatura, la salinidad, la concentración de clorofila *a*, corrientes de marea y los vientos perpendiculares y paralelos a las costas con seis horas de desfase.

Las postlarvas se concentran en las regiones litorales adyacentes a los estuarios y con mecanismos físicos y genéticos inicia la inmigración a los sistemas estuarinos. Las más altas migraciones ocurren durante la pleamar, estas presentan un movimiento vertical, en los flujos de marea se suspenden en la columna de agua y son transportadas por las corrientes de marea y en el refluo descienden al fondo para evitar que sean regresadas al mar (Hughes 1969; Rothlisberg et al., 1995).

Los patrones de inmigración de postlarvas a la Laguna Huizache-Caimanero ya han sido documentados y sugieren que se concentran cerca de la boca en una posición óptima para asegurar el mejor transporte durante el próximo flujo de marea (Poli, 1983). Las postlarvas se concentran cerca del canal de entrada de los estuarios para asegurar el transporte en el periodo mayor velocidad de marea (Flores Coto et al. 2009). Estudios realizados en la zona litoral adyacente a la laguna Huizache-Caimanero del sur de Sinaloa, se observa la presencia de las cuatro especies de postlarvas, *P. vannamei*, *P. stylirostris*, *P. californiensis* y *P. brevirostris*, con un periodo de abundancia de junio a septiembre (Solis-Ibarra et al., 1993; Félix-Ortiz, 2013; Félix-Ortiz et al., 2014), pero posteriormente no se capturan los juveniles del camarón “azul”, “café” y “rojo” (Del Valle, 1989). En Oaxaca se han encontrado juveniles de camarón “café” dentro de la laguna costera de Mar Muerto (Medina-Reyna et al., 2001) y se han registrado postlarvas de esta especie en la boca El Oro del sistema Corralejo-Alotengo (Sánchez-Meraz y Martínez-Vega, 2000).

El objetivo de este capítulo es establecer los patrones y estrategias de migración de las especies de postlarvas de camarones.

3.2 MATERIALES Y MÉTODOS

3.2.1. ÁREA DE ESTUDIO

Se seleccionaron zonas litorales adyacentes a las bocas de tres lagunas costeras del Pacífico mexicano para este estudio. La laguna costera Huizache-Caimanero (LHC) 22.5-24.5°N, 106.5-107.5°O; El Sistema de Grandes Lagunas de Oaxaca (SGL) 16.23-16.43°N, 94.78-95.00°O, comprendiendo las Lagunas Mar Tileme, Laguna Quirio, Laguna Superior, Laguna Inferior, Occidental y Oriental; y Laguna "Mar Muerto" (LMM) 15.5-16.5°N, 93.5-96.5°O (fig. 3.1).

3.2.2 RECOLECTA DE MUESTRAS BIOLÓGICAS

Se utilizaron los datos de abundancia de postlarvas en el periodo de máxima abundancia de julio a septiembre (Félix-Ortiz et al., 2013) de 1988 a 1994 y de 2011-2012. Estos proceden de recolectas que se realizaron en la zona litoral adyacente a la LHC. Las cuales se llevaron a cabo cada dos semanas en las fases de luna

llena y nueva, con redes de plancton circulares de 0.3 m de diámetro, 1.5 m de longitud, y luz de malla de 450 μm con un flujómetro colocado en la boca de la red. Los arrastres se realizaron cada dos horas, en los cuales la red se sujetó y se arrastró contra la corriente entre dos personas en la zona de rompientes durante 5 minutos, a lo largo de un transecto paralelo a la línea de playa.

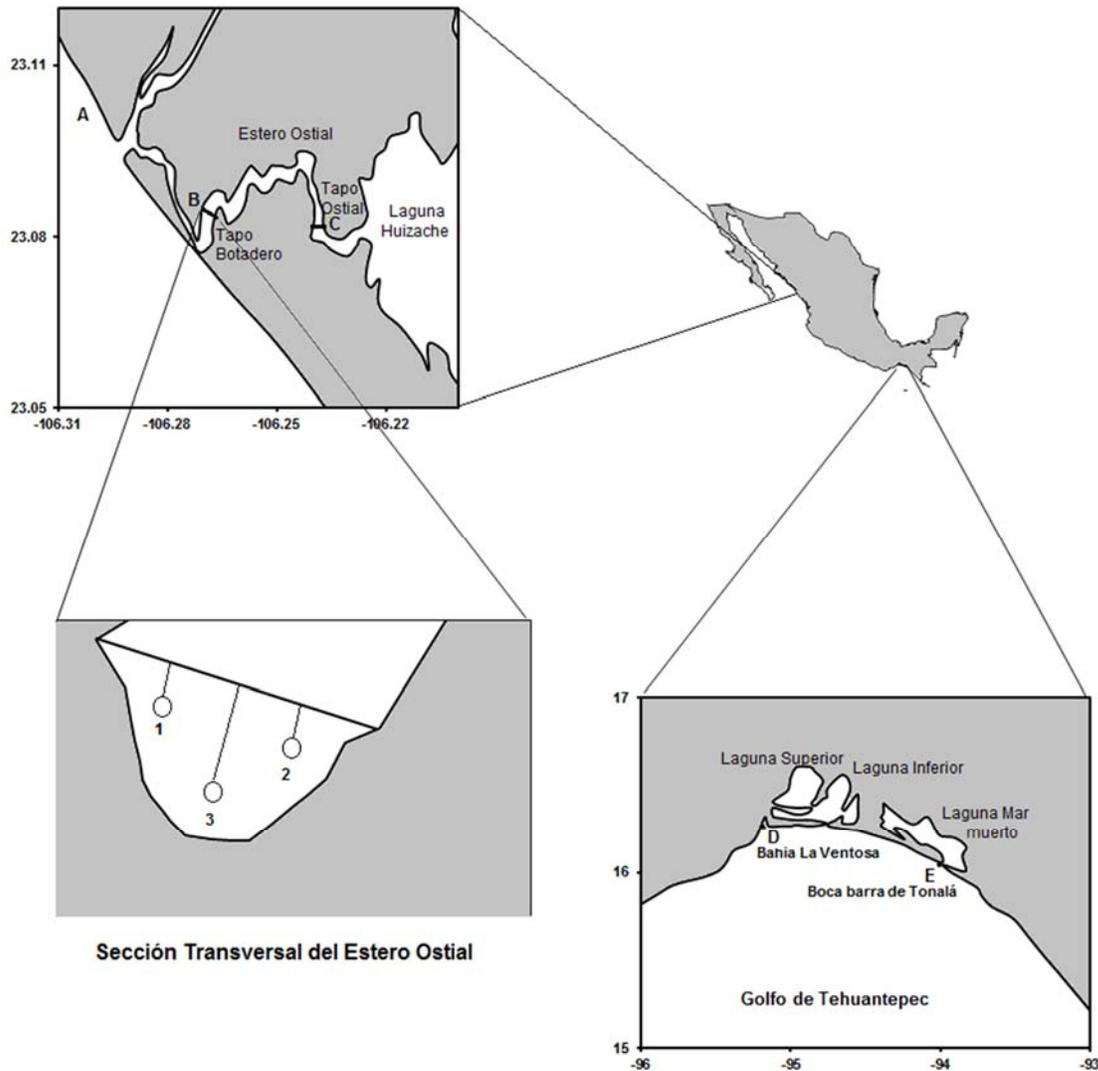


Figura 3.1. Localización geográfica de las zonas de estudio; A, zona litoral adyacente a LHC, B, Tapo Botadero, C, zona litoral de la Bahía Ventosa, y D, zona litoral adyacente a la Boca de Tonalá.

Para evaluar las especies de postlarvas que entran al sistema lagunar, se realizaron recolectas de postlarvas en una sección transversal del estero Ostial (fig. 3.1B) durante julio y agosto de 2015, que cubre el principal periodo de presencia de postlarvas (Félix-Ortiz et al., 2013). Estos consistieron en colocar un arreglo de tres redes de plancton de 450 μm , 0.3 m de diámetro de boca y 1.5 m de largo, con un flujómetro colocado en la boca de la red. Las recolectas se realizaron durante 10 minutos cada hora durante los flujos y reflujos de la marea en las fases de luna llena y nueva. Las abundancias se calcularon como postlarvas por metro cúbico de agua filtrada (PI m^{-3}) por estado de marea, estos fueron transformados ($\text{Ln}(x + 1)$) para obtener una distribución log-normal.

En la primera semana de la temporada de capturas (25 y 30 de septiembre de 2015) en el sistema lagunar se realizaron dos muestreos de los juveniles capturados por los pescadores. Estos consistieron en seleccionar al azar una muestra de camarones de cada una de las embarcaciones que desembarcaban el producto en el tapo Ostial (fig. 3.1B). Los camarones se identificaron, se midieron con un ictiómetro y se pesaron con una báscula de precisión ± 0.1 g marca Ohaus CLSeries.

3.2.3 REGISTROS DE MAREAS

Los registros de marea se obtuvieron mediante el programa MAR V1.0 2011 del Departamento de Oceanografía del CICESE². Se calculó una marea promedio para cada región del Pacífico considerada, Mazatlán, Sinaloa y Salina Cruz, Oaxaca. Lo anterior se obtuvo mediante la “hora mareal”, donde, la hora cero es el nivel de marea más bajo para cada día de muestreo.

Se realizó un análisis de correlación entre la amplitud de las mareas (hora mareal) y la abundancia de postlarvas transformada ($\text{Ln}(x+1)$).

A los datos de la sección transversal les realizó un análisis de varianza de dos factores (ANOVA), donde los factores fueron las especies y el estado de la marea.

² <http://predmar.cicese.mx/datos/basedat.html>

3.3. RESULTADOS Y DISCUSIONES

3.3.1. ABUNDANCIA DE POSTLARVAS

Durante todo el período de muestreo se encontraron cuatro especies de peneidos, *Penaeus vannamei*, *P. stylirostris*, *P. californiensis* y *P. brevirostris*. Las postlarvas de *P. vannamei* fue más abundante en la zona litoral adyacente a la LHC en 1988-1995 (Figura 3.2A) y 2011-2012 (Figura 3.2B). *P. californiensis* fue la segunda más abundante en la misma zona en los dos períodos diferentes. *P. californiensis* fue el más abundante en SGL (figura 3.2C) y LMM (figura 3.2D). *P. vannamei* fue el segundo en abundancia en ambos lugares, seguido por *P. brevirostris* y *P. stylirostris*, en orden de importancia.

La abundancia relativa de postlarvas de *P. vannamei* presentó dos picos en las tres regiones del Pacífico, a las 4:00 y 16:00 hora mareal para la zona litoral adyacente a LHC y SGL y a las 6:00 y 12:00 hora mareal para la zona litoral LMM. Mientras que *P. stylirostris* solo en las zonas litorales de LHC y LMM presentó dos picos de abundancia, a las 4:00 y 16:00 hora mareal (fig. 3.3). Asimismo, *P. californiensis* muestra dos picos bien definidos a las 4:00 y 16:00 horas para LHC, para SGL se define un pico a las 12:00 y para LMM se mantiene alrededor de un valor de 2 con valores mínimo a las 12:00 y 14:00 horas. *P. brevirostris* en la zona litoral adyacente a LHC muestra los picos mayores a 0.4 a las 0:00 4:00 y 22:00, mientras que en SGL muestra el pico máximo a las 12:00 hora mareal y por último en LMM se mantiene con valores entre 1 y 1.4 con una caída por debajo de 0.7 a las 12:00 hora mareal (fig. 3.4).

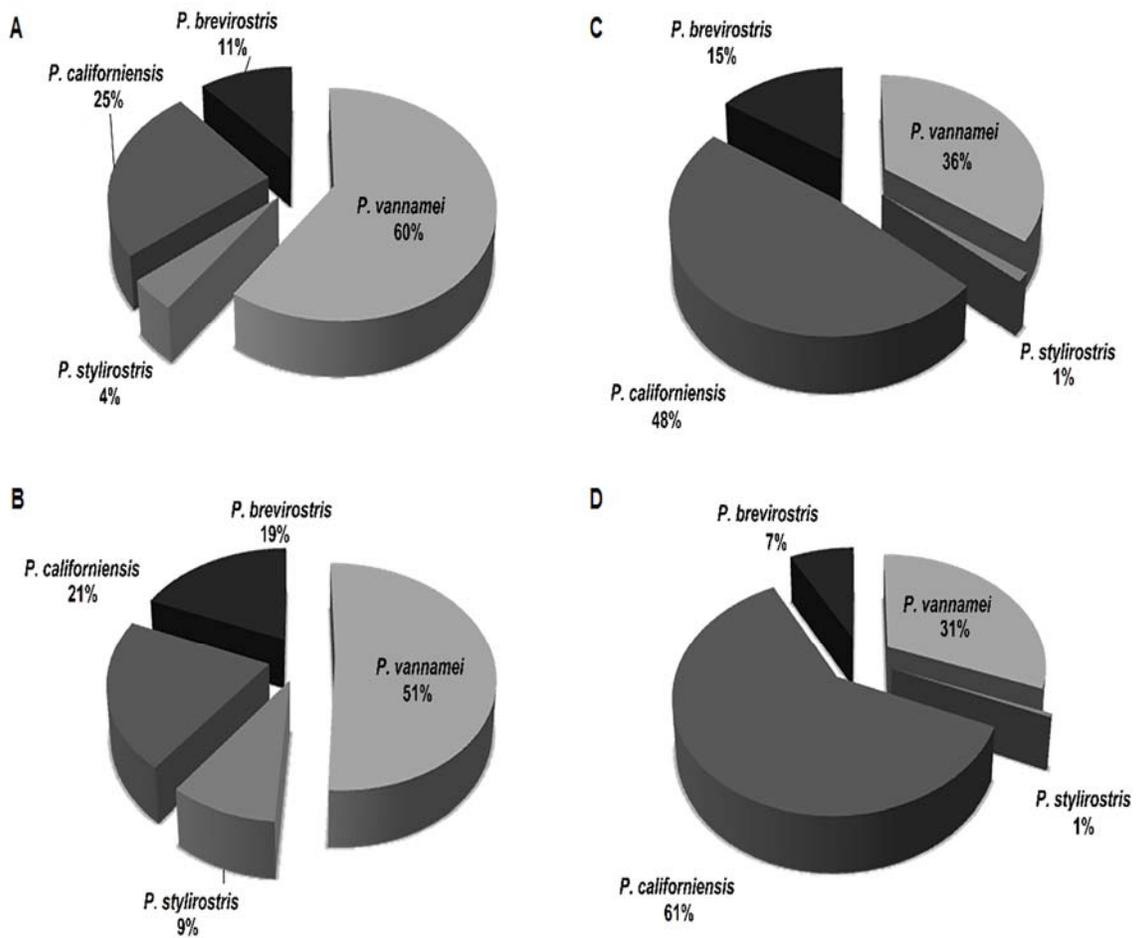


Figura 3.2. Composición de la abundancia de postlarvas de camarón en A, zona litoral adyacente al LHC de 1988-1994, B, zona litoral adyacente al LHC de 2011-2012, C, zona litoral adyacente al SGL y D, zona litoral adyacente a LMM.

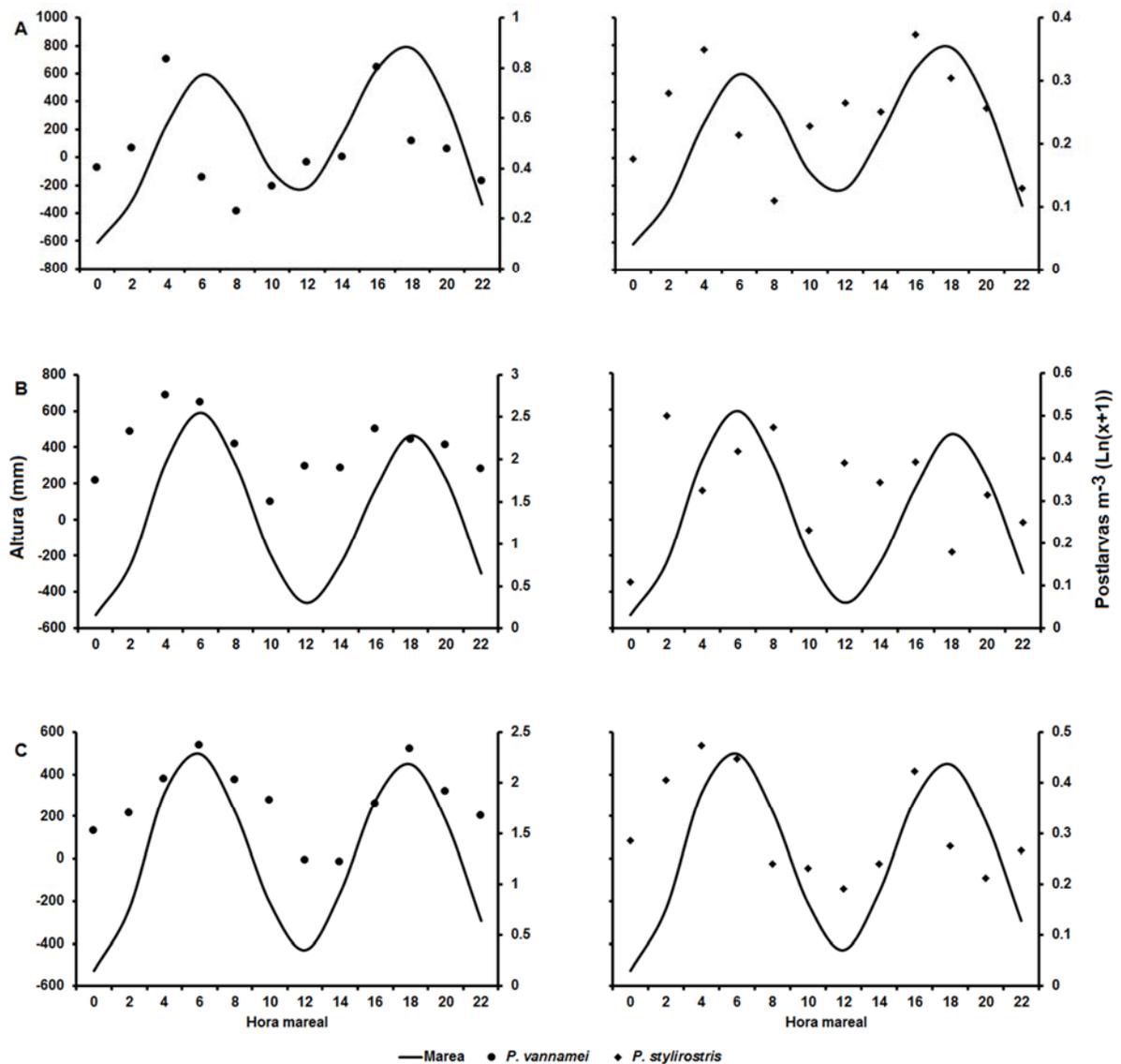


Figura 3.3. Logaritmo natural de la abundancia relativa de postlarvas de *P. vannamei* (columna izquierda) y *P. stylirostris* (columna derecha) y la amplitud de marea, con respecto a la hora mareal. A, Zona litoral adyacente LHC, B, Zona litoral adyacente SGL y C, Zona litoral Adyacente LMM.

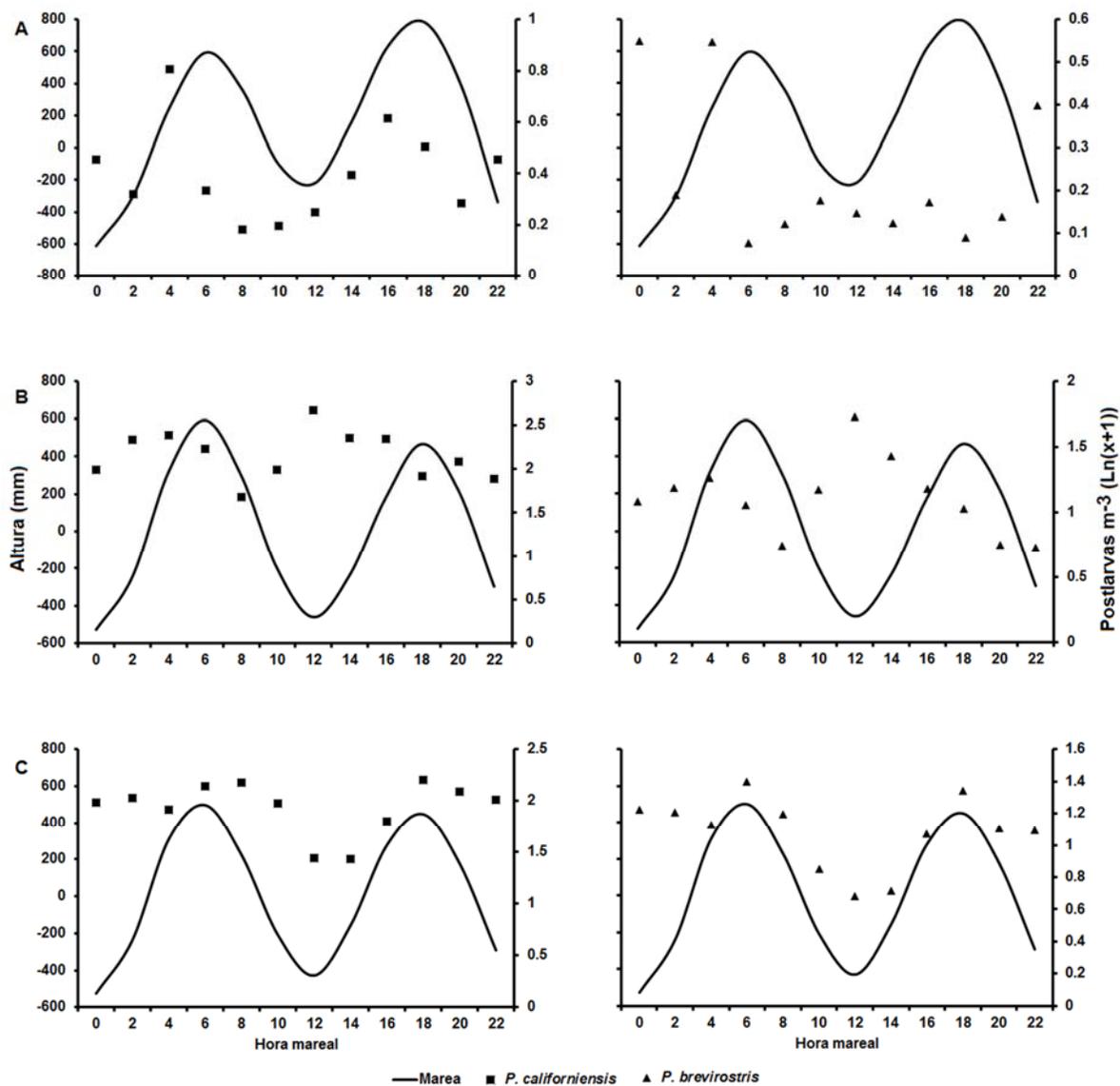


Figura 3.4. Logaritmo natural de la abundancia relativa de postlarvas de *P. californiensis* (columna izquierda) y *P. brevirostris* (columna derecha) y la amplitud de marea, con respecto a la hora mareal. A, Zona litoral adyacente LHC, B, Zona litoral adyacente SGL y C, Zona litoral Adyacente LMM.

Se encontraron correlaciones positivas significativas entre la abundancia de postlarvas de *P. vannamei* y hora mareal en las tres regiones del estudio, también se encontraron correlaciones positivas significativas en las zonas litorales adyacentes a LHC y LMM para *P. stylirostris*. La correlación entre *P. californiensis*

con la amplitud de marea muestra asociaciones significativas positiva para LHC y LMM y asociación inversa significativa para SGL. Con lo que respecta a *P. brevis*, esta especie presenta correlación negativa significativa solo para SGL, sin embargo, también presenta una asociación negativa pero no fue significativa para LHC (cuadro III.1).

Cuadro III.1. Coeficiente de correlación (*r*-Pearson) entre la hora mareal y la abundancia postlarvas ($\ln(x+1)$); A, *P. vannamei*, B, *P. stylirostris*, C, *P. californiensis* y D, *P. brevis* en las tres zonas litorales del Pacífico mexicano.

A					
Zona	<i>r</i> -Pearson	<i>t</i>	GL	desfase	Probabilidad
LHC	0.660	2.638	9	1	0.027*
SGL	0.802	4.029	9	1	0.003*
LMM	0.840	4.897	10	0	0.001*
B					
LHC	0.683	2.803	9	1	0.021*
SGL	0.241	0.787	10	0	0.450
LMM	0.786	3.819	9	1	0.004*
C					
LHC	0.638	2.483	9	1	0.035*
SGL	-0.770	3.625	9	1	0.005*
LMM	0.672	2.724	9	1	0.023*
D					
LHC	-0.559	2.130	10	0	0.059
SGL	-0.725	3.157	9	1	0.012*
LMM	0.550	2.084	10	0	0.063

*Significativa

3.3.2. INMIGRACIÓN POSTLARVAS EN EL ESTERO OSTIAL QUE COMUNICA A LA LAGUNA HUIZACHE-CAIMANERO

La composición de postlarvas en el flujo de la marea en el estero Ostial, el 89.4% fue de *P. vannamei* y 10.3% de *P. stylirostris* y solo 0.3% para *P. californiensis* y *P. brevirostris* (fig. 3.5A). Mientras que la composición de postlarvas en el reflujo de la marea solo se presentan dos especies, *P. vannamei* con el 67.5% y *P. californiensis* con el 32.5% (fig. 3.5B).

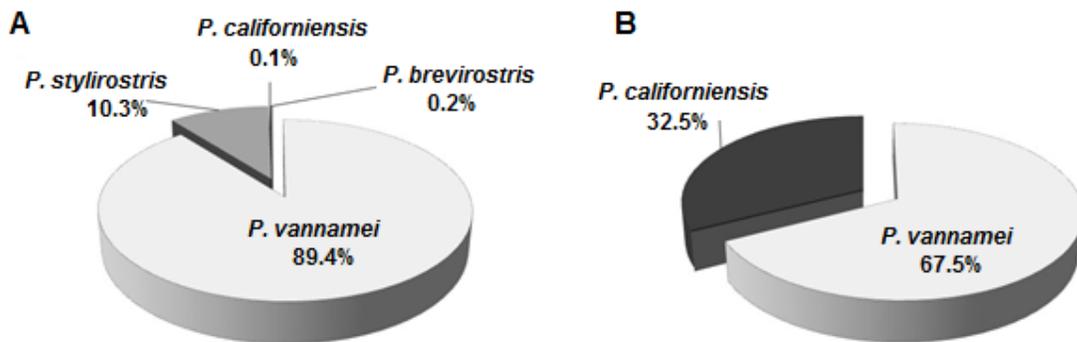


Figura 3.5. Composición de la abundancia de postlarvas de camarón en A, flujo de marea y B, Reflujo de la marea en el estero Ostial de julio a agosto de 2015.

El análisis de varianza de dos factores muestra diferencias significativas entre el estado de la marea ($F_{(1, 180)} = 7.99$; $P = 0.0052$) y las especies ($F_{(1, 180)} = 10.98$; $P = 0.0000$), además se presentó interacción entre los factores ($F_{(3, 180)} = 7.99$; $P = 0.0010$) (Cuadro III.2).

Cuadro III.2. Resultado del análisis de varianza de dos factores para la abundancia de postlarvas en el estero Ostial de julio y agosto de 2015.

Factor	SS	GL	MS	F	p
Marea	2.81	1	2.81	7.99	0.0052
Especies	11.57	3	3.86	10.98	0.0000
Marea*Especie	5.98	3	1.99	5.67	0.0010
Error	63.25	180	0.35		

Mediante la prueba de comparaciones múltiple de Tukey, se encontró que la especie más abundante fue *P. vannamei* con un promedio de 1.03 ± 1.4 en el flujo de la marea (Fig. 3.6).

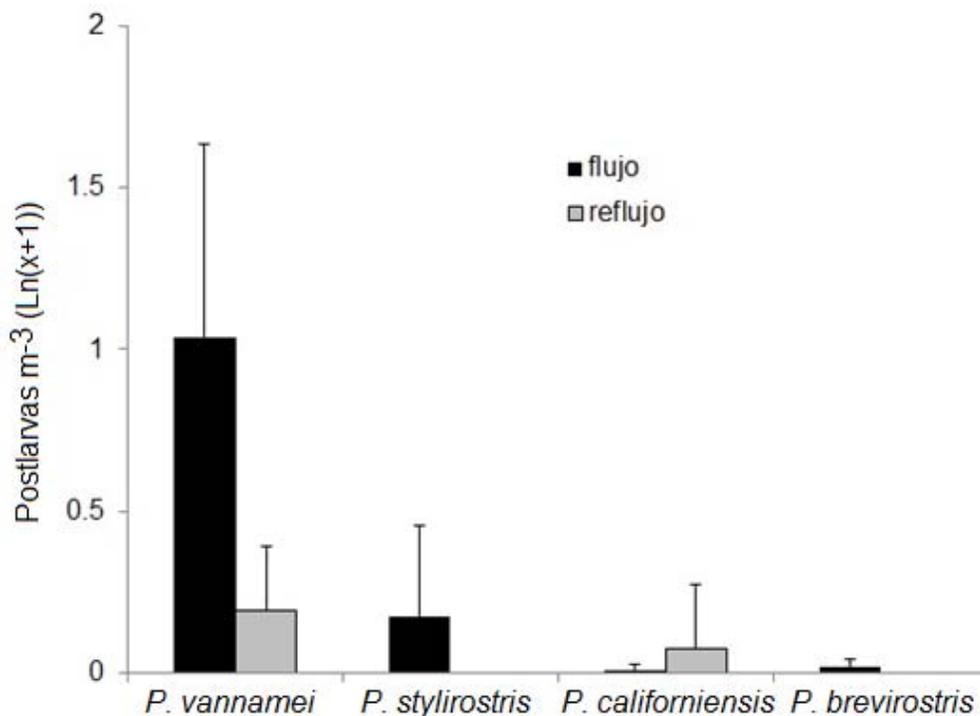


Figura 3.6. Abundancia promedio e intervalo de confianza de postlarvas de camarones en el estero Ostial en julio y agosto de 2015.

3.3.3. COMPOSICIÓN ESPECÍFICA DE LA CAPTURA DE JUVENILES DE CAMARONES EN LA LAGUNA HUIZACHE-CAIMANERO (LHC)

En el periodo de capturas de juveniles en el tapo El Ostial de la laguna Huizache, la composición específica de las capturas solo dos especies son las que se presentan, *P. vannamei* con el 95% y *P. stylirostris* con el 5% (fig. 3.7).

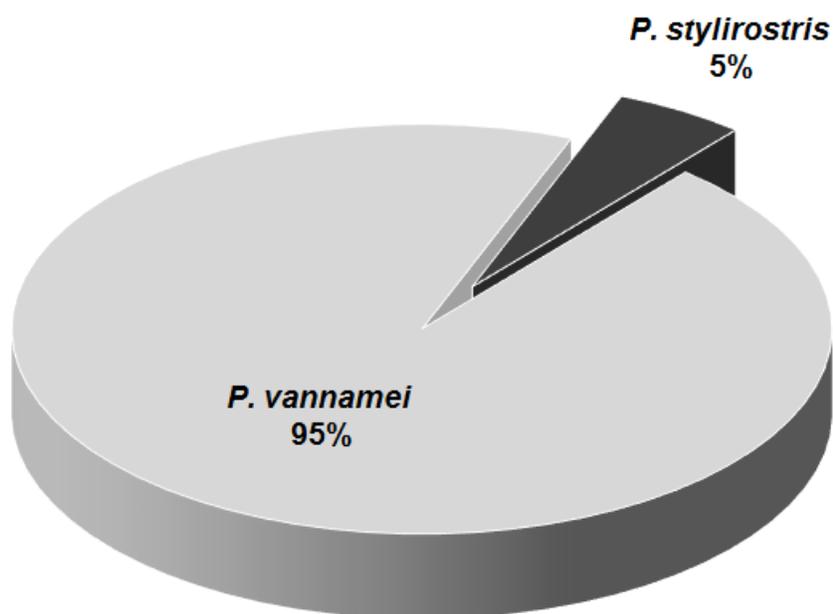


Figura 3.7. Composición específica juveniles en el tapo El Ostial de la laguna Huizache-Caimanero, al inicio de la temporada de pesca (25 y 30 de agosto de 2015).

La estructura de talla de los camarones capturados en la laguna Huizache, se registraron camarones de 58 a 146 mm, con un promedio de 118.5 ± 10.9 mm para *P. vannamei* (fig. 3.7A). Mientras que, para *P. stylirostris* la estructura de tallas fue de 110 a 168 mm con un promedio de 151.2 ± 13.4 mm (fig. 3.8B).

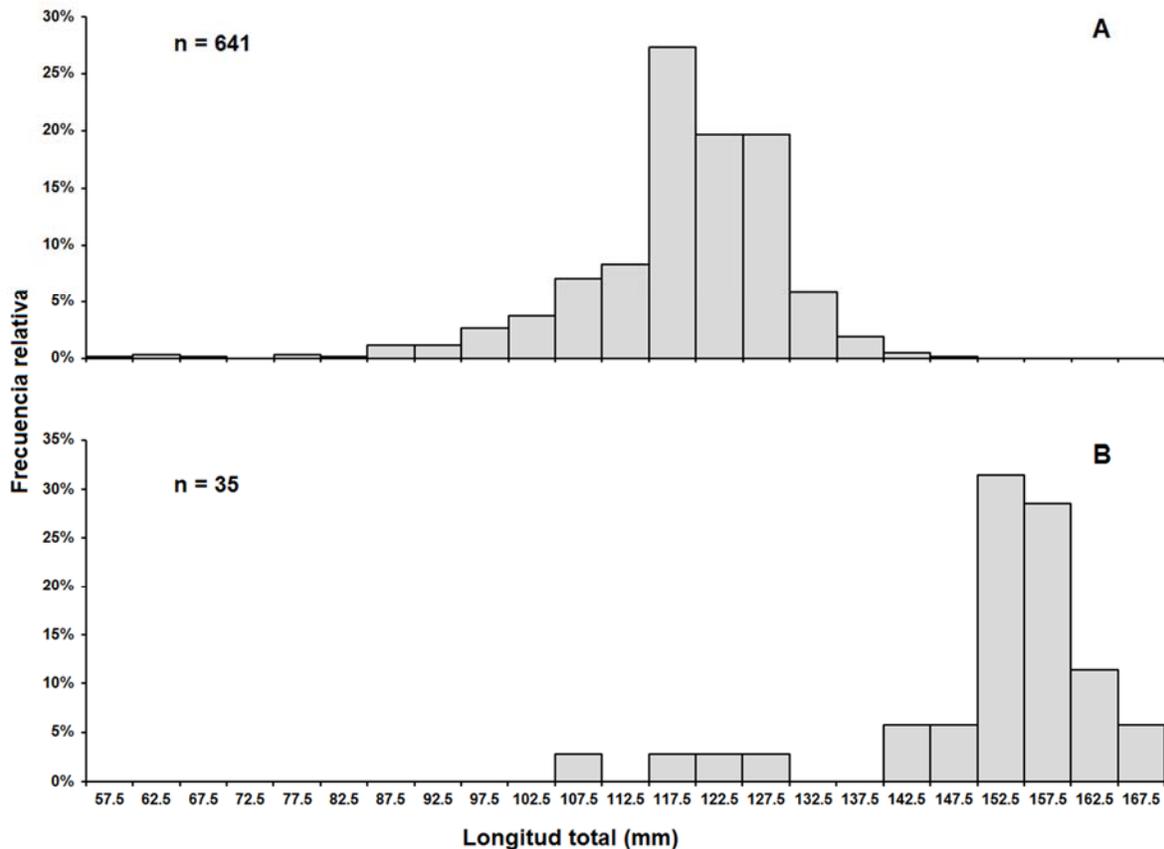


Figura 3.8. Frecuencia relativa de las tallas de captura de camarones en la laguna Huizache en septiembre de 2015, A, *P. vannamei* y B, *P. stylirostris*.

La parte crítica del ciclo de vida de los camarones es la migración de las postlarvas desde las zonas de desove hasta los criaderos (estuarios, lagunas costeras). Si no se alcanza a ingresar a esas zonas, la supervivencia de las postlarvas se verá gravemente afectada. Matthews et al. (1991) afirmaron que los mecanismos y señales utilizados para facilitar la inmigración varían entre las especies y los lugares. Se han propuesto varias explicaciones de cómo las postlarvas de camarón entran en los estuarios (Wickins, 1976). A medida que la marea sube, la masa de agua de mayor salinidad se dirige hacia adentro a lo largo del estero, las postlarvas dejan el fondo en respuesta al aumento de la salinidad y son transportadas por el flujo de marea. Cuando la marea alcanza su nivel más alto y comienza el refluo, las postlarvas se asientan en el fondo en respuesta a la disminución de la salinidad. Algunos autores sugieren que las postlarvas alcanzan los estuarios, siguiendo el

agua marina (Mair et al., 1982; Benfield y Aldrich, 1992). Blanton et al. (2001); Forward y Tankersley (2001) en sus revisiones reconocen estos mecanismos y además establecen que no es solo una señal la responsable para que las postlarvas lleguen a las zonas de crianza.

La mayoría de los estudios sugieren que el transporte de las postlarvas hacia las costas es pasivo y que se valen de las corrientes residuales (Diettel y Epifano, 1982; Lavín et al., 1997; Galindo-Bect et al., 2010). Además, que se concentran en las bocas de los estuarios para su ingreso a estos para su desarrollo. Al respecto, Rothlisberg et al. (1995) consideró que el mecanismo de ingreso a las lagunas costeras son los cambios en la presión provocado por las mareas.

Dall et al. (1990), clasificaron en cuatro tipos de ciclo de vida a los camarones peneidos, los cuales se clasifican según donde se reproducen los adultos y las postlarvas se desarrollan, para los camarones costeros del Pacífico mexicano de distingue el tipo 2 y el tipo 3. En el primero las especies utilizan los sistemas estuarinos para su desarrollo y el segundo es completamente marino.

En este apartado se analizó la relación entre la amplitud de la marea y la abundancia de las postlarvas de camarones que arriban a las zonas litorales adyacentes a tres lagunas costeras del Pacífico mexicano, con respecto a la hora mareal. Se encontró que los picos de abundancia de *P. vannamei* y *L. stylirostris* se presentaron en el segundo y tercer tercio de la marea, lo cual sugiere que el transporte de las postlarvas de estas especies hacia las lagunas costeras se realiza mediante los flujos de marea.

En el presente estudio, con fundamento en las correlaciones positivas entre la abundancia de postlarvas y la marea, se sugiere que las postlarvas tienen un acoplamiento con la marea para ingresar a los sistemas estuarinos para su desarrollo.

En *P. californiensis*, no está clara esta relación; si bien en LHC se presenta en el segundo tercio de las pleamares, en SGL presenta una relación inversa y en LMM los picos máximos se presentan en los primeros tercios de las bajamares.

En lo que respecta a *P. brevirostris* presenta correlaciones inversas con la marea en LHC y SGL, aunque solamente fue significativa para SGL. Esto nos sugiere que esta especie está adaptada para no ingresar en las lagunas costeras.

Para corroborar lo anterior, se comparó la abundancia de postlarvas en el canal que comunica con LHC, se encontró que *P. vannamei* es significativamente la especie más abundante en el flujo que en el reflujó, mientras que las otras tres especies no fueron significativamente diferentes de cero.

Al igual que otras especies que utilizan los estuarios como área de crianza, el comportamiento a las señales ambientales como indicadores para la inmigración a las lagunas costeras: los cambios en la salinidad (Hughes, 1969), el periodo de mayor velocidad de la corriente (Flores-Coto et al., 2009), el segundo tercio de amplitud de marea (Rothlisberg et al., 1995), y la relación entre la densidad de postlarvas de camarón y la componente mareal de las corrientes (Wenner et al., 1998; Blanton et al., 2001) se han mencionado como señales importantes. Los mecanismos mencionados coinciden con las corrientes de marea; se le conoce como transporte selectivo de corrientes de mareas (Hill, 1994) se produce cuando las postlarvas se suspenden en la superficie en el flujo y descienden hasta el fondo cuando inicia el reflujó. La hora mareal, utilizada en el presente capítulo, es un buen método para observar este comportamiento, aunque, en *P. brevirostris* se presenta a la inversa.

En resumen, en la zona litoral, para el periodo de máxima abundancia de julio a septiembre (Solis et al., 1993; Félix et al., 2013), la especie más abundante es *P. vannamei*, le sigue *P. californiensis*, luego *P. brevirostris* y por último *P. stylirostris*. Sin embargo, en los muestreos realizados en el flujo de la marea se encontraron las cuatro especies. Pero las especies de los camarones claros incrementaron su proporción con respecto a la de los camarones oscuros.

Mientras que las especies que se capturaron al inicio de la pesca (25 y 29 de septiembre de 2015). Aproximadamente el 95% corresponde a *P. vannamei* y el resto de *P. stylirostris*, cabe hacer notar que solo las especies de camarones claros son las que componen las captura y no las especies de camarones oscuros. Otros

autores en LHC solo registraron en las capturas a *P. vannamei* (Del Valle 1989). Mientras que, en las lagunas costeras de Oaxaca y Chiapas, las especies que se capturan son el camarón blanco, el café y el azul; la primera especie aporta hasta el 97% de las capturas (Ramos, 2000).

3.4. CONCLUSIONES

Según la definición de los ciclos de vida propuesta por Dall et al. (1990), se concluye que *P. vannamei* presenta el ciclo de vida tipo 2, ya que su comportamiento migratorio, se ha adaptado para ingresar a los estuarios usando advección pasiva por medio del flujo de la marea, dado a las correlaciones positivas entre la abundancia de postlarvas y la hora mareal, además de que las mayores abundancias se presentan en el flujo de la marea.

P. brevisrostris presenta evidencia de correlaciones negativas con la marea en la hora mareal, además su ingreso en la laguna de LHC no fue significativo, por lo tanto, esta especie presenta un ciclo de vida tipo 3.

Se concluye que la hora mareal es un buen método para evaluar la inmigración de postlarvas de camarón a las zonas de crianza.

CAPÍTULO 4. CRECIMIENTO

4.1. INTRODUCCIÓN

Se asume que la estimación del crecimiento individual, es uno de los componentes importantes para la evaluación y manejo de los recursos pesqueros. Los camarones peneidos son organismos marinos de vida corta y con diferentes hábitats a lo largo de su historia de vida. Lo anterior hace difícil estimar el crecimiento individual en todo su ciclo de vida, sin embargo, los estudios que se han llevado a cabo para estimar los parámetros de crecimiento en *Penaeus californiensis* han sido con base en organismos adultos capturados por la flota pesquera de altamar. Dentro de estos aportes, destacan Chávez y Rodríguez (1971), Galicia (1976) y López et al. (2002). Chávez (1973), estudió las tasas de crecimiento de *Penaeus vannamei* capturada por la flota industrial en el sur del golfo de California. Menz y Blake (1980) describió el crecimiento con datos de marcado y recaptura y de encierro en la laguna Huizache-Caimanero, Sinaloa.

Ramos-Cruz (2000) y Rivera-Velazquez et al. (2010) estimaron el crecimiento de *P. vannamei* en dos sistemas lagunares del Golfo de Tehuantepec. Arzola-Gonzalez (2008), estimó la curva de crecimiento para los camarones en una granja comercial; todos estos estudios emplean el modelo de crecimiento de von Bertalanffy.

Dall et al. (1990) desarrolla la hipótesis basada en el crecimiento de los camarones en dos hábitats de su ciclo de vida; en los sistemas estuarinos las tasas de crecimiento son lineales, ya que todas las energías se están asignando al crecimiento somático; en la zona marina, los camarones maduran, por lo que la energía se desvía hacia la reproducción y, por lo tanto, el crecimiento somático disminuye.

Los estudios que se han dedicado a estimar el crecimiento en dos hábitats para peneidos son escasos; Montgomery et al. (2010) describieron el crecimiento de un metapeneido de Australia en dos estuarios y zona oceánicas adyacentes. Monsreal et al. (2016) describió el crecimiento de juveniles de dos especies de peneidos en el golfo de México. En otros taxones Urban (2002) modeló el crecimiento en *Pinctada umbricata* en diferentes estadios de desarrollo; Ortega et al. (2016) estimó

el crecimiento de la jaiba *Callinectes arcuatus*, uniendo las curvas estimadas en cultivo con la estimadas de las capturas comerciales.

Los estudios para determinar la edad en invertebrados han tenido que concentrarse en técnicas que no utilizan partes duras, el marcado y recaptura de organismos, análisis distribución de frecuencia de tallas, crianza de organismos en condiciones de laboratorio y evaluando la lipofucsina en tejido de los organismos (Montgomery et al. 2010).

En uno de los métodos indirectos, se analizan las distribuciones de frecuencias de tallas, identificando modas que representan grupos de edad o cohortes (Hilborn y Walters 1992). Sin embargo, cuando las distribuciones no son claramente multimodales, la interpretación gráfica es muy subjetiva (Macdonald & Pitcher 1979). En especies de vida corta que poseen periodos reproductivos bien definidos, las distribuciones de frecuencia de talla proporcionan información confiable que, relacionadas con modelos de crecimiento individual, se convierten en el método más conveniente y barato para analizar la estructura talla-edad en crustáceos decápodos (Vogt 2012).

Los modelos que describen el crecimiento de los organismos, representa curvas que tienen diferentes formas, el más utilizado es el modelo de crecimiento de von Bertalanffy MCVB (von Bertalanffy 1938), pero ha sido cuestionado porque es para crecimiento continuo, por lo que se han utilizado otros modelos alternativos como Johnson (Johnson 1935), Gompertz (Gompertz 1825), Richard (Richard 1959), el Logístico (Ricker 1975), y Schnute (Schnute 1981). Este último incorpora el MCVB, Gompertz, Richards y Logístico como casos especiales.

Los modelos que describen el crecimiento caracterizados por tener un parámetro asintótico pueden ser de dos formas; sigmoideo y exponencial negativo (Aragón 2016). Los modelos de tipo sigmoideos, Gompertz, Logístico, Richards y Johnson están caracterizados por tener un punto de inflexión. El modelo exponencial invertido es el MCVB y es de crecimiento rápido en las primeras etapas de vida. Hay modelos versátiles generalizados como el Generalizado de von Bertalanffy GVB que cuentan con un parámetro que le da forma a la curva antes de alcanzar la edad asintótica, por lo cual este modelo puede ser sigmoideo o exponencial invertido.

Cuando se utiliza más de un modelo se debe tener un criterio de bondad de ajuste para decidir el que mejor describe los datos. Sobre la comparación de los modelos de crecimiento Krüger (1969), encontró que el lenguado *Eopsetta jordani* está mejor representado por un modelo que el mismo desarrolló, que por el MCVB. Esta comparación la realizó usando como prueba el porcentaje de diferencias de los datos observados contra los estimados. El modelo de Krüger es equivalente al de Johnson (Ricker 1979).

La utilización de criterios estadísticos para la selección del mejor modelo que describa la trayectoria de la curva de crecimiento, consiste en ajustar un conjunto de modelos candidatos a los datos y usar la teoría de la información para seleccionar el mejor modelo. Zhu et al. (2009) compararon 6 criterios de decisión y recomendaron el criterio de información de Akaike (AIC) y el criterio Bayesiano (BIC), como mejores criterios para la selección de modelos de crecimiento (Akaike 1981, Burnham & Anderson 2002).

Cuando los datos soportan evidencia para ajustar más de un modelo, es posible construir un modelo promedio de los mejores ajustes, o incluso de todos los modelos candidatos como mejor alternativa para describir el crecimiento de una especie (Katsanevakis, 2006; Katsanevakis & Maravelias 2008).

Actualmente, se han utilizado nuevos enfoques de parametrización de los modelos que se pueden llamar no convencionales como el “cola gorda”. Éste consiste en aumentar el tamaño de la cola de la distribución de densidad de modo que la probabilidad de ocurrencia de un acontecimiento no se aleje de la media (Chen & Fournier 1999). Además, otro enfoque que consiste en el incremento de la varianza con la edad “depensatorio” (Restrepo et al. 2010), este enfoque ha sido utilizado en *Panopea globosa* (Luquin et al. 2016) y el enfoque “compensatorio”, el cual es inverso al método depensatorio, la varianza disminuye con la edad (Aragón-Noriega et al. 2017).

El objetivo del presente capítulo fue estimar el crecimiento del camarón café *P. californiensis* y *P. stylirostris* en SLA, además de *P. vannamei* en los sistemas lagunarios de LHC y LMM, y zona costera adyacente. Utilizando los métodos convencionales y no convencionales de estimación de los parámetros, para

seleccionar el modelo que mejor describe el crecimiento en la historia de vida de estas especies.

Además, se propone un nuevo método de estimación de parámetros, Mixto cola gorda-depensatorio (MCGD) o Mixto cola gorda-compensatorio (MCGC), el cual consiste en la utilización del método mixto entre “cola gorda” y el “depensatorio” o el “compensatorio”, según sea el caso.

4.2. MATERIALES Y MÉTODOS

Para este capítulo se analizó el crecimiento de *P. californiensis* y *P. stylirostris*, en el sistema lagunar de Agiabampo (SLA) en el Golfo de California (26.12°-26.3°N, 109.08°-109.33°W). *P. vannamei* en el sistema lagunar Huizache-Caimanero (LHC) en el Golfo de California y el sistema lagunar Mar Muerto (LMM) en el Golfo de Tehuantepec y sus zonas costeras adyacentes (Fig. 4.1).

Material biológico

La recolecta de la muestra biológica en SLA, se realizó de enero de 2002 a enero de 2003, una vez al mes durante cinco días consecutivos (luna llena \pm 2 días) con lances realizados cada 1.5 horas dentro de la laguna y en la zona marina adyacente (fig. 4.1A), mismos que se hicieron con embarcaciones de 7 m, con redes de arrastre de malla de 32 mm con una boca de 15 m. Los camarones capturados fueron medidos (longitud total; desde la punta del rostrum a la punta del telson) y posteriormente agrupados en intervalos de 5 mm cada sexo por separado.

Para obtener la información de los estadios de juveniles en LHC se realizaron muestreos semanales de las capturas comerciales de camarón del 25 de septiembre al 29 de octubre de 2016 en el sitio de acopio de las capturas en el tapo Ostial. Los camarones capturados fueron medidos (longitud total; desde la punta del rostrum a la punta del telson) y posteriormente agrupados en intervalos de 5 mm. Para obtener mayor representatividad en los datos de juveniles dentro de la laguna se obtuvieron los datos de crecimiento experimental en encierros llevados a cabo en la laguna Huizache-Caimanero por Edwards (1977) y Menz y Blake (1980). Mientras que para LMM se obtuvieron de la información generada en Ramos (2000).

Para las zonas costeras de LHC (fig. 4.1B) y LMM (fig. 4.1C), se analizaron los datos generados por observadores a bordo de la flota comercial en las temporadas de capturas de 1990-1991, 1991-1992, 1992-1993 y 1993-1994 (fig 4.1). Los camarones capturados se les midió la longitud abdominal (L_a) y se agruparon en intervalos de 5 mm.

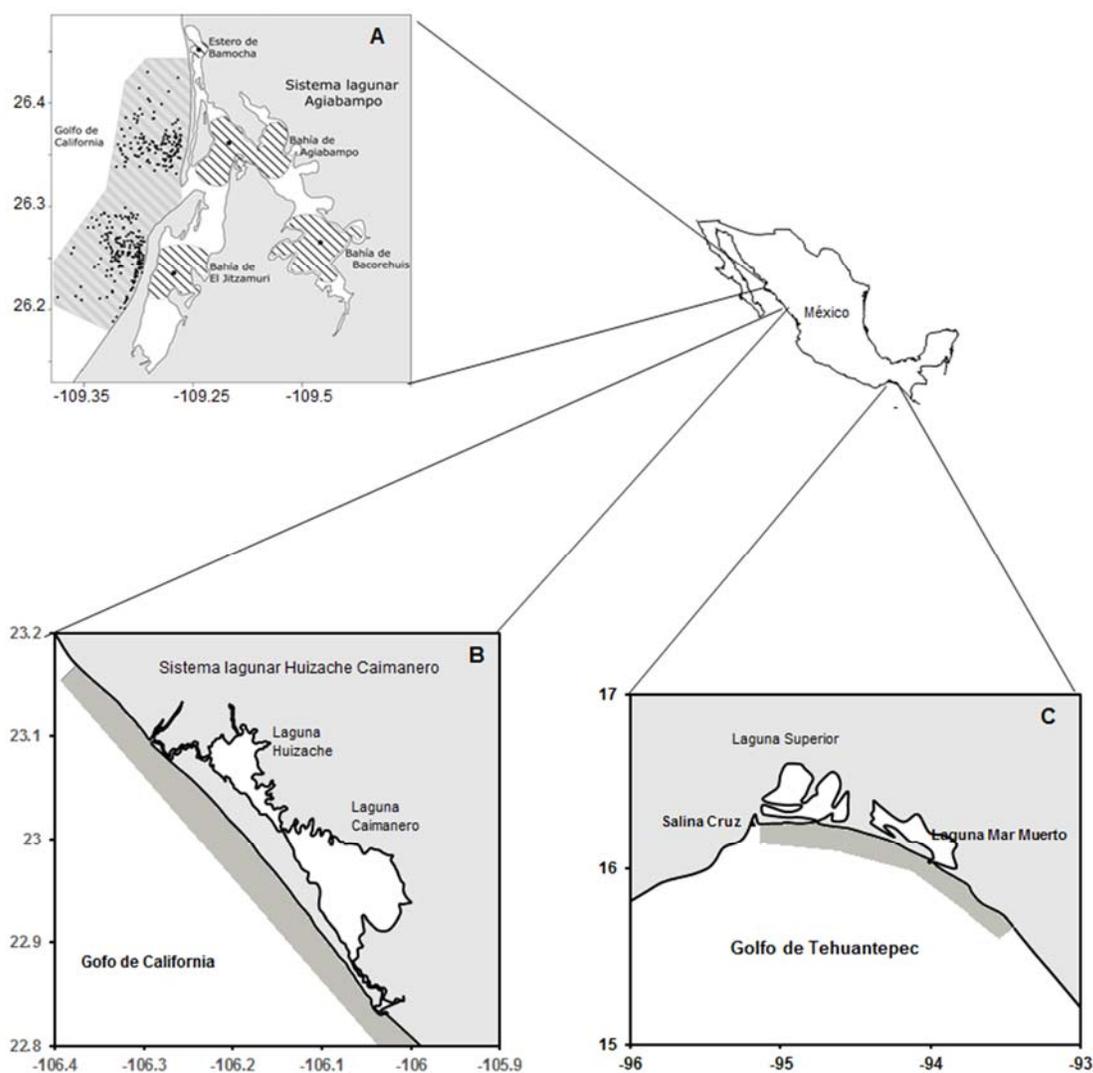


Figura 4.1. Ubicación de las zonas de estudio, A, sistema lagunar de Agiabampo, Sinaloa-Sonora, B, sistema lagunar Huizache-Caimanero, Sinaloa, C, laguna Mar Muerto, Oaxaca y Chiapas, y zona costera marina adyacente (área sombreada).

Análisis de datos

Se utilizó un modelo multinomial para identificar la media y la desviación estándar de cada cohorte con la ecuación:

$$F_i = \sum_{a=1}^n \left[\frac{1}{\sigma_a \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x_i - \mu_a)^2}{2\sigma_a^2}} \right] * P_a$$

donde x_i es la marca de clase para el grupo i , μ_a es la media de la cohorte a , σ_a es la desviación estándar de la cohorte a , P_a es el factor de peso de la cohorte a y F_i es la frecuencia de la marca de clase para el grupo i .

El modelo fue ajustado maximizando la siguiente función de verosimilitud:

$$LL\{X \setminus \mu_a, \sigma_a, P_a\} = - \sum_{i=1}^n f_i \ln \left(\frac{F_i}{\sum F_i} \right) * \left(\sum f_i - \sum F_i \right)^2$$

donde $\{X \setminus \mu_a, \sigma_a, P_a\}$ es el objetivo a maximizar para los parámetros μ_a, σ_a, P_a ; f_i es la frecuencia observada de la marca de clase i y F_i es la frecuencia estimada para la marca de clase i con el modelo multinomial.

Las cohortes fueron definidas de acuerdo a los criterios:

- 1) Índice de separación de medias ≥ 2 (Sparre & Venema 1998):

$$I.S. = 2 * \frac{(\mu_2 - \mu_1)}{(\sigma_1 + \sigma_2)}$$

- 2) Criterio de información de Akaike (AIC) (Burnhan & Anderson 2002). El valor más pequeño del AIC corregido para muestras pequeñas AICc fue interpretado como el mejor ajuste:

$$AIC_c = (-2(LL) + 2k) + (2k(k + 1)/(n - k - 1))$$

donde k es el número de parámetros estimados, LL es el valor de máxima verosimilitud, y n es el número de observaciones.

Estimación de la edad relativa

Ya que se identificaron las medias de las distribuciones de talla se graficaron por secuencia de tiempo. Esto nos permitió identificar la progresión de las medias para asignar la edad relativa.

Para obtener los datos de la historia de vida de los camarones, se complementaron con los datos de las primeras etapas de desarrollo llevados a cabo en laboratorio, para *P. californiensis* y *P. stylirostris*, fueron obtenidos de Aragon-Noriega y Calderón-Aguilera (2001), *P. vannamei*, de Bermudes-Lizarraga (2009).

Una vez obtenidas las tallas a edades relativas, se estimaron las curvas de crecimiento con seis modelos de crecimiento, el de von Bertalanffy (MCVB), el generalizado de von Bertalanffy (MGCVB), el de Gompertz, el de Johnson, el Logístico y el de Richards; cuyas formulas se describen a continuación:

MCVB

$$L_{(t)} = L_{\infty}(1 - e^{-k(t-t_0)})$$

MGCVB

$$L_{(t)} = L_{\infty}(1 - e^{-k(t-t_0)})^D$$

Gompertz

$$L_{(t)} = L_{\infty}e^{(-k(t-t^*))}$$

Johnson

$$L_{(t)} = L_{\infty} e^{-\frac{1}{k(t-t_0)}}$$

Logístico

$$L_{(t)} = L_{\infty}(1 + e^{-k(t-t^*)})^{-1}$$

Richards

$$L_{(t)} = L_{\infty} \left(1 + \frac{1}{A} e^{-k(t-t_0)}\right)^{-D}$$

Para todos los modelos los parámetros evaluados se describen como:

$L(t)$: longitud a la edad t , t : edad a la longitud $L(t)$, L_{∞} : longitud asintótica, k : representa el coeficiente de crecimiento (años^{-1}), t_0 : edad hipotética a la cual la longitud del organismo es cero, A y D : son parámetros adimensionales que moldean la trayectoria de la curva, y t^* : es el punto de inflexión de la curva sigmoidea (MGCVB, $t^* = (\ln(D)/k) + t_0$ y en Jonhson, $t^* = (1/2k) + t_0$).

Para obtener los parámetros de cada modelo se consideraron cuatro criterios; convencional, de “cola gorda”, depensatorio y compensatorio

Criterio convencional

Para ajustar los modelos se utilizó el algoritmo de Newton (Haddon, 2001) se consideró solamente el error de tipo aditivo. La ecuación de máxima verosimilitud que se utilizó como función objetivo fue:

$$LL(\Phi|\text{datos}) = -\left(\frac{n}{2}\right) (\ln(2\pi) + 2 * \ln(\sigma) + 1)$$

donde Φ representa los parámetros de cada modelo y σ representa la desviación estándar de los errores que fueron calculados con la siguiente ecuación:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum (L_{t_{observada}} - L_{t_{estimada}})^2}$$

Selección de modelos.

Para seleccionar el modelo ganador se utilizó el criterio de información de Akaike (AIC) (Burnhan y Anderson, 2002). El valor más pequeño del AIC_c fue interpretado como el mejor ajuste:

$$AIC_c = (-2(LL) + 2k) + (2k(k + 1)/(n - k - 1))$$

donde k es el número de parámetros estimados, n es el número de observaciones y LL es el objetivo de máxima verosimilitud.

Se estimaron las diferencias en los valores de AIC_c (Δ_i) entre todos los modelos utilizados en este estudio. El modelo con el menor valor AIC_c fue elegido como el mejor ajuste.

$$\Delta_i = AIC_{ci} - AIC_c \text{ min}$$

Para determinar estadísticamente el mejor ajuste de los datos, se evaluó el peso de Akaike de cada modelo. Para los procesos mencionados anteriormente, se utilizó la siguiente ecuación:

$$w_i = \frac{\exp(-0.5\Delta_i)}{\sum_{k=1}^5 \exp(-0.5\Delta_i)}$$

Una vez estimadas las diferencias de Akaike se seleccionaron los primeros cuatro modelos, para recalcular los parámetros de crecimiento con los métodos no convencionales descritos en la literatura, además, se propone otro método para obtención de parámetros.

Criterio “cola gorda” (Chen y Fournier, 1999)

Los parámetros de los modelos se obtuvieron mediante el criterio de máxima verosimilitud:

$$LL(\Phi|datos) = \sum \ln \left\{ \frac{1-p}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{\left[-\frac{(L_{(t)} - \widehat{L}_{(t)})^2}{2\sigma^2} \right]} + \frac{2p}{g\sigma\sqrt{\pi}} \left[1 + \frac{(L_{(t)} - \widehat{L}_{(t)})^4}{(g\sigma)^4} \right]^{-1} \right\}$$

donde Φ representa los parámetros de cada modelo y σ representa la desviación estándar de los errores que fueron calculados con la siguiente ecuación:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum (L_{t_{observada}} - L_{t_{estimada}})^2}$$

g parámetro de “grosor” de la cola de la distribución, $L(t)$ es la talla observada, $\widehat{L}(t)$ la talla estimada por el modelo y p la proporción de datos erróneos. Para este estudio se seleccionaron los valores $g=3$ y $p=0.2$.

Criterio depensatorio (Restrepo et al., 2010)

Esta función se construye minimizando la función de verosimilitud basada en la ecuación:

$$-LL(\emptyset|\text{datos}) = \sum_i \left[\frac{\ln(2\pi\sigma_i^2)}{2} + \frac{(L(t) - \widehat{L}(t))^2}{2\sigma_i^2} \right]$$

Se calculó σ_i^2 , para ello se utilizaron las siguientes ecuaciones:

MCVB

$$\sigma_i^2 = \sigma_\infty^2 [(1 - e^{-k(t-t_0)})]^2$$

MGCVB

$$\sigma_i^2 = \sigma_\infty^2 [(1 - e^{-k(t-t_0)})^D]^2$$

Gompertz

$$\sigma_i^2 = \sigma_\infty^2 [e^{(-e^{-k(t-t^*)})}]^2$$

Johnson

$$\sigma_i^2 = \sigma_\infty^2 \left[e^{-\frac{1}{k(t-t_0)}} \right]^2$$

Logístico

$$\sigma_i^2 = \sigma_\infty^2 [(1 + e^{-k(t-t^*)})^{-1}]^2$$

Richards

$$\sigma_i^2 = \sigma_\infty^2 \left[\left(1 + \frac{1}{A} e^{-k(t-t_0)} \right)^{-D} \right]^2$$

Criterio compensatorio (Aragón-Noriega et al., 2017)

Esta función se construye minimizando la función de verosimilitud basada en la ecuación:

$$-LL(\phi|\text{datos}) = \sum_i \left[\frac{\ln(2\pi\sigma_i^2)}{2} + \frac{(L_{(t)} - \widehat{L}_{(t)})^2}{2\sigma_i^2} \right]$$

Se calculó σ_i^2 , para ello se utilizaron las siguientes ecuaciones:

MCVB

$$\sigma_i^2 = \sigma_\infty^2 [(1 - e^{-k(t-t_0)})]^{-2}$$

MGCVB

$$\sigma_i^2 = \sigma_\infty^2 [(1 - e^{-k(t-t_0)})^D]^{-2}$$

Gompertz

$$\sigma_i^2 = \sigma_\infty^2 [e^{(-e^{-k(t-t^*)})}]^{-2}$$

Johnson

$$\sigma_i^2 = \sigma_\infty^2 \left[e^{-\frac{1}{k(t-t_0)}} \right]^{-2}$$

Logístico

$$\sigma_i^2 = \sigma_\infty^2 [(1 + e^{-k(t-t^*)})^{-1}]^{-2}$$

Richards

$$\sigma_i^2 = \sigma_\infty^2 \left[\left(1 + \frac{1}{A} e^{-k(t-t_0)} \right)^{-D} \right]^{-2}$$

donde: σ_i^2 , es la varianza para la talla en edad i y σ_∞^2 , la varianza para los organismos más viejos.

Criterio Mixto colagorda-depensatorio o colagorda-compensatorio

Los parámetros de los modelos se obtuvieron utilizando un criterio mixto cola-gorda (Chen y Fornier, 1999) y depensatorio (Restrepo et al., 2010), maximizando la función objetivo mediante iteraciones con la herramienta solver del paquete computacional Excel.

$$LL(\Phi|datos) = \sum \ln \left\{ \frac{1-p}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(L(t)-\widehat{L}(t))^2}{2\sigma^2}} + \frac{2p}{g\sigma\sqrt{\pi}} \left[1 + \frac{(L(t)-\widehat{L}(t))^4}{(g\sigma)^4} \right]^{-1} \right\}$$

donde Φ representa los parámetros de cada modelo y σ_i representa la desviación estándar para el grupo de edad i y fue calculada suponiendo que la varianza aumenta con la edad (Restrepo et al., 2010) con las siguientes ecuaciones:

MCVB

$$\sigma_i = \sqrt{\sigma_{\infty}^2 [(1 - e^{-k(t-t_0)})]^2}$$

MGCVB

$$\sigma_i = \sqrt{\sigma_{\infty}^2 [(1 - e^{-k(t-t_0)})^D]^2}$$

Gompertz

$$\sigma_i = \sqrt{\sigma_{\infty}^2 [e^{(-e^{-k_3(t-t_*)})}]^2}$$

Johnson

$$\sigma_i = \sqrt{\sigma_{\infty}^2 \left[e^{-\frac{1}{k(t-t_0)}} \right]^2}$$

Logístico

$$\sigma_i = \sqrt{\sigma_{\infty}^2 [(1 + e^{-k(t-t_*)})^{-1}]^2}$$

donde: σ_i , es la desviación estándar para la talla en edad i y σ_{∞}^2 , la varianza para los organismos más viejos.

En el caso de que la varianza tenga indicios de ser compensatorio se invierten las expresiones anteriores.

Intervalos de confianza

Los Intervalos de confianza se obtuvieron con base en los perfiles de verosimilitud y la distribución chi-cuadrada (Venzon & Moolgavkar, 1988). El intervalo de confianza fue definido como todos los valores de θ que satisfacen la siguiente desigualdad:

$$2(L(Y|\theta) - L(Y|\theta_{best})) < \chi^2_{1,1-\alpha}$$

Donde $L(Y|\theta_{best})$ es la log verosimilitud del valor más probable de θ y $\chi^2_{1,1-\alpha}$ es el valor de χ^2 con un grado de libertad al nivel de confianza $1-\alpha$. Así, el intervalo de confianza al 95% de θ abarca todos los valores de θ que son dos veces la diferencia entre la log verosimilitud de un θ dado y la log verosimilitud de la mejor estimación de θ que sea menor que 3.84.

4.3. RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.3.1. SISTEMA LAGUNAR DE AGIABAMPO

Penaeus californiensis

Se midieron un total de 25,656 hembras y 12,914 machos, de los cuales 19,827 hembras y 10,808 machos, dentro de la laguna y 5,829 hembras y 2,106 machos en el mar. Con longitudes que van desde los 45 a 180 mm para las hembras en la laguna y de 55 a 220 mm en el mar; de 30 a 196 mm para machos dentro de la laguna y de 72 a 205 mm en el mar (Fig. 4.2).

En cuanto a la progresión de medias de *P. californiensis*, en hembras se identificaron cuatro cohortes completamente marinas, mientras que en la laguna se identificaron 6 cohortes. Además, se encontraron dos cohortes de migración de la laguna a la zona marina (fig. 4.3A). En machos se lograron identificar dos cohortes en la zona marina, mientras que dentro de la laguna solo se presenta una cohorte, asimismo, se presenta una cohorte de migración (fig. 4.3B).

Selección de modelos

En el análisis multimodelo para hembras de *P. californiensis*, los cuatro primeros modelos son el de Johnson, el generalizado de von Bertalanffy, el MCVB y el de Gompertz. El mejor ajuste se presenta con el modelo de Johnson con un peso de Akaike de 48%, aunque el GVB también es viable con peso de Akaike de 43%. (Cuadro IV.1).

En machos, los cuatro primeros modelos son el modelo de Johnson, MCVB, el GVB y el Gompertz. El mejor ajuste se presenta con el modelo de Johnson con un peso de Akaike de 85%. (Cuadro IV.2).

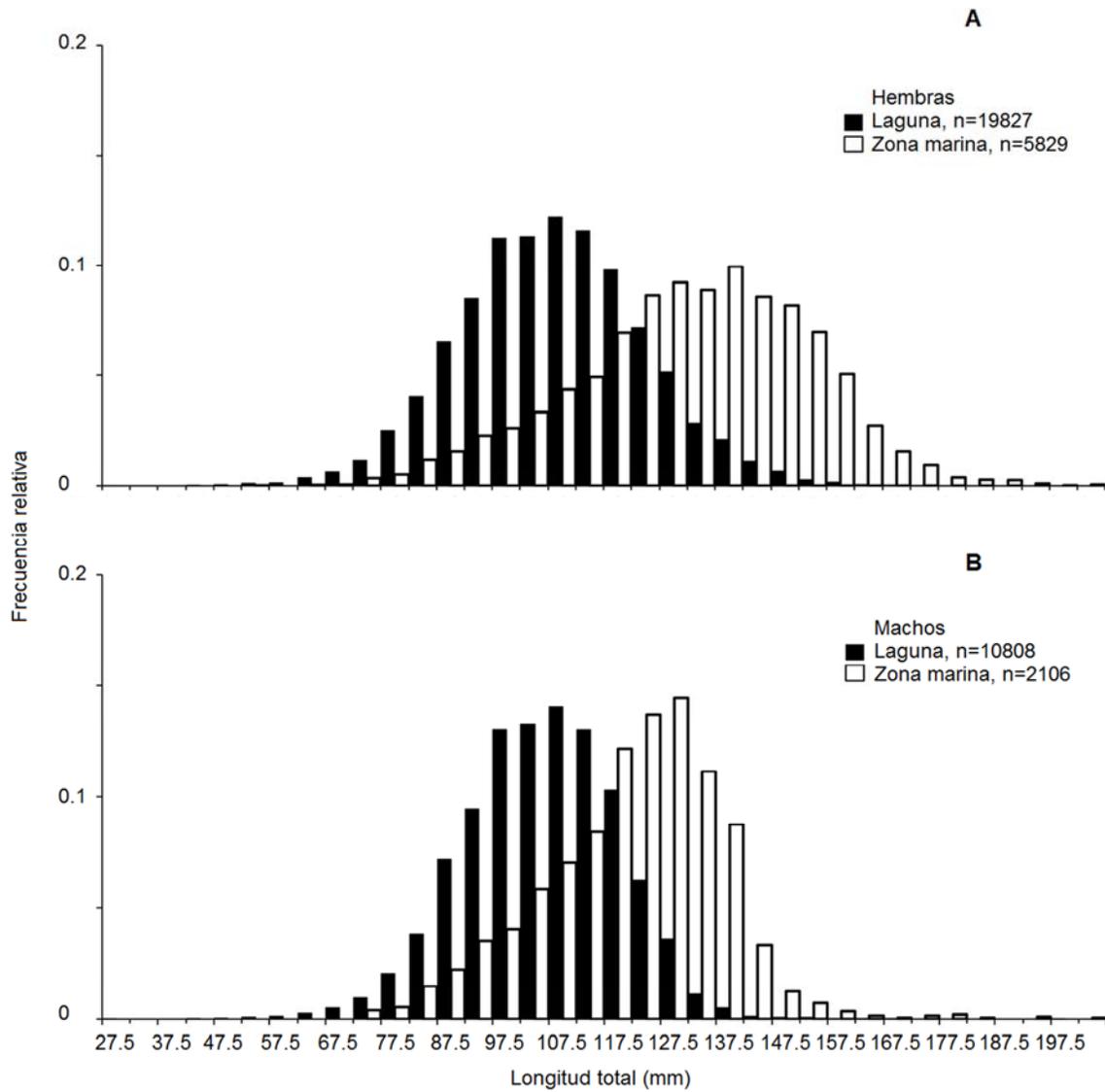


Figura 4.2. Estructura de talla del camarón café, *P. californiensis* para las muestras recolectadas en el sistema lagunar Agiabampo, Sinaloa-Sonora, México de enero de 2002 a enero de 2003.

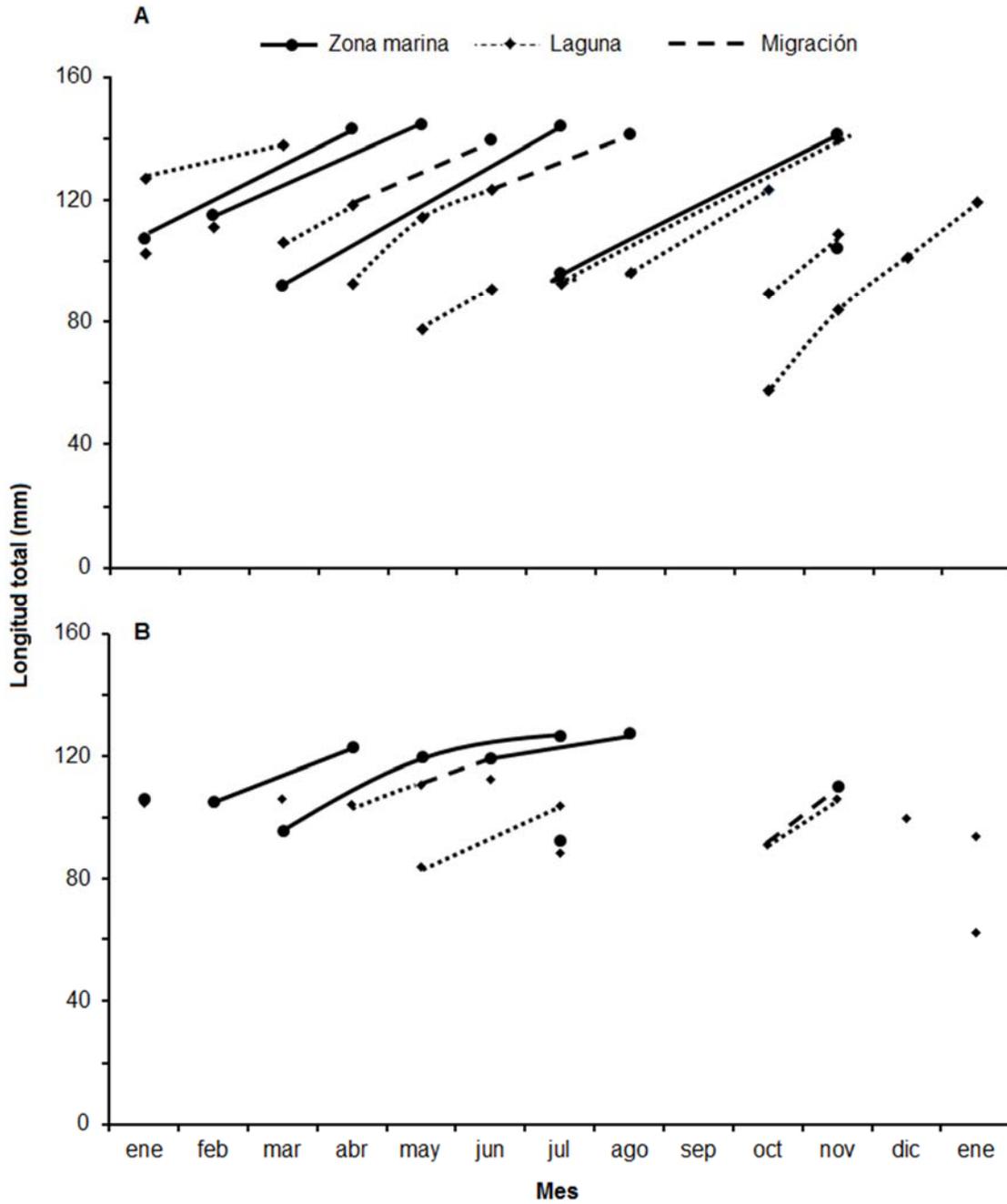


Figura 4.3. Progresión modal de *P. californiensis*, A, hembras y B, machos recolectadas en el sistema lagunar Agiabampo, y zona marina adyacente, Sinaloa-Sonora, México de enero de 2002 a enero de 2003.

Cuadro IV.1. Valores AIC_c , σ , Δ_i y w_i (%) para selección del mejor modelo de crecimiento de hembras de *P. californiensis* en la laguna Agiabampo y zona marina adyacente (* mejor ajuste).

MODELO	AIC_c	σ	Δ_i	w_i (%)
Johnson*	191.1	4.31	0.00	48%
GVB	191.3	4.15	0.20	43%
MCVB	194.5	4.54	3.36	9%
Gompertz	208.5	5.65	17.38	0%
Richard	220.9	6.30	29.83	0%
Logístico	235.7	8.64	44.55	0%

Cuadro IV.2. Valores AIC_c , σ , Δ_i y w_i (%) para selección del mejor modelo de crecimiento de machos de *P. californiensis* en la laguna Agiabampo y zona marina adyacente (* mejor ajuste).

MODELO	AIC_c	σ	Δ_i	w_i (%)
Johnson*	133.7	3.37	0.00	85%
MCVB	137.1	3.63	3.45	15%
GVB	147.6	4.25	13.94	0%
Gompertz	148.9	4.63	15.17	0%
Richards	155.0	4.63	21.30	0%
Logístico	158.2	5.63	24.54	0%

Parámetros de crecimiento

El Cuadro IV.3 muestra los parámetros para hembras de *P. californiensis*, el modelo de Johnson, es el que presenta mayor longitud asintótica ($L_\infty = 191.2$ mm), seguido por el GVB ($L_\infty = 184.8$), MCVB ($L_\infty = 154.1$ mm), el de Gompertz ($L_\infty = 144.9$ mm),

el de Richards ($L_{\infty} = 140.6$ mm) y por último el Logístico ($L_{\infty} = 134.3$). Mientras que el modelo logístico, presenta el mayor coeficiente de crecimiento ($k = 15.46$), le sigue el modelo de Richards ($k = 9.29$), luego el de Gompertz ($k = 7.42$) y los que presentan los menores valores fueron el MCVB ($k = 4.58$) y el GVB ($k = 1.90$).

Mientras que para machos de *P. californiensis*, el modelo de Johnson, es el que presenta mayor longitud asintótica ($L_{\infty} = 151.6$ mm), le siguen el MCVB y para el GVB ($L_{\infty} = 127.7$ y 124.8 mm respectivamente), y valores semejantes para el de Gompertz y el de Richard ($L_{\infty} = 122.2$ mm), por último, el Logístico ($L_{\infty} = 120.8$ mm). En lo que respecta al coeficiente de crecimiento el modelo Logístico presenta valor más alto ($k = 13.36$), le siguen los modelos de Gompertz y el de Richard ($k = 10.12$), luego el Johnson ($k = 9.34$), el GVB ($k = 8.65$), mientras que el de menor valor ($k = 6.62$), fue el MCVB (Cuadro IV.4).

Cuadro IV.3. Parámetros calculados para los modelos en hembras de *P. californiensis* en SLA y zona marina adyacente (* modelo ganador).

MODELO	k	L_{∞}	t_0	t^*	D	A
Johnson*	5.68	191.2	0.015	0.103		
GVB	1.90	184.8	0.083	-0.235	0.5	
MCVB	4.58	154.1	0.060			
Gompertz	7.42	144.9		0.155		
Richard	9.29	140.6	0.022		18661.6	4767.8
Logístico	15.46	134.3		0.212		

Cuadro IV.4. Parámetros calculados para los modelos en machos de *P. californiensis* en SLA y zona marina adyacente (* modelo ganador).

MODELO	k	L_{∞}	t_0	t^*	D	A
Johnson*	9.34	151.6	0.042	0.095		
MCVB	6.62	127.7	0.067			
GVB	8.65	124.8	-0.001	0.118	2.8	
Gompertz	10.12	123.0		0.139		
Richards	10.12	123.0	0.021		18844.9	5694.0
Logístico	13.36	120.8		0.176		

Curvas de crecimiento

En las hembras de *P. californiensis*, los modelos de Johnson, el GVB y el MCVB presentan trayectorias similares, no alcanzan la asíntota, sin embargo, los modelos Richards y el Logístico son los que presentan trayectorias por debajo de los últimos datos observados. Los modelos que mejor describen el crecimiento son el Johnson y el GVB (fig. 4.4A). Mientras que en machos todas las curvas presentan trayectorias similares, todas alcanzan la asíntota y el modelo que mejor describe el crecimiento es el de Johnson (fig. 4.4B).

Métodos no convencionales

La clasificación de los modelos con la técnica multicriterio, muestra que para las hembras de *P. californiensis*, el modelo de Johnson fue el mejor para los tres criterios, aunque los modelos GVB y MCVB también resultaron modelos viables para describir el crecimiento en los tres criterios. Sin embargo, de los tres métodos el de cola gorda fue el que menor AIC_c (182.2) presentó. Por otro lado, el modelo de Johnson fue el que mejor describió el crecimiento en machos con los tres criterios. Cabe destacar que el modelo de Johnson con el método de cola gorda, obtuvo también el menor AIC_c (Cuadro IV.5).

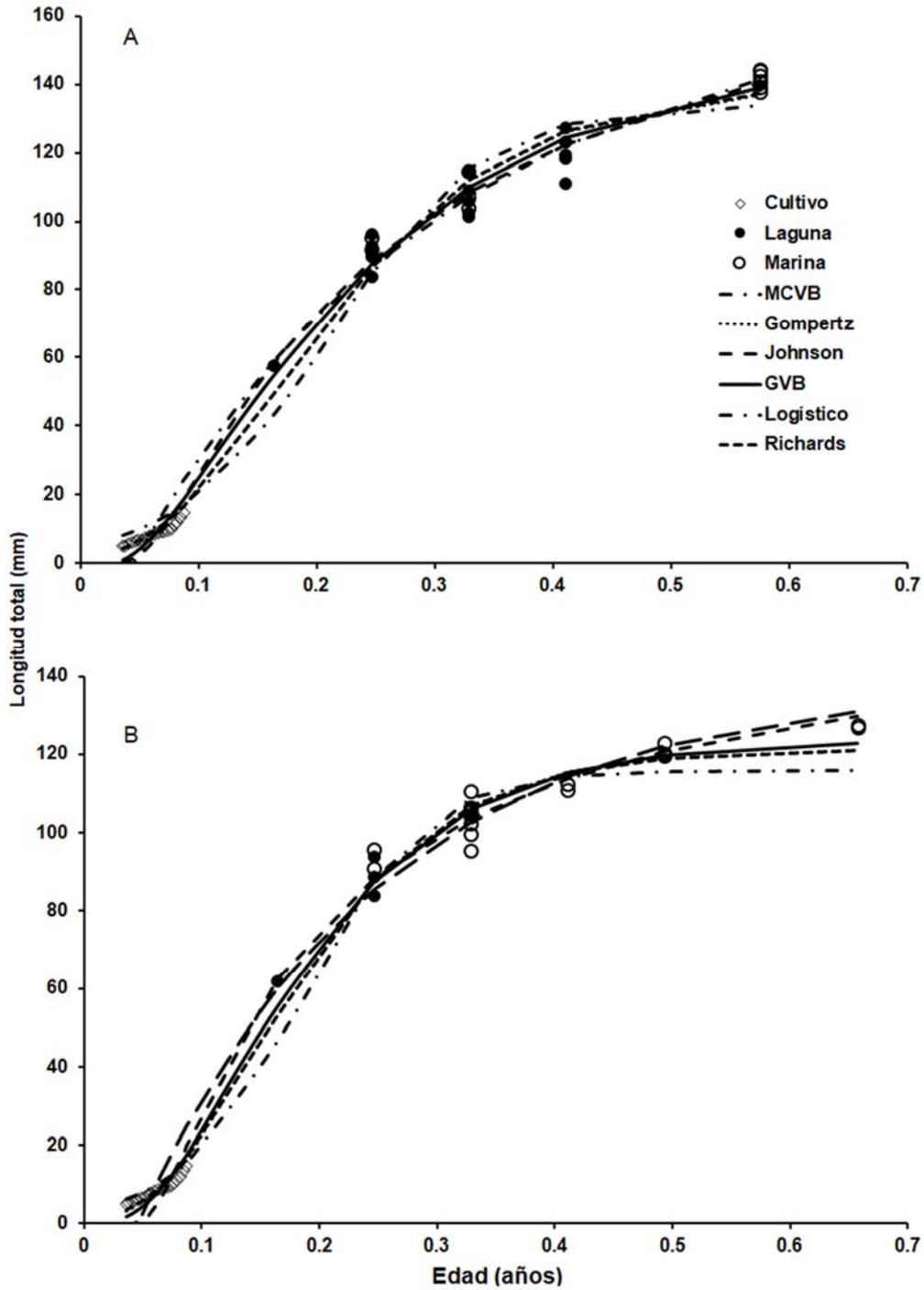


Figura 4.4. Curvas de crecimiento generadas para los seis modelos candidatos, A, hembras y B, machos de *P. californiensis* en el sistema lagunar Agiabampo, Sinaloa-Sonora, México.

Cuadro IV.5. Valores AIC_c , σ , Δ_i y w_i (%) enfoque multicriterio para la selección del mejor modelo de crecimiento de *P. californiensis* en la laguna Agiabampo y zona marina adyacente (* modelo ganador).

sexo	Criterio	Modelo	AIC_c	σ	Δ_i	$w_i(\%)$
Hembras	Depensatorio	Johnson*	191.0	4.35	0.00	77%
		GVB	194.7	4.23	3.72	12%
		MCVB	194.8	4.64	3.83	11%
		Gompertz	219.6	6.80	28.61	0%
	Compensatorio	Johnson*	194.7	5.05	0.00	45%
		GVB	195.6	4.47	0.91	29%
		MCVB	195.9	5.36	1.23	24%
		Gompertz	201.3	6.44	6.56	2%
	Cola gorda	Johnson*	182.2	4.31	0.00	50%
		GVB	182.6	4.15	0.46	40%
		MCVB	185.6	4.54	3.40	9%
		Gompertz	199.4	5.68	17.21	0%
Machos	Depensatorio	Johnson*	120.3	3.38	0.00	59%
		MCVB	121.5	6.21	1.18	33%
		GVB	124.3	3.57	3.96	8%
		Gompertz	132.0	6.21	11.68	0%
	Compensatorio	Johnson*	126.7	3.79	0.00	53%
		MCVB	127.9	4.17	1.16	29%
		GVB	130.3	3.80	3.59	9%
		Gompertz	130.9	5.21	4.11	7%
	Cola gorda	Johnson*	113.4	3.38	0.00	68%
		MCVB	115.9	3.65	2.48	20%
		GVB	116.8	3.38	3.41	12%
		Gompertz	125.3	4.73	11.94	0%

Parámetros de crecimiento

El Cuadro IV.6 muestra los parámetros para los modelos candidatos con enfoque multicriterio. Para *P. californiensis*, solo se describen los resultados de los modelos ganadores según su AIC_c . En hembras el modelo de Johnson con criterio compensatorio resultó con la mayor longitud asintótica ($L_\infty = 208.1$ mm) y el modelo de Johnson con criterio depensatorio fue el menor ($L_\infty = 186.6$). Respecto a los coeficientes de crecimiento, el modelo con criterio depensatorio presenta el mayor valor anualizado ($k = 6.14$) y el calculado con el método compensatorio, presenta el menor valor ($k = 4.16$). En machos, la longitud asintótica mayor, se presentó con el modelo de Johnson con criterio compensatorio ($L_\infty = 156.6$ mm), mientras que, la menor fue con el criterio cola gorda ($L_\infty = 151.8$ mm). En lo que se refiere al coeficiente de crecimiento el calculado con criterio cola gorda presentó el mayor valor ($k = 9.33$) y el menor valor con el criterio compensatorio ($k = 8.05$).

Curvas de crecimiento

Los modelos candidatos en *P. californiensis*, utilizando los métodos no convencionales, describieron el mismo patrón, tanto en hembras como en machos, a excepción las curvas calculadas con criterio depensatorio que al final se abren. Sin embargo, en hembras las curvas no han alcanzado la asíntota, mientras que en machos parece que ya han alcanzado la asíntota. En resumen, las curvas ajustadas con el criterio cola gorda, resultaron ser las que mejor describen los datos observados (fig. 4.5).

Cuadro IV.6. Parámetros para los modelos candidatos, clasificados según su AIC_c, para *P. californiensis* en SLA y zona marina adyacente (* modelo ganador).

sexo	Criterio	Modelo	k	L_{∞}	t_0	t^*	D
Hembras	Depensatorio	Johnson*	6.14	186.6	0.023	0.105	
		GVB	3.22	163.4	0.078	-0.037	0.7
		MCVB	5.05	150.0	0.067		
		Gompertz	10.38	135.6		0.162	
	Compensatorio	Johnson*	4.16	208.1	-0.037	0.083	
		MCGVB	1.13	213.0	0.078	-0.550	0.5
		MCVB	3.48	164.8	0.024		
		Gompertz	5.44	154.3		0.140	
	Cola gorda	Johnson*	5.71	191.3	0.016	0.104	
		MCGVB	1.98	183.0	0.082	-0.215	0.6
		MCVB	4.61	154.2	0.061		
		Gompertz	7.04	146.4		0.152	
Machos	Depensatorio	Johnson*	9.20	152.4	0.041	0.096	
		MCVB	7.41	123.2	0.070		
		MCGVB	6.11	126.9	0.076	0.040	0.8
		Gompertz	14.23	113.2		0.137	
	Compensatorio	Johnson*	8.05	156.6	0.023	0.086	
		MCVB	6.04	128.5	0.051		
		MCGVB	3.91	136.9	0.076	-0.059	0.6
		Gompertz	8.91	123.1		0.122	
	Cola gorda	Johnson*	9.33	151.8	0.042	0.096	
		MCVB	6.86	126.3	0.068		
		MCGVB	5.39	130.0	0.079	0.017	0.7
		Gompertz	10.85	120.4		0.138	

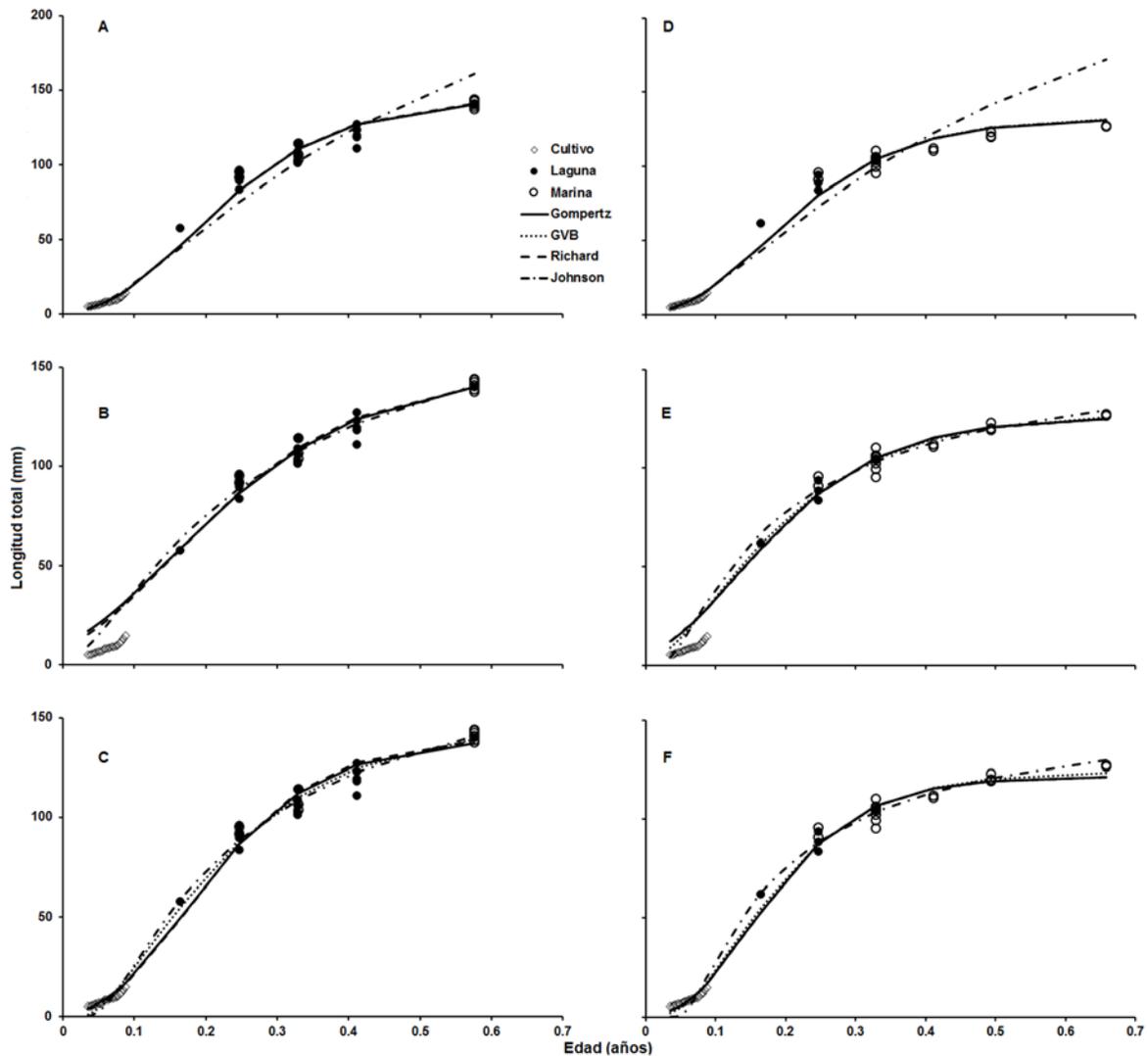


Figura 4.5. Curvas de crecimiento multicriterio, A y D, criterio depensatorio, B y E, criterio compensatorio; C y F, criterio cola gorda, para hembras (A, B y C) y machos (D, E y F) de *P. californiensis* en SLA y zona costera adyacente.

Criterio mixto cola gorda-depensatorio (MCGD)

En el análisis multimodelo para hembras de *P. californiensis* con criterio MCGD, el modelo ganador fue el de Johnson con un AIC_c de 176.4 con un peso de Akaike de 79%, le sigue el MCVB con AIC_c de 180.4 y un peso de 11% (Cuadro IV.7). Mientras que para los machos el mejor modelo fue también el de Johnson con un AIC_c de 109.0 y peso de 88%, le sigue el GVB con 113.1 de AIC_c y 12 % de w_i (Cuadro IV.8).

Cuadro IV.7. Valores AIC_c , σ , Δ_i y w_i (%) para selección del mejor modelo de crecimiento de hembras de *P. californiensis*, con el criterio MCGD, en la laguna Agiabampo y zona marina adyacente (* mejor ajuste).

MODELO	AIC_c	σ	Δ_i	w_i (%)
Johnson*	176.4	4.37	0.00	79%
MCVB	180.4	6.73	4.03	11%
MCGVB	180.5	4.18	4.13	10%
Gompertz	207.3	6.73	30.87	0%

Cuadro IV.8. Valores AIC_c , σ , Δ_i y w_i (%) para selección del mejor modelo de crecimiento de machos de *P. californiensis*, con el criterio MCGD, en la laguna Agiabampo y zona marina adyacente (* mejor ajuste).

MODELO	AIC_c	σ	Δ_i	w_i (%)
Johnson*	109.0	3.41	0.00	88%
GVB	113.1	3.41	4.06	12%
Gompertz	121.8	6.51	12.81	0%
MCVB	124.4	3.68	15.43	0%

El Cuadro IV.9 muestra los parámetros de los modelos calculados con el método mixto para *P. californiensis*, en cual nos indica que el modelo de Johnson presenta la mayor longitud asintótica para hembras ($L_\infty = 188.5.0$ mm) y machos ($L_\infty = 153.9$ mm). En cuanto a los coeficientes de crecimiento los mayores valores anualizados se presentan con el modelo de Gompertz para hembras y machos.

Cuadro IV.9. Parámetros para los modelos candidatos calculados con criterio MCGD, clasificados según su AIC_c , para *P. californiensis* en SLA y zona marina adyacente.

sexo	Modelo	k	L_∞	t_0	t^*	D
Hembras	Johnson*	6.06	188.5	0.023	0.105	
	MCVB	5.00	151.4	0.067		
	GVB	1.93	183.1	0.083	-0.238	0.5
	Gompertz	10.22	137.5		0.165	
Machos	Johnson*	8.99	153.9	0.040	0.096	
	GVB	6.30	127.0	0.075	0.048	0.8
	Gompertz	14.71	112.3		0.136	
	MCVB	6.94	126.8	0.070		

Curvas de crecimiento

Los modelos candidatos para el criterio MCGD en *P. californiensis*, describieron el mismo patrón, tanto en hembras como en machos, a excepción del modelo de Gompertz, que se sale del patrón tanto en hembras como en machos. Las curvas en hembras no han alcanzado la asíntota, mientras que en machos parece que ya han alcanzado la asíntota (fig. 4.6).

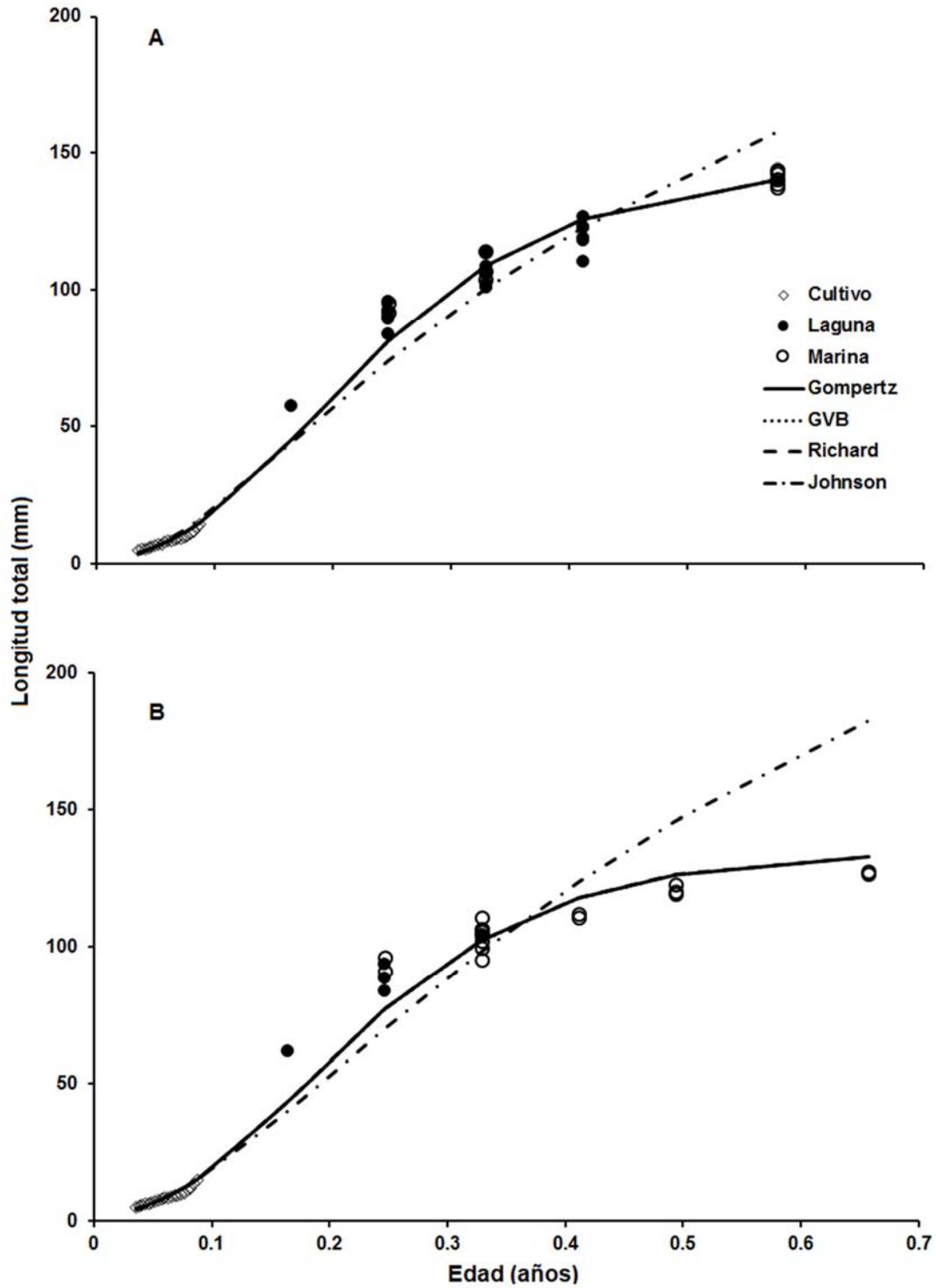


Figura 4.6. Curvas de crecimiento calculadas con el criterio MCGD, A hembras y B machos de *P. californiensis* en SLA y zona costera adyacente.

Comparación multicriterio

En el análisis multicriterio para las hembras de *P. californiensis*, el modelo con el menor AIC_c fue el Johnson, parametrizado con el criterio de MCGD. El parámetro $k = 6.06$ (5.97 - 6.17) presentó diferencias significativas con los criterios convencional, compensatorio y de cola gorda; la longitud asintótica fue de $L_\infty = 188.5$ (186.0 - 190.9) solo presentó diferencias significativas con el compensatorio, mientras que el parámetro $t_0 = 0.023$ (0.022 - 0.024), también presentó diferencias significativas con el criterio compensatorio. En el caso de los machos el menor AIC_c lo obtuvo con el modelo Johnson también con el criterio MCGD. El coeficiente de crecimiento $k = 8.99$ (8.84 - 9.15) solo presentó diferencias significativas con el criterio compensatorio. La $L_\infty = 153.9$ (151.9 - 155.9), no presentó diferencias significativas los demás criterios. Mientras que el parámetro $t_0 = 0.040$ (0.039 - 0.041), presentó diferencias significativas con el criterio compensatorio (Cuadro IV.10). Además, existen diferencias significativas entre los parámetros de crecimiento de hembras y machos.

Las curvas de los modelos ganadores con los diferentes criterios para *P. californiensis* se muestra en la figura 4.7, En ella se observa que el criterio mixto, propuesto en este trabajo, tanto en hembras como en machos muestran el mismo patrón de crecimiento con excepción del criterio compensatorio. El modelo de Johnson, en los cinco criterios, fue el que mejor se ajustó a los datos, este tiene una forma sigmoïdal con asimetría a la izquierda.

Cuadro IV.10. Parámetros e intervalos de confianza para los modelos de crecimiento ganadores con enfoque multicriterio de *P. californiensis* para hembras y machos en SLA y zona marina adyacente (a<b<c).

	Criterio	k	L_{∞}	t_0	t^*
Hembras	Convencional	5.68 ^b	191.2 ^b	0.015 ^b	0.103
	(Johnson)	(5.54 - 5.83)	(188.7 - 193.8)	(0.009 - 0.020)	
	Depensatorio	6.14 ^c	186.6 ^a	0.023 ^{bc}	0.105
	(Johnson)	(6.03 - 6.25)	(184.1 - 189.1)	(0.022 - 0.025)	
	Compensatorio	4.16 ^a	208.1 ^c	-0.037 ^a	0.083
	(Johnson)	(4.08 - 4.25)	(205.7 - 210.5)	(-0.045 - -0.03)	
	Cola gorda	5.71 ^b	191.3 ^b	0.016 ^{bc}	0.104
	(Johnson)	(5.57 - 5.86)	(188.8 - 193.8)	(0.010 - 0.022)	
MCGD	6.06 ^c	188.5 ^{ab}	0.023 ^{bc}	0.105	
(Johnson)	(5.97 - 6.17)	(186.0 - 190.9)	(0.022 - 0.024)		
Machos	Convencional	9.34 ^b	151.6 ^a	0.042 ^b	0.095
	(Johnson)	(9.01 - 9.68)	(149.6 - 153.7)	0.036 - 0.048)	
	Depensatorio	9.20 ^b	152.4 ^{ab}	0.041 ^b	0.096
	(Johnson)	(9.00 - 9.42)	(150.1 - 154.7)	(0.040 - 0.042)	
	Compensatorio	8.05 ^a	156.6 ^b	0.023 ^a	0.086
	(Johnson)	(7.76 - 8.34)	(154.3 - 158.9)	(0.015 - 0.032)	
	Cola gorda	9.33 ^b	151.8 ^a	0.042 ^b	0.096
	(Johnson)	(8.99 - 9.71)	(149.6 - 154.1)	(0.036 - 0.048)	
MCGD	8.99 ^b	153.9 ^{ab}	0.040 ^b	0.096	
(Johnson)	(8.84 - 9.15)	(151.9 - 155.9)	(0.039 - 0.041)		

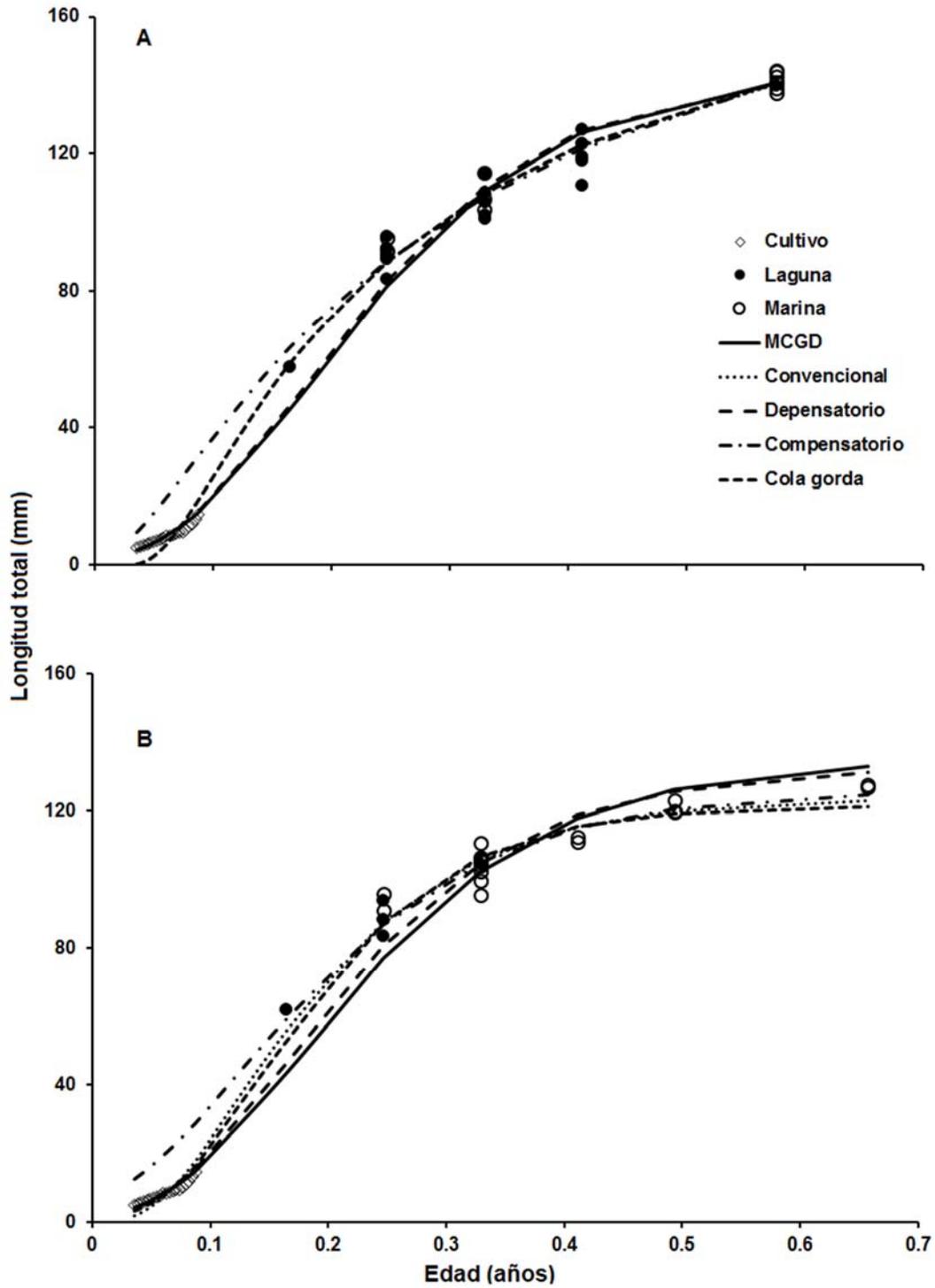


Figura 4.7. Comparación multicriterio de las curvas de crecimiento para, A, hembras y B, machos de *P. californiensis* en SLA y zona costera adyacente.

Penaeus stylirostris

Se midieron un total de 1,478 hembras y 847 machos, de los cuales 1,177 hembras y 301 machos dentro de la laguna, 617 hembras y 230 machos en el mar. Con longitudes que van desde los 55 a 220 mm para las hembras en la laguna y de 60 a 225 mm en el mar; de 60 a 200 mm para machos dentro de la laguna y de 105 a 230 mm en el mar (Fig. 4.8).

La progresión de medias de *P. stylirostris* en hembras se identificaron dos cohortes en la laguna, mientras que en la zona marina tres cohortes de continuidad del crecimiento. Además, se encontraron cuatro cohortes en migración de la laguna a la zona marina (fig. 4.9A). En machos se lograron identificar una cohorte en la zona marina, mientras que dentro de la laguna se presentan tres cohortes, también se presenta tres cohortes de migración (fig. 4.9B).

Selección de modelos

En el análisis multimodelo para hembras de *P. stylirostris*, Los cuatro primeros modelos son el de Johnson, de von Bertalanffy, el de Gompertz y el generalizado de von Bertalanffy. El mejor ajuste se presenta con el modelo de Johnson con un peso de Akaike de 100%. (Cuadro IV.11).

Cuadro IV.11. Valores AIC_c , σ , Δ_i y w_i (%) para selección del mejor modelo de crecimiento de hembras de *P. stylirostris* en la laguna Agiabampo y zona marina adyacente (* mejor ajuste).

MODELO	AIC_c	σ	Δ_i	w_i (%)
Johnson*	226.89	3.80	0.00	100
MCVB	250.84	5.12	23.95	0
Gompertz	259.47	5.70	32.58	0
GVB	261.74	5.69	34.85	0
Richards	264.57	5.70	37.68	0
Logístico	292.86	8.66	65.97	0

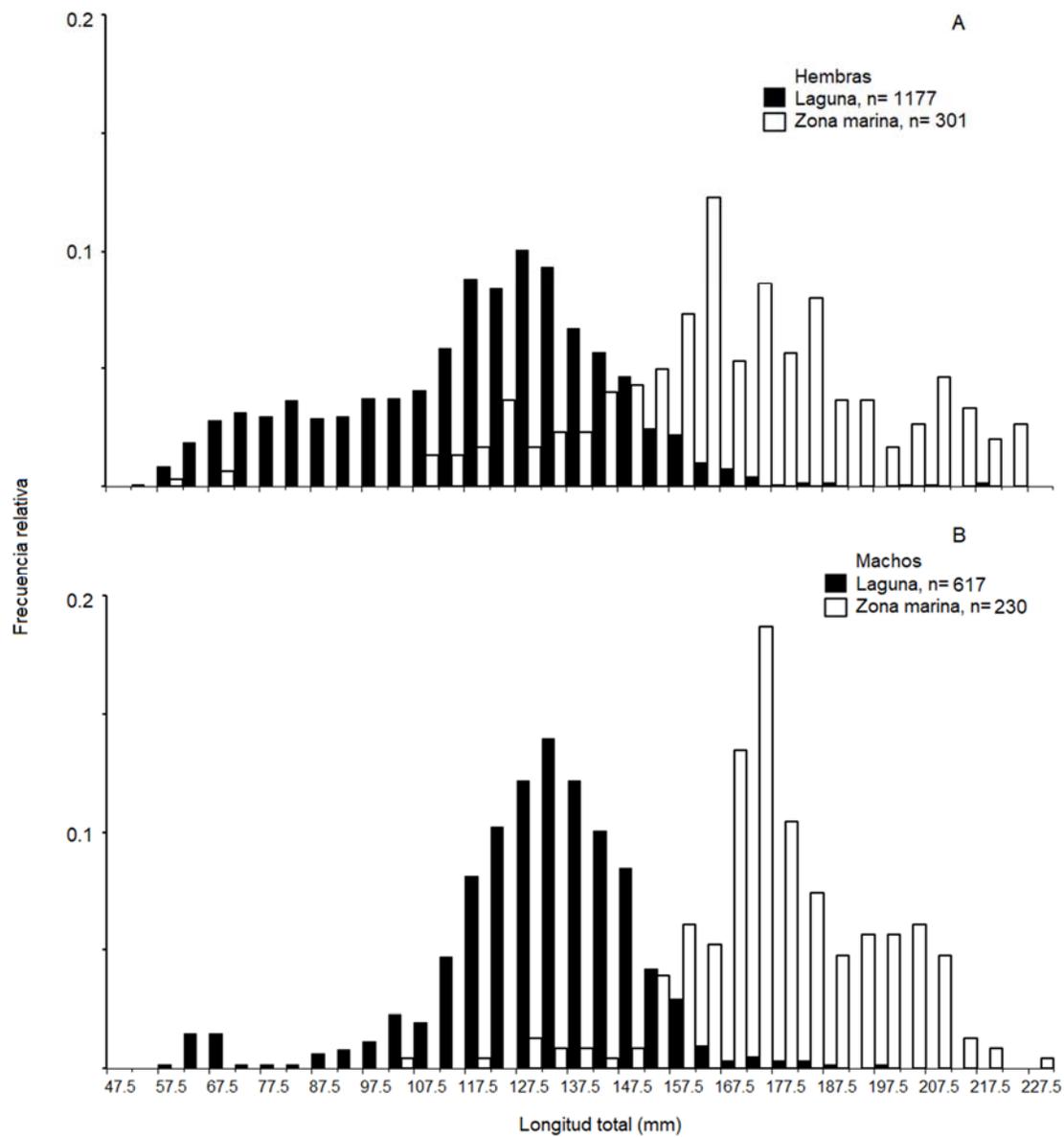


Figura 4.8. Estructura de talla del camarón azul, *P. stylirostris* para las muestras recolectadas en el sistema lagunar Agiabampo, Sinaloa-Sonora, México de enero de 2002 a enero de 2003.

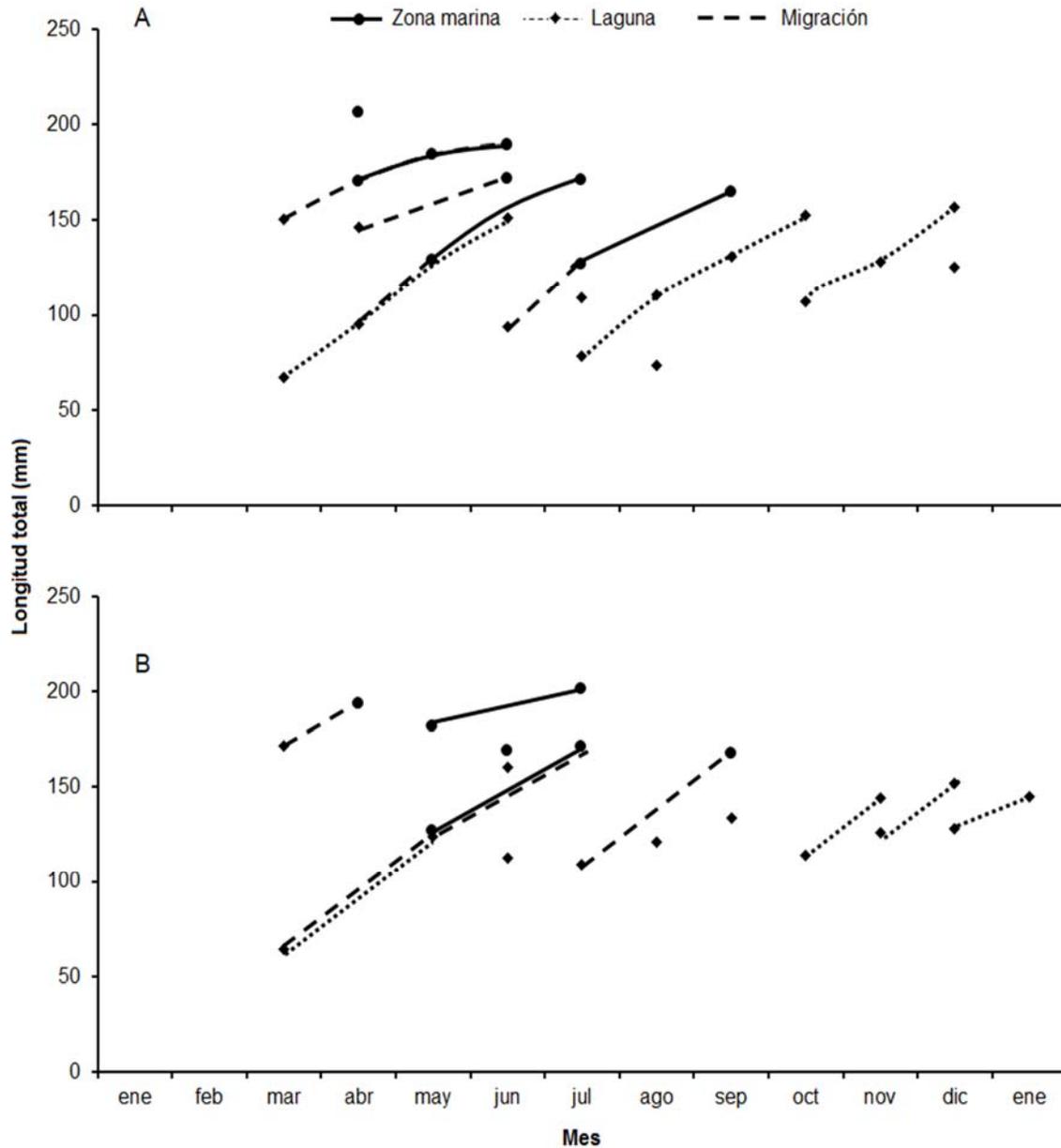


Figura 4.9. Progresión modal de *P. stylirostris*, A, hembras y B, machos recolectadas en el sistema lagunar Agiabampo, y zona marina adyacente, Sinaloa-Sonora, México de enero de 2002 a enero de 2003.

En machos, los cuatro primeros modelos son el de Johnson, de von Bertalanffy, el de Gompertz y el generalizado de von Bertalanffy. El mejor ajuste se presenta con el modelo de Johnson con un peso de Akaike de 100% (Cuadro IV.12).

Cuadro IV.12. Valores AIC_c , σ , Δ_i y w_i (%) para selección del mejor modelo de crecimiento de machos de *P. stylirostris* en la laguna Agiabampo y zona marina adyacente (* mejor ajuste).

MODELO	AIC_c	σ	Δ_i	w_i (%)
Johnson*	243.35	4.66	0.00	100
MCVB	255.20	5.41	11.86	0
Gompertz	255.96	5.46	12.62	0
GVB	258.30	5.45	14.95	0
Richards	261.06	5.46	17.72	0
Logístico	281.67	7.53	38.32	0

Parámetros de crecimiento

El Cuadro IV.13 muestra los parámetros para los cuatro primeros modelos, según su AIC_c para hembras de *P. stylirostris*; el modelo de Johnson ($L_\infty = 289.5\text{mm}$) y MCVB ($L_\infty = 247.5$) son los que presentan mayor longitud asintótica, seguido por el de Gompertz ($L_\infty = 185.3\text{ mm}$) y por último el GVB ($L_\infty = 185.4\text{ mm}$). Mientras que el modelo de Gompertz ($k = 7.652$) y el GVB ($k = 7.624$) presentan los mayores coeficientes de crecimiento, en tanto que, el modelo Johnson ($k = 3.483$) y el MCVB ($k = 2.476$) son los que presentan los menores valores.

En lo que se refiere a machos de *P. stylirostris*; el modelo de Johnson es el que presenta mayor longitud asintótica ($L_\infty = 343.5\text{ mm}$), le sigue el MCVB ($L_\infty = 293.9\text{ mm}$) y valores semejantes para el GVB ($L_\infty = 208.2\text{ mm}$) y el de Gompertz ($L_\infty = 208.0\text{ mm}$). En lo que respecta al coeficiente de crecimiento el modelo de Gompertz ($k = 6.044$) y el GVB ($k = 6.020$) presentan valores similares, le sigue el de Johnson ($k = 2.501$) mientras que el MCVB ($k = 1.8086$) fue el de menor valor (Cuadro IV.14).

Cuadro IV.13. Parámetros para los primeros cuatro modelos, según su AIC_c , en hembras de *P. stylirostris* en SLA y zona marina adyacente.

MODELO	k	L_∞	t_0	t^*	D	A
Johnson	3.483	289.5	-0.030	0.113		
MCVB	2.476	247.5	0.035			
Gompertz	7.652	185.3		0.185		
GVB	7.624	185.4	-0.525	0.184	223.8	
Richards	7.651	185.3	0.022		23155.5	6658.6
Logístico	13.360	172.5	0.230			

Cuadro IV.14. Parámetros para los seis modelos considerados, en machos de *P. stylirostris* en SLA y zona marina adyacente.

MODELO	k	L_∞	t_0	t^*	D	A
Johnson*	2.501	343.5	-0.059	0.141		
MCVB	1.808	293.9	0.033			
Gompertz	6.044	208.0		0.229		
MGCVB	6.020	208.2	-0.660	0.229	210.8	
Richards	6.044	208.0	0.022		23709.0	6785.8
logístico	11.095	189.7	0.284			

Curvas de crecimiento

En lo que respecta a *P. stylirostris*, los modelos de Johnson y el MCVB, cuentan con el valor de asíntota muy alto, pero son los que mejor describen el crecimiento en hembras, aunque el Gompertz, el GVB, el Richards y el Logístico se acercan a la asíntota (fig. 4.10A). Mientras que en machos los modelos de Johnson y el MCVB, no alcanzan la asíntota, sin embargo, los modelos GVB, Gompertz, Richards y el

Logístico ya han alcanzado la asíntota. Los modelos que mejor describen el crecimiento son el Johnson y el MCVB (fig. 4.10B).

Métodos no convencionales

El Cuadro IV.15, muestra los valores de AIC_c para *P. stylirostris*, en hembras el modelo de Gompertz fue el mejor en los métodos dependiente y compensatorio, mientras que en el método de cola gorda fue el modelo de Johnson. De los tres métodos el de cola gorda fue el que menor AIC_c presentó de los otros dos criterios. En lo que respecta a los machos, el modelo de Johnson resultó ganador en los criterios dependiente y de cola gorda y el modelo de Gompertz en el método compensatorio.

Parámetros de crecimiento

Los parámetros de crecimiento de *P. stylirostris* se muestran en el Cuadro IV.16. Para hembras el modelo de Johnson con criterio cola gorda resultó con la mayor longitud asíntótica ($L_\infty = 290.6$ mm) y el modelo de Gompertz con criterio dependiente fue el menor ($L_\infty = 169.4$). Con respecto a los coeficientes de crecimiento, el modelo de Gompertz con criterio dependiente presenta el mayor valor anualizado ($k = 9.44$) y el modelo de Johnson con criterio cola gorda presenta el menor valor ($k = 3.46$). En machos, la longitud asíntótica mayor se presentó con el modelo de Johnson con criterio dependiente ($L_\infty = 406.6$ mm), mientras que la menor fue con el modelo de Gompertz con criterio compensatorio ($L_\infty = 224.8$ mm). En lo que respecta al coeficiente de crecimiento el modelo de Gompertz con criterio compensatorio presentó el mayor valor ($k = 4.60$) y el menor valor con el de Johnson criterio dependiente ($k = 1.96$).

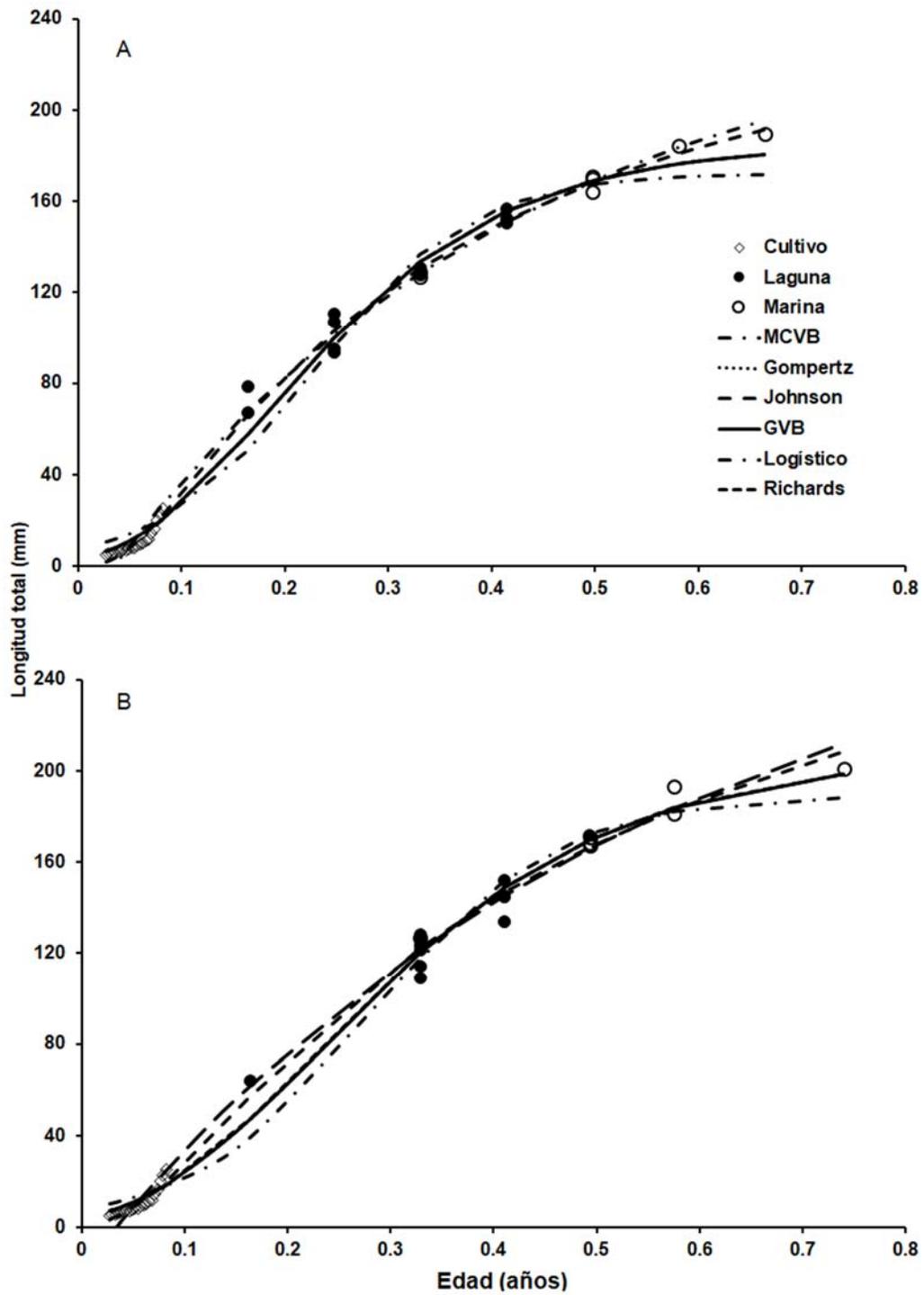


Figura 4.10. Curvas de crecimiento generadas para los seis modelos candidatos, A, hembras y B, machos de *P. stylirostris* en el sistema lagunar Agiabampo, Sinaloa-Sonora, México.

Cuadro IV.15. Valores AIC_c , σ , Δ_i y w_i (%) enfoque multicriterio para la selección del mejor modelo de crecimiento de *P. stylirostris* en la laguna Agiabampo y zona marina adyacente (* mejor ajuste).

sexo	Criterio	Modelo	AIC_c	σ	Δ_i	$w_i(\%)$
Hembras	Depensatorio	Gompertz*	236.4	7.13	0.00	79
		GVB	239.0	7.06	2.65	21
		Johnson	251.1	7.13	14.76	0
		MCVB	417.6	47.44	181.24	0
	Compensatorio	Gompertz*	291.8	10.73	0.00	84
		GVB	295.1	11.14	3.37	16
		MCVB	331.9	12.08	40.13	0
		Johnson	383.5	5.22	91.75	0
	Cola gorda	Johnson*	213.5	3.80	0.00	92
		GVB	218.5	3.80	4.93	8
		MCVB	240.7	5.12	27.19	0
		Gompertz	245.3	5.75	31.74	0
Machos	Depensatorio	Johnson*	241.5	5.50	0.00	50
		Gompertz	242.0	9.97	0.51	39
		GVB	244.5	9.86	3.00	11
		MCVB	420.1	50.48	178.63	0
	Compensatorio	Gompertz*	316.6	11.57	0.00	79
		GVB	319.2	11.50	2.63	21
		MCVB	372.7	9.56	56.12	0
		Johnson	404.3	26.99	87.74	0
	Cola gorda	Johnson*	229.8	4.67	0.00	71
		GVB	231.5	4.67	1.76	29
		Gompertz	242.4	5.47	12.64	0
		MCVB	244.4	5.42	14.67	0

Cuadro IV.16. Parámetros para los modelos candidatos, clasificados según su AIC_c, para *P. stylirostris* en SLA y zona marina adyacente.

sexo	Criterio	Modelo	k	L_{∞}	t_0	t^*	D
Hembras	Depensatorio	Gompertz*	9.44	169.4		0.164	
		GVB	9.36	169.8	-0.391	0.164	181.8
		Johnson	2.15	396.8	-0.074	0.158	
		MCVB	18.87	78.0	0.045		
	Compensatorio	Gompertz*	5.64	202.1		0.188	
		GVB	5.57	202.3	-0.650	0.185	105.1
		MCVB	3.27	221.3	0.059		
		Johnson	4.52	260.6	-0.001	0.110	
	Cola gorda	Johnson*	3.46	290.6	-0.031	0.114	
		GVB	4.37	209.7	0.014	0.130	1.7
		MCVB	2.46	248.4	0.036		
		Gompertz	7.56	186.4		0.188	
	Machos	Depensatorio	Johnson*	1.96	406.6	-0.085	0.171
Gompertz			8.80	171.0		0.173	
GVB			8.72	171.5	-0.419	0.174	174.8
MCVB			18.79	81.6	0.045		
Compensatorio		Gompertz	4.60	224.8		0.224	
		GVB	4.60	224.8	-1.199	0.224	700.0
		MCVB	2.42	254.3	0.053		
		Johnson	9.49	192.0	-0.013	0.039	
Cola gorda		Johnson*	2.56	339.4	-0.057	0.139	
		GVB	3.63	230.2	0.008	0.149	1.7
		Gompertz	6.11	207.6		0.229	
		MCVB	1.81	295.2	0.033		

Curvas de crecimiento

Las curvas calculadas con el criterio de cola gorda sí presenta el mismo patrón de crecimiento, además de las hembras con el criterio compensatorio. Cabe destacar que en el criterio depensatorio, las curvas no describen un crecimiento adecuado a

los datos, el MCVB presenta una longitud asíntota menor a la de los datos observados y a las demás curvas de los otros modelos (fig. 4.11).

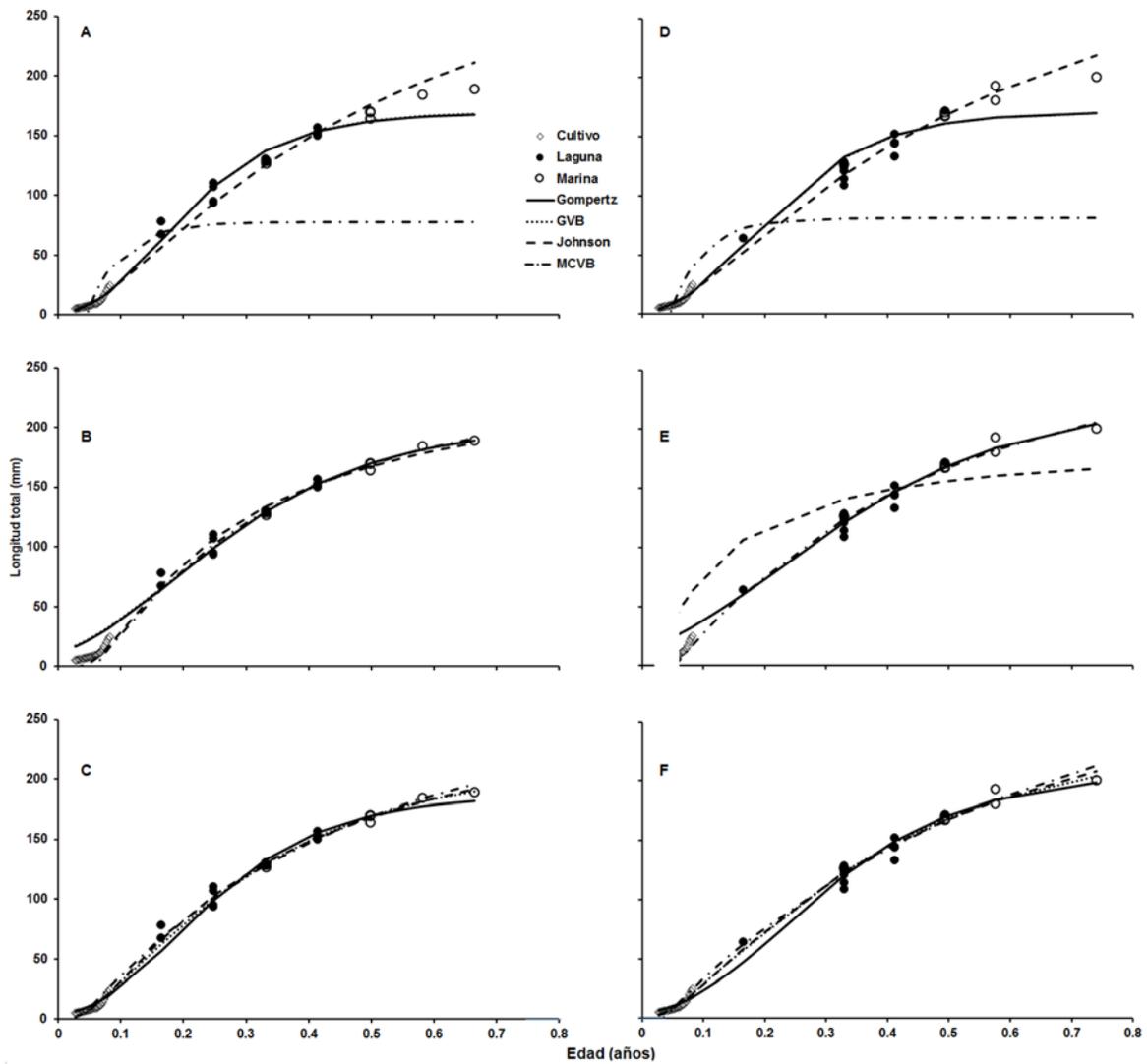


Figura 4.11. Curvas de crecimiento multicriterio, A y D, criterio depensatorio, B y E, criterio compensatorio; C y F, criterio cola gorda, para hembras (A, B y C) y machos (D, E y F) de *P. stylirostris* en SLA y zona costera adyacente.

Criterio Mixto Cola gorda-Depensatorio (MCGD)

En *P. stylirostris* con criterio MCGD, en hembras el modelo ganador fue el Gompertz con un AIC_c de 212.5 con un peso de Akaike de 78%, le sigue el GVB con AIC_c de

214.6 y un peso de 22% (Cuadro IV.17). Mientras que para los machos el mejor modelo fue el Gompertz con un AIC_c de 205.6 y peso de 73%, le sigue el GVB con 208.1 de AIC_c y 21% de w_i (Cuadro IV.18).

Cuadro IV.17. Valores AIC , σ , Δ_i y w_i (%) para selección del mejor modelo de crecimiento de hembras de *P. stylirostris*, con el criterio MCGD, en la laguna Agiabampo y zona marina adyacente (* mejor ajuste).

MODELO	AIC_c	σ	Δ_i	w_i (%)
Gompertz	212.1	6.14	0.00	78
GVB	214.6	7.66	2.51	22
Johnson	231.1	7.66	19.03	0
MCVB	391.1	29.21	179.10	0

Cuadro IV.18. Valores AIC , σ , Δ_i y w_i (%) para selección del mejor modelo de crecimiento de machos de *P. stylirostris*, con el criterio MCGD, en la laguna Agiabampo y zona marina adyacente (* mejor ajuste).

MODELO	AIC_c	σ	Δ_i	w_i (%)
Gompertz	205.6	5.88	0.00	73%
MCGVB	208.1	7.15	2.49	21%
Jonhson	219.0	7.15	13.37	0%
MCVB	394.0	31.68	188.38	0%

Parámetros de crecimiento

El *P. stylirostris* los parámetros calculados con el método mixto presenta las mayores longitudes asintóticas con el modelo de Johnson y los menores valores con el MCVB, tanto en hembras como en machos, mientras que el modelo de Gompertz y el modelo GVB presentan valores similares. Así como también, los

coeficientes de crecimiento presentan los menores valores con el modelo de Johnson, los más altos valores resultan con el MCVB (Cuadro IV.19).

Cuadro IV.19. Parámetros para los modelos candidatos calculados con criterio MCGD, clasificados según su AIC_c , para *P. stylirostris* en SLA y zona marina adyacente.

sexo	Modelo	k	L_{∞}	t_0	t^*	D
Hembras	Gompertz	8.22	180.8		0.185	
	GVB	8.16	181.4	-0.631	0.186	790.2
	Johnson	2.05	410.1	-0.078	0.165	
	MCVB	7.84	118.7	0.056		
Machos	Gompertz	6.56	202.4		0.227	
	GVB	6.52	203.1	-0.738	0.228	541.4
	Johnson	1.65	472.0	-0.103	0.201	
	MCVB	8.46	119.5	0.056		

La figura 4.12 muestra las curvas calculadas con el criterio MCGD para *P. stylirostris*, en las cuales, se observa que las curvas de los modelos de Gompertz y GVB presentan el mismo patrón tanto para hembras como en machos. Las curvas del modelo de Johnson muestra que su longitud asintótica es muy alta, mientras que el modelo de Von Bertalanffy ya alcanzo la asíntota.

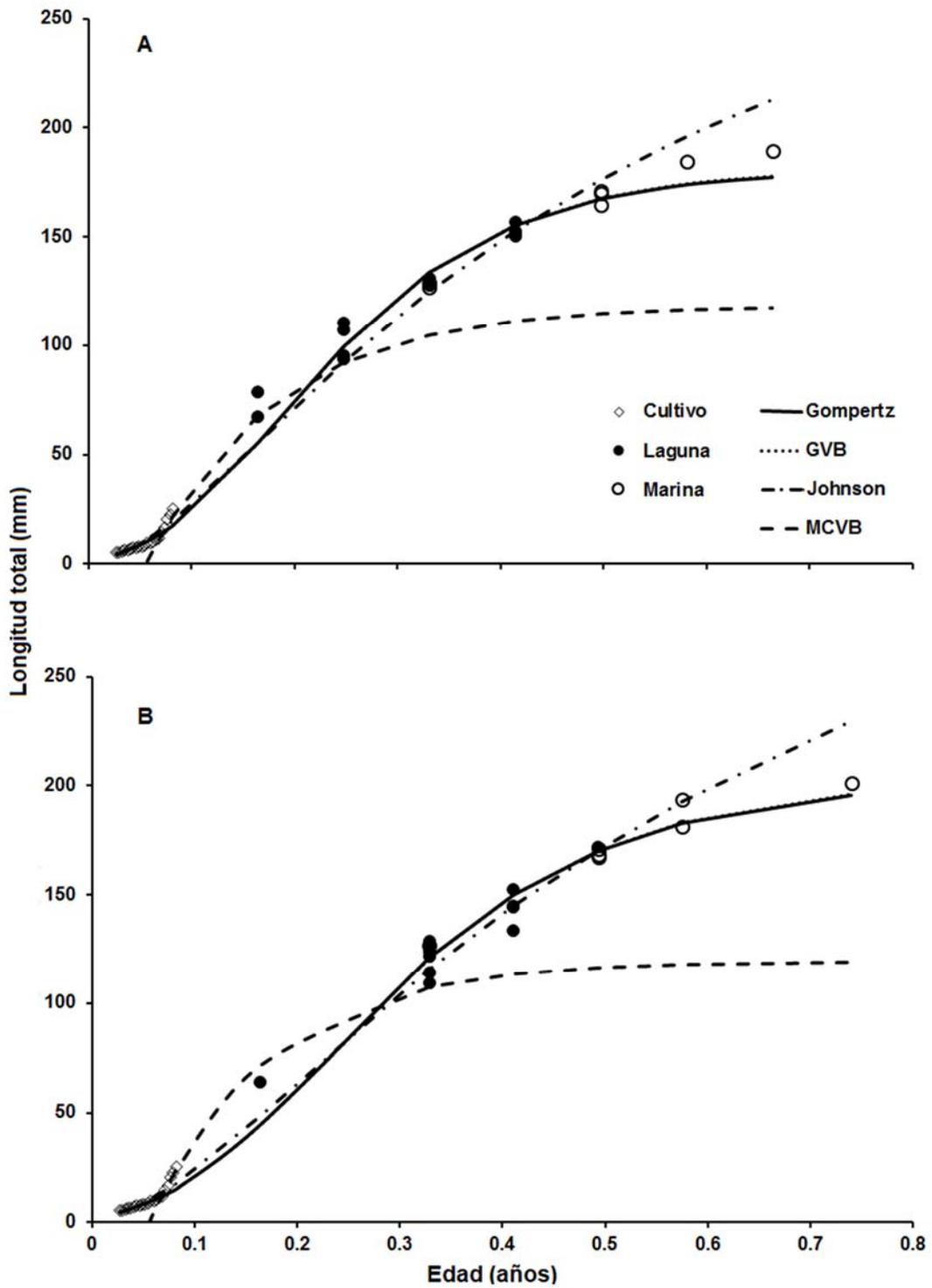


Figura 4.12. Curvas de crecimiento calculadas con el criterio MCGD, A hembras y B machos de *P. stylirostris* en SLA y zona costera adyacente.

El Cuadro IV.20, muestra la comparación multicriterio para las hembras de *P. stylirostris*. Ahí se observa que, el modelo con el menor AIC fue el Gompertz, parametrizado con el criterio de MCGD. El parámetro $k = 8.22$ (8.11 - 8.33) presentó diferencias significativas con los otros tres criterios. La longitud asintótica fue de $L_{\infty} = 180.8$ (175.1 - 186.7) y presentó diferencias significativas con los otros criterios a excepción del depensatorio. El parámetro $t^* = 0.185$ (0.184 - 0.187) también presentó diferencias significativas con los otros criterios. Asimismo, en los machos el menor AIC lo obtuvo con el modelo Gompertz, también con el criterio MCGD. El coeficiente de crecimiento $k = 6.56$ (6.51 - 6.60) presentó diferencias significativas con los demás criterios. La $L_{\infty} = 202.4$ (198.3 - 206.6), también presentó diferencias significativas con los demás criterios. El punto de inflexión $t^* = 0.227$ (0.226 - 0.228), también es diferente de los otros criterios con excepción del compensatorio.

Curvas de crecimiento

Las curvas de *P. stylirostris*, muestran una clara forma sigmoideal, en hembras se observa que las curvas presentan el mismo patrón, con modelo mixto muestra longitud asintótica como un promedio de los demás criterios, mientras que, en machos, el modelo común fue el de Johnson. Sin embargo, en el criterio mixto, el modelo ganador fue el de Gompertz y presenta una longitud asintótica menor.

Cuadro IV.20. Parámetros e intervalos de confianza para los modelos de crecimiento ganadores con enfoque multicriterio de *P. stylirostris* para hembras y machos en SLA y zona marina adyacente.

	Modelo	k	L_{∞}	t_0	t^*
Hembras	Convencional	3.48	289.5	-0.030	0.113
	(Johnson)	(3.43 - 3.54)	(285.9 - 293.1)	(-0.033 - -0.027)	
	Depensatorio	9.44	169.4		0.164
	(Gompertz)	(9.28 - 9.58)	(162.9 - 175.9)		(0.163 - 0.166)
	Compensatorio	5.64	202.1		0.188
	(Gompertz)	(5.47 - 5.82)	(200.2 - 204.2)		(0.182 - 0.193)
	Cola gorda	3.46	290.6	-0.031	0.114
	(Johnson)	(3.41 - 3.51)	(287.1 - 294)	(-0.033 - -0.028)	
Machos	MCGD	8.22	180.8		0.185
	(Gompertz)	(8.11 - 8.33)	(175.1 - 186.7)		(0.184 - 0.187)
	Convencional	2.50	343.5	-0.059	0.141
	(Johnson)	(2.46 - 2.54)	(338.6 - 348.4)	(-0.064 - -0.055)	
	Depensatorio	1.96	406.6	-0.085	0.171
	(Johnson)	(1.94 - 1.98)	(390.5 - 422.6)	(-0.086 - -0.084)	
	Compensatorio	4.60	224.8		0.224
	(Gompertz)	(4.44 - 4.76)	(222.1 - 227.5)		(0.218 - 0.231)
Cola gorda	2.56	339.4	-0.057	0.139	
(Johnson)	(2.52 - 2.6)	(334.8 - 344.5)	(-0.061 - -0.053)		
MCGD	6.56	202.4		0.227	
(Gompertz)	(6.51 - 6.60)	(198.3 - 206.6)		(0.226 - 0.228)	

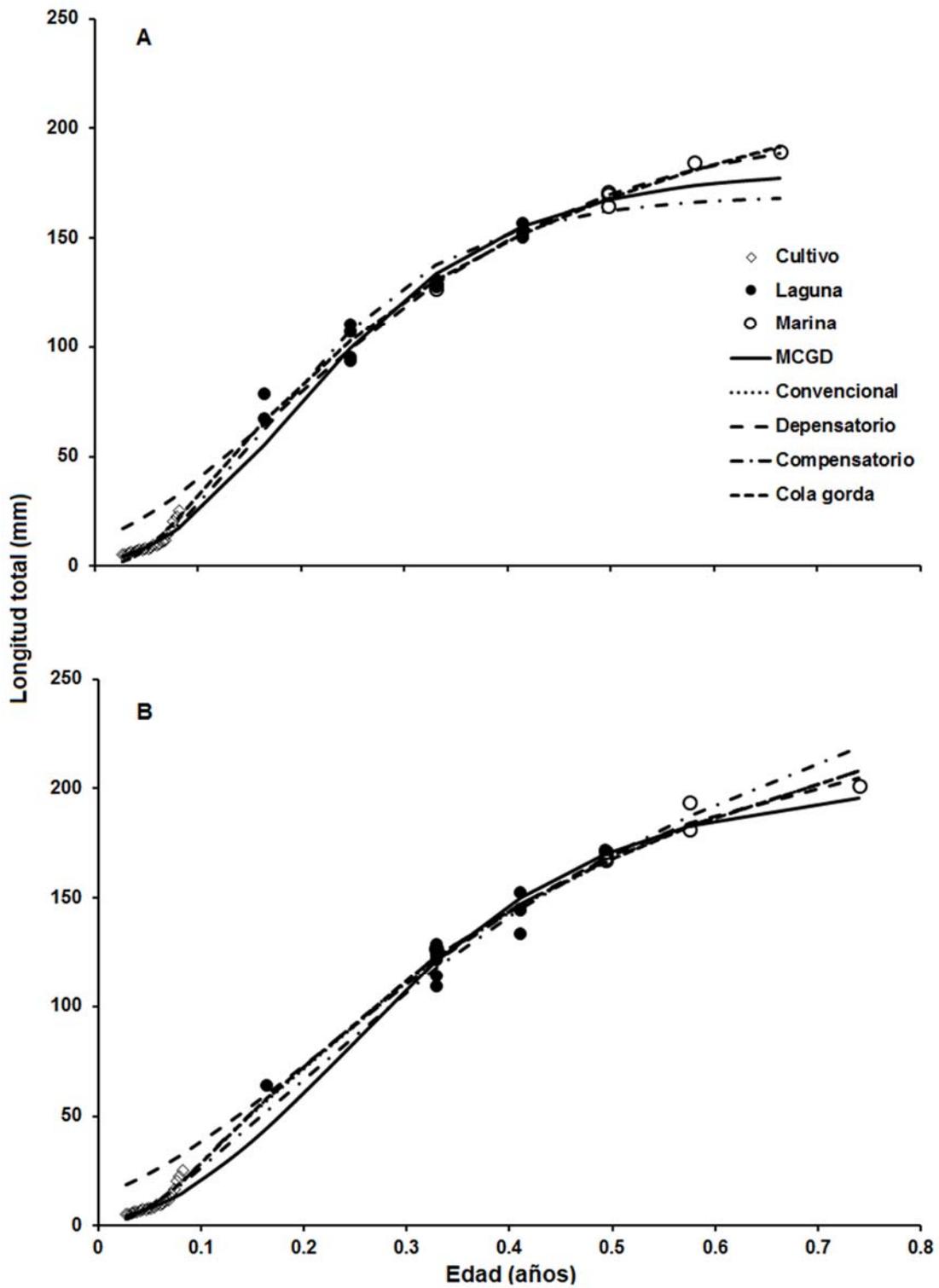


Figura 4.13. Comparación multicriterio de las curvas de crecimiento para, A, hembras y B, machos de *P. stylirostris* en SLA y zona costera adyacente.

4.3.2. SISTEMA LAGUNAR HUIZACHE-CAIMANERO

La figura 4.14 muestra las distribuciones de talla de los juveniles de *P. vannamei* en la laguna Huizache-Caimanero, de julio a septiembre de 2015 y de septiembre a octubre de 2016. La distribución de las tallas para julio-agosto de 2015 estuvieron de 40 a 165 mm, mientras que, en septiembre de 2015, las tallas se distribuyen de 70 a 150 mm. Sin embargo, para septiembre octubre de 2016 las distribuciones de las tallas estuvieron de 75 a 140 mm.

En los muestreos de la flota camaronera por observadores a bordo, en la zona costera se midieron un total de 6,162 camarones, de los cuales 1,198 corresponden a la temporada 1990-1991, con distribución de tallas de 56 a 151 mm de longitud abdominal, 1,914 a la temporada de 1991-1992, con tallas de 51 a 136 mm, 1,750 provienen de la temporada 1992-1993 con distribuciones también de 51 a 136 mm y por último 1,300 son de la temporada 1993-1994, con una distribución de talla de 86 a 141 mm de longitud de cola (fig. 4.15).

Progresión de las medias

Las medias de las cohortes estuvieron alrededor de los 70 mm y medias máximas de 130 mm de longitud total, para los juveniles de *P. vannamei* en la laguna huizache-caimanero con tres cohortes (fig. 4.16). Mientras para los adultos de la plataforma continental capturados por la flota comercial, estuvieron entre 100 y 200 mm de longitud total, los cuales definieron 9 cohortes (fig. 4.17).

Crecimiento

En el análisis multimodelo para *P. vannamei*, los cuatro primeros modelos son el generalizado de von Bertalanffy, el MCVB, el de Johnson y el de Gompertz. El mejor ajuste se presenta con el modelo GVB con un AICc de 441.7y un peso de Akaike de 89% (Cuadro IV.21).

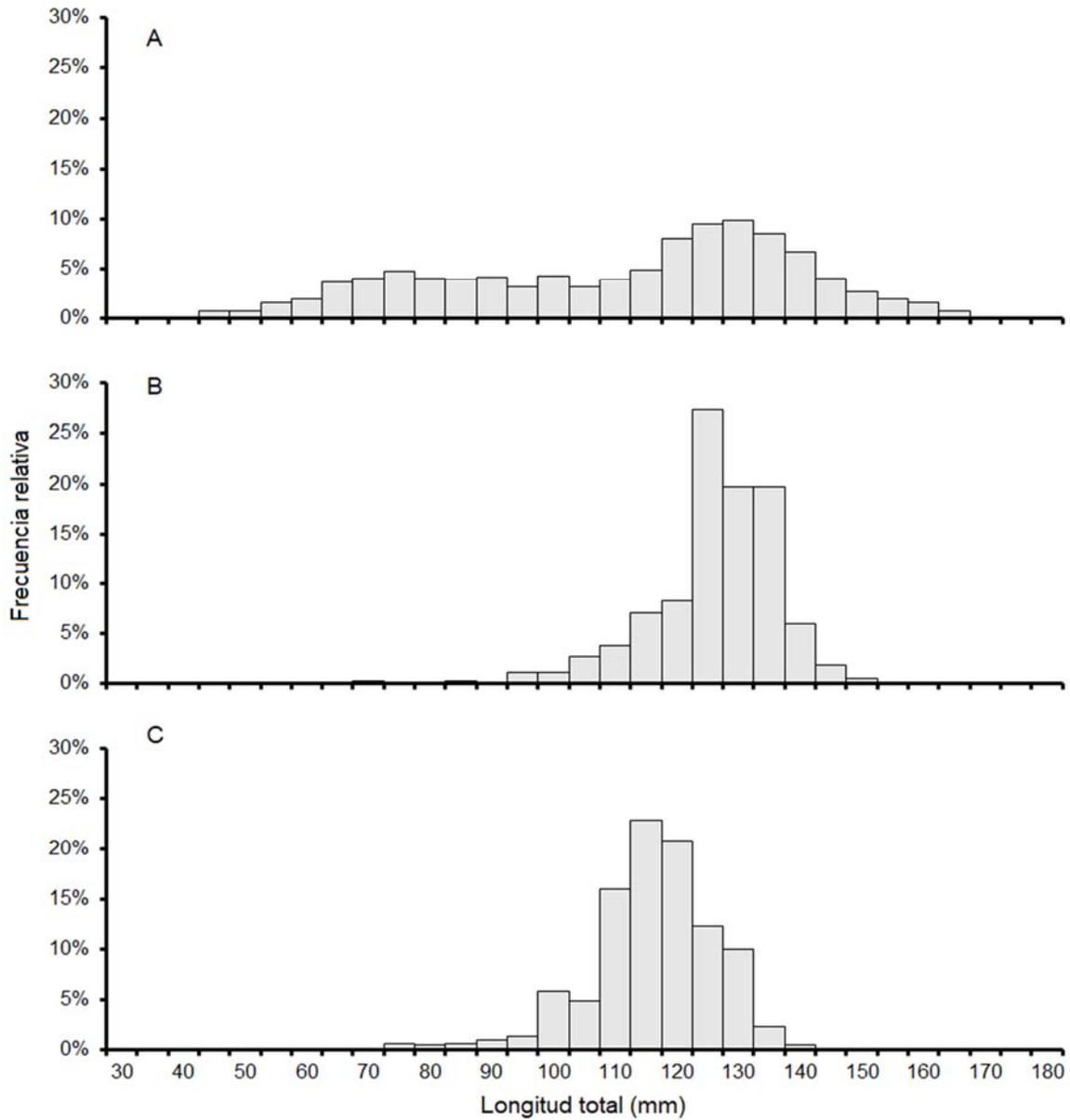


Figura 4.14. Distribución de frecuencia de tallas para juveniles en LHC, A, julio-agosto de 2015 (INAPESCA, 2015), B, septiembre 2015 y C, septiembre-octubre de 2016.

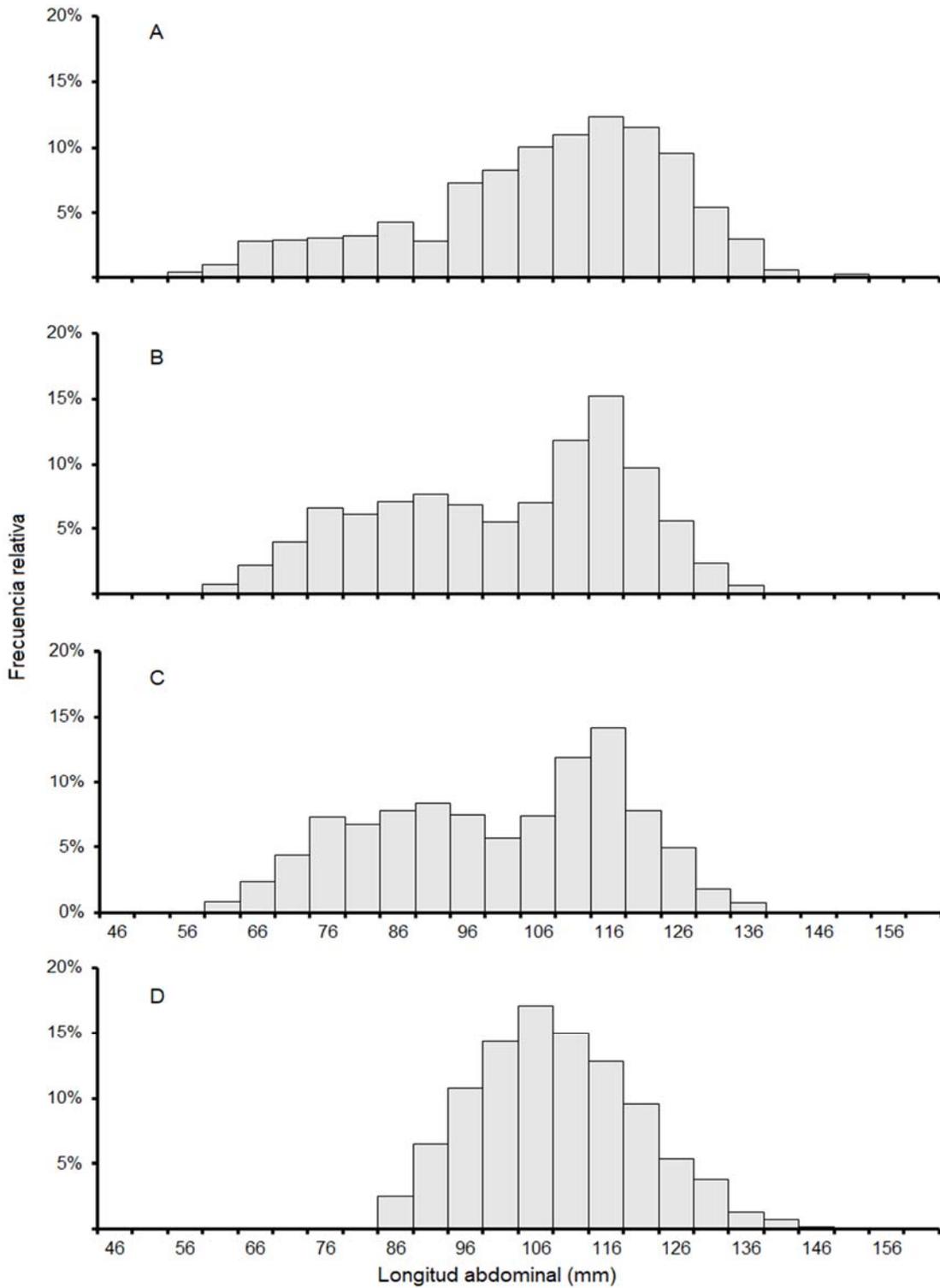


Figura 4.15. Distribución de frecuencia de tallas para los camarones capturados por la flota comercial en el sur de Sinaloa, A, temporada 1990-91, B, temporada 1991-92, C, temporada 1992-93, y D, Temporada 1993-94.

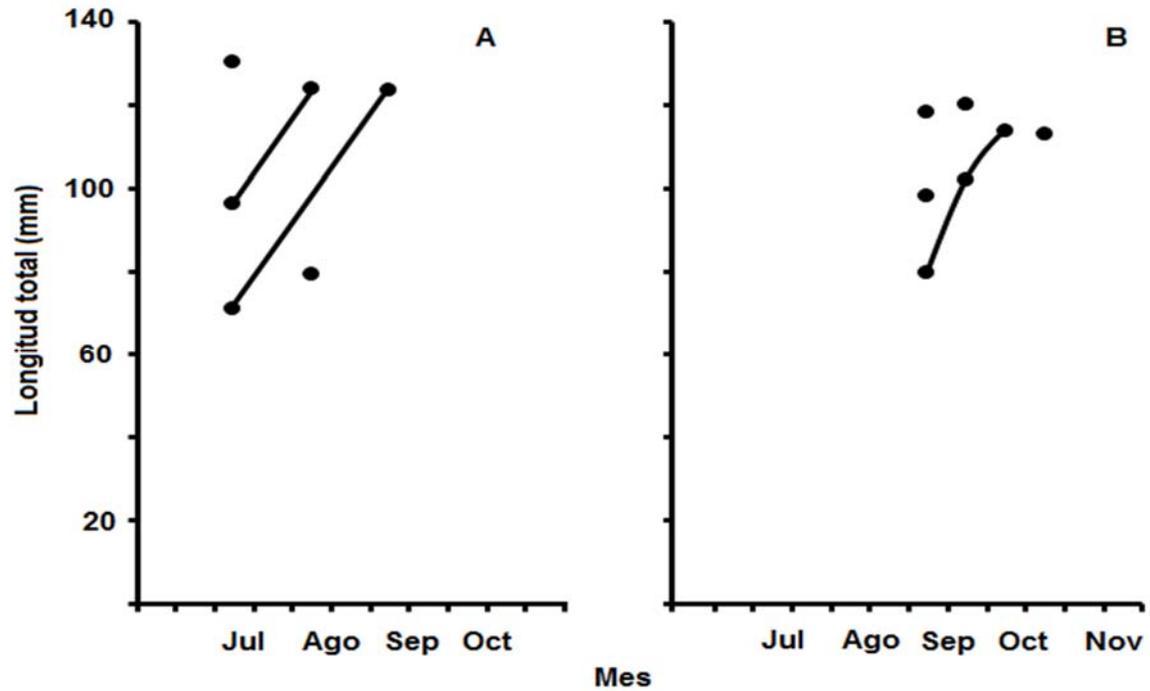


Figura 4.16. Progresión modal para juveniles de *P. vannamei* en la laguha Huizache-Caimanero, Sinaloa. A, julio-agosto 2015 (INAPESCA 2015) y septiembre 2015, y B, de septiembre a octubre de 2016.



Figura 4.17. Progresión modal para adultos de *P. vannamei* capturados en la zona costera del sur de Sinaloa, en las temporadas, A, 1990-91, B, 1991-92, C, 1992-93 y D, 1993-1994.

Cuadro IV.21. Valores AIC_c , σ , Δ_i y w_i (%) para selección del mejor modelo de crecimiento *P. vannamei* en la laguna Huizache-Caimanero y zona marina adyacente (* mejor ajuste).

MODELO	AIC_c	σ	Δ_i	w_i (%)
GVB*	441.7	5.84	0.00	89%
MCVB	447.0	6.18	5.31	6%
Johnson	447.4	6.19	5.66	5%
Gompertz	471.1	7.37	29.37	0%
Richards	475.7	7.37	33.96	0%
Logístico	512.7	10.02	71.04	0%

Parámetros de crecimiento

El Cuadro IV.22 muestra los parámetros de crecimiento para cada uno de modelos en *P. vannamei*. El modelo de Johnson, es el que presenta mayor longitud asintótica ($L_\infty = 264.0$ mm), seguido por el MCVB ($L_\infty = 216.4$), GVB ($L_\infty = 200.8$ mm), el de Gompertz y el de Richard ($L_\infty = 186.3$ mm) y por último el Logístico ($L_\infty = 179.0$). Mientras que el modelo Logístico presenta el mayor coeficiente de crecimiento ($k = 8.46$), le siguen los modelos de Gompertz y de Richard ($k = 5.56$) y los que presentan los menores valores fueron el Johnson ($k = 3.17$) y el MCVB ($k = 2.36$).

Cuadro IV.22. Parámetros para modelos en *P. vannamei* en la laguna Huizache-Caimanero y zona marina adyacente.

MODELO	k	L_∞	t_0	t^*	D	A
GVB*	3.40	200.8	0.000	0.113	1.5	
MCVB	2.36	216.4	0.019			
Johnson	3.17	264.0	-0.042	0.115		
Gompertz	5.56	186.3		0.207		
Richards	5.56	186.3	0.021		16877.9	6002.5
Logístico	8.46	179.0		0.272		

Curvas de crecimiento

Las curvas presentan trayectorias diferentes, el modelo que mejor describe el crecimiento es el GVB. El modelo Gompertz, el de Richards y el Logístico sus curvas terminan debajo del modelo ganador, mientras que las curvas de los modelos MCVB y de Johnson están por encima (fig. 4.18).

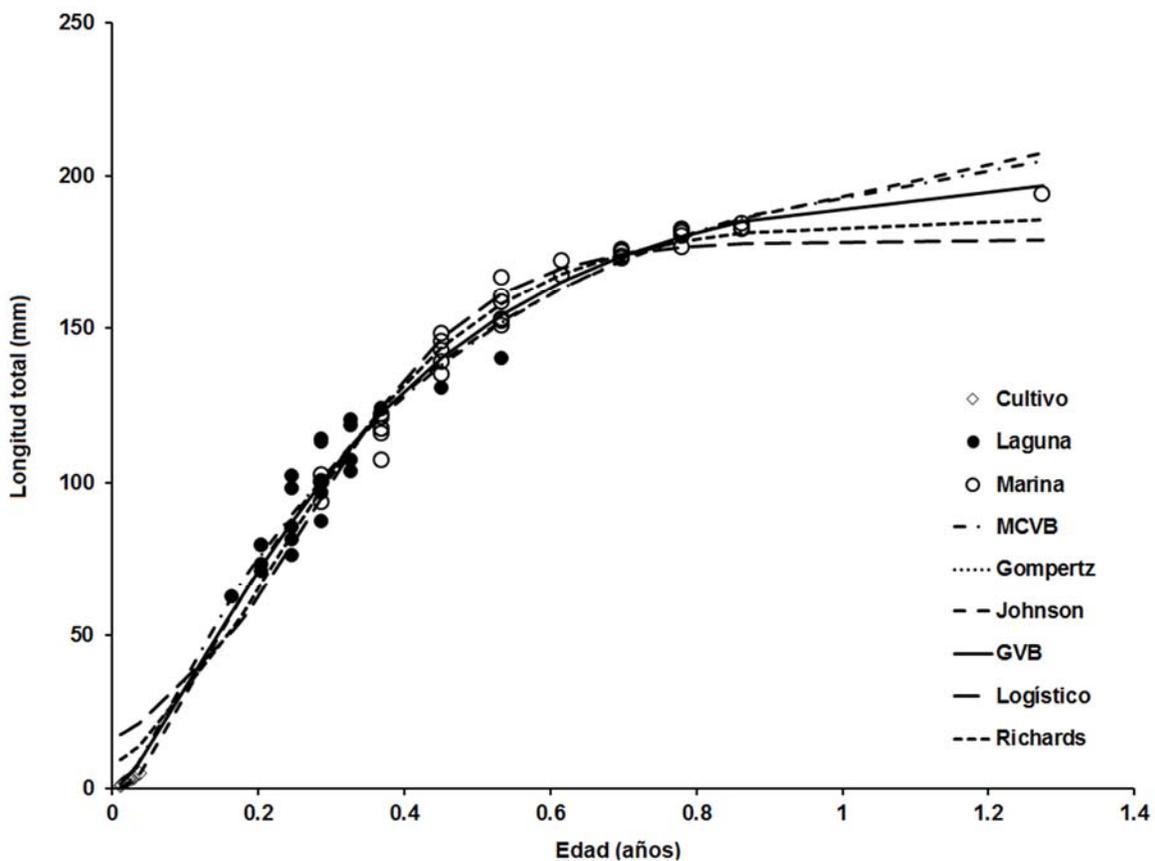


Figura 4.18. Curvas de crecimiento multimodelo calculadas para *P. vannamei* en la laguna Huizache-Caimanero y zona costera adyacente.

Métodos no convencionales

El Cuadro IV.23 muestra la clasificación de los modelos con la técnica multicriterio, en el se observa que para para *P. vannamei*, el modelo de Johnson fue el mejor para el método depensatorio, mientras que con el método compensatorio fue el de Gompertz y de cola gorda el modelo GVB fue el que mejor se ajustó a los datos. Sin embargo, el método de cola gorda fue el que menor AIC_c tuvo de los tres métodos (424.9).

Cuadro IV.23. Valores AIC , σ , Δ_i y w_i (%) enfoque multicriterio para la selección del mejor modelo de crecimiento de *P. vannamei* en la laguna Huizache-Caimanero y zona costera adyacente (* mejor ajuste).

Criterio	Modelo	AIC_c	σ	Δ_i	w_i (%)
Depensatorio	Johnson*	432.6	6.23	0.00	98
	GVB	440.2	6.60	7.59	2
	Gompertz	498.5	11.52	65.85	0
	MCVB	691.1	30.31	258.45	0
Compensatorio	Gompertz*	459.8	9.36	0.00	100
	GVB	485.3	6.18	25.49	0
	Johnson	503.1	7.66	43.26	0
	MCVB	511.7	6.30	51.90	0
Cola gorda	GVB*	424.9	6.19	0.00	66
	Johnson	427.6	6.19	2.65	18
	MCVB	427.8	6.18	2.82	16
	Gompertz	452.6	7.38	27.70	0

Los parámetros de crecimiento de *P. vannamei* se muestran en el Cuadro IV.24, ahí se observa que el modelo de Johnson con los tres criterios, resultó con la mayor longitud asintótica ($L_\infty = 269.6$ mm, Depensatorio; $L_\infty = 271.9$ mm, Compensatorio; y $L_\infty = 264.7$ mm, Cola gorda). Por su parte, el MCVB con criterio depensatorio fue

el de mayor coeficiente de crecimiento ($k = 18.87$), le siguen los coeficientes de crecimiento del modelo de Gompertz con criterio depensatorio ($k = 8.45$) y con criterio cola gorda ($k = 5.57$), mientras que el MCVB, con criterio cola gorda y con criterio compensatorio, presentan los menores valores ($k = 2.36$ y 2.51 , respectivamente).

Cuadro IV.24. Parámetros para los modelos candidatos clasificados según su AIC_c , para *P. vannamei* en laguna Huizache-Caimanero y zona marina adyacente.

Criterio	Modelo	k	L_∞	t_0	t^*	D
Depensatorio	Johnson*	3.01	269.6	-0.050	0.116	
	GVB	4.67	186.1	-0.009	0.151	2.1
	Gompertz	8.45	165.8		0.191	
	MCVB	18.87	78.0	0.045		
Compensatorio	Gompertz*	4.34	195.6		0.197	
	GVB	3.14	203.2	-0.011	0.095	1.4
	Johnson	2.72	271.9	-0.096	0.087	
	MCVB	2.51	211.1	0.021		
Cola gorda	GVB*	3.46	200.2	0.000	0.117	1.5
	Johnson	3.15	264.7	-0.044	0.115	
	MCVB	2.36	216.5	0.019		
	Gompertz	5.57	186.6		0.209	

Curvas de crecimiento

Las curvas de crecimiento en *P. vannamei* también muestran una clara forma sigmoideal, con el criterio depensatorio las curvas se muestran dispersas el modelo ganador presenta una curva elevada con respecto a las demás. Con el criterio compensatorio las curvas presentan el mismo patrón, aunque el modelo ganador las primeras tallas calculadas estén por arriba de los valores calculados. En el criterio de cola gorda el modelo ganador, muestra longitud asintótica como un promedio de los demás modelos, (fig. 4.19).

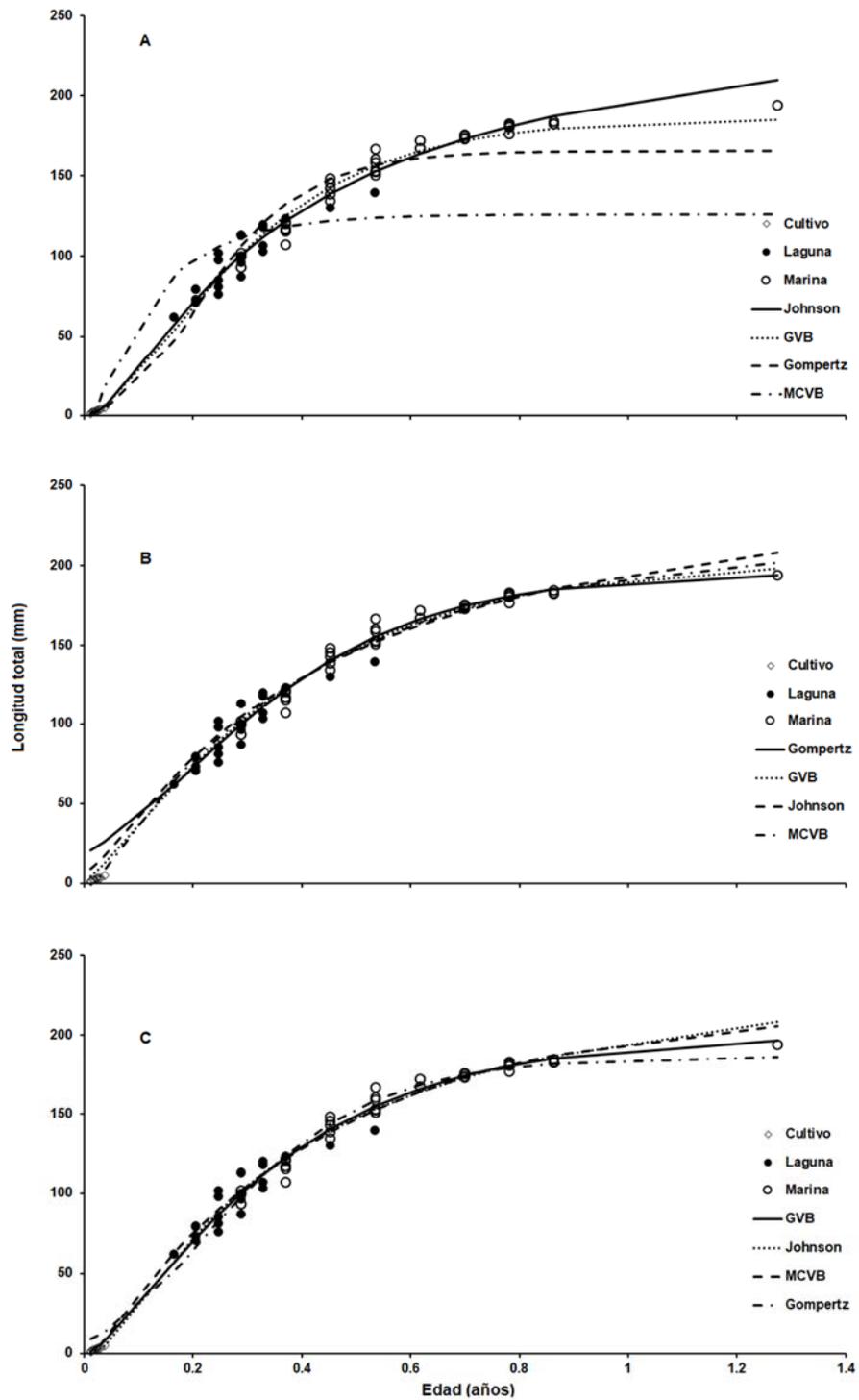


Figura 4.19. Curvas de crecimiento multicriterio calculadas para *P. vannamei* en la laguna Huizache-Caimanero y zona costera adyacente.

Criterio mixto cola gorda-depensatorio (MCGD)

En el análisis multimodelo para *P. vannamei* con criterio MCGD, el modelo ganador fue el Johnson con un AIC_c de 394.2 con un peso de Akaike de 90%, le sigue el GVB con AIC_c de 398.7 y un peso de 10% (Cuadro IV.25).

Cuadro IV.25. Valores AIC_c , σ , Δ_i y $w_i(\%)$ para selección del mejor modelo de crecimiento *P. vannamei*, con el criterio MCGD, en la laguna Huizache-Caimanero y zona costera adyacente (* mejor ajuste).

MODELO	AIC_c	σ	Δ_i	$w_i(\%)$
Johnson*	394.2	6.21	0.00	90
GVB	398.7	6.21	4.50	10
Gompertz	454.8	9.79	60.57	0
MCVB	510.6	6.31	116.33	0

Los parámetros calculados con el método mixto para *P. vannamei*, la mayor longitud asintótica ($L_\infty = 268.1$) se presenta con el modelo de Johnson y la longitud máxima menor se presenta con el Gompertz ($L_\infty = 172.3$ mm). En cuanto al coeficiente de crecimiento el valor anualizado más alto se presenta con el modelo de Gompertz ($k = 7.76$), mientras que el más bajo ($k = 7.76$) se dio con el MCVB (Cuadro IV.26).

Cuadro IV.26. Parámetros para los modelos candidatos calculados con el método Mixto, para *P. vannamei* en laguna Huizache-Caimanero y zona marina adyacente.

MODELO	k	L_∞	t_0	t^*	D
Johnson*	3.04	268.1	-0.049	0.115	
GVB	4.03	193.9	-0.003	0.142	1.8
Gompertz	7.76	172.3		0.205	
MCVB	2.21	222.8	0.018		

Curvas de crecimiento

Los modelos candidatos para el criterio MCGD en *P. vannamei*, describieron un patrón distinto, los modelos de Johnson y MCVB presentan una curva elevada. Mientras que la curva del modelo de Gompertz en más aplanada (fig. 4.20).

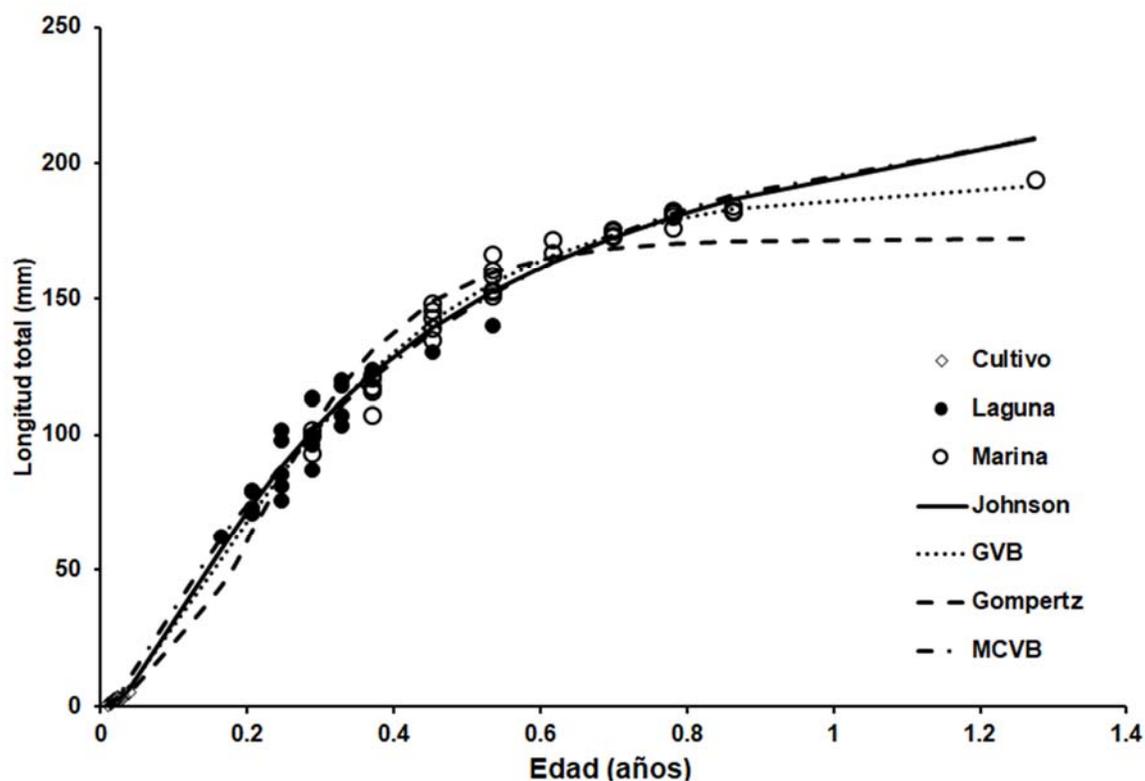


Figura 4.20. Curvas de crecimiento calculadas con el enfoque MCGD para *P. vannamei* en la laguna Huizache-Caimanero y zona costera adyacente.

Comparación multicriterio

En el análisis multicriterio para *P. vannamei*, el modelo con el menor AIC_c fue el Johnson, parametrizado con el criterio de MCGD. El coeficiente de crecimiento solo se comparó con el de los modelos comunes, en el MCGD $k = 3.04$ (3.01 - 3.07) presentó diferencias significativas con el criterio compensatorio. La longitud

asintótica fue de $L_{\infty} = 268.1$ (264.1 – 272.2) también presentó diferencias significativas con el convencional, compensatorio y de cola gorda. El parámetro t_0 del modelo mixto, también se comparó con el de modelos comunes, en el MCGD $t_0 = -0.049$ (-0.05 - -0.048), presentó diferencias significativas con el convencional (Cuadro IV.27).

Cuadro IV.27. Parámetros e intervalos de confianza para los modelos de crecimiento ganadores con enfoque multicriterio de *P. vannamei* en LHC y zona marina adyacente (a<b<c).

Criterio	k	L_{∞}	t_0	t^*
Convencional	3.40 ^b	200.8 ^b	0.000 ^b	0.113
(Johnson)	(3.34 - 3.46)	(198.7 - 203.0)	(-0.005 - 0.006)	
Depensatorio	3.01 ^a	269.6 ^c	-0.050 ^a	0.116
(Johnson)	(2.99 - 3.04)	(265.0 - 274.2)	(-0.051 - -0.049)	
Compensatorio	4.34	195.6 ^a		0.197
(Gompertz)	(4.21 - 4.47)	(194.0 - 197.2)		(0.191 - 0.204)
Cola gorda	3.46	200.2 ^b	0.000	0.117
(GVB)	(3.37 - 3.55)	(197.4 – 203.0)	(-0.007 - 0.008)	
MCGD	3.04 ^a	268.1 ^c	-0.049 ^a	0.115
(Johnson)	(3.01 - 3.07)	(264.1 – 272.2)	(-0.05 - -0.048)	

Las curvas de los modelos ganadores con los diferentes criterios para *P. vannamei* se muestran en la figura 4.21, en ella se observa que el criterio mixto, muestra una forma un poco sigmoideal y se encuentra en crecimiento, por lo cual, el punto de inflexión es cercano a cero y la curva es más elevada.

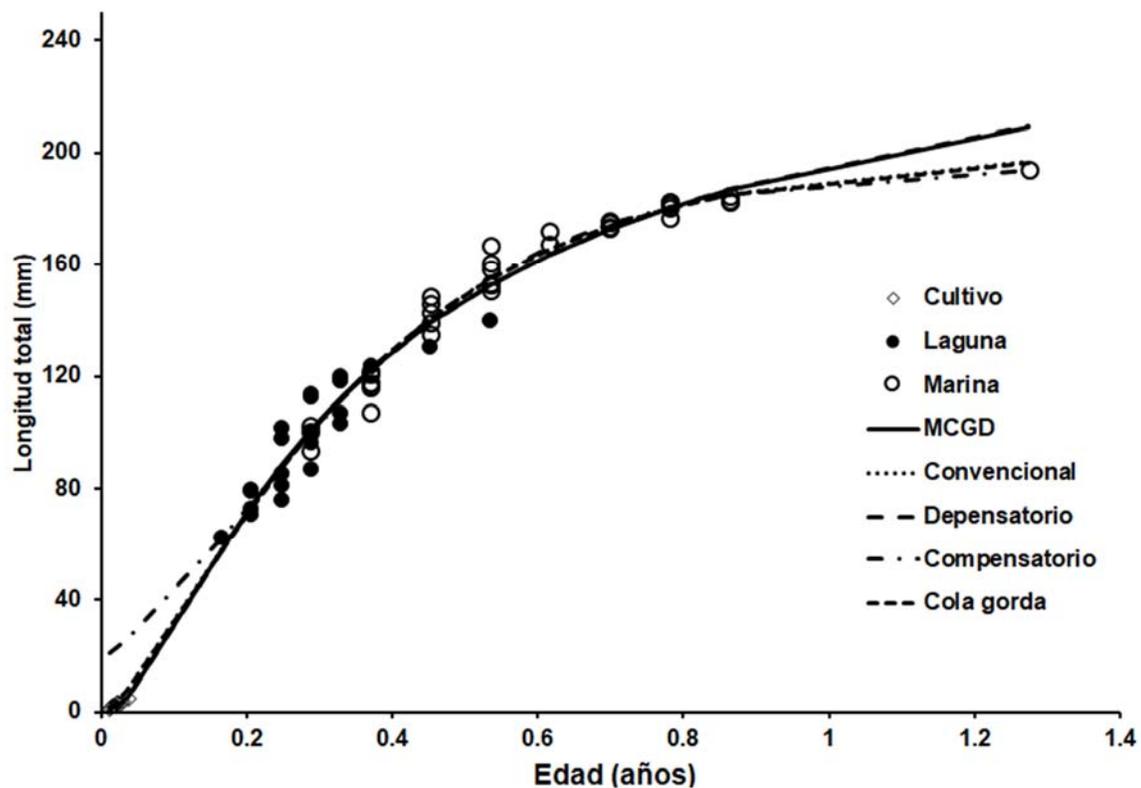


Figura 4.21. Comparación multicriterio de las curvas de crecimiento de *P. vannamei* en Huizache-Caimanero y zona costera adyacente.

4.3.3. SISTEMA LAGUNAR LAGUNA MAR MUERTO

Se midieron un total de 8,710 camarones, de los cuales 2,382 corresponden a la temporada 1990-1991, 1,089 a la temporada de 1991-1992, 3,467 de la temporada 1992-1993 y 1,772 provienen de la temporada 1993-1994. Con una distribución de talla de 41 a 136 mm de longitud de cola (fig. 4.22).

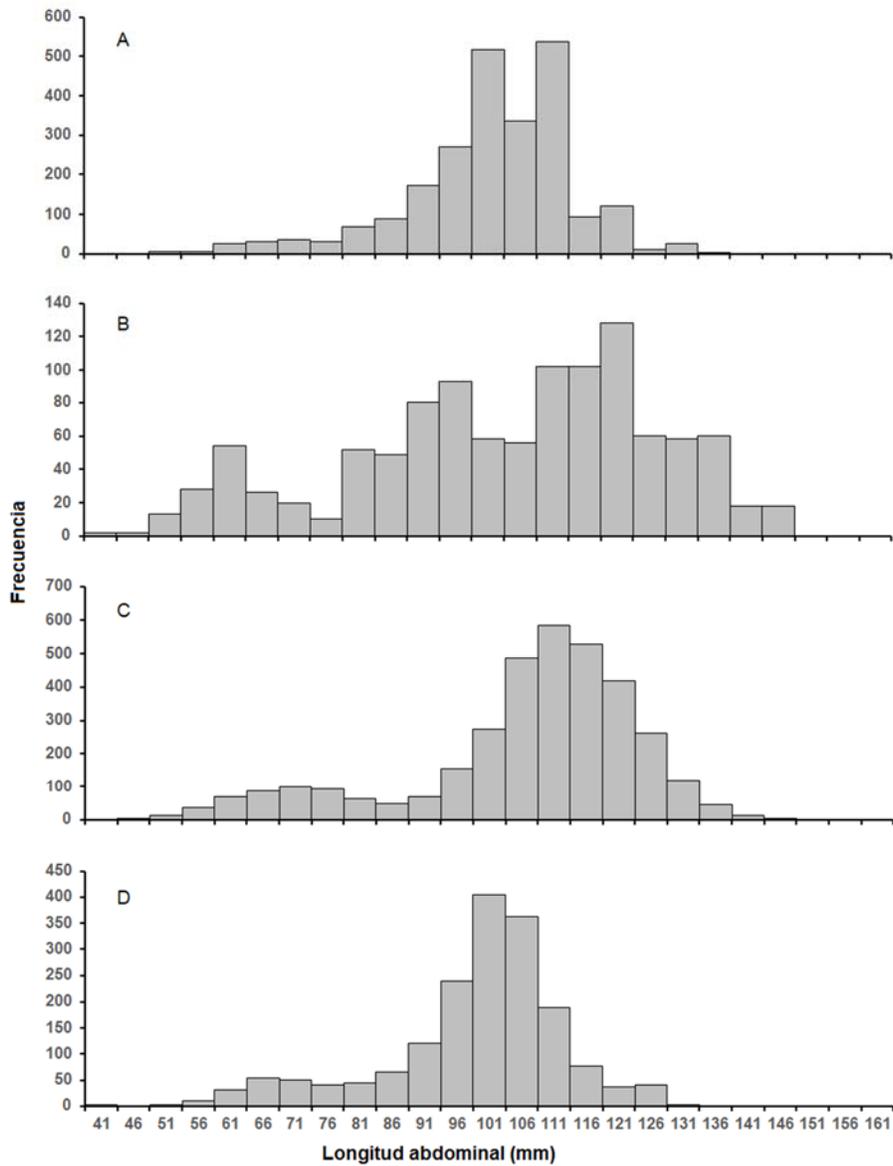


Figura 4.22. Distribución de frecuencia de tallas para los camarones capturados por la flota comercial en el Golfo de Tehuantepec, A, temporada 1990-91, B, temporada 1991-92, C, temporada 1992-93, y D, Temporada 1993-94.

Las medias mínimas de las cohortes estuvieron alrededor de los 90 mm y medias máximas de 190 mm de longitud total, para las tres temporadas de capturas (fig. 4.23).

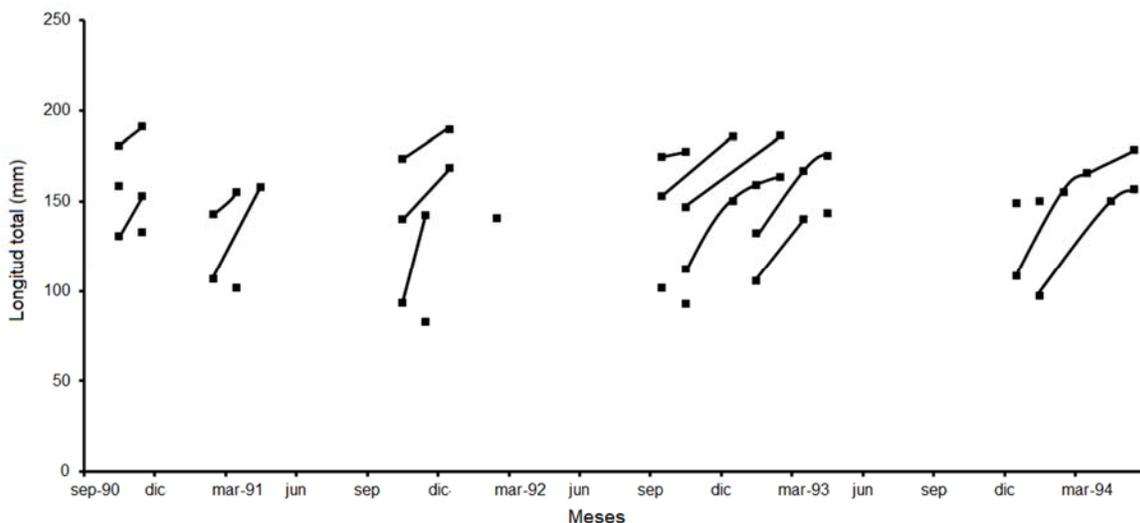


Figura 4.23. Progresión modal para adultos de *P. vannamei* capturados en la zona costera del Golfo de Tehuantepec, en las temporadas, A, 1990-91, B, 1991-92, C, 1992-93 y D, 1993-1994.

Los datos observados de las diferentes etapas de la historia de vida de los camarones (fase larvaria de cultivo, fase juvenil en el sistema lagunar y la fase marina) para el Golfo de Tehuantepec se muestran en la figura 4.24.

Selección multimodelo

En el análisis multimodelo para *P. vannamei*, en LMM y zona costera adyacente, el modelo ganador fue el de Gompertz con un AIC_c de 629.2 y un w_i de 64%, aunque, no presentó diferencias significativas con el GVB, con AIC_c de 631.4 y w_i de 21%. Por su parte, los modelos de Johnson y Richards también fueron modelos viables para describir el crecimiento (Cuadro IV.28).

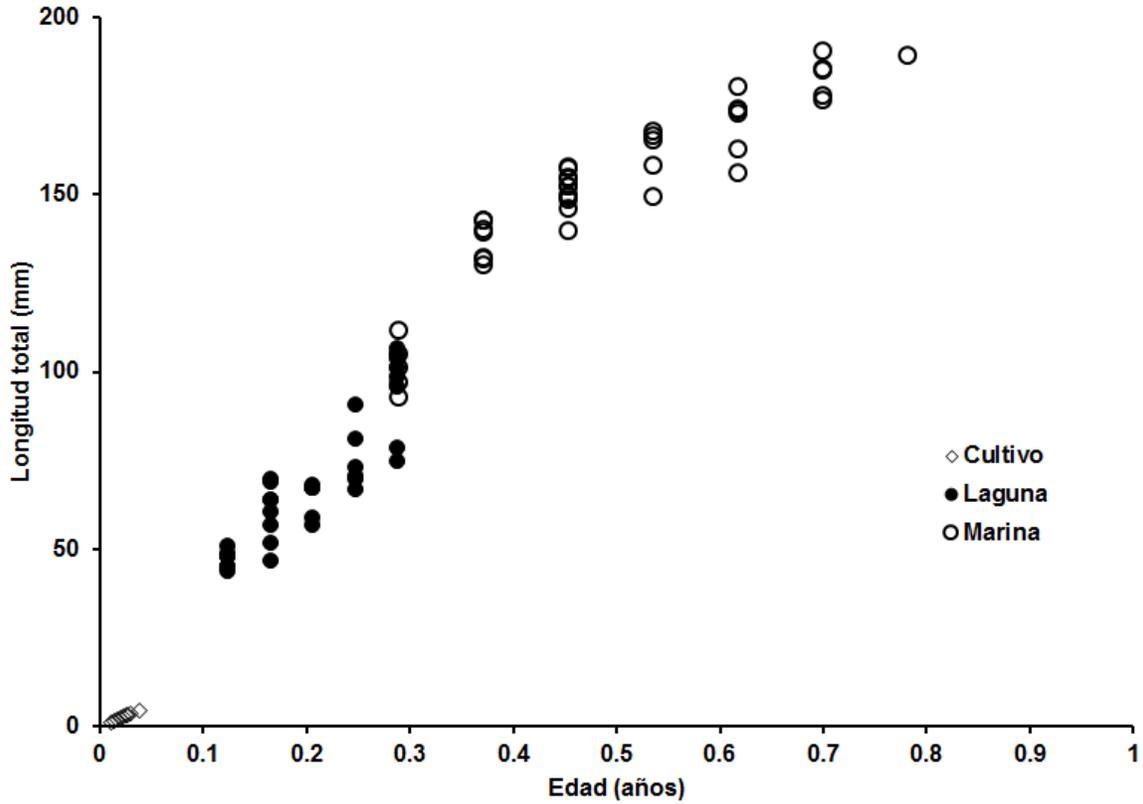


Figura 4.24. Datos observados con la que se trabajó en el análisis de crecimiento multimodelo para la LMM en el Golfo de Tehuantepec.

Cuadro IV.28. Valores AIC_c , σ , Δ_i y w_i (%) para selección del mejor modelo de crecimiento *P. vannamei* en la laguna Mara Muerto y zona marina adyacente (* mejor ajuste).

MODELO	AIC_c	σ	Δ_i	w_i (%)
Gompertz*	629.2	9.05	0.00	64%
GVB	631.4	9.05	2.17	21%
Johnson	633.6	9.28	4.33	7%
Richards	633.7	9.05	4.46	7%
MCVB	638.6	9.56	9.35	1%
Logístico	641.2	9.70	11.93	0%

Parámetros de crecimiento

El Cuadro IV.29 muestra los parámetros de crecimiento para cada uno de modelos en *P. vannamei*. El modelo de Johnson es el que presenta mayor longitud asintótica ($L_{\infty} = 318.7$ mm), seguido por el MCVB ($L_{\infty} = 267.0$), Gompertz, el GVB y el de Richard ($L_{\infty} = 193.8$ mm) y por último el Logístico ($L_{\infty} = 180.7$). Mientras que el Logístico presenta el mayor coeficiente de crecimiento ($k = 9.16$), le siguen los modelos de Gompertz y de Richard ($k = 5.57$), el GVB ($k = 5.57$) y los que presentan los menores valores fueron el Johnson ($k = 2.40$) y el MCVB ($k = 1.79$).

Cuadro IV.29. Parámetros para modelos en *P. vannamei* en la laguna Mar Muerto y zona marina adyacente.

MODELO	k	L_{∞}	t_0	t^*	D	A
Gompertz*	5.57	193.8		0.210		
GVB	5.56	193.8	-0.835	0.209	330.7	
Johnson	2.40	318.7	-0.077	0.131		
Richards	5.57	193.8	0.029		22571.1	8255.2
MCVB	1.79	267.0	0.022			
logístico	9.16	180.7		0.265		

Curvas de crecimiento

Las curvas presentan trayectorias diferentes, el modelo que mejor describe el crecimiento fue el Gompertz, aunque el GVB y el Richards presentan la misma trayectoria. La curva del modelo Logístico termina debajo del modelo ganador, mientras que las curvas de los modelos MCVB y de Johnson están por encima (fig. 4.25).

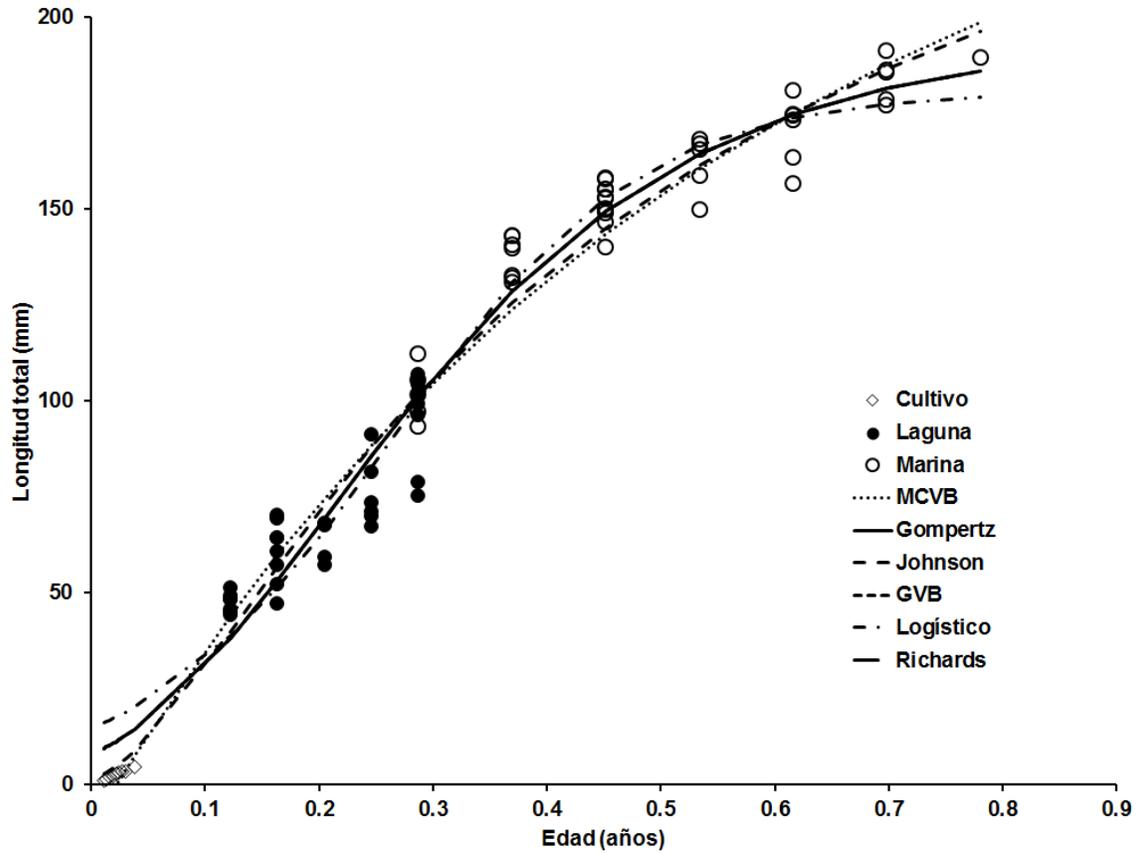


Figura 4.25. Curvas de crecimiento multimodelo calculadas para *P. vannamei* en la laguna Huizache-Caimanero y zona costera adyacente.

Métodos no convencionales

El Cuadro IV.30 muestra la clasificación de los modelos con la técnica multicriterio, en él se puede observar que el modelo de Johnson fue el mejor para el criterio depensatorio, mientras que el modelo de Gompertz, fue mejor con el criterio compensatorio, también el GVB resultó viable con el criterio de cola gorda. El modelo GVB, fue el que mejor se ajustó a los datos, Aunque el Gompertz y Johnson también fueron modelos viables. Sin embargo, el método de cola gorda fue el que menor AICc tuvo de los tres métodos (AICc = 606.8).

Cuadro IV.30. Valores AIC_c , σ , Δ_i y w_i (%) enfoque multicriterio para la selección del mejor modelo de crecimiento de *P. vannamei* en la laguna Mar Muerto y zona costera adyacente (* mejor ajuste).

Criterio	Modelo	AIC_c	σ	Δ_i	$w_i(\%)$
Depensatorio	Johnson*	615.7	10.05	0.00	100%
	Gompertz	687.7	17.74	71.98	0%
	GVB	689.6	17.68	73.90	0%
	Richards	692.3	17.73	76.56	0%
Compensatorio	Gompertz*	673.1	9.94	0.00	79%
	GVB	676.5	9.74	3.43	14%
	Richards	678.0	10.02	4.94	7%
	Johnson	699.4	11.41	26.36	0%
Cola gorda	GVB*	606.8	9.28	0.00	46%
	Gompertz	607.4	9.10	0.62	34%
	Johnson	609.1	9.28	2.33	15%
	Richards	611.3	9.10	4.49	5%

Parámetros de Crecimiento

Los parámetros de crecimiento de *P. vannamei* se muestran en el Cuadro IV.31, ahí se puede observar que el modelo de Johnson con los tres criterios resultó con la mayor longitud asintótica ($L_\infty = 273.9$ mm, depensatorio; $L_\infty = 364.4$ mm, compensatorio; y $L_\infty = 318.7$ mm, cola gorda), el modelo de Gompertz con criterio depensatorio, fue el de mayor coeficiente de crecimiento ($k = 10.51$), le siguen los coeficientes de crecimiento del modelo de Richards, también con criterio depensatorio ($k = 10.50$) y el GVB también con criterio depensatorio ($k = 10.46$). El modelo de Johnson con los tres criterios presenta los menores valores ($k = 3.09$, 1.71 y 2.40, para los criterios depensatorio, compensatorio y cola gorda respectivamente).

Cuadro IV.31. Parámetros para los modelos candidatos clasificados según su AIC_c, para *P. vannamei* en laguna Mar Muerto y zona marina adyacente.

Criterio	Modelo	k	L_{∞}	t_0	t^*	D	A
Depensatorio	Johnson	3.09	273.9	-0.048	0.114		
	Gompertz	10.51	151.2		0.156		
	GVB	10.46	151.4	-0.407	0.156	360.7	
	Richards	10.50	151.2	0.031		37141.8	10014.8
Compensatorio	Gompertz	4.86	199.5		0.204		
	GVB	4.82	199.4	-0.411	0.198	18.8	
	Richards	4.86	199.4	0.038		21683.4	9756.9
	Johnson	1.71	364.4	-0.174	0.118		
Cola gorda	GVB	3.91	207.6	-0.025	0.153	2.0	
	Gompertz	5.44	193.6		0.210		
	Johnson	2.40	318.7	-0.077	0.131		
	Richards	5.44	193.6	0.028		20403.9	7697.3

Curvas de crecimiento

Las curvas de crecimiento en *P. vannamei*, muestran una clara forma sigmoideal, con el criterio depensatorio. La curva que mejor describe los datos es la del modelo de Johnson, en tanto que las curvas de los modelos de Gompertz, GVB y Richards presenta el mismo patrón con respecto a la de Johnson. Con el criterio compensatorio, las curvas presentan el mismo patrón a excepción del modelo de Johnson, aunque el modelo ganador es el de Gompertz. En el criterio de Cola gorda el modelo ganador es el GVB, es el modelo que mejor describe los datos observado, (fig. 4.26).

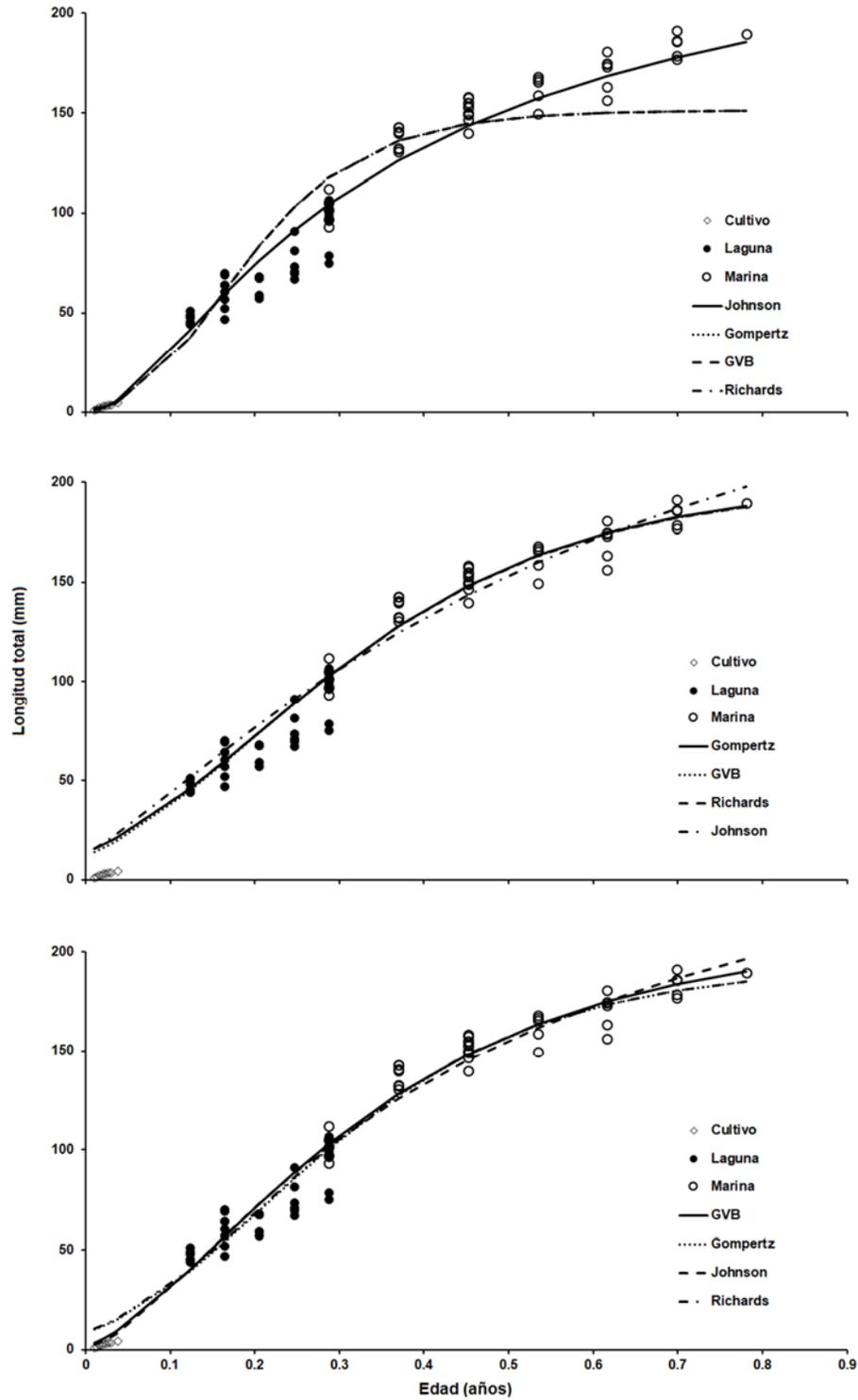


Figura 4.26. Curvas de crecimiento multicriterio calculadas para *P. vannamei* en la laguna Mar muerto y zona costera adyacente.

Criterio mixto cola gorda-depensatorio (MCGD)

En el análisis multimodelo para *P. vannamei* con criterio MCGD, el modelo ganador fue el Johnson con un AIC_c de 573.6 con un peso de Akaike de 100%, los demás modelos tienen peso de Akaike de 0% (Cuadro IV.32).

Cuadro IV.32. Valores AIC , σ , Δ_i y $w_i(\%)$ para selección del mejor modelo de crecimiento *P. vannamei*, con el criterio MCGD, en la laguna Mar muerto y zona costera adyacente (* mejor ajuste).

MODELO	AIC_c	σ	Δ_i	$w_i(\%)$
Jonhson	573.6	10.12	0.00	100%
Gompertz	652.3	15.25	78.68	0%
MCGVB	654.1	10.12	80.48	0%
Richards	656.9	10.01	83.26	0%

Respecto a los parámetros calculados con el método mixto para *P. vannamei*, la mayor longitud asintótica ($L_\infty = 275.6$), se presentan con el modelo de Johnson, en tanto que la longitud máxima menor se presenta con el Gompertz y Richards ($L_\infty = 158.5$ mm). En cuanto al coeficiente de crecimiento, el valor anualizado más alto se presenta con el modelo de Gompertz y Richards ($k = 9.67$), mientras que el más bajo ($k = 3.15$) se presentó con el Johnson (Cuadro IV.33).

Cuadro IV.33. Parámetros para los modelos candidatos calculados con el método Mixto, para *P. vannamei* en laguna Mar muerto y zona marina adyacente.

MODELO	k	L_∞	t_0	t^*	D	A
Johnson*	3.15	275.6	-0.047	0.112		
Gompertz	9.67	158.5		0.167		
GVB	9.61	158.7	-0.424	0.168	294.9	
Richards	9.67	158.5	0.031		26051.7	6945.4

Curvas de crecimiento

Los modelos candidatos para el criterio MCGD en *P. vannamei*, describieron un patrón distinto, el modelo de Johnson fue la curva que mejor describió los datos observados y los modelos de Gompertz, GVB y Richards describen el mismo patrón en las curvas, presentan una curva elevada más aplanada (fig. 4.27).

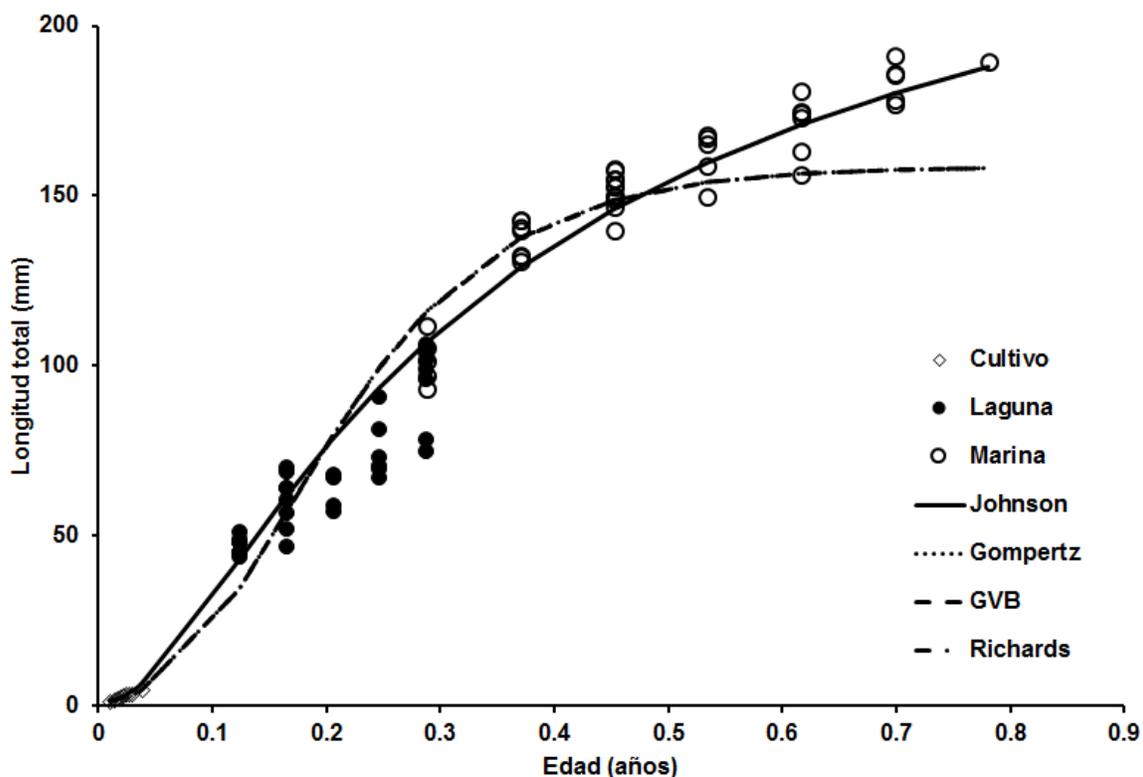


Figura 4.27. Curvas de crecimiento calculadas con el enfoque MCGD para *P. vannamei* en la laguna Huizache-Caimanero y zona costera adyacente.

Comparación multicriterio

En el análisis multicriterio para *P. vannamei*, el modelo con el menor AIC_c fue el Johnson, parametrizado con el criterio de MCGD. El coeficiente de crecimiento solo se comparó con el de los modelos comunes, en el MCGD $k = 3.15$ (3.11 - 3.19) no presentó diferencias significativas con el criterio dependiente; la longitud asintótica

fue de $L_{\infty} = 275.6$ (269.3 – 281.8) y presentó diferencias significativas con el convencional, compensatorio y de cola gorda; y el parámetro t_0 del modelo mixto también se comparó con el de modelos comunes, en el MCGD $t_0 = -0.047$ (-0.048 - -0.046) no presentó diferencias significativas con el depensatorio (Cuadro IV.34).

Cuadro IV.34. Parámetros e intervalos de confianza para los modelos de crecimiento ganadores con enfoque multicriterio de *P. vannamei* en LHC y zona marina adyacente (a<b<c<d).

Criterio	k	L_{∞}	t_0	t^*
Convencional	5.57 ^b	193.8 ^a		0.210
(Gompertz)	(5.28 - 5.87)	(190.5 – 197.0)		(0.204 - 0.216)
Depensatorio	3.09 ^a	273.9 ^d	-0.048 ^a	0.114
(Johnson)	(3.05 - 3.13)	(267.0 - 280.8)	(-0.049 - -0.047)	
Compensatorio	4.86 ^a	199.5 ^b		0.204
(Gompertz)	(4.66 - 5.07)	(197.1 – 202.0)		(0.196 - 0.211)
Cola gorda	3.91	207.6 ^c	-0.025	0.153
(GVB)	(3.80 - 4.03)	(203.2 – 212.0)	(-0.033 --0.017)	
MCGD	3.15 ^a	275.6 ^d	-0.047 ^a	0.112
(Johnson)	(3.11 - 3.19)	(269.3 - 281.8)	(-0.048 - -0.046)	

Las curvas de los modelos ganadores con los diferentes criterios para *P. vannamei* se muestran en la figura 4.28, en ella se observa que el criterio mixto muestra una forma un poco sigmoïdal y presenta el mismo patrón de la del criterio depensatorio, por lo cual, el punto de inflexión es cercano a cero y la curva es la que mejor describe a los datos observados.

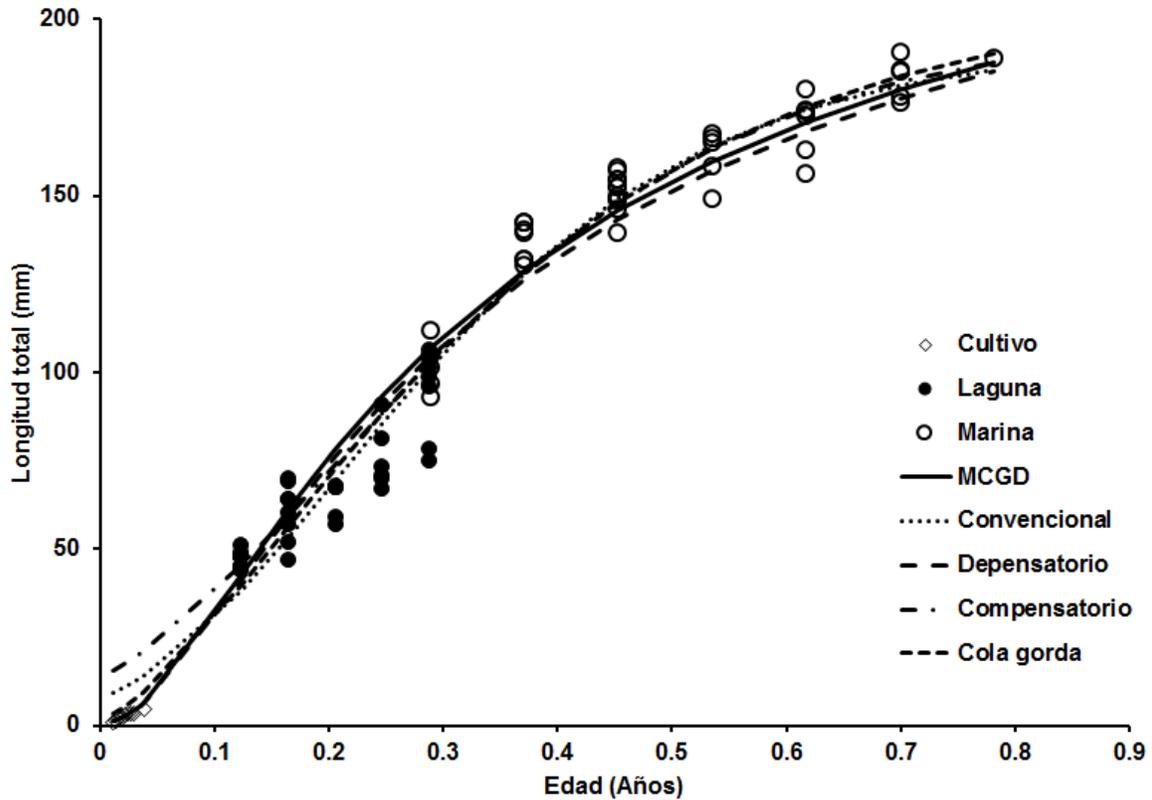


Figura 4.28. Comparación multicriterio de las curvas de crecimiento de *P. vannamei* en Huizache-Caimanero y zona costera adyacente.

La mayoría de los investigadores consideran el crecimiento de los peneidos como un proceso continuo y miden la talla por edad directamente. Esto parece ser válido para la mayoría de los peneidos, donde el período de intermuda suele ser del orden de días o semanas, suavizando así las funciones escalonadas del crecimiento individual de los camarones durante periodos de tiempo más largos (Dall et al., 1990).

No se ha documentado una descripción del crecimiento durante todo el ciclo de vida para ninguna especie de peneido. Sin embargo, al juntar descripciones de las diferentes etapas de la historia de la vida, se observa que los peneidos parecen ajustarse con el típico patrón de crecimiento de los crustáceos de una forma sigmoideal o también llamada forma de S (Dall et al., 1990). La mayoría de las estimaciones de crecimiento se realizaron en las etapas de la historia de vida

posteriores al punto de inflexión. El modelo de crecimiento de von Bertalanffy ha sido aplicado para *F. californiensis* y las estimaciones de crecimiento se han realizado para organismos adultos capturados por la flota camaronera, aunque Chávez & Rodríguez (1971) incluyeron la fase larvaria, de postlarva y juveniles, y obtuvieron una $k = 0.1327$ (1.59 anual) y $k = 0.1789$ (2.16 anual) con base mensual para hembras y machos respectivamente. En otro estudio, Galicia (1976) en la misma especie obtuvo $k = 0.1704$ (2.04 anual) y $k = 0.1089$ (1.32 anual) también con base mensual para hembras y machos respectivamente.

Si bien en la revisión de Dall et al. (1990) mencionan que los peneidos silvestres en estuarios su crecimiento es lineal, los resultados de Monsreal et al. (2016) sugieren que el crecimiento es exponencial.

En el presente trabajo *P. californiensis* y *P. stylirostris*, en la laguna de Agiabampo los camarones muestreados en esta región, están por encima del punto de inflexión y por debajo de la asíntota poblacional como lo mencionan en Dall et al. (1990). Sin embargo, al asignarle la edad relativa y compararlos con multimodelos parametrizados con el criterio convencional, se observa que para las hembras, el modelo que mejor se ajusta es el de Johnson y aunque no fue significativo con el GVB, que también describe el crecimiento, mientras que para machos el modelo que presenta mejor ajuste es el GVB. Cuando le aplicamos los criterios de parametrización no convencionales descritos en la literatura; con el método de “cola gorda” si marcó diferencias con respecto a los demás criterios y se obtuvo los mejores ajustes con el modelo de Johnson, para las hembras y machos. Sin embargo, el ajuste con el criterio de parametrización propuesto en este trabajo (MCGD), el modelo de Johnson fue el ganador con AIC menor que con los otros criterios para *P. californiensis*, tanto en hembras como en machos. Este modelo es un modelo de tipo sigmoideal altamente asimétrico con punto de inflexión muy cercano a cero (Ricker 1979).

Lopez-Martinez et al. (2005) describieron el crecimiento en *P. stylirostris*, con los datos registrados de la flota comercial de Guaymas, obtuvieron un intervalo de 1.8 a 1.92 en el parámetro k para las hembras; mientras que en machos obtuvieron 2.16 a 2.28 con base anual, sin embargo, ellos utilizaron el modelo de von Bertalanffy en

colas de camarón. En el presente trabajo el modelo que mejor se ajustó fue el modelo de Johnson con el criterio convencional, utilizando todos los criterios descritos en la literatura el mejor ajuste se presentó con el modelo de Johnson con el criterio de “cola groda”. Además, con el nuevo criterio mixto propuesto en este trabajo el modelo que mejor se ajustó es de Gompertz.

Para camarones de *P. vannamei* silvestres, se ha descrito el crecimiento solo con el modelo de Von Bertalanffy, en camarones adultos del sur del Golfo de California con datos obtenidos de la flota comercial (Chávez 1973), en juveniles de la laguna Huizache-Caimanero (Menz y Blake, 1980); juveniles de lagunas del Golfo de Tehuantepec (Ramos-Cruz, 2000; Rivera-Velázquez et al., 2010). Mientras que, para camarones cultivados de esta especie, Arzola Gonzalez et al. (2008) también describe el crecimiento con el modelo de von Bertalanffy.

El MCVB es el más estudiado y comúnmente aplicado entre todos modelos de longitud a la edad, su uso como el único modelo de crecimiento no está bien soportado en el caso de camarón blanco (Aragon-Noriega, 2016).

La utilización de más de dos modelos para describir el crecimiento de los organismos, Krüger (1969), encontró que el lenguado *Eopsetta jordani* está mejor representado por su propio modelo, el cual es una variedad del modelo de Johnson que por el MCVB (Ricker 1979), concluyó que su modelo describe mejor el crecimiento. Esta comparación la realizó usando como prueba el porcentaje de diferencias de los datos observados contra los estimados.

La técnica multimodelo para describir el crecimiento de los peneidos ha sido utilizada, Montgomery et al. (2010), utilizaron el modelo de Schnute y encontraron que el crecimiento en hembras de *Metapenaeus macleayi* (de dos localidades de Australia) se ajustó el caso 5, equivalente del MCVB y en los machos se ajustaron los casos 1 y 2, estos últimos casos son modelos sigmoidales y asíntóticos.

Mientras que Monsreal et al. (2016) utilizaron también el enfoque multimodelo de Schnute para juveniles y sub-adultos silvestres de *Farfantepenaeus brasiliensis* y *F. duorarum*, concluyen que para ambas especies el que mejor describe el crecimiento es el modelo indeterminado de Tanaka.

En *P. vannamei* Aragon-Noriega (2016) determinó el crecimiento en organismos cultivados, encontró que el mejor modelo para describir el crecimiento fue el de Gompertz y concluye que el crecimiento de esta especie es sigmoïdal y asintótico. Actualmente se han utilizado nuevos enfoques de parametrización de los modelos y que se pueden llamar no convencionales como el “cola gorda” (Chen & Fournier 1999). Éste consiste en aumentar el tamaño de la cola de la distribución de densidad de modo que la probabilidad de ocurrencia de un acontecimiento no se aleje de la media. Además, otro enfoque que consiste en la estimación de la varianza para cada edad (la varianza se incrementa con la edad) “dependensatorio” (Restrepo et al. 2010), este enfoque ha sido utilizado en *Panopea globosa* (Luquin et al. 2016). Recientemente Aragón-Noriega et al. (2017), propusieron el enfoque de compensación (la varianza disminuye con la edad).

En el presente trabajo, se juntaron diferentes etapas de la historia de vida del camarón *P. vannamei* (fase larvaria, juveniles de la laguna y adultos de la zona costera) para el Golfo de Tehuantepec. A diferencia de los trabajos previos que se realizaron en una sola etapa de su historia de vida o de camarones cultivados. Estos presentan un crecimiento de tipo sigmoïdal y asintótico como los resultados de Aragón-Noriega (2016) y Aragón-Noriega et al. (2017).

En cuanto al criterio de parametrización MCGD propuesto en el presente trabajo, los parámetros estimados se muestran más estables, es decir, tienen menor variabilidad que con los otros criterios a excepción del método dependensatorio.

En la revisión de Dall et al. (1990) hipotetiza que en los camarones la curva de crecimiento es de tipo sigmoïdal. Hipótesis que se prueba en el presente trabajo, uniendo los datos obtenidos de los dos hábitats para *P. californiensis*, *P. stylirostris* y *P. vannamei*. Para las especies de camarones cultivados de *P. vannamei* y *P. stylirostris* los resultados de Aragón (2016) concluye que también se ajustan a un modelo de crecimiento de tipo sigmoïdal.

4.4. CONCLUSIONES

Se concluye que *P. californiensis*, *P. stylirostris* y *P. vannamei* presentan un tipo de crecimiento tipo sigmoideo y asintótico en toda su historia de vida, para el Golfo de California y el Golfo de Tehuantepec, además que el criterio de parametrización mixto cola gorda-depensatorio (MCGD) es un buen método para estimar los parámetros de crecimiento.

CAPITULO 5. CONCLUSIONES GENERALES

En la revisión de Dall et al. (1990), se discute sobre la controversia que existe entre las especies del tipo 2 y 3 de ciclo de vida. Las especies del tipo 2, los adultos desovan en la zona costera, los huevos y larvas son dispersados en la zona oceánica, en el estadio de postlarvas migran a la zona litoral cercana a las bocas de los estuarios para establecerse en ellos para su desarrollo, regresan a la zona costera para completar su ciclo. Las especies del tipo 3 los adultos desovan en la zona oceánica los huevo y larvas permanecen en la zona en el estadio de postlarvas migran a la zona litoral para establecerse hasta juveniles para luego migrar a la zona oceánica para completar su ciclo.

El alto Golfo de California, no cuenta con una barrera física para catalogarla como laguna costera, sin embargo, la mayoría de los autores coinciden que es un estuario inverso, sirve de zona de crianza y crecimiento de *Penaeus californiensis* y *P. stylirostris*; los tiempos de reproducción es marcadamente estacional y el periodo de presencia de postlarvas es muy reducido. Por lo tanto, en esta región las medidas de manejo deben de ser distintas, se sugiere que el inicio de la temporada de pesca debe de ser un mes después del inicio oficial.

El sistema lagunar de Agiabampo, es una laguna con circulación continua con el mar, ya que cuenta con una boca amplia, sin embargo, es afectada por la mayor evaporación con respecto a la precipitación y el escaso aporte de agua dulce, también se comporta como un antiestuario. El rango de la salinidad va de 35 a 39 ups. En esta región podemos concluir que *P. californiensis* presenta un traslape entre los tipos 2 y 3 de ciclo de vida, mientras que *P. stylirostris* presenta el tipo 2, como lo sugieren los modelos de crecimiento.

El sistema lagunar de Huizache-Caimanero, es una laguna costera con que tiene un amplio rango de salinidad desde 0 a 70 ups, su llenado depende de los aportes de agua dulce de los ríos con los que se comunica y a la apertura de la boca que se comunica con el mar en los meses de abril-mayo.

Aunque en la zona costera se encuentran las cuatro especies de postlarvas, los mecanismos de inmigración indican que *P. vannamei*, es la especie que utiliza la laguna para su desarrollo, por lo tanto, es de tipo 2, mientras que *P. stylirostris* es la especie de menor abundancia con respecto a las demás, sin embargo, los juveniles también se capturan en la laguna, pero con una proporción menor y solo se capturan organismos con una estructura de talla mayor, lo que corresponde a organismos que entraron en la laguna cuando las condiciones de salinidad no presentaban un amplio rango, por lo tanto se puede asumir que son de tipo 2 de ciclo de vida. *P. californiensis* y *P. brevirostris*, no se capturan juveniles en la laguna, a su vez, no presentan inmigraciones significativas, esta última especie presenta evidencia de correlaciones negativa con la marea, lo que nos indica que presentan un tipo 3 de ciclo de vida.

Sistemas lagunares del Golfo de Tehuantepec, estas lagunas, aunque están comunicadas permanentemente al mar, también presentan amplios rangos de salinidades, por lo tanto, las capturas de juveniles la mayor proporción es de *P. vannamei* tiene un comportamiento similar que en LHC.

En cuanto al manejo pesquero para las zonas de estudio consideradas en el presente trabajo, se concluye que, deben tener un manejo diferenciado, ya que si bien en latitudes bajas, la reproducción es continua, ésta va disminuyendo el periodo de reproducción hacia latitudes altas. El manejo actual está diseñado en la estrategia para que los adultos se reproduzcan y los jóvenes se les permitan crecer hasta tallas comerciales. Sin embargo, el esfuerzo incide principalmente sobre individuos inmaduros y de tallas pequeñas lo que se contrapone a la estrategia tradicional de proteger a la porción de la población que aún no se reproduce. La talla de primera madurez representa la talla a la cual por lo menos el 50% de las hembras están en posibilidades de alcanzar la madurez. La pesca deberá incidir sobre la fracción de la población que ya se ha reproducido o de talla superior a la edad de primera madurez. Si nos basamos en los resultados del capítulo 4, donde se aborda el análisis de crecimiento, vemos que las tallas en las tres especies que

superan a la edad de madurez coinciden con el periodo de veda. El esquema diferenciado de apertura de temporada de pesca evita la captura durante las primeras etapas de juveniles, permite que los individuos que no se han reproducido alcancen la madurez sexual.

Como el precio del producto camarón está en función directa con la talla, entonces el valor comercial de la captura y la ganancia diaria por embarcación, la mejor opción es capturar a los organismos de mayor talla según la zona y sus patrones de crecimiento. Sobre esa base se propone un manejo alternativo de pesca. El manejo alternativo incluye tanto los meses de crecimiento de los organismos, como aquellos meses de alta actividad reproductiva, de tal forma se permite que una mayor proporción de la población alcance la madurez sexual. La talla de captura, biomasa disponible y período reproductivo fueron los criterios utilizados para la propuesta de manejo alternativa a la pesquería de las tres especies de camarones en la zona costera del sur de Sinaloa, norte y sur de Sonora, y región Oaxaca-Chiapas, zonas donde se generó la información para este análisis.

LITERATURA CITADA

- Aquacop. 1979. Penaeid reared brood stock: closing the cycle of *P. monodon*, *P. stylirostris* and *P. vannamei*. Proceedings of the World Mariculture Society 10: 445-452.
- Akaike H. 1973. Information theory and an extension of the maximum likelihood principle. In: B. N. PETROV & F. CSAKI (Eds.), 2nd International Symposium on Information Theory: 268-281. (Akademiai Kiado, Budapest).
- Alvarez-Borrego, S., B.P. Flores y L. Galindo, 1975. Hidrología del Alto Golfo de California II. Condiciones durante invierno, primavera y verano. Ciencias Marinas 2: 21-36.
- Alvarez-Borrego, S., 2001. The Colorado River Estuary and Upper Gulf of California, Baja, Mexico. Ecological Studies, Vol. 144 U. Seeliger and B. Kjerfve (eds.) Coastal Marine Ecosystems of Latin America © Springer-Verlag Berlín Heidelberg. p 331-340.
- Alvarez, L. G., 2010. Bottom boundary layer properties in the Upper Gulf of California derived from velocity profiles. Ciencias Marinas, 36(3): 285–299
- Aragón-Noriega E. A. & L.E. Calderón. 2001. Age and growth of shrimp postlarvae in the upper Gulf of California. Journal of Ichthyology and Aquatic Biology 4(3): 99-104.
- Aragón-Noriega E. A. & E. Alcántara, 2005. Influence of sea surface temperature on reproductive period and size at maturity of the brown shrimp (*Farfantepenaeus californiensis*) in the Gulf of California. Marine Biology, Berlin, 146(2): 373-379.
- Aragón-Noriega E. A. 2007. Coupling the reproductive period of blue shrimp *Litopenaeus stylirostris* Stimpson, 1874 (Decapoda: Penaeidae) and sea surface temperature in the Gulf of California. Revista de Biología Marina y Oceanografía 42(29): 167-175.
- Aragón-Noriega E. A., E. M. Pérez-Arvizu & W. Valenzuela-Quiñonez. 2012. Latitudinal variation in reproduction timing of whiteleg shrimp *Litopenaeus vannamei* (Decapoda, Penaeidae) of the Mexican Pacific coast. Crustaceana, 85(3): 287-300.

- Aragón-Noriega E. A. 2016. Crecimiento individual de camarón blanco *Litopenaeus vannamei* (Boone, 1931) y camarón azul *Litopenaeus stylirostris* (Stimpson, 1874) (Decapoda: Penaeidae) con un enfoque multi-modelo. *Lat. Am. J. Aquat. Res.*, 44(3): 480-486.
- Aragón-Noriega E. A., J. E. Mendivil-Mendoza, E. Alcántara-Razo, W. Valenzuela-Quiñónez & J. A. Félix-Ortiz. 2017. Multi-criteria approach to estimate the growth curve in the marine shrimp, *Penaeus vannamei* Boone, 1931 (Decapoda, Penaeidae). *Crustaceana* 90(11-12): 1517-1531.
- Arzola-González, J. F., L. M. Flores-Campaña, A. Izabal-Ceja & Y. Gutiérrez-Rubio, 2008. Crecimiento de camarón blanco (*Litopenaeus vannamei*) en un estanque rústico a baja salinidad. *AquaTIC*, 28: 8-15.
- Ayala-Castañares, A. M; Gutiérrez-Estrada y V. M. Malpica. 1990. Morfosedimentología de la laguna de Agiabampo, Sonora-Sinaloa, México. *Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM*. 17(2): 257-270.
- Bakun, A., 1996. Patterns in the ocean: ocean processes and marine population dynamics. University of California Sea Grant, San Diego, California, USA in cooperation with Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, La Paz, Baja California Sur, México.
- Barbosa-Saldaña M. L., P. Díaz-Jaimes y M. Uribe-Alcocer. 2012. Variación morfológica del camarón café (*Farfantepenaeus californiensis*) en el Pacífico mexicano. *Revista Mexicana de Biodiversidad*. 83: 42-50.
- Barton, E.D., M.L. Argote, J. Brown, P.M. Kosro, M. Lavin, J.M. Robles, R.L. Smith, A. Trasviña and H.S. Velez. 1993. Supersquirt: dynamics of the Gulf of Tehuantepec, Mexico. *Oceanography*. 6(1): 23-30.
- Baumgartner, T.R. & N. Christensen. 1985. Coupling of the Gulf of California to large-scale interannual climatic variability. *Jour. of Mar. Res.* 43: 825-848.
- Benfield, M. C. & D. V. Aldrich, 1992. Attraction of postlarval *Penaeus aztecus* Ives and *P. setiferus* (L.) (Crustacea: Decapoda: Penaeidae) to estuarine water in a laminar flow choice chamber. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 156: 39-52.

- Bermudes-Lizárraga J. F. 2009. Evaluación de *Brachionus rotundiformis* como alimento vivo para larvas de *Litopenaeus vannamei*. Tesis de maestría, Instituto Tecnológico de Mazatlán, Dirección General de Educación Superior Tecnológica. Mazatlán, México. 55 pp.
- Blanton, J. O., P. G. Verity, J. Amft, E. L. Wenner, C. A. Barans, D. M. Knott, B. W. Stende & S. B. Wilde, 2001. Key factors influencing transport of white shrimp postlarvae in southeastern U.S. estuaries. Final Report to Georgia Sea Grant Program and South Carolina Sea Grant Consortium.
- Brusca, R. C., S. Álvarez-Borrego, P. A. Hastings and Lloyd T. Findley, 2017. Colorado River flow and biological productivity in the Northern Gulf of California, Mexico. *Earth-Science Reviews* 164 (2017) 1–30.
- Burnham K. P. & D.R. Anderson. 2002. Model selection and multimodel inference: a practical information-theoretic approach (2nd ed.). (Springer, New York, NY).
- Castilho, A. L., M. A. Gavio, R. C. Costa, E. E. Boschi, R. T. Bauer, and A. Fransozo. 2007. Latitudinal variation in population structure and reproductive pattern of the endemic South American shrimp *Artemesia longinaris* (DECAPODA: PENAEOIDEA). *Journal of Crustacean Biology*, 27(4): 548–552, 2007.
- Chávez E. A. & M. C. Rodríguez. 1971. Estudio sobre el crecimiento del camarón café (*Penaeus californiensis* Holmes) Rev. Soc. Mex. Hist. Nat. 111-127.32.
- Chávez, E. A. 1973. Estudio sobre la tasa de crecimiento del camarón blanco (*Penaeus vannamei* Boone) de la región sur del Golfo de California. *Ciencia, Mex.*, 28(2): 79-85.
- Chen Y. & D. Fournier. 1999. Impacts of atypical data on Bayesian inference and robust Bayesian approach in fisheries. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 56: 1525–1533.
- CONAPESCA, 2014. Anuario estadístico de acuicultura y pesca 2014. Comisión Nacional de Acuicultura y Pesca, México.
- Dall, W., B. J. Hill, P. C. Rothlisberg & D. J. Staples, 1990. The biology of the Penaeidae. In: J. H. S. Blaxter & A. J. Southward (eds.), *Advances in Marine Biology* 27: 1-489 (Academic Press London).

- Del Valle, I. 1989. Estrategia de producción y explotación en una laguna costera de México. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Cataluña. 266pp.
- De la Rosa-Vélez J. Escobar-Fernández R, Correa F, Maqueda Cornejo M, de la Torre-Cueto J (2000) Genetic structure of two commercial penaeids (*Penaeus californiensis* and *P. stylirostris*) from the Gulf of California, as revealed by allozyme variation. Fish Bull 98:674-683
- Diettel, A. I. & C. E. Epifano, 1982. Seasonal abundance and vertical distribution of crab larvae in Delaware Bay. Estuaries, 5: 197-202.
- DOF (Diario Oficial de la Federación), 2013. NOM-002-SAG/PESC-2013, Para ordenar el aprovechamiento de las especies de camarón en aguas de jurisdicción federal de los Estados Unidos Mexicanos. Pub. DOF, México, D.F., a 6 de junio de 2013.
- Edwards R. R. C. 1977. Field Experiments on Growth and Mortality of *Penaeus vannamei* in a Mexican Coastal Lagoon Complex. Estuarine and Coastal Marine Science 5, 107-121.
- Ekman, S. (1953). "Zoogeography of the Sea". Sidgwick & Jackson, London.
- Félix, J.A. 2013. Variabilidad Ambiental y su Efecto Sobre la Abundancia de Postlarvas de Camarón Penaeidae en Dos Zonas del Pacífico Mexicano. Tesis de Maestría. Colegio de Ciencias Agropecuarias, Universidad Autónoma de Sinaloa. 76 pp.
- Félix, J.A., M. E. Siu, N. Castañeda, G. Rodríguez, G. Rodríguez & E.A. Aragón. 2014. Species composition and timing of Penaeid shrimp postlarvae (*Decapoda, Penaeidae*) in two zones of the Mexican Pacific coast. Crustaceana 87 (7) 801-813.
- Flores-Coto, C., J. A. Becerril-Martínez, F. Zavala-García, A. Gracia & J. S. Burke, 2009. Shrimp postlarvae immigration during the high current velocity period of the flood tide in the Southern Gulf of Mexico. Hidrobiológica, 19(3): 1-12.
- Flores-Verdugo, F. J., de la Lanza-Espino, G., Espinosa, F. C., & Agraz-Hernández, C. M. (2001). The Tropical Pacific Coast of Mexico. Coastal Marine Ecosystems of Latin America, 307–314. doi:10.1007/978-3-662-04482-7_21.

- Forward, J R., R. B. & R. A. Tankersley, 2001. Selective tidal stream transport of marine animals. *Oceanography and Marine Biology. An Annual Review*, 39: 305-353.
- Galicia X. R. 1976. Crecimiento del camarón azul, *Penaeus stylirostris*, y camarón café, *Penaeus californiensis*, en la zona de Puerto Penasco, Sonora. Memorias, Simposio sobre Biología y Dinámica Poblacional de Camarones, Guaymas, México 2, 189-211.
- Galindo-Bect, M.S., E. A. Aragón Noriega, J. M. Hernández-Ayón, M. F. Lavín, M. A. Huerta Diaz, F. Delgadillo Hinojosa & J. A. Segovia Zavala. 2010. Distribution of penaeid shrimp larvae and postlarvae in the upper Gulf of California. *Crustaceana* 83 (7): 809-819.
- Garcia, S. 1985. Reproduction, stock assessment models and population parameters in exploited Penaeid shrimp populations. En: Rothlisberg P. C., B. J. Hill, and D. J. Staples, (eds) Second Australian National Prawn Seminar. Cleveland Australia. 139-158 pp.
- Garcia, S. 1988. Tropical Penaeid prawns. En: Gulland J. A. (ed) *Fish Population Dynamics*. Jhon Wiley. Chichester. 219-249 pp.
- García, S. y L. Le Reste. 1986. Ciclos vitales, dinámica, explotación y ordenación de las poblaciones de camarones peneidos costeros. *FAO Doc.Téc.Pesca*, (203):180 p.
- Gillett, R. 2010. Estudio mundial sobre las pesquerías del camarón. Documento técnico de pesca. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma. 386 pp.
- Gómez-Aguirre, S. y B. Rivero-Beltrán. 1987. Variación estacional de *Sagitta euneritica* (Chaetognata) en la Laguna de Agiabampo, México. *Anales del Instituto de Biología, UNAM, serie Zoológica*. 58(2):697-706.
- Gompertz B. 1825. On the nature of the function expressive of the law of human mortality and on a new model of determining life contingencies. *Phil. Trans. R. Soc.* 115, 513–585 (doi:10.1098/rstl.1825.0026).

- Grijalva, J. M. y R. H. Barraza, 1992. Distribución y abundancia de las postlarvas y juveniles de los camarones del genero *Penaeus* en Bahía Kino y laguna de La Cruz, Sonora, México. *Ciencias Marinas*, 18: 153-169.
- Gracia, A. 1997. Pesquería artesanal del camarón. In: D. Flores- Hernández, P. Sánchez-Gil, J. C. Seijo & F. Arreguín-Sánchez (Eds). *Análisis y Diagnóstico de los Recursos Pesqueros Críticos del Golfo de México*. Universidad Autónoma de Campeche. EPOMEX. Campeche, pp. 173-184.
- Haddon M. 2001. *Modelling and quantitative methods in fisheries*. Chapman and Hall/CRC, Boca Raton, 406 pp.
- Halsband, L. C. & H. J. Hirche, 2001. Reproductive cycles of dominant calanoid copepods in the North Sea. *Marine Ecology Progress Series*, 209: 219-229.
- Hendrickx, M.E., 1996. Los camarones penaeoidea bentónicos (Crustacea: Decapoda: Dendrobranchiata) del Pacífico Mexicano. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad: Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Mazatlán, Sinaloa, México. 147 pp.
- Hilborn R. & C. Walters. 1992. *Quantitative fisheries stock assessment: choice, dynamics & uncertainty*. Chapman & Hall, New York.
- Hill, A. E., 1994. Horizontal zooplankton dispersal by diel vertical migration in S2 tidal currents on the northwest European continental shelf. *Continental Shelf Research*, 14: 491-506.
- Hughes, D.A. 1969. Responses to salinity change as a tidal transport mechanism of pink shrimp, *Penaeus duorarum*. *Biol. Bull.* 142: 271-280.
- INAPESCA, 2012. *Plan de manejo de la pesquería de camarón del Pacífico mexicano*. Dirección General Adjunta de Investigación Pesquera en el Pacífico, Instituto Nacional de Pesca, México.
- Johnson N. O. 1935. A trend line for growth series. *J. Am. Stat. Assoc.* 30, 717.
- Katsanevakis S. 2006. Modelling fish growth: model selection, multi-model inference and model selection uncertainty. *Fish. Res.*, 81: 229-235.

- Katsanevakis S. & D Maravelias. 2008. Modelling fish growth: multi-model inference as a better alternative to a priori using von Bertalanffy equation. *Fish Fish.*, 9: 178-187.
- Kruger F. 1969. Das asymptotische Wachstum der Fische-ein Nonsens? *Helgol. Wiss. Meeresunters.* 19, 205-215.
- Kutkuhn, J.H. 1966. The Role of Estuaries in the Development and Perpetuation of Commercial Shrimp Resources.
- Lavín, M. F., E. Beier y A. Badán, 1997. Estructura hidrográfica y circulación del Golfo de California: escalas estacional e interanual. In: M. F. Lavín (ed.), *Monografías de la Unión Geofísica Mexicana*, 3, Contribuciones a la oceanografía física en México: 41-171. (Unión de Geofísica Mexicana, Ensenada, Mexico).
- Lavín, M. F., V. M. Godínez & L. Alvarez, 1998. Inverse-Estuarine features of the upper Gulf of California. *Estuarine, Coastal and Shelf Sci.* 47: 769-795.
- Leal-Gaxiola A, López-Martínez J. Chávez EA, Hernández-Vázquez S, Méndez-Tenorio F (2001) Inter-annual variability of reproductive period of the brown shrimp, *Farfantepenaeus californiensis* (Holmes. 1900) (Decápoda. Natantia). *Crustaceana* 74:839-851
- Legeckis, R. 1985. Upwelling off the Gulfs of Panamá and Papagayo in the Tropical Pacific during March 1985. *J. Geophys. Res.* 93 (C12): 15485-15489.
- Loesch, H., 1980. Some ecological observations on slow-swimming nekton with emphasis on Penaeidae shrimp in a small Mexican west coast estuary. *Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México*, 7: 15-26.
- Lopez J, F Arreguin, S Hernandez, AR Garcia & W Valenzuela. 2003. Inter-annual variation of growth of the brown shrimp *Farfantepenaeus californiensis* and its relation to temperature. *Fish Res.* 61, 95–105.
- López-Martínez J., C. Rábago-Quiroz, M. O. Nevárez-Martínez, A. R. García-Juárez, G. Rivera-Parra and J. Chávez-Villalba, 2005. Growth, reproduction, and size at first maturity of blue shrimp, *Litopenaeus stylirostris* (Stimpson,

- 1874) along the east coast of the Gulf of California, Mexico. Fisheries Research 71 (2005) 93–102.
- Luquin M. A., E. Morales, S. S. González, & D. B. Lluch. 2016. Joint likelihood function based on multinomial and normal distributions for analyzing the phenotypic growth variability of geoduck clam *Panopea globosa*. CalCOFI Rep., Vol. 57: 151-162.
- Ma, K. Y., Chan T. Y., Chu K. H., 2011. Refuting the six-genus classification of *Penaeus* s.l. (Dendrobranchiata, Penaeidae): a combined analysis of mitochondrial and nuclear genes. Zoologica Scripta. 40:498–508.
- Mair, J. M., J. L. Watkins & D. I. Williamson, 1982. Factors affecting the migration of postlarval Penaeid shrimp in to a Mexican Lagoon System. Oceanol. Acta, No. S. P. Proceedings International Symposium on Coastal SCOR/IABO/UNESCO, Bordeaux, France, 1981: 339-345.
- Matthews, T. R., W. W. Schroeder & D. E. Stearns, 1991. Endogenous rhythm, light and salinity effects on postlarval brown shrimp *Penaeus aztecus* Ives recruitment to estuaries. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 154: 177-189.
- Mc Donald P. D. M. & T. J. Pitcher. 1979. Age groups from size-frequency data: a versatile and efficient method of analysing distribution mixtures. Journal of the Fisheries Research Board of Canada 36: 987–1 001.
- Medina, R. C.E. 2001. Growth and emigration of white shrimp, *Litopenaeus vannamei*, in the Mar Muerto Lagoon, Southern Mexico. Naga, The ICLARM Quarterly, 24 (3-4): 30-34.
- Menz, A. & Blake, B. F. 1980. Experiments on the growth of *Penaeus vannamei* Boone. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 48: 99-111.
- Monsreal K., I. Velázquez & G. R. Poot. 2016. Model selection for determining the growth of juveniles and sub-adults of two species of shrimp (Decapoda, Penaeidae) in a tropical coastal lagoon. Crustaceana 89(1): 29-45.
- Montgomery S. S., C. T. Walsh, M. Haddon, C. L. Kesby & D. D. Johnson. 2010. Using length data in the Schnute Model to describe growth in a metapenaeid from waters off Australia. Mar. Freshwater Res., 61: 1435-1445.

- Moore, N.H. and D.J. Slinn, 1984. The physical hidrology of a lagoons system on the Pacific Coast of México. *Estuar. Coas. and Shelf Sci.* 19: 413-426.
- Ortega G. G., G. Rodríguez, R. Pérez, N. Castañeda & E. A. Aragón. 2016. Estimation of growth parameters of male blue crabs *Callinectes arcuatus* (Brachyura: Portunidae) from the Gulf of California using the Schnute model. *Lat. Am. J. Aquat. Res.*, 44(2): 371-379.
- Pearson, J. C. 1939. The early life histories of some American Penaeidae, chiefly the commercial shrimp, *Penaeus setiferus* (Linn.). *Bulletin U.S. Bureau of Fisheries*, vol. 49, no. 30, pp 1-73.
- Pérez, A. E. M., Aragón-Noriega, E. A., & Carreon, L. E. 2009. Response of the shrimp population in the Upper Gulf of California to fluctuations in discharges of the Colorado River. *Crustaceana*, 82(5), 615-625.
- Pérez-Farfante, I. & B. Kensley, 1997. Penaeoid and segestoid and prawns of the World. Keys and diagnoses for the families and genera, 175 *Zoology*: 1-233. (Mémoires du Muséum National d'Histoire Naturelle, Paris.
- Poli, C.R., 1983. Patrón de inmigración de postlarvas de *Penaeus* spp. (Crustacea: Decápoda, Penaeidae) en la boca del Río Baluarte, Sinaloa, México. Tesis Doctoral. UNAM., 182 pp.
- Ramírez, R, y E. A. Aragón, 2006. Postlarval ecology of the blue shrimp (*Litopenaeus stylirostris*) and brown shrimp (*Farfantepenaeus californiensis*) in the Colorado River Estuary. *Ciencias Marinas* 32 (1a):45-52.
- Ramos, S. 2000. Composición por tallas, edad y crecimiento de *Litopenaeus vannamei* (Natantia: Penaeidae), en la laguna Mar Muerto, Oaxaca-Chiapas, Mexico. *Rev. Biol. Trop.* 48(4): 873-882.
- Ramos, S. y E. Ramos, 2006. Abundancia relativa de postlarvas de camarones peneidos en la Bahía Salinas del Marqués, Golfo de Tehuantepec, México. Marzo a junio de 1999. *Revista de Biología Marina y Oceanografía* 41(1): 121-128.
- Restrepo V. R., G. A. Diaz, J. F. Walter, J. D. Neilson, S. E. Campana, D. Secor & R. L. Wingate. 2010. Updated estimate of the growth curve of Western Atlantic bluefin tuna. *Aquat. Living Resour.* 23:335–342.

- Reynolds, R. W., N. A. Rayner, T.M. Smith, D.C. Stokes & W.Wang, 2002. An improved in situ and satellite SST analysis for climate. *Journal of Climate*, 16: 1609-1625.
- Richards F. J. 1959. A flexible growth function for empirical use. *Journal of Experimental Botany* 10, 290–301. doi:10.1093/JXB/10.2. 290.
- Ricker W. E. 1975. Computation and interpretation of biological statistics of fish populations. *Bull. Fish. Res. Bd. Can.*, 191: 1-382.
- Ricker W. E. 1979. Growth rates and models. En *Fish physiology. Bioenergetics and growth*, edited by W.S. Hoar, D.J. Randall y J.R. Brett. Londres, Academic Press, pp. 677–744.
- Rivera-Velázquez, G., I. Salgado-Ugarte, L. Soto & E. Naranjo, 2010. Un estudio de caso en el análisis de la distribución de frecuencias de tallas de *Litopenaeus vannamei* Boone, 1931 mediante el uso de estimadores de densidad por Kernel. *Latin American Journal of Aquatic Research*, 38: 201-209.
- Rodríguez de la Cruz M.C. 1981. Aspectos pesqueros del camarón de alta mar en el Pacífico mexicano. *Cienc. Pesq. (INAPESCA)* 1: 1–19
- Rothlisberg, P.C., J.A. Church & C.B. Fandry. 1995. A mechanism for near-shore concentration and estuarine recruitment of post-larval *Penaeus plebejus* Hess (Decapoda, Penaeidae). *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. 40(2): 115-138.
- Salinas, O.H.T., V.I. Manuel, R. N. Ramírez., 1996. Características físicas, químicas y biológicas del sistema lagunar Huave, Oaxaca, México. I.- Factores Físicoquímicos del Agua. *Boletín del Centro Regional de Investigación Pesquera (SEMARNAP-INP., Salina Cruz, Oaxaca)*, 1(1):14-21.
- Sánchez-Meráz, B. & J. A. Martínez-Vega, 2000. Inmigración de postlarvas de camarón *Litopenaeus* sp. y *Farfantepenaeus* sp. a través de la Boca El Oro del Sistema Lagunar Corralero-Alotengo, Oaxaca, México. *Ciencia y Mar*, 4(12): 29-46.
- Schnute J. 1981. A versatile growth model with statistically stable parameters. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 38: 1128-1140.

- Solís-Ibarra, R., J.A. Calderón-Pérez y S. Rendón-Rodríguez, 1993. Abundancia de postlarvas de camarón blanco *Penaeus vannamei* (Decapoda: Penaeidae) en el litoral del sur de Sinaloa, México, 1984-85. *Rev. Biol. Trop.*, 41 (3): 573-578.
- Sparre P. & S. C. Venema. 1998. Introducción a la evaluación de recursos pesqueros tropicales. Parte 1. Manual. FAO Doc. Téc. Pesca, 306.1 Rev. 2: 420 pp.
- Tapia, M., Suárez C., Macuítl M. C., Cerdenares G, García M.C. 1997. Composición y distribución de la ictiofauna de la Laguna del Mar Muerto. *Revista de Biología Tropical*, 46(2):277-284.
- Trasviña, A., E. D. Barton, J. Brown, H.S. Vélez, P. M.. Kosro and R.L. Smith, 1995. Offshore wind forcing in the Gulf of Tehuantepec, México: the asymmetric circulation. *Journal of Geophysical Research*, 100(C10): 20649-20663.
- Urban HJ. 2002. Modeling growth of different developmental stages in bivalves. *Marine Ecology Progress Series*, 238: 109-114.
- Van de Kerk, M., C. J. Littles, O. Saucedo and K. Lorenzen, 2016. The Effect of Latitudinal Variation on Shrimp Reproductive Strategies. *PLoS ONE* 11(5): e0155266. doi:10.1371/journal.pone.0155266.
- Valenzuela W., E. A. Aragón, J. A. Arréola, C. A. Salinas, S. E. Lluch y S. Hernández, 2006. Habitat use for growth and recruitment of the Pacific yellow leg shrimp, *Farfantepenaeus californiensis* (Decapoda, Penaeidae) on the continental shelf and adjacent Laguna Agiabampo, Mexico. *Crustaceana*, 79: 933-948.
- Valenzuela-Quiñónez W., 2007. Bases biológicas y ecológicas para adecuar el manejo de la pesquería de camarones peneidos en dos lagunas costeras del Golfo de California, con énfasis en Agiabampo, Sinaloa/Sonora. Tesis de Doctorado, Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C. México. 215 pp.
- Venzon D. J. & Moolgavkar S. H. 1988. A method for computing profile-likelihood-based confidence intervals. *Applied Statistics*, 37(1), 87-94.

- Villarreal, H., P. Hinojosa & J. Naranjo, 1994. Effect of temperature and salinity on the oxygen consumption of laboratory produced *Penaeus vannamei* postlarvae. *Comparative Biochemistry and Physiology, (A)* 108: 331-336.
- Vogt G. 2012. Ageing and longevity in the Decapoda (Crustacea): a review. *Zoologischer Anzeiger*, 251: 1-25.
- Von Bertalanffy L. 1938. A quantitative theory of organic growth (inquiries on growth laws II). *Hum. Biol.*, 10: 181-213.
- Wenner, E. L., D. M. Knott, J. O. Blanton, C. A. Barans & J. Amft, 1998. Roles of tidal and wind-generated currents in transporting white shrimp (*Penaeus setiferus*) postlarvae through a South Carolina (U.S.A.) inlet. *Journal of Plankton Research*, 20: 2333-2356.
- Wickins, J. F., 1976. The tolerance of warm-water prawn to recirculated water. *Aquaculture*, 9: 19-37.
- Wyrtki, K. 1966. Oceanography of the eastern equatorial Pacific Ocean. *Ocean. Mar. Biol. Ann. Rev.* 4: 33-380.
- Zhu L, L. Li & Z. Liang. 2009. Comparison of six statistical approaches in the selection of appropriate fish growth models. *Chin. J. Oceanol. Limnol.*, 27: 457-467.