

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NAYARIT
POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICO AGROPECUARIAS



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NAYARIT



SISTEMA DE BIBLIOTECAS

**ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS CARACTERÍSTICAS BIOLÓGICAS Y
DINÁMICA POBLACIONAL DE LAS JAIBAS *Callinectes bellicosus* y *C. arcuatus* EN
LA BAHÍA SANTA MARÍA DE LA REFORMA, SINALOA.**

M. en C. GUILLERMO RODRÍGUEZ DOMÍNGUEZ

Tesis presentada como requisito parcial para la obtención del grado de:
Doctorado en Ciencias en el Área de Ciencias Pesqueras.

Xalisco, Nayarit. Enero de 2014



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NAYARIT
POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICO AGROPECUARIAS

CBAP/012/14.


Xalisco, Nayarit; 22 de enero de 2014.

ING. ALFREDO GONZÁLEZ JÁUREGUI
DIRECTOR DE ADMINISTRACIÓN ESCOLAR
P R E S E N T E.

Con base al oficio de fecha 09 de enero del presente, enviado por los CC. Dr. Eugenio Alberto Aragón Noriega, Dr. Sergio Gustavo Castillo Vargasmachuca, Dr. Jesús Trinidad Ponce Palafox, Dr. Emilio Peña Messina y Dr. Raúl Pérez González, donde se indica que el trabajo de tesis cumple con lo establecido en forma y contenido, y debido a que ha cumplido con los demás requisitos que solicita el Posgrado en Ciencias Biológico Agropecuarias; dependiente de la Universidad Autónoma de Nayarit, se autoriza al **M.C. Guillermo Rodríguez Domínguez**, continúe con los trámites necesarios para la presentación de grado de Doctorado en el Área de Ciencias Pesqueras.

Sin más por el momento, reciba un cordial saludo.

Atestamento
"Por lo Nuestro a la Universidad"


Dr. J. Diego García Paredes
Coordinador del Posgrado

C.c.p.- Expediente


Amón

DR. J. DIEGO GARCÍA PAREDES
COORDINADOR DEL POSGRADO (CBAP)
P R E S E N T E.


Los suscritos integrantes del Cuerpo Tutorial para asesorar la Tesis titulada: Análisis comparativo de las características biológicas y dinámica poblacional de las jaibas *Callinectes bellicosus* y *C. arcuatus* en la Bahía de Santa María de La Reforma, Sinaloa, que presenta el C. Guillermo Rodríguez Domínguez, para obtener el Grado de Doctor en Ciencias con opción terminal en Ciencias Pesqueras, damos nuestra aprobación para que continúe con los trámites correspondientes para la obtención del su grado.

Sin otro asunto que tratar, reciba un cordial saludo.

ATENTAMENTE


Dr. Eugenio Alberto Aragón Noriega
Director


Dr. Sergio G. Castillo V.
Co-director


Dr. Jesús T. Ponce Palafox
Asesor


Dr. Emilio Peña Messina
Asesor


Dr. Raúl Pérez González
Asesor

A mis padres:

Eliás Rodríguez Álvarez y Brígida Domínguez Pineda

Por darme la vida y apoyarme en mi formación profesional a pesar de las carencias económicas, por el ejemplo de vida. Es un gran orgullo tenerlos como padres.

A mi esposa:

Ruth María Garduño Gil.

Por su tolerancia y amor a toda prueba.

A mis hijos:

María Fernanda

Scarlett

Leo Gandhi

Brenda Alicia

Itzel Karina

A todos los quiero mucho.

AGRADECIMIENTOS

El grado de Doctorado era un asunto pendiente con la Facultad de Ciencias del Mar de la Universidad Autónoma de Sinaloa; primero porque es mi Alma Mater donde me formé como biólogo Pesquero, después porque me adoptó como profesor e investigador y recibí el apoyo para mi formación en los postgrados de maestría y doctorado.

También agradezco la Dra. María Haws por su amistad y ser nuestro socio académico en el Programa AquaFish CRSP (Collaborative Research Support Program) el cual me apoyó con fondos para sustentar parte de los gastos de colegiatura y de esta investigación.

A Conservation International A.C. quien aportó parte de los fondos de la investigación.

Al Doctor Alberto Aragón Noriega, mi director de tesis le agradezco profundamente la oportunidad que me brinda de ser su amigo. Gracias por creer en mí y por sus observaciones y consejos profesionales que fueron claves para obtener este nuevo logro académico.

Al doctor Sergio G. Castillo Vargasmachuca por su amistad y apoyo incondicional en todo el proceso académico del doctorado y en la dirección de la investigación.

A los doctores Raúl Pérez González, Jesús T. Ponce Palafox y Dr. Emilio Peña Messina, por la revisión crítica del protocolo, avances y documento final de tesis.

CONTENIDO

	Página
Lista de tablas	viii
Lista de Figuras	x
RESUMEN GENERAL.....	xiii
INTRODUCCION GENERAL.....	1
AREA DE ESTUDIO	4
HIPÓTESIS.....	6
OBJETIVO GENERAL.....	6
CAPITULO 1. HISTORIA DE VIDA Y PESQUERÍA DE LAS JAIBAS DEL GENERO <i>Callinectes</i> EN SINALOA.	7
INTRODUCCIÓN.....	8
Taxonomía y distribución.	9
Ciclo de vida	10
Crecimiento.....	10
Mortalidad Natural y por Pesca.	11
Talla de primera madurez.	12
Evaluaciones de la pesquería.	12
REFERENCIAS.	14
CAPITULO 2. INDICADORES BIOLÓGICOS Y PESQUEROS DE LA POBLACIÓN DE JAIBA CAFÉ <i>Callinectes bellicosus</i> Y AZUL <i>C. arcuatus</i> DE LA BAHÍA SANTA MARÍA DE LA REFORMA.	16
RESUMEN.....	17
INTRODUCCIÓN.....	19
MATERIAL Y METODOS.....	20
RESULTADOS	22
DISCUSIÓN.....	31
REFERENCIAS.....	35
CAPITULO 3. CRECIMIENTO DE LAS JAIBA CAFÉ <i>Callinectes bellicosus</i> Y LA JAIBA AZUL <i>C. arcuatus</i> EN LA BAHÍA SANTA MARÍA DE LA REFORMA.	36
RESUMEN.....	37
INTRODUCCIÓN.....	39
MATERIAL Y METODOS.....	42
RESULTADOS	49
DISCUSIÓN.....	66
REFERENCIAS.....	73
CAPITULO 4. TALLA DE PRIMERA MADUREZ DE LAS JAIBAS CAFÉ <i>Callinectes bellicosus</i> Y <i>C. arcuatus</i> (DECAPODA, PORTUNIDAE) EN LA BAHÍA SANTA MARÍA DE LA REFORMA.	77
RESUMEN.....	78
INTRODUCCIÓN.....	80
MATERIAL Y METODOS.....	82
RESULTADOS	86
DISCUSIÓN.....	98
REFERENCIAS.....	102

CAPITULO 5. EVALUACIÓN DE LA PESQUERÍA DE LA JAIBA CAFÉ <i>Callinectes bellicosus</i> Y <i>C. arcuatus</i> EN LA BAHÍA SANTA MARÍA DE LA REFORMA, SINALOA, MÉXICO	104
RESUMEN.....	105
INTRODUCCIÓN.....	107
MATERIAL Y METODOS.....	110
RESULTADOS	115
DISCUSIÓN.....	122
REFERENCIAS.....	126
DISCUSIÓN GENERAL	128
CONCLUSIÓN GENERAL	129
CURRICULUM VITAE.....	130

Lista de Tablas

		Página
Tabla 2.1	Captura lancha ¹ día ⁻¹ de jaiba café y azul (\pm intervalo de confianza al 95%) sin estandarizar y estandarizada por la duración de la jornada y el poder de pesca.	27
Tabla 2.2	Coefficientes de correlación simple de Pearson entre la captura anual de jaibas en la laguna costera Bahía Santa María y algunos parámetros ambientales. En negritas son los valores significativamente diferentes de cero.	29
Tabla 3.1	Parámetros del modelo de Schnute después de ajustar a los datos de crecimiento de <i>C. bellicosus</i> en la bahía Santa María de la Reforma, por sexos y años, indicando el mejor modelo ajustado, y sus respectivas diferencias y pesos de Akaike .	53
Tabla 3.2	Comparación interanual de las curvas de crecimiento del caso 2 de Schnute en jaibas machos de <i>C. bellicosus</i> en la bahía Santa María de la Reforma. En negritas las probabilidades de comparaciones que son diferentes estadísticamente ($P < 0.05$).	56
Tabla 3.3	Comparación interanual de las curvas de crecimiento del caso 2 de Schnute en jaibas hembras de <i>C. bellicosus</i> en la bahía Santa María de la Reforma. En negritas las probabilidades de comparaciones que son diferentes estadísticamente ($P < 0.05$).	56
Tabla 3.4	Parámetros de los modelos ajustados a los datos Ac y peso de ambos sexos de jaiba <i>C. bellicosus</i> , transformados por el logaritmo natural. Con sus respectivos índices de Akaike y peso de Akaike.	57
Tabla 3.5	Comparación entre sexos de <i>C. bellicosus</i> usando la función cubica de la relación Ac - peso sobre datos transformados por logaritmo natural, aplicando la prueba de Kimura.	58
Tabla 3.6	Comparaciones interanuales en la relación cúbica de la relación logarítmica Ac-Peso para cada sexo de <i>C. bellicosus</i> .	58
Tabla 3.7	Parámetros (e intervalos de confianza al 95%) de los cinco casos del modelo de Schnute con su índice y peso de Akaike para los machos de jaibas azules <i>C. arcuatus</i> del medio natural.	61
Tabla 3.8	Parámetros estimados para cada modelo candidato para describir el	63

crecimiento de *C. arcuatus* cultivadas, asumiendo error aditivo con sus respectivos valores de IAc y P_{AK} . * valor asumido, ** mejor modelo.

Tabla 3.9	Parámetros de los cinco casos del modelo de Schnute con su índice y peso de Akaike para los datos combinados de jaibas creciendo en ambiente natural y cultivo.	64
Tabla 3.10	Parámetros de los modelos ajustados a los datos Ac y peso de ambos sexos de jaiba <i>C. arcuatus</i> , transformados por el logaritmo natural. Con sus respectivos índices de Akaike y peso de Akaike.	64
Tabla 3.11	Comparación entre sexos de <i>C. arcuatus</i> usando la función cubica de la relación Ac - peso sobre datos transformados por logaritmo natural, aplicando la prueba de Kimura.	65
Tabla 4.1	Talla de primera madurez (amplitud de cefalotórax) e intervalos de confianza estimados para <i>C. bellicosus</i> (Stimpson, 1859) en una laguna costera en el Golfo de California.	88
Tabla 4.2	Coefficientes del modelo potencial entre la talla de primera madurez $AC_{50\%}$ y el porcentaje de hembras maduras (PHM) extendido para considerar las variables ambientales. El AIC y R^2 para cada paso es indicado.	91
Tabla 5.1	Resultados del análisis de cohortes y curva de captura de longitud transformada a edad en la pesquería de la jaiba café <i>C. bellicosus</i> en la bahía Santa María	115
Tabla 5.2	Resultados de la aplicación del método Captura-MRS a la pesquería de la jaiba café <i>C. bellicosus</i> en la bahía Santa María de la Reforma.	118
Tabla 5.3	Resultados del análisis de cohortes y curva de captura de longitud transformada a edad en la pesquería de la jaiba azul <i>C. arcuatus</i> en la bahía Santa María en el periodo 2011-2012.	120

Lista de Figuras

		Página
Figura 1.0	Bahía Santa María de la Reforma, Sinaloa; México	5
Figura 1.1	Capturas comerciales de jaiba en Sinaloa durante 1982 a 2011	8
Figura 2.1	Estructura de tallas de la captura comercial (barras) y en muestreos independientes de la pesca (línea continua) de la jaiba café <i>C. bellicosus</i> en la Bahía Santa María de La Reforma.	23
Figura 2.2	Talla promedio mensual de las jaiba café <i>C. bellicosus</i> , separada por sexos, durante 2000-2012 en la bahía Santa María de la Reforma. Las líneas continuas y discontinuas representan la tendencia de machos y hembras respectivamente.	24
Figura 2.3	Proporción de sexos en las capturas comerciales de la jaiba café <i>C. bellicosus</i> , en la Bahía Santa María de la Reforma. Líneas igual que en figura 2.	24
Figura 2.4	Estructura de tallas de la captura comercial de la jaiba azul <i>C. arcuatus</i> en la Bahía Santa María de La Reforma.	25
Figura 2.5	Proporción de sexos en las capturas comerciales de la jaiba café <i>C. arcuatus</i> , en la Bahía Santa María de la Reforma.	26
Figura 2.6	Distribución de frecuencias y captura promedio de jaibas con aro sencillo y aro doble en el experimento para determinar el poder de pesca.	27
Figura 2.7	Captura promedio mensual de jaiba café (<i>C. bellicosus</i>) lancha ⁻¹ día ⁻¹ en la Bahía Santa María de la Reforma desde 1999 a 2011.	29
Figura 2.8	Volumen de captura de jaiba café <i>C. bellicosus</i> en la bahía Santa María de la Reforma de 1993 a 2011 y su relación con la series de tiempo de concentración de clorofila α , temperatura superficial del mar, materia orgánica particulada, materia inorgánica particulada y el índice de materia orgánica disuelta.	30
Figura 3.1	Cohortes detectadas en la estructura de tallas de machos de <i>C. bellicosus</i> .	49

Figura 3.2	Patrones temporales (progresión) en la media del AC de las cohortes de machos de <i>C. bellicosus</i> de la bahía Santa María de la Reforma. Cada progresión es identificada por líneas y símbolos diferentes. Los puntos cerrados aislados son tallas medias de cohortes que no se pudieron asignar a una u otra progresión.	50
Figura 3.3	Cohortes detectadas en la estructura de tallas de hembras de <i>C. bellicosus</i> . Con líneas discontinuas se identifica a las hembras físicamente maduras.	51
Figura 3.4	Patrones temporales (progresión) en la media del AC de las cohortes de hembras de <i>C. bellicosus</i> de la bahía Santa María de la Reforma. Cada progresión es identificada por líneas y símbolos diferentes. Los puntos cerrados aislados son tallas medias de cohortes que no se pudieron asignar a una u otra progresión.	52
Figura 3.5	Predicción del crecimiento de jaibas machos (A) y hembras (B) de <i>C. bellicosus</i> a partir de una talla inicial de 50 mm de AC, con los isos mejor ajustados cada año.	55
Figura 3.6	Estructuras de tallas de la jaiba azul <i>C. arcuatus</i> de las capturas comerciales y los grupos de edad identificados.	59
Figura 3.7	Progresión modal de jaibas azul <i>C. arcuatus</i> en datos de la captura comercial.	60
Figura 3.8	Tallas promedio e intervalos de confianza de jaibas azules <i>C. arcuatus</i> durante un periodo de cultivo de 5.5 meses.	62
Figura 3.9	Crecimiento de jaibas azules <i>C. arcuatus</i> en cultivo y ambiente natural. También se muestra el mejor modelo de datos combinados.	63
Figura 4.1	Área de estudio. Laguna costera Santa María La Reforma, Sinaloa, México.	82
Figura 4.2	Estructura de AC de jaibas hembras de <i>C. bellicosus</i> (Stimpson, 1859) colectadas en el interior (A) y en la boca (B) de la laguna Santa María y muestras combinadas (C). En los gráficos circulares: proporción de sexos y estadios de madurez de hembras.	87
Figura 4.3	Talla de primera madurez (amplitud de cefalotórax) de hembras de jaiba café <i>C. bellicosus</i> colectadas en el interior y en la boca de la laguna costera Santa María en el Golfo de California.	87

Figura 4.4	Perfiles de log verosimilitud negativa de la talla de primera madurez (amplitud de cefalotórax) de hembras de jaiba café <i>C. bellicosus</i> colectadas en el interior y en la boca de la laguna costera Santa María en el Golfo de California. Las líneas sólidas representan el perfil de log verosimilitud negativa y las líneas discontinuas la probabilidad de χ^2 cuadrada.	89
Figura 4.5	Relación entre la talla de primera madurez y el porcentaje de hembras maduras de cuatro fuente de datos de jaibas café <i>C. bellicosus</i> de la laguna Santa María La Reforma en el año 2000.	90
Figura 4.6	Relación entre la talla de primera madurez y el porcentaje de hembras maduras estimadas a partir de muestras anuales de la captura comercial (DP), muestreo a bordo de embarcaciones pesqueras (IP), en la boca de la laguna (B) y en el interior de la laguna (IL) por año (número después de DP, IP, IL, B) de jaibas café <i>C. bellicosus</i> de la laguna Santa María La Reforma.	91
Figura 4.7	Modelo potencial extendido con la función exponencial de <i>Chla</i> en la laguna Santa María la Reforma. Los años son indicados después de las letras DP= datos dependiente de la pesquería, IP= independiente de la pesquería, B= boca de la laguna y IL= interior de la laguna.	92
Figura 4.8	Talla de primera madures de machos de <i>C. bellicosus</i> en la Bahía Santa María de la Reforma.	93
Figura 4.9	Perfiles de verosimilitud (curvas amplia) y distribución de probabilidad de χ^2 (curvas agudas) del valor estimado para la talla de primera madurez de machos (líneas continuas) y hembras (líneas discontinuas) de <i>C. bellicosus</i> .	93
Figura 4.10	Estructura de tallas de machos y hembras de <i>C. bellicosus</i> por madurez sexual capturados en la bahía Santa María de la Reforma.	94
Figura 4.11	Talla de primera madurez de la jaibas hembra azul <i>C. arcuatus</i> capturada en la Bahía Santa María de la Reforma.	95
Figura 4.12	Talla de primera madurez de la jaibas macho azul <i>C. arcuatus</i> capturada en la bahía Santa María de la Reforma.	95
Figura 4.13	Perfiles de verosimilitud (curvas amplia) y distribución de probabilidad de χ^2 (curvas agudas) del valor estimado para la talla de primera madurez de machos (líneas continuas) y hembras (líneas discontinuas) de <i>C. arcuatus</i> .	96

Figura 4.14	Estructura de tallas de hembras (A) y machos (B) de <i>C. arcuatus</i> por madurez sexual capturados en la bahía Santa María de la Reforma.	97
Figura 5.1	Modelo de Thompson Bell aplicado a la pesquería de la jaiba café machos, <i>C. bellicosus</i> , en la bahía Santa María de la Reforma en los años 2000 (arriba) y 2011 (abajo).	116
Figura 5.2	Modelo de Thompson Bell aplicado a la pesquería de la jaiba café hembras, <i>C. bellicosus</i> , en la bahía Santa María de la Reforma en los años 2000 (arriba) y 2011 (abajo).	117
Figura 5.3	Distribuciones de frecuencia de r , K y MRS resultantes de la aplicación del método Captura-MRS a la pesquería de jaiba café <i>C. bellicosus</i> en la bahía Santa María de la Reforma.	118
Figura 5.4	Serie de tiempo de captura (línea con rombos) y valor promedio (línea horizontal continua) e intervalos de confianza al 95% (líneas horizontales discontinuas) del MRS en la pesquería de la jaiba café <i>C. bellicosus</i> en la bahía Santa María de la Reforma.	119
Figura 5.5	Biomasa estimada de la población de jaiba café <i>C. bellicosus</i> en la bahía Santa María de la Reforma y la referencia de B_{MRS} .	120
Figura 5.6	Modelo de Thompson Bell aplicado a la pesquería de la jaiba azul machos, <i>C. arcuatus</i> , en la bahía Santa María de la Reforma en el periodo 2011-2012. La flecha vertical indica el rendimiento y biomasa actual.	121

RESUMEN GENERAL

Por el valor de la producción la pesquería de jaiba en el estado de Sinaloa es la segunda más importante después de la pesquería de camarón y la primera por volumen de producción que desarrollan los pescadores ribereños. La bahía Santa María de la Reforma (BSM) es una de las lagunas costeras más importantes en la producción de jaiba en Sinaloa. Históricamente en esta laguna las capturas han sido sostenidas por *Callinectes bellicosus*, pero a partir de 2009 se ha incorporado la captura de *C. arcuatus*. También después de 2008 han incorporado más pescadores y nuevas tecnologías representadas por; motores con el doble rendimiento por unidad de combustible, comparado con los que se usaban anteriormente. y el aro doble que actúa como una trampa con una mayor eficiencia que el aro sencillo que se usaba anteriormente para la captura de jaiba. Para analizar el estado de la pesquería en esta laguna se hizo una comparación del estado que presentaba la población en el periodo 2000-2003 contra el periodo 2011-2012. Los datos analizados comprenden datos de muestreos dependientes e independientes de la pesquería sobre estructuras de tallas, madurez sexual, proporción de sexos, capturas por lancha por día en 2000-2001, 2007-2008 y 2010-2011 y capturas anuales desde 1993 a 2011. En el capítulo 1 se aborda la historia de vida y la pesquería de las jaibas del género *Callinectes* en Sinaloa. En el capítulo 2 se aborda indicadores de la pesquería donde los resultados más relevantes son la reducción de las tallas de captura de machos de *C. bellicosus*, un incremento en la proporción de hembras de la misma especie y un decremento en la captura por unidad de esfuerzo estandarizado asociado a un incremento en la intensidad de pesca. También se obtuvo una alta correlación significativa entre las capturas y el promedio de las anomalías mensuales de clorofila *a* y materia orgánica particulada con un desfase de dos años. En el capítulo 3 se analizó el crecimiento de ambas especies utilizando los cinco casos del modelo de Schnute (1981) y con un enfoque multi-modelo y uso de la teoría de la información se decidió que modelo describe el crecimiento de cada especie de jaibas estudiadas. Los resultados mostraron un crecimiento muy rápido de ambas especies y que el caso 5 de Schnute, que es el equivalente al modelo de von Bertalanffy, nunca resultó ser el mejor modelo. En algunos análisis quedó como el segundo mejor modelo. Se observaron diferencias significativas en el crecimiento entre sexos y años. La relación longitud peso indicó un crecimiento alométrico, pero el coeficiente de alometría no fue constante como se

asume en el modelo potencial usado tradicionalmente *a priori*. Un modelo cúbico sobre datos transformados por el logaritmo natural resultó el mejor en un enfoque multimodelo. En el capítulo 4 se estimó la talla de primera madurez y se encontró que esta es afectada principalmente por la segregación espacial de estadios de madurez. La variabilidad interanual en la talla de primera madurez fue modelada con una función potencial incluyendo la variación ambiental de clorofila *a* y temperatura superficial del mar, como errores multiplicativos, pero la segregación espacial de estadios de madurez, representada por el porcentaje de hembras maduras, resultó la mayor fuente de variación. Para fines prácticos se recomienda una talla de primera madurez de 107.78 para hembras de *C. bellicosus*. Por primera vez se estimó también la talla de primera madurez en machos, la cual no resultó significativamente diferente a las hembras. En *C. arcuatus* las tallas de primera madurez difirieron entre sexos, pero la estructuras de tallas muestran que no son representativas de la población. Finalmente en el capítulo 5 se realizó la evaluación de la pesquería por especies y sexos utilizando varios métodos que incluyen el análisis de cohortes, curva de captura de longitud transformada a la edad, el modelo de Thompson Bell y el método Captura-MRS. En todos se concluye que la pesquería de *C. bellicosus* no esta sobre-explotada, pero si en su máximo rendimiento, mientras que *C. arcuatus* está en fase de sub-explotación.

INTRODUCCIÓN GENERAL.

Sinaloa ocupa el segundo lugar nacional en volumen de la producción pesquera y el primero en cuanto al valor de esta, pero el 72% de las capturas lo acumulan la sardina, atún y barrilete, tres pesquerías que por la infraestructura necesaria para su explotación son consideradas como pesca industrial. En el restante 28% de las capturas se encuentran especies que son explotadas de manera artesanal por miles de pescadores dispersos en todo el litoral de Sinaloa y en este sobresalen, tanto por el volumen de captura como por el valor económico, el camarón de esteros y bahías y la jaiba. En el 2008 la producción de camarón de esteros y bahías fue de 7,626 toneladas de peso vivo con un valor de 302 millones de pesos y la producción de jaiba fue de 15,741 toneladas de peso vivo y con un valor de 151 millones de pesos. Ambas pesquerías aportan el 8% de la producción pesquera estatal, pero el 20% en cuanto al valor económico. En los últimos 30 años la tendencia en las capturas de camarón de esteros y bahías ha ido a la baja, en cambio la producción de jaiba ha ido a la alza. Entre 2000 y 2005 la producción pesquera estatal de jaiba fluctuó entre 2000 y 5000 toneladas y se incrementó a cerca de 16000 toneladas en 2008 (http://www.conapesca.sagarpa.gob.mx/wb/cona/anuario_2011). En el 2011 la producción fue de 6000 ton. (http://www.conapesca.sagarpa.gob.mx/wb/cona/anuario_2011). Actualmente la producción de jaiba ha superado la producción de camarón en esteros y bahías y aunque su valor económico es casi la mitad del lo que vale la captura de camarón, su valor social es muy importante dado que la pesca se mantiene todo el año y solo disminuye por un mes cuando se pesca alrededor del 70% de la captura de camarón de toda la temporada. En la actualidad, las cooperativas pesqueras ribereñas que antes solo se dedicaban a la captura de camarón de esteros y bahías están solicitando permisos para la pesca de jaiba ya que se había venido ejerciendo la pesca a través de permisos a particulares. Este interés de las cooperativas es el resultado de las cada vez más bajas capturas de camarón y las cada vez más altas capturas de jaiba.

A partir de septiembre de 2006 entro en vigor la NOM PESCA 039-2003 que regula la pesca de la jaiba en aguas de jurisdicción federal del litoral del océano Pacifico, en la cual, entre otras especificaciones, prohíbe la captura de hembras ovigeras y define la talla mínima de

captura de 115 mm de ancho de cefalotórax para la jaiba café *Callinectes bellicosus* y de 95 mm para la jaiba azul *C. arcuatus*.

En los años 2000 a 2002 en la Bahía Santa María de la Reforma, BSMR, la laguna costera más grande del litoral de Sinaloa, se probó una estrategia de comanejo para la pesquería de la jaiba (Rodríguez Domínguez et al. 2001, Rodríguez Domínguez et al, 2002, Rodríguez Domínguez et al, 2003 y Rodríguez Domínguez et al, 2004). En este proceso se nombró un subcomité para el manejo de la jaiba de la BSMR conformado por pescadores, permisionarios, industriales, autoridades municipales, delegación de pesca, PROFEPA y académicos. Se llegó a tomar decisiones sobre tallas mínimas de captura, prohibición de capturar hembras ovígeras, horarios de pesca, restricciones de algunos artes de pesca. La participación de los actores fue muy activa en la formulación de la Norma oficial de Pesca para la jaiba, que a la postre entró en vigor en 2006. Todo esto con base en información biológica generada por los académicos del subcomité. Para garantizar el cumplimiento de sus acuerdos se llegó incluso a nombrar inspectores comunitarios.

Ahora ya no existe este subcomité y la pesquería se rige por la Norma Oficial Mexicana, sin embargo parece que no se está respetando dado las inquietudes de los pescadores por establecer una veda reproductiva. Hoy la captura anual es mayor que en los años que operó el subcomité, la proporción de jaiba azul cada vez es más importante que la de la jaiba café en la captura anual y no existe una vigilancia adecuada para verificar el cumplimiento de las restricciones que la NOM PESCA 039-2003 establece. Aparentemente el manejo de la pesquería no es adecuado, no sustentable y en la práctica se comporta como una pesquería de libre acceso. La inclusión y dominio de la jaiba azul en las capturas comerciales, que es de menor tamaño y valor que la jaiba café que tradicionalmente se capturaba como única especie en la BSMR es muy reciente y parece estar siguiendo el proceso de otras pesquerías en donde después de agotar o sobreexplotar un recurso se pasan a otro con características similares aunque de menor valor y tamaño. El esfuerzo pesquero presumiblemente se ha incrementado del año 2000 a 2011, tanto porque se han incrementado el número de pescadores en esta actividad como porque se ha modificado el diseño del arte de pesca para darle una mayor eficiencia de pesca. Por esto se presume que la jaiba café está sobreexplotada y como el mismo esfuerzo de pesca se transfirió a la jaiba azul entonces este último recurso debe estar en riesgo de sobrexplotación.

En este proyecto de investigación se pretende evaluar la pesquería de jaiba en la BSMR y comparar los parámetros de la pesquería cuando se estaba manejando con base al esquema de comanejo y ahora que está regido por la norma oficial mexicana y en otros niveles de explotación o disponibilidad del recurso.

AREA DE ESTUDIO

La Bahía Santa María de la Reforma BSMR es una laguna costera que se encuentra ubicada geográficamente en el estado de Sinaloa entre los 24° 42' y 25° 30' de latitud norte y en los 107° 53' y 108° 26' de longitud oeste. Tiene una superficie de espejo de agua de aproximadamente 45000 hectáreas, lo que representa el 24.3% de la totalidad de las lagunas litorales del estado de Sinaloa y es la más grande de la zona centro. En su periferia se desarrollan bosques de manglar con una superficie de 15,724 hectáreas, su profundidad máxima es de 24 metros y la profundidad media es de 7 metros. Se comunica al Océano Pacífico a través de dos grandes bocas, la de Varadito y la del Rancho, que se encuentran separadas por una barra arenosa conocida como Isla de Altamura.

En el interior de la BSMR se forma la Isla Tachichútle, cubriendo un 35% de la superficie y dando lugar a una serie de parajes estrechos.

El clima es de semiseco a seco muy cálido y cálido, con una temperatura media anual de 24.2 °C y una precipitación pluvial promedio anual de 438 mm con las mayores lluvias en verano y escasas en invierno.

Esta Bahía queda incluida en la cuenca hidrológica del Río Mocorito que tiene una superficie aproximada de 7171 km² y un escurrimiento anual de 300 x 10⁶ m³ en donde se desarrolla una extensa zona agrícola.

La BSMR es el sistema costero más grande del estado de Sinaloa y también el más importante por la gran diversidad de flora y fauna silvestre que aún es posible encontrar en sus aguas y ecosistemas asociados. Este sistema forma parte del corredor de aves migratorias de Norte América, a donde en el invierno llegan una gran cantidad de aves para anidar o alimentarse y varias organizaciones nacionales e internacionales la han colocado en sus listas de zonas prioritarias para la conservación de la biodiversidad.

El principal recurso pesquero, desde el punto de vista económico, que se explota es el camarón, además de otras especies de menor valor económico, pero de igual o mayor importancia social, como son la jaiba, lisa, manta, sierra, botete, corvina, pargo, almejas, entre otras. Las comunidades pesqueras de mayor población que se asientan en la bahía son :

Playa Colorada, Costa Azul y La reforma en el Municipio de Angostura; y Dautillos y Yameto, en el Municipio de Navolato.



Figura 1.- Bahía Santa María de la Reforma, Sinaloa; México

HIPÓTESIS:

En la pesquería de jaiba de la Bahía Santa María de la Reforma se ha incrementado el esfuerzo pesquero y por tanto la mortalidad por pesca, por lo que las jaibas *Callinectes bellicosus* y *C. arcuatus* han sido sobreexplotadas. Lo anterior se refleja en una mortalidad por pesca (F) mayor a aquella con la que se obtiene el máximo rendimiento sostenible, tasas de explotación mayor a 0.5 y rendimientos anuales inferiores al máximo rendimiento sostenido.

OBJETIVO GENERAL

Evaluar la pesquería de la jaiba café *C. bellicosus* y azul *C. arcuatus* en la BSMR en el periodo 2011-2012 y compararlo con la situación prevaleciente durante 2000-2003.

Objetivos específicos:

- 1.- Comparar las estructuras anuales de tallas de *C. bellicosus* en 2000-2003 y 2011-2012 y conocer la estructura de tallas de *C. arcuatus* en 2011-2012.
- 2.- Estimar los parámetros de la pesquería de *C. bellicosus* y *C. arcuatus* en 2011 y 2012 tales como: crecimiento, mortalidad natural y por pesca, talla de primera madurez y primera captura, relación longitud-peso, índices de abundancia relativa y comparar estos parámetros con los del periodo 2000-2003 para *C. bellicosus*.
- 3.- Evaluar el efecto de la pesca sobre el rendimiento y la biomasa anual de las jaibas *C. bellicosus* y *C. arcuatus*.

CAPÍTULO I

HISTORIA DE VIDA Y PESQUERÍA DE LAS JAIBAS DEL GÉNERO *Callinectes* EN SINALOA.

INTRODUCCIÓN

En las costas de Sinaloa se han reportado hasta cinco géneros y trece especies de jaibas (Hendrickx, 1994), de las cuales, por su tamaño y abundancia, tres especies del género *Callinectes* tienen una importancia relevante como recursos pesqueros; la jaiba café *C. bellicosus*, la jaiba azul *C. arcuatus* y la jaiba rugosa *C. toxotes* (Paul, 1982). Las dos primeras son más abundantes y sostienen una importante pesquería en el estado. Históricamente, la pesquería en el sur del estado ha sido sostenida por *C. arcuatus* mientras que *C. bellicosus* es la dominante en las capturas del centro-norte del estado, aunque cada vez más, se está incrementando las capturas de *C. arcuatus* en esta última zona. Según los registros oficiales la captura de jaiba en Sinaloa empezó en 1982 y desde entonces las capturas han fluctuado cada año con una tendencia ascendente, llegando a obtener un máximo de 13,000 T.M. en 2008. (fig. 1.1).

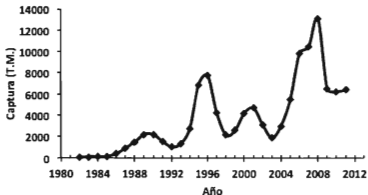


Figura 1.1. Capturas comerciales de jaiba en Sinaloa durante 1982 a 2011.

Taxonomía y distribución.

Las jaibas son crustáceos decápodos de la familia Portunidae, que se caracterizan por la forma aplanada de los últimos dos segmentos (propodus y dactylus) del quinto par de apéndices torácicas, las cuales utilizan como propulsores para desplazarse nadando, razón por la cual se

llama a los miembros de la familia Portunidae "los cangrejos nadadores" (Brusca, 1980). Para Sinaloa, Hendrickx (1984) reportó cinco géneros y 13 especies de portúnidos; *Arenaeus mexicanus* (Gerstaecker, 1856), *Callinectes arcuatus* (Ordway, 1863), *C. toxotes* (Ordway, 1863), *C. bellicosus* (Stimpson, 1859), *Cronius ruber* (Lamarck, 1818), *Euphyllax dovii* (Stimpson, 1860), *E. robustus* A. Milne (Edwards, 1874), *Portunus acuminatus* (Stimpson, 1871), *P. asper* (A. Milne Edwards, 1861), *P. iridescens* (Rathbun, 1893), *P. xantusii affinis* (Faxon, 1893), *P. xantusii minimus* (Rathbun, 1898), *P. xantusii xantusii* (Stimpson, 1860). Las especies de mayor tamaño son dos especies del género *Euphyllax* y tres del género *Callinectes* que pueden alcanzar tallas máximas entre 120 y 193 mm de ancho de cefalotórax (Hendrickx, 1984). Las especies de *Callinectes* se caracterizan por tener un cefalotórax más ancho que largo y deprimido dorso-ventralmente (Hendrickx, 1995). Las jaibas hembras vírgenes tienen un abdomen triangular adherido al cefalotórax y las hembras morfológicamente maduras tienen un abdomen semicircular pigmentado y desprendido del cefalotórax. El abdomen de los machos tiene una forma de T invertida, el cual está adherido al cefalotórax en ejemplares inmaduros y despegado en los ejemplares maduros. Las jaibas del género *Callinectes* habitan en aguas someras salobres de estuarios y lagunas costeras, especialmente *C. arcuatus* y *C. toxotes*. La otra especie, *C. bellicosus* también tiene afinidad por ambientes marinos. En las costas de Sonora los adultos de esta especie se encuentran en aguas marinas, mientras que los juveniles se localizan en lagunas costeras (Hernández y Arreola-Lizárraga, 2007), pero en Sinaloa los juveniles y adultos cohabitan dentro de lagunas costeras y estuarios. Las tres especies de *Callinectes* tienen una amplia distribución; *C. bellicosus* se distribuye desde San Diego, California, hasta la parte sur de Bahía Magdalena, Baja California Sur. En el Golfo de California se distribuye desde la paz, Baja California Sur y el Estero de Urias, Mazatlán, Sinaloa, hacia el norte del Golfo. *C. arcuatus* se distribuye desde los Ángeles, California hasta Mollenda, Perú, incluyendo la Isla Galápagos y el Golfo de California. *C. toxotes* se distribuye desde Cabo San Lucas, Baja California Sur, y el estuario del Río Piaxtla, Sinaloa, hasta el extremo norte de Perú.

Ciclo de vida.

El ciclo de vida descrito para el género indica que los adultos viven y se aparean en lagunas costeras y estuarios, después las hembras ovígeras emigran hacia las bocas de estos sistemas en donde se presenta la eclosión. Las zoeas se dispersan hacia el mar abierto y se transforman en megalopas las cuales ingresan de nuevo a los sistemas costeros donde crecen hasta alcanzar la fase adulta (Sánchez-Ortiz y Gómez-Gutiérrez, 1992). La reproducción se lleva a cabo en lugares someros de lagunas costeras y estuarios. Cuando una hembra inmadura va a mudar a la fase morfológica de madurez, el macho la detecta y la protege con su cuerpo manteniéndola debajo de sus apéndices torácicos hasta que se da el proceso de muda. En ese momento, cuando la hembra aún esta blanda después de haber mudado, el macho la parcha y será la única cópula que la hembra tendrá en toda su vida. La hembra almacena el esperma en dos sacos conocidos como espermateca y lo dosificará para fertilizar los huevecillos en dos o tres puestas. Después de la cópula la hembra tiene que regenerar primero sus tejidos y después madurar la gónada. Cuando la hembra ovoposita sus huevecillos fecundados el desarrollo de estos hasta la eclosión tiene una duración aproximada de 11 días (De Vries et al., 1984). En *C. sapidus* se ha observado que las hembras ovígeras, en sincronía con las corrientes de marea y movimientos verticales en la columna de agua, migran de las zonas someras de lagunas costeras y estuario hacia las bocas de los sistemas y después hacia la zona marina cuando faltan unos cuatro días para la eclosión de los huevecillos (Carr et al., 2004).

Crecimiento

Las tasas de crecimiento en las jaibas son relativamente altas con valores de K anualizadas mayores de 0.8 (Ruiz-Camacho *et al.*, 1985; Hernández-Moreno, 2000; Márquez-Farías y Montemayor-López, 2001; Ayala-Cota y Espinoza-Cruz, 2001; Ulibarria Valenzuela 2003; Hernández y Arreola-Lizárraga, 2007; Fischer y Wolff, 2006; Ramos Cruz, 2008). Pero también se observan grandes diferencias en las tasas de crecimiento, por ejemplo en *C. bellicosus* la tasa de crecimiento (K) varía de 0.9 a 3.8; en Sonora Márquez-Farías y Montemayor-López (2001) y Hernández & Arreola-Lizárraga (2007) estimaron una tasa de crecimiento anualizada de $K = 0.9$ para *C. bellicosus*, pero para la misma especie en Sinaloa se han estimado tasas que varían entre $K = 1.7$ y 3.8 (Ayala Cota y Espinoza-Cruz, 2001; Ulibarria Valenzuela 2003), incluso se ha observado variación interanual en una misma

localidad; Ayala Cota y Espinoza-Cruz (2001) estimaron tasas de crecimiento de $K= 2.9$ y 3.8 para machos y hembras, respectivamente, de *C. bellicosus* en la Bahía Santa María de la Reforma y para el mismo sitio y especie Ulibarria Valenzuela (2003) estimó tasas de 1.9 y 1.7 respectivamente, de la misma manera en Sonora Hernández & Arreola-Lizárraga (2007) estimaron una tasa de crecimiento de $K= 0.9$ en la bahía de las Guásimas para *C. bellicosus* y para la misma especie y en el mismo lugar Nevares Martínez et al (2003) estimaron una $K= 1.28$. Las diferencias de crecimiento en esta especie entre el litoral de Sonora y Sinaloa se han atribuido a diferencias en las temperaturas del agua y en la disponibilidad de alimento (Ulibarria Valenzuela 2003). Para *C. arcuatus* se observa la misma variación que en *C. bellicosus*; las tasas de crecimiento de esta especie varían entre 0.84 y 4.22 . En Sonora Hernández y Arreola-Lizárraga (2007) estimaron para *C. arcuatus* una tasa de crecimiento anualizada $K = 0.84$, mientras que para la misma especie en el estero El Sábalo en Sinaloa Ruiz Camacho et al (1985) estimaron una $K= 1.9$ y Ramos Cruz (2008) obtuvo una tasa de 4.22 en Oaxaca y en Costa Rica Fischer y Wolff (2006) estimaron una $K = 0.89$ para esta especie. Para la especie *C. toxotes* Alejo-Álvarez y Ávila-Martínez (1997) estimaron una tasa de crecimiento anual (K) de 2.61 para *C. toxotes* en condiciones de laboratorio, y para el Golfo de México Juárez-Zamacona (1990) reportó tasas de crecimiento anual (K) de 3.58 y 4.36 para machos y hembras de *C. sapidus*, respectivamente.

Todas estas tasas se han obtenido asumiendo que el modelo de von Bertalanfy describe adecuadamente el crecimiento de las jaibas y no existe ningún antecedente donde se hayan probado otros modelos de crecimiento. Katsanevakis & Maravelias (2008) probaron otros modelos alternativos de crecimiento en 133 conjuntos de datos de crecimiento de varias especies de peces y usando Inferencia Multi Modelo (MMI), basado en la teoría de la información, encontraron que en el 65% de los casos el modelo de von Bertalanfy no fue el mejor y proponen que cuando la plausibilidad del mejor modelo no es muy alta es más recomendable usar un modelo promedio del conjunto de modelos candidatos probados ponderados por el peso del criterio de información de Akaike.

Mortalidad Natural y por Pesca.

La mortalidad natural de las jaibas, así como de otros organismos silvestres es debida en mayor proporción a la depredación. Entre los depredadores de jaibas se cuentan a los botetes

(*Spheroides* sp.) al pez pistola (*Balistes* sp.), (según los pescadores de La Reforma) y hasta a sus propios congéneres (Dittel et al., 1995). Ulibarria Valenzuela (2003) estimó una tasa de mortalidad natural anualizada de 1.87 y 2.1 año⁻¹ para hembras y machos de *C. bellicosus* y una mortalidad por pesca de 1.92 y 1.13 año⁻¹, respectivamente, en la bahía Santa María de la Reforma, Sinaloa y Ulibarria Valenzuela (2003) Nevárez Martínez et al (2003) para esta misma especie en dos lagunas costeras de Sonora estimó mortalidades naturales entre 1.92 y 2.67 año⁻¹, y mortalidades por pesca entre 1.1 y 1.37. En tanto para *C. arcuatus* Nevares et al (2003) estimó tasas de mortalidad natural entre 1.88 y 2.87 año⁻¹ y mortalidades por pesca entre 1.05 y 1.15 año⁻¹. En el Golfo de Nicoya, Costa Rica, Fischer y Wolff (2006) estimaron una tasa de mortalidad natural de 1.32 para *C. arcuatus*. Juárez-Zamacona (1990) obtuvo tasas de mortalidad natural de 0.18 a 0.74 y tasas de mortalidad por pesca de 0.61 a 1.47, sobre una base temporal mensual en las jaibas (*C. sapidus*) del Golfo de México.

Talla de primera madurez

Las tallas de primera madurez reportadas para *C. arcuatus* y *C. bellicosus* difieren entre el litoral de Sonora y Sinaloa; Nevares et al (2003) reportaron L50% de 70.5 mm y 80 mm de ancho de cefalotórax (AC) para *C. arcuatus* y *C. bellicosus* respectivamente en las costas de Sonora, mientras que Ayala-Cota y Espinoza-Cruz (2001) reportaron una talla de primera madurez de 115 mm de ancho de cefalotórax en *C. bellicosus* de las costas de Sinaloa y Ramírez Félix et al. (2003) reportan para Sinaloa tallas de primera madurez de 95 mm de AC en *C. arcuatus* y de 115 mm de AC en *C. bellicosus*.

Evaluaciones de la pesquería

Ulibarria Valenzuela (2003) con base en un modelo estructurado por tallas estimó que la pesquería de *C. bellicosus* en la Bahía Santa María de la Reforma, Sinaloa, estaba en su máximo rendimiento sostenible (MRS) y en el óptimo económico, por lo que un incremento del esfuerzo redundaría en una reducción del rendimiento de este recurso. En este modelo se estimó un máximo rendimiento sostenible de 608 toneladas en la bahía Santa María de la Reforma, asumiendo un reclutamiento constante, pero parece ser que éste no ha sido constante considerando que en el estado se duplicó en años posteriores (2008) la producción de jaiba en referencia al año que se hizo la evaluación (2000).

Para las costas de Sonora Nevarez Martínez et al (2003) aplicaron un modelo similar para las Bahías de las Guásimas y Lobos en Sonora, encontrando que el MRS de *C. bellicosus* se obtendría con un incremento de 30% y 50% del esfuerzo aplicado en ambas bahías respectivamente.

REFERENCIAS

- Alejo-Álvarez, R. J. y C. Ávila Martínez, 1997. Biometría y crecimiento de la jaiba *Callinectes toxotes* (Ordway, 1863) en condiciones de cultivo. Tesis de Licenciatura, Facultad de Ciencias del Mar, Universidad Autónoma de Sinaloa. 45.
- Ayala-Cota, F. J. & L. J. Espinoza-Cruz, 2001. Parámetros poblacionales de la jaiba café *Callinectes bellicosus* (Stimpson, 1859) en la Bahía Santa María de la Reforma: Tesis de Licenciatura, Universidad Autónoma de Sinaloa, Mazatlán, México. 35p. Brusca, 1980.
- Carr, S.D., R.A. Tankersley, J.L. Hench, R.B. Forward & R.A. Luettich. 2004. Movement patterns and trajectories of ovigerous blue crabs *Callinectes sapidus* during the spawning migration. *Estuar. Coast. Shelf. Sci.* 60: 567-579.
- DeVries, M.C., Rittschof, D., Forward, R.B., 1983. Lunar rhythms in the egg hatching of the subtidal crustacean *Callinectes arcuatus* Ordway (Decapod: Brachyura). *Estuar. Coast. Shelf. Sci.* 17, 717-724.
- Dittel, A. I., A. H. Hines, G. M. Ruiz y K. Ruffin, 1995. Effects of shallow water refuge on behavior and density-dependent mortality of juvenile blue crabs in Chesapeake Bay. *Bull. Mar. Sci.*, 57(3): 902-916.
- Ayala-Cota, F. J. & L. J. Espinoza-Cruz, 2001. Parámetros poblacionales de la jaiba café *Callinectes bellicosus* (Stimpson, 1859) en la Bahía Santa María de la Reforma: Tesis de Licenciatura, Universidad Autónoma de Sinaloa, Mazatlán, México. 35p
- Hendrickx, M.E. 1984. Estudio de la fauna marina y costera del sur de Sinaloa, México. III. Clave de identificación de los cangrejos de la familia Portunidae (Crustacea: Decapoda). *An. Inst. Cienc. Mar y Limnol. UNAM.* 11 (1): 49-64.
- Hendrickx, M.E. 1995. CANGREJOS. 565-636 pp. Guía FAO para la identificación de especies para los fines de la pesca. Pacífico centro-oriental. Vol. I. Plantas e Invertebrados. 646 p. W. Fischer, F. Krupp, W. Schneider, C. Sommer, K.E. Carpenter y V.H. Niem. (Eds.). FAO, Roma, Italia.
- Hernández-Moreno L. & J. A. Arreola-Lizárraga, 2007. Estructura de tallas y crecimiento de los cangrejos *Callinectes arcuatus* and *C. bellicosus* (Decapoda: Portunidae) en la laguna costera Las Guásimas, México. *Rev. Biol. Trop.* 55(1): 225-233.
- Hernández-Moreno, L.G., 2000. Aspectos sobre la ecología y biología de las *Callinectes arcuatus* *C. bellicosus* en la laguna costera las Guasimas, Sonora, México. Tesis de maestría. Centro de Investigaciones Biológicas del Norte. S.C. La Paz . B.C.S.

Juárez-Zamacona, E. E., 1990. Biología pesquera de *Callinectes sapidus* Rathbun (Crustacea: Portunidae), en la laguna de Celestun, Yucatán. Tesis de Licenciatura, UNAM-Escuela Nacional de Estudios Profesionales Iztacala, 79 p.

Katsanevakis S. & C. D. Maravelias. 2008. Modelling fish growth: multi-model inference as a better alternative to a priori using von Bertalanffy equation. *Fish and Fisheries*, 9, 178-187.

Márquez-Frías J. F. y Montemayor -López G., 2001. Reporte científico para la apertura de temporada de pesca de jaiba en Sonora. CRIP-Guaymas. 2001-2002. INP-CRIP-SAGARPA 25p.

Nevárez-Martínez, M. O., J. López-Martínez, C. Cervantes-Valle, E. Miranda-Mier, R. Morales-Azpeitia & M. L. Anguiano-Carrasco, 2003. Evaluación biológica y pesquera de las jaibas *Callinectes bellicosus* y *Callinectes arcuatus* (Brachyura: Decapoda: Portunidae) en las bahías de Guásimas y Lobos, Sonora, México. In: M. E. Hendrickx (ed.), Contributions to the study of East Pacific Crustaceans, 2. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM, Mazatlán, México 125-138.

Paul, R. K. G., 1982. Observation on the ecology and distribution of swimming crabs of the genus *Callinectes* (Decapoda: Brachyura: Portunidae) in the Gulf of California, Mexico. *Crustaceana*, 42: 96-100.

Ramírez-Félix, E., J. Singh-Cabanillas, H. A. Gil, N. S. Sarmiento, I. Salazar, G. Montemayor, J. A. García, D. G. Rodríguez & L. N. Castañeda, 2003. La Pesquería de Jaiba (*Callinectes spp.*) en el Pacífico mexicano: Diagnóstico y Propuesta de regulación: Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, Cd. Mexico, Mexico 1-54.

Ramos Cruz, S. 2008. Estructura y parámetros poblacionales de *Callinectes arcuatus* (Ordway, 1863) (Decapoda: Portunidae), en el sistema lagunar La Joya- Buenavista, Chiapas, México. Julio a diciembre de 2001. *Pan-Amer. J. Aqua. Sci.* (2008) 3(3): 259-268

Ruiz-Camacho M., J. C. Ruiz-Camacho, J. A. Simental-Prado, A. López y J. A. Castro-Ayon, 1985. Contribución al conocimiento biológico pesquero de *Callinectes Arcuatus* (Ordway 1863) Estero el Sábalo, Mazatlán, Sin, México. 1983-1984. Memoria de servicio social Universitario. Escuela Ciencias del Mar, UAS.72pp.

Sánchez-Ortiz, C. A. y Gomez-Gutiérrez, 1992. Distribución y abundancia de los estadios planctónicos de jaiba *Callinectes bellicosus* (Decapoda: Portunidae), en el complejo lagunar de Bahía Magdalena, B.C.S., México. *Rev. Inv. Cient.*, 3 (1): 47-60.

Ulibarria Valenzuela J.J. 2003. Aplicación de un modelo predictivo a la pesquería de la jaiba café *Callinectes bellicosus* en la bahía Santa María de la Reforma. Tesis de Licenciatura, FACIMAR UAS. 42p.

CAPITULO 2

INDICADORES BIOLÓGICOS Y PESQUEROS DE LA POBLACIÓN DE JAIBA
CAFÉ *Callinectes bellicosus* Y AZUL *C. arcuatus* DE LA BAHÍA SANTA MARÍA DE
LA REFORMA

RESUMEN

Una pesquería de jaiba que se desarrolla en Bahía Santa María, una laguna costera del Golfo de California, se ha visto de repente sujeta a modificaciones relevantes de equipos y artes de pesca más eficientes que por sí solos representan un incremento en el esfuerzo de pesca. Para evaluar el impacto de estas modificaciones se analizaron indicadores de la pesquería comparando entre los años 2000-2001 con los de 2011-2012. Estos indicadores comprenden las estructuras de tallas, amplitud promedio del cefalotórax, proporción de sexos en la captura comercial y captura por unidad de esfuerzo. Para probar el poder de pesca del nuevo equipo de pesca se realizó un experimento de captura simultáneo con artes de pesca viejos y nuevos en las mismas áreas de captura. Se analizó también la captura por lancha por día de datos disponibles de bitácoras de compradores en los periodos 2000-2001, 2007-2008 y 2010-2011. Así mismo para explorar posibles explicaciones en la variabilidad interanual de las capturas comerciales se compararon con series de tiempo de anomalías de Clorofila *a* (CHL *a*), materia orgánica particulada (MOP), materia inorgánica particulada (MIP) y un índice de materia orgánica disuelta (MOD) obtenidos de imágenes satelitales. Las comparaciones se realizaron obteniendo el coeficiente de correlación de Pearson directa y con desfase de 1 a 3 años entre las capturas y los parámetros.

Los resultados muestran una reducción de la talla de captura de la especie de mayor valor comercial, los machos de jaiba café *C. bellicosus*. Mientras que la incorporación reciente a las capturas comerciales de *C. arcuatus*, una especie de menor valor comercial, y el incremento en la proporción de hembras en las capturas comerciales se discuten como evidencias de baja disponibilidad de la jaiba café *C. bellicosus* y la intensificación del esfuerzo de pesca. El poder de pesca del nuevo arte es 1.82 en relación al poder de pesca del viejo arte de pesca para la captura de *C. bellicosus* y de 31.8 para la captura de *C. arcuatus*. Los nuevos motores tienen el doble de eficiencia en rendimiento por unidad de combustible que los motores usados en el pasado. Como resultado de estas innovaciones la captura por unidad de esfuerzo estandarizado se redujo considerablemente de 70.4 kg lancha⁻¹ día⁻¹ en 2007-2008 a 17.5 kg lancha⁻¹ día⁻¹ para el periodo 2010-2011, aunque la captura diaria por embarcación se incrementó de 72.8 kg lancha⁻¹ día⁻¹ en 2007-2008 a 81 kg lancha⁻¹ día⁻¹ en 2010-2011, a costa de un incremento en la jornada de pesca y el mayor poder de las nuevas artes de pesca. Las variaciones interanuales

en las capturas comerciales tuvieron una correlación positiva significativa con la concentración de *Chla* y MOP con un desfase de dos años y una correlación negativa significativa con la MIP y el IMOD también en un desfase de dos años. Este desfase se discute en función del tiempo de transferencia de energía de los productores primarios hasta el nivel trófico promedio 2.4 en la que se encuentran las jaibas, impactando primero en la alimentación de los adultos y luego en el reclutamiento.

INTRODUCCIÓN:

En la bahía Santa María de la Reforma, en Sinaloa, se desarrolla una pesquería sobre un conjunto dos especies de jaibas; la jaiba café *C. bellicosus* y la jaiba azul *C. arcuatus*. Esta actividad que inicio en los años ochenta es hoy la segunda pesquería más importante, después de la de camarón, que desarrollan los pescadores ribereños. La regulación de esta actividad es a través de la norma oficial mexicana NOM-039-PESC-2003 que entró en vigor en 2006, sin embargo, ante la insuficiente capacidad para vigilar su aplicación, en la práctica se ha desarrollado como una pesquería de libre acceso. Además las políticas pesqueras y el desarrollo de nuevas artes de pesca han incrementado notablemente el esfuerzo de pesca aplicado a esta pesquería. A partir del año 2008 La SAGARPA a través de la CONAPESCA puso en marcha un programa de sustitución de motores fuera de borda de embarcaciones menores por los llamados "motores ecológicos", que son más eficientes en el consumo de gasolina y reducen los costos de operación, permitiendo el ingreso de mas pescadores en pesquerías que antes no eran redituables para muchos pescadores por los costos de operación y la necesidad de cierta destreza para la captura. En 2009 los pescadores sustituyeron el aro sencillo para la captura de jaiba, por el aro doble, el cual es una trampa sin abertura de escape que no requiere de habilidades especiales para capturar jaiba como lo requería el aro sencillo. Además este aro doble captura muchas jaibas pequeñas y aunque son devueltas al mar por los pescadores, cada vez se selecciona jaibas más pequeñas para comercializarlas. Los compradores también han contribuido ya que debido a la competencia entre ellos por conseguir el producto de más pescadores son chantajeados por éstos para que les reciba jaibas cada vez más pequeñas bajo amenaza de cambiar de comprador. Todas estas acciones en conjunto ponen en riesgo la sustentabilidad de la pesquería y es necesario evaluar el estado del recurso para definir medidas de manejo con bases científicas.

En este trabajo se analizan algunos indicadores biológicos y pesqueros en los años 2000-2003 y 2011-2012 de la pesquería de jaiba en la bahía Santa Maria de la Reforma.

MATERIALES Y MÉTODOS.

Datos de ancho de cefalotórax (AC) y proporción de sexos fueron recolectados en muestreos de las capturas comerciales durante 2000-2003 y 2011-2012. Durante 2000-2002 también se colectaron datos de ancho de cefalotórax en muestreos independientes de la pesca. Estos últimos muestreos se realizaron a bordo de las embarcaciones colectando las muestras antes de que los pecadores practicasen alguna selección de tallas. El análisis de esta información consiste en comparar las estructuras de tallas y la evolución en el tiempo de la talla promedio y la proporción de sexos en las capturas.

Una muestra de datos diarios de captura por lancha, incluyendo captura por especie y costos de gasolina fueron obtenidos de las bitácoras de compradores durante los años 1999-2003, 2007-2008 y 2010-2011. Los costos de gasolina fueron transformados a litros considerando el precio de la gasolina en cada periodo y se estimó la captura diaria estandarizada por el consumo diario de gasolina en el 2000-2003. El consumo de gasolina en el 2010-2011 se consideró el doble para estandarizarlo con los periodos de tiempo anteriores ya que los motores ecológicos que ahora operan tienen el doble de rendimiento por litro de gasolina que los motores que se usaban anteriormente.

El poder de pesca del aro sencillo y aro doble fueron estimados en un experimento donde se operaron simultáneamente 30 aros de cada tipo en las mismas áreas durante cinco horas de pesca.

Los datos de captura total fueron obtenidos de los registros oficiales de la CONAPESCA y con el fin de buscar una explicación en las fluctuaciones de captura se generaron series de tiempo mensual de temperatura superficial (TSM), clorofila *a* (Chl_a), materia orgánica particulada (MOP), materia inorgánica particulada (MIP) y un índice de materia orgánica disuelta (IMOD), desde julio de 2002 hasta agosto de 2012, en un cuadrante de la bahía Santa María, determinado por las coordenadas Lat.(25.071, 25.104), Long (-108.241, -108.191) a partir de imágenes de satélite de la siguiente liga http://gdata1.sci.gsfc.nasa.gov/daac-bin/G3/gui.cgi?instance_id=ocean_month. Con estos datos se estimaron anomalías restando el dato de cada mes del promedio de dicho mes en toda la serie. Se estimó los coeficientes de correlación de Pearson entre las capturas y el promedio anual de las anomalías mensuales de

los parámetros ambientales generados de las imágenes satelitales. Para explorar por periodos de retardo entre la fluctuación de capturas y el ambiente, los coeficientes de correlación se estimaron con desfase de 0, 1, 2 y 3 años

RESULTADOS

Estructura de la población de *C. bellicosus*.

La estructura de tallas de las capturas comerciales y de los muestreos independientes de la jaiba café *C. bellicosus* se muestran en la Figura 2.1. En el periodo 2000-2003 la talla de los machos entre la frecuencia relativa acumulada de 2.5% a 97.5% varió entre 85 mm y 155 mm de AC, mientras que para el periodo 2011-2012 varió entre 75 mm y 150 mm. En las hembras esta frecuencia acumulada se observó entre 80 mm y 130 mm en el periodo 2000-2003 y entre 55 mm y 125 mm en el periodo 2011-2012. El porcentaje de jaibas capturadas inferiores a la talla mínima oficial de 115 mm de AC varió entre 43% y 50% en el periodo 2000-2003 y se incrementó a 71% para el periodo 2011-2012. Tomando como referencia la talla de primera madurez de 107.5 mm de Ac estimada en este trabajo, los porcentajes de jaibas menores a esta referencia variaron entre 35% y 40% para el periodo 2000-2003 y se incrementó a 62% para el periodo 2011-2012.

La estructura de tallas de la jaiba café *C. bellicosus* en los muestreos independientes de la pesca muestra que las jaibas más grandes, de ambos sexos, disponibles en la bahía, están bien representadas en las capturas comerciales, como lo demuestran los perfiles similares en la estructuras de tallas más grandes en ambos tipos de muestreo. En cambio es clara una selectividad en el margen inferior de la estructura de tallas de las capturas comerciales.

La talla promedio de la captura comercial de jaibas mostró una alta variabilidad mensual en ambos sexos durante los periodos analizados, sin embargo, se observa claramente una tendencia a disminuir la talla de las jaibas machos, mientras que se mantiene estable la de las jaibas hembras (fig. 2. 2).

El análisis de la proporción de sexos en las capturas comerciales mostró un dominio de las jaibas machos sobre las jaibas hembras, pero con una tendencia a disminuir la proporción de machos y a incrementar cada vez más las hembras (fig. 2.3).

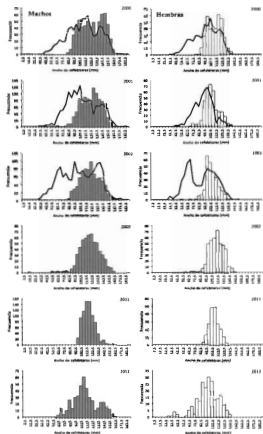


Figura 2.1. Estructura de tallas de la captura comercial (barras) y en muestreos independientes de la pesca (línea continua) de la jaiba café *C. bellicosus* en la Bahía Santa María de La Reforma.

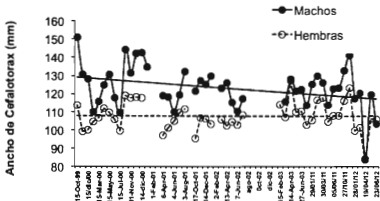


Figura 2.2. Talla promedio mensual de las jaiba café *C. bellicosus*, separada por sexos, durante 2000-2012 en la bahía Santa María de la Reforma. Las líneas continuas y discontinuas representan la tendencia de machos y hembras respectivamente.

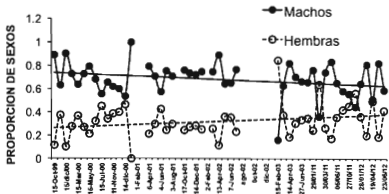


Figura 2.3. Proporción de sexos en las capturas comerciales de la jaiba café *C. bellicosus*, en la Bahía Santa María de la Reforma. Líneas igual que en figura 2.

Estructura de la población de *C. arcuatus*.

La estructura de tallas de *C. arcuatus* en las capturas comerciales se muestra en la fig. 1.4. Las jaibas machos se capturan con mayor frecuencia en tallas mayores de 90 mm de AC con una moda en la marca de clase de 100 mm, pero las tallas variaron entre 27 mm y 123 mm de AC (fig. 2.4 A). Las jaibas hembras se registraron en un número menor en las capturas comerciales y en éstas se observa dos grupos modales claramente definidos. Las jaibas más chicas presentaron una moda en la marca de clase de 45 mm de AC y en las más grandes la mayor abundancia se observó entre 85 y 95 mm de AC (fig. 2.4 B). El 62.4 % de las jaibas azules capturadas no cumplieron con la talla mínima de captura de 95 mm de AC para esta especie, pero solo el 4.8% fueron más pequeñas que la talla de primera madurez (62 mm de AC) estimada en este trabajo.

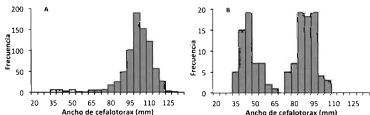


Figura 2.4. Estructura de tallas de la captura comercial de la jaiba azul *C. arcuatus* en la Bahía Santa María de La Reforma.

Las capturas comerciales de la jaiba azul fue dominada por machos. En la mayoría de las fechas donde se registró *C. arcuatus* el porcentaje de machos fue superior al 90%, excepto en octubre de 2011 cuando la proporción de sexos fue 1:1 y en enero del 2012 cuando el porcentaje de machos fue de 65% (fig. 2.5). El consumo de gasolina durante la jornada de pesca diaria por embarcación también fue mayor en el periodo 2007-2008 con 48.83 litros lancha⁻¹ día⁻¹ y el menor consumo fue en el periodo 2010-2011 con casi 46 litros lancha⁻¹ día⁻¹. En el periodo 2010-2011 el combustible tuvo un rendimiento al doble del que se presentó en los periodos anteriores, por la sustitución de los motores fuera de borda tradicionales (usados

en periodo 2000-2001 y 2007 y 2008) con motores ecológicos, de lo cual se desprende que la duración de la jornada diaria de pesca en el periodo 2010-2011 fue casi el doble (1.947) de la jornada en el 2000-2001. Considerando la duración de la jornada diaria de pesca y el poder de pesca de los aros dobles, que ahora son utilizados masivamente, la captura de jaiba café por lancha⁻¹ día⁻¹ estandarizada, mostró una reducción considerable en el último periodo analizado, desde 70.4 Kg lancha⁻¹ día⁻¹ en 2007-2008, hasta 17 Kg lancha⁻¹ día⁻¹ en el periodo 2010-2011.

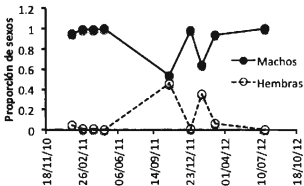


Figura 2.5. Proporción de sexos en las capturas comerciales de la jaiba café *C. arcuatus*, en la Bahía Santa María de la Reforma.

Captura por unidad de esfuerzo.

En el experimento realizado para estimar el poder de pesca se observó que el aro doble captura más jaibas de ambas especies que el aro sencillo (fig. 2.6); el aro sencillo capturó 0.59 jaibas café *C. bellicosus* y 0.015 jaibas azules *C. arcuatus* por lance contra 1.08 jaibas café y 0.49 jaibas azules capturadas por el aro doble. El poder de pesca del aro doble es de 1.82 para la captura de jaiba café y de 31.8 para la captura de jaiba azul, tomando como referente al aro sencillo.

La captura de jaiba café por lancha⁻¹ día⁻¹ sin estandarizar, en los tres periodos analizados, fue similar entre los periodos 2000-2001 y 2010- 2011 con alrededor de 61 Kg, mientras que en el periodo 2007-2008 fue más alta con cerca de 73 kg lancha⁻¹ día⁻¹ (Tabla 2.1).

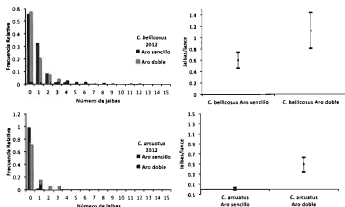


Figura 2. 6. Distribución de frecuencias y captura promedio de jaibas con aro sencillo y aro doble en el experimento para determinar el poder de pesca.

La jaiba azul apenas se incorporó a la captura comercial en el periodo 2010-2011 con un promedio de 20.2 kg lancha⁻¹ día⁻¹. De lo anterior se infiere que los pescadores tratan de conseguir una captura entre 60 kg a 70 kg por día independientemente del tiempo que les lleve lograr esta.

Tabla 2.1. Captura lancha⁻¹ día⁻¹ de jaiba café y azul (\pm intervalo de confianza al 95%) sin estandarizar y estandarizada por la duración de la jornada y el poder de pesca.

Año	Captura lancha ⁻¹ día ⁻¹ (Kg)		Consumo de gasolina lancha ⁻¹ día ⁻¹	Duración proporcional de la jornada	Poder de pesca		Captura lancha ⁻¹ día ⁻¹ estandarizada (Kg)	
	<i>C. bellicosus</i>	<i>C. arcuatus</i>			<i>C. bellicosus</i>	<i>C. arcuatus</i>	<i>C. bellicosus</i>	<i>C. arcuatus</i>
2000-2001	61.619 \pm 2.41		47.25	1	1		61.619	
2007-2008	72.750 \pm 1.36		48.83	1.033	1		70.392	
2010-2011	60.88 \pm 2.06	20.213 \pm 2.13	45.99	1.947	1.821	31.77	17.171	0.3267

En el periodo 2000-2003, la captura promedio mensual de jaiba café por lancha⁻¹ día⁻¹, sin estandarizar, fluctuó entre 100 kg y 120 kg en octubre o noviembre disminuyendo en los meses posteriores hasta un rendimiento de 30 a 40 kg en julio o agosto (fig. 2.7). En el periodo 2007-2008 la captura promedio mensual de jaiba café varió entre 58 kg y 82 kg lancha⁻¹ día⁻¹. En el 2010-2011 se observaron dos repuntes en la captura de jaiba café; uno en agosto y otro en marzo-abril, pero la máxima captura promedio mensual fue de 57 kg lancha⁻¹ día⁻¹. Aplicando los criterios de estandarización a la captura promedio mensual por embarcación se observa un rendimiento similar a la captura sin estandarizar, excepto en el último periodo de 2010 a 2011 donde la captura promedio mensual no fue mayor de 20 kg lancha⁻¹ día⁻¹.

Captura

La serie de captura anual de jaiba café de la bahía Santa María de la Reforma mostró un comportamiento oscilante con máximos en 1994, 1997, 2002 y 2007 (fig. 2.8). Particularmente éste último máximo de 2007 corresponde con un periodo dominado por anomalías positivas de Clorofila *a* y MOP, pero también dominaron temperaturas relativamente bajas y anomalías negativas de MIP. En cambio la depresión de las capturas entre 2002 y 2007 se caracterizó por una dominancia de anomalías negativas de Clorofila *a*, y MOP, en cambio dominaron anomalías positivas de temperatura y MIP. El análisis de correlación mostró que la concentración de clorofila *a* y la MOP se relacionan positivamente con las capturas comerciales de jaiba en esta laguna costera, pero con un desfase de dos años. En cambio la concentración de MIP e IMOD se relacionan negativamente con las capturas comerciales de jaiba, también con un desfase de dos años (Tabla 2.2).

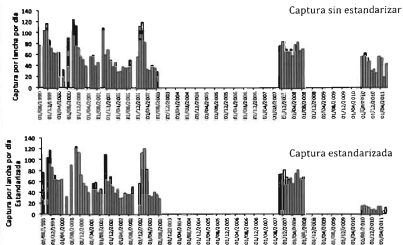


Figura 2. 7. Captura promedio mensual de jaiba café (*C. bellicosus*) lancha⁻¹ día⁻¹ en la bahía Santa María de la Reforma desde 1999 a 2011.

Tabla 2.2. Coeficientes de correlación simple de Pearson entre la captura anual de jaibas en la laguna costera Bahía Santa María y algunos parámetros ambientales. En negritas son los valores significativamente diferentes de cero.

Desfase	N	Chla	TEMP	MOP	MIP	IMOD
0	10	0.237	-0.167	0.282	-0.596	0.024
-1	9	0.226	-0.622	0.656	-0.635	-0.296
-2	8	0.872	0.104	0.938	-0.842	-0.905
-3	7	0.378	-0.038	0.238	-0.432	-0.350

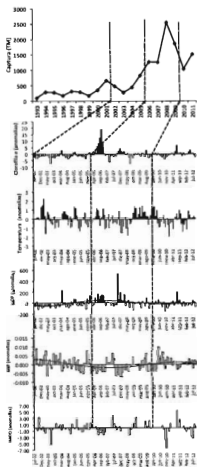


Figura 2. 8. Volumen de captura de jaiba café *C. bellicosus* en la bahía Santa María de la Reforma de 1993 a 2011 y su relación con la series de tiempo de concentración de clorofila *a*, temperatura superficial del mar, materia orgánica particulada, materia inorgánica particulada y el índice de materia orgánica disuelta.

DISCUSIÓN.

La reducción de la talla de captura de la jaiba café *C. bellicosus*, el incremento en la proporción de hembras, la disminución de la captura por unidad de esfuerzo estandarizado, así como la reciente incorporación de la jaiba azul *C. arcuatus* en las capturas comerciales indican que la pesquería está soportando un esfuerzo de pesca excesivo. Cuando el esfuerzo de pesca se intensifica en una pesquería suele suceder un fenómeno conocido como sobrepesca del crecimiento, en el cual se capturan ejemplares cada vez más pequeños, reduciendo la oportunidad de crecimiento a mayores tallas y afectando consecuentemente el rendimiento de la pesquería. La reducción en la talla fue evidente solo en los machos de *C. bellicosus* que son los que han soportado la pesquería en esta laguna costera, en cambio las hembras no mostraron indicios de reducción de la talla porque su explotación pesquera había sido en menor escala comparada a los machos. Sin embargo en los últimos dos años se ha incrementado la proporción de éste género en las capturas comerciales. Las jaibas presentan segregación espacial por sexos, donde las hembras maduras, de talla comercial, se concentran en zonas cercanas a las bocas de las lagunas costeras (Paúl, 1982) y especialmente la jaiba café en la BSM (capítulo 3) por lo que su incorporación en las capturas no era económicamente viable, por la distancia que había que recorrer hasta las bocas para tener acceso a ellas, en cambio los machos estaban más disponibles cerca de los sitios de desembarque. Así que el incremento reciente en la proporción de hembras en las capturas comerciales se explica por la introducción de los motores ecológicos (con mayor rendimiento por unidad de combustible) que permite a los pescadores explorar zonas cerca de la boca de la laguna donde pueden capturar mas hembras maduras, que alcanzan la talla comercial. El interior de la laguna está más cerca de la zona de desembarque que la boca de la laguna, por lo que la extensión de la pesca hacia zonas más alejadas de la zona de desembarque sugiere una reducción en la disponibilidad de jaibas hacia el interior de la laguna, lo cual se comprueba con la reducción de la captura por unidad de esfuerzo. La especie objetivo de la pesquería de jaiba es *C. bellicosus* ya que su precio de compra (\$12.00 kilo⁻¹) es un poco más del doble que el precio de la jaiba azul *C. arcuatus* (\$5.00 kilo⁻¹), pero cuando la abundancia de jaiba café se reduce, entonces la jaiba azul es una alternativa para completar el ingreso que buscan los pescadores. Así el reciente ingreso de la jaiba azul en las capturas comerciales es un indicio

también de disminución de la abundancia de la jaiba café. Las capturas por unidad de esfuerzo estandarizado mostraron una reducción considerable para el año 2011-2012 de la jaiba café *C. bellicosus*, sin embargo no se refleja en la captura total, porque los pescadores mantienen un nivel de producción diario de alrededor de 80 kg lancha⁻¹ (75% *C. bellicosus* y 25% de *C. arcuatus*) con base a la mayor eficiencia de las artes de pesca y la prolongación de la jornada de pesca.

La introducción de “motores ecológicos”, la sustitución del aro por trampas y el incremento del número de pescadores en la bahía Santa María en los últimos años son evidencias de la intensificación del esfuerzo de pesca. Los “motores ecológicos” tienen el doble de rendimiento por litro de gasolina que los antiguos motores. Esto ha permitido que los pescadores incrementen su jornada de captura para lograr la captura de jaiba que les reditúe económicamente. Así que la sola introducción de los motores ecológicos significa un aumento en el esfuerzo de pesca. El número de trampas por lancha que se usa actualmente es entre 50 y 60, un número similar a la cantidad de aros que se usaba anteriormente (Ramírez Félix et al 2006), sin embargo el mayor poder de pesca de las trampas en relación al aro significa también un incremento en el esfuerzo de pesca. Además estas dos innovaciones tecnológicas de la captura de jaiba han incentivado el ingreso de más pescadores. Indicios de sobrepesca del crecimiento y reducción en la tallas por pesca intensiva ya se ha documentado en pesquerías de crustáceos Portúnidos (Abbe, 2002; Kennelly & Scandol, 2002). En *C. sapidus* Abbe (2002) documentó un declive en la abundancia y talla media de las tallas de jaibas legales y un incremento en las capturas de tallas ilegales (juveniles) en Maryland E.U en un período de 33 años, desde 1968 a 2000, y argumentó que se debió a una sobreexplotación y a sobrepesca del crecimiento. Sin embargo técnicamente la población de *C. sapidus* no estuvo sobreexplotada en ese período sino hasta el 2001 (Miller et al, 2011), pero a final de la década de los 90's (1998-2000) se registraron las más altas tasa de explotación de esta especie. Es probable que la talla promedio de la jaiba café esté relacionada inversamente con la tasa de explotación, aún y cuando esta tasa no llegue aún a niveles de sobreexplotación. Kennelly & Scandol (2002) analizaron las capturas comerciales del cangrejo *Ranina ranina* en un período de once años en Australia y observaron un incremento en la tasa de explotación y reducción de la captura por unidad de esfuerzo, especialmente de las tallas mayores.

El incremento sustancial de las capturas de jaiba a partir del 2005 puede ser reflejo de la intensificación del esfuerzo de pesca, pero la alta correlación positiva con la concentración de clorofila *a* y la MOP sugiere también un significativo efecto ambiental. El desfase de dos años entre estas variables ambientales y las capturas puede ser el periodo de transferencia de la energía de los productores primarios hasta el nivel trófico donde se ubican las jaibas. *C. bellicosus* y *C. arcuatus* se alimentan principalmente de gasterópodos y pequeños crustáceos (Rodríguez Rojero, 2004), lo que las ubica en un nivel trófico de 2.4 (Salcido Guevara, 2006). Un primer nivel de transferencia sería desde los productores primarios, zooplancton y detritus que integran la MOP hasta la producción de gasterópodos y crustáceos pequeños que son el alimento de las jaibas. El impacto de esta disponibilidad de alimento para los ejemplares adultos de jaiba, principalmente en las hembras, influiría en la calidad del desove y larvas, que posteriormente se reclutarían a las capturas comerciales como adultos. Este proceso bien podría llevarse de un año y medio a dos, lo que explicaría el desfase entre las fluctuaciones de MOP y Capturas de jaibas con un desfase de dos años. Las correlaciones negativas de las capturas de jaiba con la concentración de materia inorgánica particulada y la materia orgánica disuelta con un desfase también de dos años puede estar asociada a procesos inhibidores de la producción de MOP, principalmente de los productores primarios. La materia inorgánica disuelta y material inorgánico particulado pueden limitar la penetración de la luz solar sobre las capas superficiales del agua e inhibir la productividad primaria, y consecuentemente la producción secundaria de zooplancton que en conjunto forman la mayor parte de la MOP en el mar.

Morales Bojórquez (1995) analizó la variación interanual en el tamaño de la población de *C. sapidus* y encontró que la fracción adulta es sensible a las bajas temperaturas de invierno, mientras que los reclutas es afectada por la salinidad, temperatura, energía radiante y flujo de corriente. En este trabajo las capturas de jaibas de BSM también mostraron una relación negativa con la temperatura superficial del mar, sin embargo el valor no fue estadísticamente diferente de cero. En Chesapeake donde se ubica el análisis de Morales Bojórquez (1995) las temperaturas extremadamente bajas del invierno detienen el crecimiento de la jaiba azul *C. sapidus*, se ponen inactivas e invernan enterradas sobre el substrato (Brylawski & Miller, 2006; Miller et al., 2011) así que la duración del periodo de temperaturas inferiores a 10 °C

influye sobre el rendimiento anual de la población y es lo que detectó en su análisis Morales Bojórquez (1995). En BSM los inviernos no son tan extremos como en la bahía de Chesapeake, temperaturas menores a 10 grados no se presentan en la BSM, las mínimas temperaturas son superiores a 17°C (Valenzuela Villareal, 2004) y aunque pueden afectar el crecimiento de éstas especies, no llega a ser suficiente como para reflejarse en las variaciones interanuales de la captura.

Como estas especies tienen una alta tasa de crecimiento (ver Capítulo 2) con mucha facilidad se puede recuperar la talla de ejemplares grandes una vez que se reduzca o suspenda la intensidad de pesca como ocurre cada año en el mes de septiembre cuando los pescadores abandonan esta pesquería para dedicarse a capturar camarón cuando inicia la temporada de captura éste recurso. Considerando una tasa de mortalidad natural de 1.93 (ver capítulo 4), los modelos de crecimiento de las jaibas en 2011 y las relación longitud peso (capítulo 2) una suspensión de la pesquería por un mes rendiría un incremento de 31% en la biomasa de los machos y 63% en las hembras respecto de la biomasa antes de la suspensión de la pesca.

REFERENCIAS

- Abbe G.R. 2002. Decline in size of male blue crabs (*Callinectes sapidus*) from 1968 to 2000 near Calvert Cliffs, Maryland. *Estuaries*. 25(1):105-114.
- Brylawski, B.J. and T. J. Miller. 2006. Temperature dependent growth of the blue crab (*Callinectes sapidus*): a molt process approach. *Canadian J. Fish. Aquat. Sci.* 63:1298-1308.
- Kennelly S. J. and J. P. Scandol, 2002. Using a fishery-independent survey to assess the status of a spanner crab *Ranina ranina* fishery: univariate analyses and biomass modeling. *Crustaceana* 75 (1): 13-39.
- Miller, T.J., M.J. Wilberg, A.R. Colton, G.R. Davis, A. Sharov, R.N. Lipcius, G.M. Ralph, E.G. Johnson, and A.G. Kaufman. 2011. Stock Assessment of the Blue Crab in Chesapeake Bay. UMCES Tech. Ser. No. TS-614-11, University of Maryland Center for Environmental Science Chesapeake Biological Laboratory, Solomons, MD. 203pp.
- Morales Bojórquez, E. 1995. Simulación de fluctuaciones interanuales de (*Callinectes sapidus*) relaciones entre el stock, el reclutamiento y la variabilidad ambiental. INP. SEMARNAP. México. *Ciencia Pesquera* 11: 62-65.
- Paul RKG. 1982. Abundance, breeding and growth of *Callinectes arcuatus* Ordway and *Callinectes toxotes* Ordway (Decápoda, Brachyura, Portunidae) in a lagoon system on the mexican Pacific coast. *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 14: 13-26.
- Ramírez-Félix, E., J. Singh-Cabanillas, H. A. Gil, N. S. Sarmiento, I. Salazar, G. Montemayor, J. A. Garcia, D. G. Rodríguez & L. N. Castañeda, 2003. La Pesquería de Jaiba (*Callinectes* spp.) en el Pacífico mexicano: Diagnóstico y Propuesta de regulación: 1-54. (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, Cd. México, México).
- Rodríguez Rojero A. 2004. Hábitos alimentarios de las jaibas *Callinectes bellicosus* Stimson y *C. arcuatus* Ordway (Brachyura : Portunidae) en Bahía Magdalena, Baja California sur, México. Tesis de Maestría CICIMAR, IPN. 114p.
- Salcido Guevara L.A., 2006. Estructura y Flujos de biomasa en un ecosistema bentónico explotado en el sur de Sinaloa, México. Tesis de Maestría, CICIMAR, IPN. 96 p.
- Valenzuela-Villareal, V.A. 2004. Estudio hidrológico de la bahía de Santa María la Reforma. Tesis de licenciatura. Facultad de Ciencias del Mar, UAS. 32 p.

CAPITULO 3

CRECIMIENTO DE LAS JAIBA CAFÉ *Callinectes bellicosus* Y LA JAIBA AZUL *C. arcuatus* EN LA BAHÍA SANTA MARÍA DE LA REFORMA.

RESUMEN

A pesar de la importancia de la pesquería de jaiba del género *Callinectes* en la costa oriental del Golfo de California, es escasa la información biológica arbitrada disponible, sobre la cual sustentar un manejo informado y sustentable del recurso. Con el objetivo de analizar el crecimiento de la jaiba café *C. bellicosus* y de la jaiba azul *C. arcuatus* se utilizó información sobre estructuras de tallas de ancho de cefalotórax en muestreos independientes de la pesquería y de capturas comerciales durante 2000-2002 y 2011-2012 de la laguna costera Bahía Santa María de la Reforma en el Golfo de California. El análisis de tallas para identificación de cohortes se realizó con un modelo multinormal y usando la teoría de la información para validar el número de cohortes en las estructuras de tallas. La progresión de cohortes se identificó gráficamente y el crecimiento se abordó con un enfoque multimodelo usando los cinco casos del modelo de Schnute como modelos candidatos. En *C. arcuatus* también se analizaron datos de crecimiento en cultivo. Las relaciones longitud peso en ambas especies se analizaron con un enfoque multimodelo usando cinco modelos candidatos.

Se encontró que ambas especies tienen un crecimiento muy rápido con incrementos de talla de 11.5 mm mes^{-1} y 9.5 mm^{-1} en machos y hembras de *C. bellicosus* respectivamente. En *C. arcuatus* el crecimiento fue de 5 mm^{-1} en jaibas silvestres y 21 mm^{-1} en jaibas cultivadas con un promedio en conjunto de 7.7 mm^{-1} . En los machos de *C. bellicosus* el mejor modelo ajustado a los datos fue variable entre los años desde el caso 1 al 4, en cambio en las hembras fue consistente el caso 2 entre los años analizados excepto en el 2012 cuando el mejor modelo fue el caso 3. Las diferencias entre sexos fueron significativas. Sin embargo la variación interanual del crecimiento mostró que los machos de *C. bellicosus* tuvieron un crecimiento similar en los años 2001, 2002 y 2011, mientras que las hembras solo tuvieron igual crecimiento en 2002 y 2011. En *C. arcuatus* el mejor modelo ajustado por separado al crecimiento de machos en el medio natural y de cultivo fue el caso 3 mientras que cuando se combinaron ambos datos el mejor ajuste se obtuvo con el caso 2. En las hembras cultivadas de *C. arcuatus* el mejor modelo resultó el caso 1. El caso 5 equivalente al modelo de von Bertalanffy que se ha usado tradicionalmente para describir el crecimiento en muchas especies acuáticas no resultó el mejor modelo en ninguno de los ajustes realizados en ambas especies, aunque en algunos análisis quedó como la segunda opción mejor ajustada. Se discute que el

uso *a priori* de este modelo para describir el crecimiento de las jaibas podría resultar en estimaciones erróneas de los parámetros con supuesto significado biológico como la longitud máxima. La relación longitud peso que mejor se ajustó en ambas especies y sexos fue el modelo cúbico sobre datos transformados por el logaritmo natural, con excepción de las hembras de *C. arcuatus* donde el mejor ajustado fue el modelo cuadrático, aunque compartiendo créditos con el modelo cúbico como mejor modelos. Estos resultados indican un crecimiento de tipo alométrico pero que el coeficiente de alometría b no es constante como se supone en el modelo potencial que tradicionalmente se usa *a priori* para describir esta relación.

INTRODUCCIÓN

Un tópico central en la ecología pesquera es el estudio del crecimiento individual de los organismos porque es fundamental para dilucidar la dinámica poblacional de las especies. Estos estudios generan información sobre las tasas de mortalidad y de otros parámetros que se utilizan comúnmente para llevar a cabo evaluaciones de stock y estudios sobre la historia de vida de las especies (Sparre & Venema, 1998; Haddon, 2001).

A diferencia de otras especies acuáticas los crustáceos presentan un crecimiento discontinuo. El exoesqueleto rígido que rodea su cuerpo limita el crecimiento, por lo que a intervalos de tiempo lo mudan para poder crecer. La talla y peso del crustáceo se mantiene más o menos constante durante el periodo inter muda y solo se incrementa por absorción de agua en sus tejidos durante un corto tiempo antes de la muda. Los crustáceos crecen dentro del nuevo exoesqueleto sustituyendo agua por tejidos, en el periodo inter muda. Esta forma de crecimiento también dificulta la determinación directa de edad en los crustáceos, porque con la muda se eliminan estructuras duras que pudieran almacenar información sobre la edad como ocurre en las escamas, otolitos, vertebras u otras estructuras duras en peces y moluscos bivalvos. Aunque recientemente se ha descubierto que algunas estructuras duras como el pedúnculo ocular y el molino gástrico de algunos crustáceos presentan marcas asociadas a la edad (Kilada et al., 2012), aún no se ha probado si existen en todas las especies de crustáceos. Como es necesario una medida del tiempo para los estudios de crecimiento, se han probado diversas alternativas para determinar edad en crustáceos que incluyen marcado y recaptura (van Montfrans et al. 1986; Fitz & Wiegert 1991), cultivos en laboratorio (Zamora et al., 2005), análisis bioquímicos de lipofuccina (Whale et al., 1996; Ju et al., 2001, Puckett et al., 2008) y análisis de tallas (Rodríguez-Domínguez, et al., 2012). Éste último procedimiento comprende la identificación de cohortes en la estructura de tallas asumiendo que la frecuencia de tallas de cada cohorte sigue una distribución normal (Montgomery et al., 2010). Después se identifica la progresión temporal de las cohortes para estimar el crecimiento.

Aunque el crecimiento individual en crustáceos es discontinuo, se utilizan modelos continuos para describir su crecimiento, ya que el crecimiento promedio semeja una función continua (Sparre & Venema, 1998). El modelo de crecimiento de von Bertalanffy (MCVB; Von Bertalanffy, 1938) es el mas estudiado y comúnmente aplicado a claves de edad talla de

organismos acuáticos. Otros modelos alternativos usados son: el de Gompertz (Gompertz, 1825). Schnute-Richards (Schnute y Richards, 1990) y Logístico (Ricker, 1975). Schnute (1981) presentó un modelo más versátil y generalizado con parámetros estadísticamente estables y que puede incluir como casos especiales los otros modelos históricos. Mas tarde Baker (1991) aportó una derivación del modelo de Schnute (1981) para casos cuando no se dispone de información directa de longitud a la edad. A pesar de esta gama de modelos existentes, generalmente se elige *a priori* un modelo con base en la forma de la curva deseada y supuestos biológicos para ajustarlo a los datos. Así entonces, la precisión de los parámetros estimados e inferencias sobre éstos dependen del modelo elegido. Recientemente, el enfoque multimodelo, un procedimiento alternativo, ha estado llamado la atención (Katsanevakis, 2006; Wang & Liu, 2006; Katsanevakis & Maravelias, 2008). En este nuevo enfoque se ajusta más de un modelo a los datos y entonces se usa un criterio de la teoría de la información, el índice de Akaike, (Akaike 1973) para seleccionar el mejor modelo ó un promedio de los mejores modelos candidatos (Burnham and Anderson 2002). Así mismo la precisión e inferencia sobre los parámetros estimados se puede realizar considerando la aportación de cada modelo candidato con soporte relevante en los datos.

En los estudios de crecimiento de organismos acuáticos es común estimar primero el crecimiento en longitud y posteriormente se transforma a peso a través de la relación potencial entre la longitud y peso de los organismos. La potencia de esta relación se ha usado como referencia para definir el tipo de crecimiento. Una potencia igual a tres es interpretada como crecimiento isométrico y cualquier otro como crecimiento alométrico. Katsanevakis et al., (2007) encontraron que el modelo potencial no siempre es adecuado para describir las relaciones morfométricas de organismos acuáticos con crecimiento alométrico y propusieron un procedimiento alternativo basado en la teoría de la información y la inferencia multimodelo.

La información sobre el crecimiento y tasa de desarrollo de las jaibas *C. arcuatus* y *C. bellicosus* es escaso. Explorando la bibliografía existente se encontró principalmente con reportes técnicos, tesis y solo cuatro publicaciones formales que analizan el crecimiento de estas especies (Paul, 1982; Fischer y Wolff, 2006; Hernández Moreno & Arreola Lizárraga, 2007; Ramos Cruz 2008). Una sola publicación formal aborda el crecimiento de *C. bellicosus*

(Hernández & Arreola, 2007) utilizando el MCVB sobre datos de sexos combinados. Sus resultados aportan que esta especie alcanza un ancho de cefalotórax (AC) máxima de 169 mm, el cuál es alcanzado en un tiempo relativamente corto como lo sugiere su alto valor estimado de k (0.9 año^{-1}). En informes técnicos y tesis se encontró reportes de crecimiento de *C. bellicosus*, que también utilizaron el MCVB; Márquez-Farías y Montemayor-López (2001) y Hernández-Moreno (2000) reportaron coeficientes de crecimiento anualizadas de $K=0.9$ mientras que Ayala-Cota y Espinoza-Cruz (2001) obtuvieron valores de $K = 2.9$ y 3.8 en machos y hembras, respectivamente, y Ulibarria Valenzuela (2003) estimó $K= 1.91 \text{ año}^{-1}$ y $K= 1.69 \text{ año}^{-1}$ en machos y hembras respectivamente. El crecimiento de la otra especie, *C. arcuatus*, es analizado en las cuatro publicaciones formales; Paul (1982) reporto tasas de crecimiento de *C. arcuatus* entre cinco y 11 mm mes^{-1} con un crecimiento relativamente mayor en machos que en hembras, pero no ajustó ningún modelo de crecimiento a su información. Las otras tres publicaciones usaron el MCVB para modelar el crecimiento de *C. arcuatus* (Fischer y Wolff, 2006; Hernández Moreno & Arreola Lizárraga, 2007; Ramos Cruz 2008). El AC máximo estimado en estos trabajos es muy parecido variando entre 140 mm y 142 mm, en cambio los estimados de K son mas variables; Fischer y Wolff, (2006) y Hernández Moreno & Arreola Lizárraga, (2007) estimaron una $K= 0.89 \text{ año}^{-1}$ y $K=0.9 \text{ año}^{-1}$ respectivamente, pero Ramos Cruz (2008) estimó $K= 0.3524 \text{ mes}^{-1}$, la cual equivale a una $k= 4.22 \text{ año}^{-1}$. En su tesis de licenciatura Ruiz Camacho et al (1985) estimaron una $K= 1.9 \text{ año}^{-1}$ para *C. arcuatus*.

En este capítulo se aborda el crecimiento de las jaibas *C. bellicosus* y *C. arcuatus* en la bahía Santa María de la Reforma usando el enfoque multimodelo.

MATERIAL Y MÉTODOS.

Muestreo biológico.

Durante los años 2000, 2001, 2002, 2011 y 2012 se recolectaron muestras mensuales de 15 a 20 kg de jaibas en embarcaciones comerciales que operan en la bahía Santa María de la Reforma. Para asegurar que no se descartara alguna jaiba por su tamaño y que la muestra se colectara aleatoriamente siempre se envió un técnico a bordo de estas embarcaciones. En todo el periodo se muestreo la jaiba café *C. bellicosus* y en los dos últimos años también se colectaron jaibas azules *C. arcuatus*. En esta última especie solo se analizaron datos de machos, porque los datos de hembras fueron insuficientes para el análisis de crecimiento. Además la pesquería está basada en los machos porque solo éstos logran alcanzar tallas deseables para la comercialización. También se analizaron datos de *C. arcuatus*, de ambos sexos, cultivadas en estanques de concreto durante 5.5 meses y muestreadas cada 15 días. Los detalles del cultivo de jaiba se describen en Astorga Enciso y Chávez Padilla (2001). A todas las jaibas se les midió la amplitud del cefalotórax (AC) en mm, considerada como la distancia entre las puntas de las espinas laterales más largas.

Análisis de tallas

Se construyeron distribuciones de frecuencias de tallas a intervalos de 5 mm de ancho de cefalotórax en cada muestreo. Cada grupo de edad presente en las muestras fueron separadas y descritas por medio de una distribución normal cuyos parámetros fueron la media μ_a , distribución estándar σ_a , y el número de organismos en ese grupo de edad (N_a). La frecuencia esperada en cada intervalo de talla (F_{ia}) de cada grupo de edad fue estimada entonces substrayendo la probabilidad normal acumulada del límite inferior de ese intervalo de la probabilidad normal acumulada del límite superior del intervalo y multiplicado por el número de organismos en ese grupo de edad.

$$F_{ia} = \int_{-\infty}^{LISup} \left[\frac{1}{\sigma_a \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x_i - \mu_a)^2}{2\sigma_a^2}} \right] - \int_{-\infty}^{LInf} \left[\frac{1}{\sigma_a \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x_i - \mu_a)^2}{2\sigma_a^2}} \right] * N_a$$

Finalmente la frecuencia total (F_i) esperada por intervalo de talla se obtuvo sumando las frecuencias esperadas de cada grupo de edad para cada intervalo de talla. Se estimaron simultáneamente los parámetros de las distribuciones normales de todos los grupos de edad maximizando la siguiente función de verosimilitud a través de un proceso iterativo por medio del algoritmo de Newton.

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

Donde $LL\{X|\mu_a, \sigma_a, P_a\}$ es la logverosimilitud de los datos dado los parámetros μ_a, σ_a, P_a . f_i es la frecuencia total observada de la clase de talla i y F_i es la frecuencia total esperada de la clase de talla i según el modelo multinormal.

Los grupos de edad fueron definidos de acuerdo a los siguientes criterios:

- a) un índice de separación de medias más grande que 2 (Sparre & Venema, 1998).

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

- b) Cuando hubo incertidumbre acerca de si fue apropiado el número de grupos de edad seleccionados, se calculó el índice de Akaike (IA_c) corregido para muestras pequeñas

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

donde

LL es la máxima log verosimilitud

n es el número de observaciones

k es el número de parámetros en cada conjunto de grupos de edad ajustados a la distribución de frecuencias de talla.

y entonces se eligió el menor valor de IA_2 para determinar hasta donde el ajuste mejoraba si se incluía o excluía un grupo de edad.

Progresión modal

Una vez que fueron identificados y descritos los parámetros de los grupos de edad se graficaron ordenados en el tiempo para visualizar la mejor progresión modal recordando que tallas comerciales de jaiba mudan aproximadamente cada mes y en saltos mayores de 1.0 cm. Una vez elegida las progresiones modales las medias de cada grupo de edad en cada progresión modal fue graficada en el tiempo para representar los patrones de crecimiento.

Crecimiento

Para describir el crecimiento se usó la derivación Baker (1991) del modelo de crecimiento de Schnute (1981) en sus cuatro casos más un 1 caso especial equivalente al modelo de von Bertalanffy para cuando no existe determinaciones de edad. Es el equivalente al usado en experimentos de marcado y recaptura donde se conoce la talla inicial al momento de marcar y soltar y la talla final de recaptura así como el intervalo de tiempo entre el marcado y recaptura. En este caso se tuvo la talla inicial y final por intervalos de tiempo entre fechas de muestreo en cada progresión modal identificada.

Los modelos de los cinco casos del modelo de Schnute son:

Caso 1, donde K y γ es diferente de 0

$$Lt_2 = [Lt_1^\gamma e^{-k\Delta t} + \epsilon^\gamma (1 - e^{-k\Delta t})]^\frac{1}{\gamma}$$

Caso 2, donde K es diferente de 0 y γ es diferente de 0

$$Lt_2 = \exp[\ln(Lt_1)e^{-k\Delta t} + \ln(\epsilon)(1 - e^{-k\Delta t})]$$

Caso 3, donde k es igual a 0 y γ es diferente de 0

$$Lt_2 = [Lt_1^\gamma + \epsilon\Delta t]^\frac{1}{\gamma}$$

Caso 4, donde K y γ son igual a 0

$$Lt_2 = Lt_1 \varepsilon^{\Delta t}$$

Caso 5, donde K es diferente de 0 y γ es igual a 1

$$Lt_2 = [Lt_1 e^{-k\Delta t} + \varepsilon(1 - e^{-k\Delta t})]$$

Donde Y_1 y Y_2 son la longitud media de un mismo grupo de edad al inicio y final de un incremento de tiempo Δt (en unidades anuales) en cada progresión modal seleccionada. γ está relacionada al punto de inflexión de la curva de crecimiento sigmoideal. Los modelos fueron ajustados por máxima verosimilitud y para determinar cuál fue el mejor ajuste se eligió aquel con el menor índice de Akaike (IA_c). El peso de Akaike (P_{AK}) fue estimado como:

$$P_{AK} = \frac{e^{0.5\Delta IA_c}}{\sum_{c=1}^5 e^{0.5\Delta IA_c}}$$

Donde c es cada caso del modelo de Schnute y el $\Delta IA = IA_c - IA_{menor}$.

Análisis de datos de jaibas *C. arcuatus* cultivadas

Los datos de jaibas azul cultivadas se calculó la media y la desviación estándar en cada periodo de muestreo. Estos datos fueron ajustados al modelo de Schnute (1981) para datos de edad-talla, en sus cuatro casos más un caso especial equivalente al modelo de Von Bertalanffy (MCBV). Además se incluyó el modelo oscilatorio de von Bertalanffy (MOVB) propuesto por Somers (1988) debido a la naturaleza ondulatoria de los datos. Los cinco casos del modelo de Schnute (1981) son:

Caso 1, $a \neq 0$ and $b \neq 0$

$$L(t) = \left[Lt_1^b + (Lt_2^b - Lt_1^b) \frac{1 - e^{-a(t-\tau_1)}}{1 - e^{-a(\tau_2-\tau_1)}} \right]^{\frac{1}{b}}$$

Caso 2, $a \neq 0$ and $b = 0$

$$Lt(t) = Y_1 \exp \left[\log \left(\frac{Lt_2}{Lt_1} \right) \frac{1 - e^{-a(t-\tau_1)}}{1 - e^{-a(\tau_2-\tau_1)}} \right]$$

Caso 3 $a = 0$ and $b \neq 0$

$$Lt(t) = \left[Lt_1^b + (Lt_2^b - Lt_1^b) \frac{t - \tau_1}{\tau_2 - \tau_1} \right]^{\frac{1}{b}}$$

Caso 4 $a = 0$ and $b = 0$

$$Lt(t) = Lt_1 \exp \left[\log \left(\frac{Lt_2}{Lt_1} \right) \frac{t - \tau_1}{\tau_2 - \tau_1} \right]$$

Caso 5 $a = 0$ and $b = 1$

$$Lt(t) = \left[Lt_1 + (Lt_2 - Lt_1) \frac{1 - e^{-a(t-\tau_1)}}{1 - e^{-a(\tau_2-\tau_1)}} \right]$$

El MOVb es:

$$Lt = Lt_{\infty} * (1 - e^{(-k(t-t_0) - S(t) + S(t_0))})$$

$$\text{con } S(t) = \left(\frac{ck}{2\pi} \right) \text{sen}(2\pi(t - ts)) \text{ y } S(t_0) = \left(\frac{ck}{2\pi} \right) \text{sen}(2\pi(t_0 - ts))$$

Donde $L(t)$ es AC a la edad t , Lt_1 y Lt_2 son AC al inicio y final del intervalo de tiempo $\tau_1 - \tau_2$, a es un parámetro de crecimiento con unidades de años, b está relacionado al punto de inflexión de una curva de crecimiento en forma de "S", L_{∞} es el AC máximo que puede alcanzar la especie, k es un parámetro relacionado con la tasa de crecimiento, c es un parámetro de la amplitud de la oscilación, ts es el punto en el tiempo donde empieza la oscilación y t_0 es un parámetro de ajuste.

Análisis de datos de crecimiento combinados de *C. arcuatus*.

Con el mejor modelo ajustado a los datos de jaibas machos en cultivo se derivó la función inversa para determinar la edad absoluta de la cohorte en su talla mas pequeña identificada en cada progresión modal de jaibas silvestres, teniendo cuidado de que esta talla estuviera dentro del rango de datos usados en la modelación del crecimiento de las jaibas cultivadas. La asignación de edad a las demás cohortes de jaibas silvestres identificadas en cada fecha de

muestreo se obtuvo sumando el tiempo pasado en la progresión modal a la edad absoluta de la primera talla registrada en esa misma progresión.

Entonces los datos de edad talla de las jaibas cultivadas y las jaibas de las capturas comerciales fueron mezclados para estimar un solo modelo de crecimiento usando el mismo procedimiento que para las jaibas en cultivo.

Comparación del crecimiento entre sexos y años.

El crecimiento de las jaibas fue comparado entre sexos y años para cada especie por medio de la prueba de razón de verosimilitud (Kimura, 1980). En las comparaciones se utilizó el mismo modelo, elegido entre los mejores ajustados más frecuentes (aquellos con el menor IA_c ó con una diferencia de Akaike menor a dos).

Relación Ancho de cefalotórax - Peso.

Los datos de Ancho de cefalotórax y peso fueron transformados por su logaritmo natural y siguiendo una aproximación multimodelo se ajustaron cinco modelos candidatos, de los cuales se eligió el mejor como aquel con el IA_c mas pequeño.

Los cinco modelos candidatos fueron:

Modelo lineal (que es equivalente al modelo potencial usado tradicionalmente)

$$\ln(Pt) = a_1 + b_1 \ln(Lt)$$

Modelo cuadrático

$$\ln(Pt) = a_1 + b_1 \ln(Lt) + b_2 \ln(Lt)^2$$

Modelo cúbico

$$\ln(Pt) = a_1 + b_1 \ln(Lt) + b_2 \ln(Lt)^2 + b_3 \ln(Lt)^3$$

Modelo de línea rota (broken stick) (MLR)

$$\ln(Pt) = \begin{cases} a_1 + b_1 \ln(lt) & \text{si } Lt \leq B \\ a_1 + b_1 \ln(lt) + (b_1 - b_2) \ln(B) & \text{si } Lt > B \end{cases}$$

Modelo de dos segmentos (MDS)

$$\text{Ln}(Pt) = \begin{cases} a_1 + b_1 \text{Ln}(lt) & \text{si } Lt \leq B \\ a_2 + b_2 \text{Ln}(lt) & \text{si } Lt > B \end{cases}$$

a_1 , b_1 , a_2 y b_2 son parámetros de ajuste de los modelos, mientras que B es el punto de quiebre ó separación de dos tendencias lineales con diferente pendiente.

Este análisis se realizó por especie, sexos separados y entre años y las comparaciones se realizaron con la prueba de Kimura (1980).

Todos los ajustes de los modelos de crecimiento y de las relaciones longitud peso se realizó asumiendo error aditivo y un procedimiento iterativo usando el algoritmo de Newton para maximizar el algoritmo de logverosimilitud:

$$LL = \left(-\frac{n}{2}\right) [\text{Ln}(2\pi) + 2\text{Ln}(\sigma) + 1]$$

donde $\sigma = \sqrt{\frac{\sum (y_i - \bar{y})^2}{n}}$

RESULTADOS

Crecimiento de *C. bellicosus*

Las cohortes identificadas en las estructuras de tallas de machos de *C. bellicosus* son mostradas en la fig. 3.1. Se logró identificar un máximo de siete y un mínimo de dos cohortes en un muestreo.

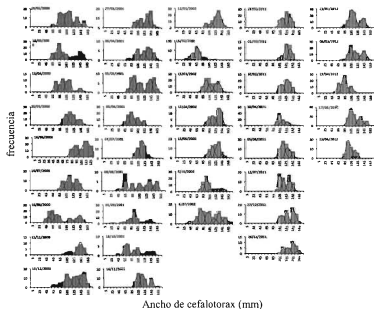


Figura 3.1. Cohortes detectadas en la estructura de tallas de machos de *C. bellicosus*.

Con éstas cohortes fue posible construir 43 progresiones modales las cuales en su mayoría siguieron patrones aproximadamente lineales (fig. 3.2). El incremento mensual de Ac en las cohortes vario entre 4 y 19 mm mes⁻¹ con un promedio general de 11.5 mm mes⁻¹.

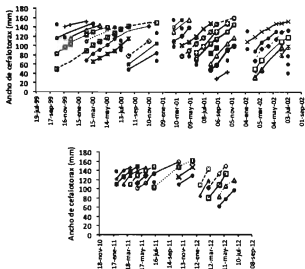


Figura 3. 2. Patrones temporales (progresión) en la media del AC de las cohortes de machos de *C. bellicosus* de la bahía Santa María de la Reforma. Cada progresión es identificada por líneas y símbolos diferentes. Los puntos cerrados aislados son tallas medias de cohortes que no se pudieron asignar a una u otra progresión.

Las cohortes identificadas en la estructura de tallas de las hembras de *C. bellicosus* se muestra en la fig. 3.3. Fue posible identificar de una a cinco cohortes, incluyendo la cohorte de hembras maduras, la cual puede comprender más de una cohorte, pero que no es posible separar porque ya no mudan y por tanto no incrementa su talla.

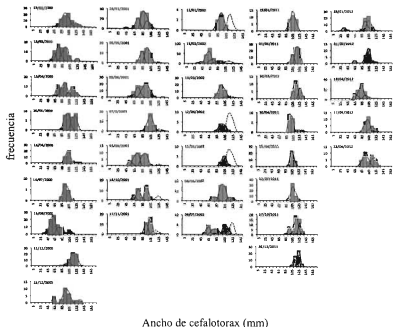


Figura 3.3. Cohortes detectadas en la estructura de tallas de hembras de *C. bellicosus*. Con líneas discontinuas se identifica a las hembras físicamente maduras.

En el gráfico temporal del AC promedio de las cohortes de las hembras se logró construir 26 progresiones de cohortes (Fig. 3.4). Los patrones de estas progresiones muestran un crecimiento aproximadamente lineal antes de alcanzar la talla de la cohorte de hembras maduras. El incremento de AC promedio en cada progresión varió entre 2.6 mm mes^{-1} a 17 mm mes^{-1} con un promedio de 9.5 mm mes^{-1} .

A pesar de la apariencia lineal de los patrones de crecimiento los datos se ajustaron mejor a funciones de crecimiento asintótico. Un crecimiento lineal se ajustaría mejor a un caso tres con γ aproximadamente igual a 1 y esto solo sucedió en el caso de las hembras de 2012 donde

el intervalo de confianza de γ incluye el 1 (Tabla 3.1). Sin embargo el P_{AK} de este mejor ajuste fue menor del 40% y los casos 2 y 5 que también mostraron un buen soporte en los datos para ese año son funciones de crecimiento asintótico.

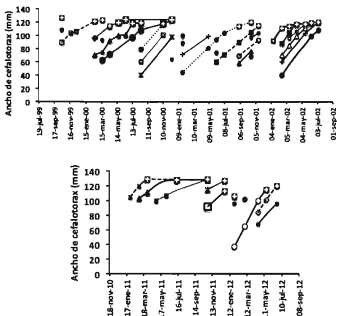


Figura 3.4. Patrones temporales (progresión) en la media del AC de las cohortes de hembras de *C. bellicosus* de la bahía Santa María de la Reforma. Cada progresión es identificada por líneas y símbolos diferentes. Los puntos cerrados aislados son tallas medias de cohortes que no se pudieron asignar a una u otra progresión.

Los datos de crecimiento de machos de 2001 también se ajustaron mejor al caso 3 de Schnute con un valor de γ mayor que 1 el cual describe una función potencial no asintótico. Para este caso el P_{AK} es mayor del 50%, pero el segundo caso mejor ajustado con una $\Delta I A_c$ menor de

Tabla 3.1. Parámetros del modelo de Schnute después de ajustar a los datos de crecimiento de *C. bellicosus* en la bahía Santa María de la Reforma, por sexos y años, indicando el mejor modelo ajustado, y sus respectivas diferencias y pesos de Akaike.

Caso	α	K	γ	IA_1	ΔIA_1	P_{AK}
Machos 2000						
1	158.85 (155.08-159.9)	4.14 (3.80-4.49)	-1.94 (-1.66 to -2.246)	125.53	0.00	86.62*
2	184.51 (177.33-192.83)	1.84(1.69-2.00)	asumido 0	129.36	3.83	12.78
3	136.67 (128.48-147.59)	asumido 0	1.68(1.46-1.93)	140.24	14.71	0.06
4	2.27 (1.94-2.53)	asumido 0	asumido 0	186.29	60.76	0.00
5	236.90 (225.97-246.62)	0.77 (0.70-0.85)	asumido 1	135.68	10.15	0.54
Hembras 2000						
1	126.59 (123.44-130.25)	5.06 (4.37-5.92)	-0.63 (-0.005 to -1.21)	127.53	2.41	17.57
2	127.63 (123.01-132.95)	4.27(3.64-4.98)	asumido 0	125.12	0.00	58.49
3	126.38 (116.01-127.90)	asumido 0	4.75 (3.48-6.26)	139.12	13.99	0.05
4	1.46 (1.08-2.10)	asumido 0	asumido 0	180.67	55.54	0.00
5	129.44 (123.31-135.23)	3.19 (2.69-3.83)	asumido 1	126.91	1.79	23.89
Machos 2001						
1	24156.73 (22668 - 25605)	0.00021 (0.0003897 - 0.0002344)	1.73 (1.7101 - 1.7526)	198.67	2.44	17.30
2	193.48 (182.00 - 205.45)	2.1 (2.504 - 3.1797)	asumido 0	205.48	9.25	0.57
3	182.89 (171.63 - 193.83)	asumido 0	1.73 (1.433 -2.037)	196.23	0.00	58.69*
4	3.2 (2.445 - 4.151)	asumido 0	asumido 0	245.01	48.78	0.00
5	245.36 (230.95 - 259.77)	1.2 (1.08 - 1.338)	asumido 1	198.06	1.84	23.44
Hembras 2001						
1	138.69 (132.9 - 144.63)	3.16 (2.882 - 3.441)	-0.16 (-0.058 to -0.665)	56.95	4.18	6.99
2	143.03 (136.97 - 149.23)	2.69 (2.446 - 2.925)	asumido 0	52.78	0.00	56.43*
3	125.46 (127.95 - 142.23)	asumido 0	2.06 (1.544 -2.674)	56.69	3.91	7.97
4	3.04 (2.071 - 4.305)	asumido 0	asumido 0	78.76	25.98	0.00
5	164.05 (158.3 - 173.8)	1.6 (1.265 - 1.539)	asumido 1	54.13	1.36	28.62
Machos 2002						
1	20447.04 (18888 - 21562)	0.01 (0.00013673 - 0.0001807)	1.85 (1.8204 - 1.8768)	123.77	9.56	0.66
2	167.67 (158.35 - 177.33)	3.67 (3.2903 - 4.05)	asumido 0	154.21	0.00	79.23*
3	180.33 (166.6 - 193.7)	asumido 0	1.85 (1.39 -2.31)	120.92	4.71	2.76
4	6.1 (3.18 - 11.1)	asumido 0	asumido 0	157.51	43.29	0.00
5	187.8 (185.1 - 210.5)	1.76 (1.546 - 1.978)	asumido 1	117.25	3.04	17.34
Hembras 2002						
1	1230.36 (971 - 1085.2)	0.0600015 (0.00000169 - 0.00000341)	6.32 (6.146 - 6.486)	132.84	19.13	0.01
2	123.96 (120.37 - 127.57)	6.26 (6.356 - 7.341)	asumido 0	103.71	0.00	88.74*
3	133.38 (125.6 - 140.75)	asumido 0	8.32 (6.21 - 9.48)	119.92	16.21	0.03
4	2.46 (1.406 - 4.08)	asumido 0	asumido 0	155.60	51.89	0.00
5	124.69 (120.52 - 128.85)	5.12 (4.209 - 6.276)	asumido 1	107.85	4.14	13.22
Machos 2011						
1	3017.168 (2903 - 3124.5)	7.191-06 (6.1156-06 - 8.345 6-06)	4.227(4.171 - 4.278)	97.14	4.78	3.96
2	173.18 (167.8 - 178.65)	1.704 (3.223 - 4.219)	asumido 0	92.36	0.00	38.77*
3	184.08 (177.51 - 190.33)	asumido 0	3.795 (3.395 - 4.815)	93.54	1.18	21.50
4	2.247 (1.924 - 2.611)	asumido 0	asumido 0	110.41	18.04	0.00
5	179.56 (178.83 - 185.3)	2.74(2.385 - 3.115)	asumido 1	92.50	0.14	36.17
Hembras 2011						
1	130.378 (126.57 - 134.206)	5.815 14.12 - 8.07)	9.992-05 (9.992-05 - 2.93)	58.26	4.80	4.763
2	130.378 (126.57 - 134.206)	5.815 14.12 - 8.02)	asumido 0	53.46	0.00	52.5*
3	132.85 (126.57 - 138.41)	asumido 0	12.4 (5.876 - 19.822)	60.14	6.68	1.86
4	1.239 (1.03 - 1.49)	asumido 0	asumido 0	71.53	18.08	0.006
5	130.571 (126.647 - 134.495)	5.224 (3.643 - 7.327)	asumido 1	53.96	0.50	40.87
Machos 2012						
1	14911.237 (2803 - 3124.5)	3.586-04 (2.346-6 - 5.14 E-0)	2.9 (2.896 - 2.978)	72.81	12.63	0.059
2	341.44 (276.7 - 417)	1.905 (1.556 - 2.255)	asumido 0	60.77	0.58	24.35
3	214.701 (167 - 264)	asumido 0	0.804 (0.596 - 2.1)	60.94	0.76	22.34
4	8.303 (5.37 - 12.21)	asumido 0	asumido 0	60.18	0.00	32.78*
5	13702.01 (11130 - 16300)	0.017 (0.0139 - 0.0204)	asumido 1	61.12	0.94	20.47
Hembras 2012						
1	143.36(138 - 159.8)	5.11(3.97 - 6.38)	0.0000991 -0.706 -0.66)	54.51	10.92	0.16
2	143.36(127.9 - 159.7)	5.13(3.97 - 6.36)	asumido 0	44.51	0.92	23.77
3	197.21(172.1 - 221.2)	asumido 0	1.64(0.895 - 2.101)	43.58	0.00	37.32*
4	104.0 - 22.67)	asumido 0	asumido 0	48.09	4.51	3.96
5	196.15(173 - 219.4)	1.92(1.527 - 2.336)	asumido 1	43.77	0.18	34.40

dos fue el caso 5 que también es una función de crecimiento asintótico. Otro caso de datos mejor ajustados a una función de crecimiento no asintótico fueron los de machos de 2012, los cuales se ajustaron mejor al caso 4, pero su peso de Akaike fue menor al 40% y dos de los mejores casos ajustados con una ΔI_{Ac} menor de 2 fueron el 2 y 5 que también son funciones asintóticas.

El mejor caso del modelo de Schnute ajustado a los datos de crecimiento de machos de *C. bellicosus* varió entre los años de muestreo, desde el caso uno al cuatro y solo en el 2002 y 2011 coincidieron en el segundo caso como mejor modelo (Tabla 3.1). Sin embargo los casos dos y cinco fueron los más frecuentes entre los años con una ΔI_{Ac} menor de dos. En las hembras el mejor modelo ajustado fue el caso dos, excepto en el 2012 donde el mejor modelo fue el caso 3, aunque con un P_{AK} de 37.7%. En este año y género los casos 2 y 5 también tuvieron un buen soporte en los datos con una ΔI_{Ac} menor de dos.

Las curvas de predicción del crecimiento a partir de jaibas de 50 mm de A_c con los mejores modelos ajustados cada año se muestran en la Fig. 3.5. Una variabilidad interanual entre los patrones de crecimiento de ambos sexos es evidente. Los patrones de crecimiento de los machos no difirieron significativamente entre los años 2001, 2002 y 2011, pero en el 2000 y 2012 fueron diferentes (fig. 3.5A) a los otros años considerados (Tabla 3.2). Los patrones de crecimiento de las hembras en 2002 y 2011 (fig. 3.5B) no difirieron significativamente entre sí, pero sí con los demás años considerados en el análisis (Tabla 3.3).

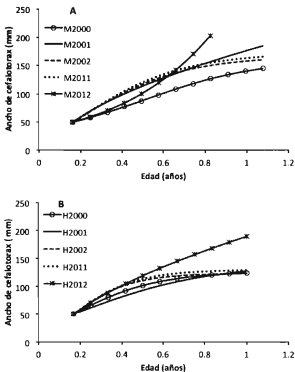


Figura 3.5. Predicción del crecimiento de jaibas machos (A) y hembras (B) de *C. bellicosus* a partir de una talla inicial de 50 mm de AC, con los casos mejor ajustados cada año.

Tabla 3.2. Comparación interanual de las curvas de crecimiento del caso 2 de Schnute en jaibas machos de *C. bellicosus* en la bahía Santa María de la Reforma. En negritas las probabilidades de comparaciones que son diferentes estadísticamente ($P < 0.05$).

Fuente	n	SSR _i	SSR _p	df	χ^2	Probabilidad
Todos	99	2251.9	5248.7	2	83.78	6.43E-19
2000-2001	56	1258	2364.1	2	35.33	0.00000
2000-2002	43	608.02	1670.1	2	43.45	3.68E-10
2000-2011	40	475.91	897.32	2	25.37	0.000
2000-2012	32	673.55	2507.2	2	42.06	7.36E-10
2001-2002	51	1356.9	1423	2	2.4251	0.297
2001-2011	48	1224.8	1270	2	1.7365	0.420
2001-2012	40	1422.5	1799.4	2	9.4019	0.009
2002-2011	35	574.83	588.1	2	0.7984	0.671
2002-2012	27	772.47	1162.9	2	11.045	0.004
2011-2012	24	640.36	956.78	2	9.6371	0.008

Tabla 3.3. Comparación interanual de las curvas de crecimiento del caso 2 de Schnute en jaibas hembras de *C. bellicosus* en la bahía Santa María de la Reforma. En negritas las probabilidades de comparaciones que son diferentes estadísticamente ($P < 0.05$).

Fuente	n	SSR _i	SSR _p	df	χ^2	Probabilidad
Todos	64	1056.9	1933.5	2	38.65	4.0E-09
2000-2001	31	489.08	644.04	2	8.53	1.4E-02
2000-2002	39	737.79	878.71	2	6.82	3.3E-02
2000-2011	30	523.51	624.18	2	5.28	7.1E-02
2000-2012	27	551.19	808.5	2	10.34	5.7E-03
2001-2002	28	397.11	884.56	2	22.425	1.4E-05
2001-2011	19	182.82	389.11	2	14.351	7.6E-04
2001-2012	16	210.51	712.38	2	19.506	5.8E-05
2002-2011	27	431.54	483.88	2	3.091	0.21321
2002-2012	24	459.22	594.61	2	6.2009	4.5E-02
2011-2012	15	244.94	344.63	2	5.1221	7.7E-02

Relación Longitud peso de *C. bellicosus*.

La relación entre el AC y peso de las jaibas de *C. bellicosus* en ambos sexos se ajustaron mejor al modelo cúbico (Tabla 3. 4), lo cual es evidente por sus altos P_{AK} . El modelo potencial tradicional tuvo el menor P_{AK} de los cinco modelos comparados y la potencia de este modelo fue 3.28 para machos y 3.27 para hembras, los cual fue estadísticamente diferentes de 3 (machos $t= 26.4$, $P<0.001$; hembras $t= 18.7$, $P<0.001$) indicando un crecimiento del tipo alométrico positivo en ambos sexos.

Tabla 3.4. Parámetros de los modelos ajustados a los datos Ac y peso de ambos sexos de jaiba *C. bellicosus*, transformados por el logaritmo natural. Con sus respectivos índices de Akaike y peso de Akaike.

Género	Modelo	a	b1	b2	b3	B	I _{Ac}	P _{AK}
Machos	Lineal	-10.67	3.28				-2497	0.27
	Cuadrática	-5.39	0.94	0.26			-2590	29.21
	Cúbica	8.55	-8.60	2.43	-0.16		-2607	69.32
	MLR	-10.68	3.29	-2.15		5.10	-2505	0.43
	MDS	-10.50	3.25	3.26		4.91	-2517	0.77
Hembras	Lineal	-10.62	3.27				-3957	0.00
	Cuadrática	-4.95	0.74	0.28			-4139	0.43
	Cúbica	38.06	-28.34	6.81	-0.49		-4248	99.57
	MLR	-10.62	3.28	-3.67		5.11	-3966	0.00
	MDS	-10.54	3.26	3.26		4.91	-3965	0.00

La comparación de la relación AC-peso con la función cúbica entre sexos resultó estadísticamente significativa (Tabla 3.5).

También se detectaron diferencias interanuales en la relación Ac-peso en ambos sexos (Tabla 3. 6). Cada año la relación AC-Peso fue diferente significativamente.

Tabla 3. 5. Comparación entre sexos de *C. bellicosus* usando la función cubica de la relación Ac - peso sobre datos transformados por logaritmo natural, aplicando la prueba de Kimura.

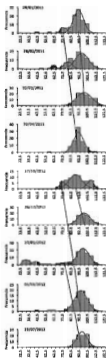
Fuente	Error Cuadrado	n	X ²	Probabilidad
General	84.98	4099	79.39	0.0000000000
Entre sexos	83.35	4099		
Hembras	30.62	1568		
machos	52.73	2531		

Tabla 3. 6. Comparaciones interanuales en la relación cúbica de la relación logarítmica Ac-Peso para cada sexo de *C. bellicosus*.

Género	FUENTE	N	SCRp	SCRi	XI2	P
Machos	Todos los años	2531	52.642	49.106	176.002	0.000
	2000-2001	1133	24.346	24.034	14.615	0.012
	2000-2002	1276	30.133	28.476	72.153	0.000
	2000-2011	1009	16.962	15.951	62.012	0.000
	2000-2012	1000	15.154	14.471	46.110	0.000
	2001-2002	1151	32.053	29.959	77.747	0.000
	2001-2011	884	18.405	17.434	47.887	0.000
	2001-2012	875	16.564	15.954	32.798	0.000
	2002-2011	1027	22.699	21.876	37.901	0.000
	2002-2012	1018	21.705	20.396	63.318	0.000
	2011-2012	751	8.642	7.871	70.191	0.000
Hembras	Todos los años	1568.000	29.874	26.600619	181.9775	0.000
	2000-2001	792	15.985747	15.082629	46.05781	0.000
	2000-2002	829	15.643348	14.812637	45.23448	0.000
	2000-2011	678	11.198143	10.860382	20.76473	0.001
	2000-2012	634	11.275286	10.168182	65.52379	0.000
	2001-2002	711	15.410622	13.679792	84.70662	0.000
	2001-2011	560	10.803013	9.7275374	58.72403	0.000
	2001-2012	516	10.513368	9.0353371	78.17624	0.000
	2002-2011	597	10.408085	9.4575446	57.17478	0.000
	2002-2012	553	10.727093	8.7653443	111.6876	0.000
	2011-2012	402	5.8281365	4.8130896	76.92596	0.000

Crecimiento de *C. arcuatus*

En las estructuras de talla de las jaibas *C. arcuatus* muestreadas de las capturas comerciales se identificaron hasta cuatro grupos de edad, aunque fue mas frecuente uno solo (Fig.3. 6). Aun así fue posible identificar seis progresiones modales (Fig. 3.7).



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NAYARIT



SISTEMA DE BIBLIOTECAS

Figura 3. 6. Estructuras de tallas de la jaiba azul *C. arcuatus* de las capturas comerciales y los grupos de edad identificados.

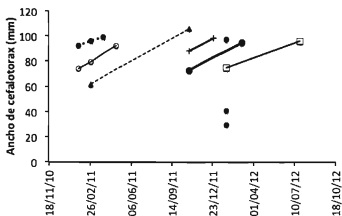


Figura 3.7. Progresión modal de jaibas azul *C. arcuatus* en datos de la captura comercial.

Estas progresiones modales indican un crecimiento aproximado de la jaiba azul *C. arcuatus* de 5 mm por mes. El caso 3 de Schnute fue el mejor modelo que describió este crecimiento de las jaibas en el medio natural con un P_{AK} de 40%, aunque los casos 2 y 5 también podrían describir este crecimiento ya tuvieron un soporte importante en los datos porque la diferencia de IAC con respecto al mejor modelo fue menor de dos y se reflejó en los P_{AK} de 27% y 29% que obtuvieron respectivamente (Tabla 3.7). El valor de ϵ en estos dos casos fue de 110 mm y 113 mm y son equivalentes a la L_{∞} del modelo de crecimiento de von Bertalanffy. El AC promedio más pequeño, de un grupo de edad, en una progresión modal, usado para describir el crecimiento, tuvo en promedio 62 mm de AC y el más grande fue de 106.5 mm de AC. Entonces este es el rango de validez del modelo de crecimiento ajustado.

Tabla 3.7. Parámetros (e intervalos de confianza al 95%) de los cinco casos del modelo de Schnute con su índice y peso de Akaïke para los machos de jaibas azules *C. arcuatus* del medio natural.

Caso	K	γ	ϵ	IA _c	P _{AK}
1	0.058 (0.049 - 0.069)	4.72 (4.45 - 4.982)	203.58 (196.3 - 210.78)	49.03	2.42
2	3.12 (2.556 - 3.83)		110.35 (106.18 - 114.56)	44.21	26.85
3		4.8 (2.55 - 4.982)	110.97 (106.95 - 114.85)	43.41	39.99*
4			2.02 (2.445 - 4.195)	50.03	1.46
5	2.41 (1.99 - 2.93)		113.15 (108.88 - 117.43)	44.04	29.28

En las jaibas cultivadas el crecimiento fue más acelerado que las del medio natural; se registró un crecimiento sostenido de 21 mm mes⁻¹ en ambos sexos, en las tres primeras quincenas de cultivo, en las siguientes cinco quincenas la tasa de crecimiento disminuyó a 10.8 mm mes⁻¹ en hembras y a 8 mm mes⁻¹ en los machos y en las últimas tres quincenas del cultivo la tasa se aceleró otra vez a 12.13 mm mes⁻¹ en hembras y a 15.3 mm mes⁻¹ en machos (Fig. 3. 8). El mejor modelo que describió el crecimiento de las jaibas hembras cultivadas fue el caso uno de Schnute con una plausibilidad relativamente alta de 75.21%. Los otros modelos candidatos, no fueron muy buenos modelando el crecimiento de las jaibas hembras, el más plausible de ellos fue el caso tres de Schnute pero con un valor muy bajo de apenas el 17% (Tabla 3.8). En los machos el mejor modelo de crecimiento fue el caso tres de Schnute con una plausibilidad de 41.5%, pero el caso cinco también podría ser considerado como un buen modelo para describir este crecimiento ya que la diferencia del índice de IA_c con respecto al mejor modelo fue inferior a 1 y con un P_{AK} de 26.75%. Los otros modelos candidatos no tuvieron un buen soporte en los datos y su P_{AK} fue inferior al 10%, por lo que no pueden ser considerados para modelar el crecimiento de los machos juveniles de *C. arcuatus*. En ambos sexos de las jaibas cultivadas el rango de tallas consideradas en la modelación del crecimiento fue entre 20 mm y 87 mm de ancho de cefalotórax por lo que la validez de los mejores modelos obtenidos es solo para este intervalo de tallas.

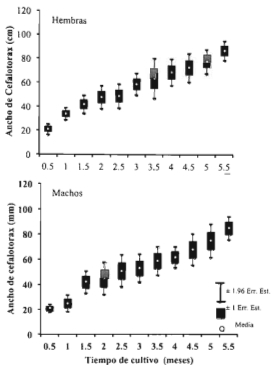


Figura 3.8. Tallas promedio e intervalos de confianza de jaibas azules *C. arcuatus* durante un periodo de cultivo de 5.5 meses.

Los rangos de validez de los mejores modelos de crecimiento para jaibas azul *C. arcuatus*, machos, en ambientes naturales y de cultivo se traslaparon en el rango de 62 mm a 85 mm de AC (Fig. 3.9) pero tienen una continuidad que permite recrear el crecimiento de las jaibas azul *C. arcuatus* en todo su periodo de vida. El mejor modelo de crecimiento para machos de *C. arcuatus* combinando la información de cultivo y silvestre fue el caso 2 de Schnute, con un 66.5% de P_{AK} (Tabla 3.9). La longitud asintótica estimada con este modelo para datos

combinados fue 107.75 mm de AC, apenas 1.2 mm mayor que la talla media de la cohorte más grande (106.5) de datos del medio natural.

Tabla 3.8. Parámetros estimados para cada modelo candidato para describir el crecimiento de *C. arcuatus* cultivadas, asumiendo error aditivo con sus respectivos valores de IAc y P_{AK}.

* valor asumido, ** mejor modelo.

Género	Caso	y ₁	y ₂	a	b	IAc	ΔIAc	P _{AK}	
Hembras	1	20.98	86.17	-7.47	4.26	52.90	0.00	75.21**	
	2	25.65	84.03	3.93	0*	61.13	8.23	1.23	
	3	22.92	84.14	0*	1.60	55.87	2.97	17.07	
	4	32.58	89.88	0*	0*	69.70	16.80	0.02	
	5	24.27	84.34	1.34	1*	58.02	5.11	5.83	
	MOVB	to	y _∞	k	c	s			
	MOVB	0.09	111.35	5.70	-0.58	0.20	62.44	9.53	0.64
Machos	1	20.19	82.20	-6.22	3.53	68.18	2.78	10.33	
	2	23.91	80.50	3.52	0*	68.28	2.88	9.80	
	3	21.16	80.31	0*	1.47	65.40	0.00	41.45**	
	4	29.77	85.80	0*	0*	70.57	5.17	3.13	
	5	22.40	80.68	0.97	1*	66.28	0.88	26.75	
	MOVB	to	L _∞	k	c	s			
	MOVB	0.10	2531.05	0.14	-0.02	0.26	68.56	3.16	8.54

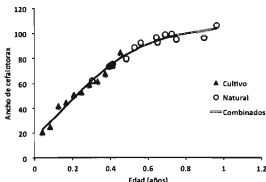


Figura 3.9. Crecimiento de jaibas azules *C. arcuatus* en cultivo y ambiente natural. También se muestra el mejor modelo de datos combinados.

Tabla 3.9. Parámetros de los cinco casos del modelo de Schnute con su índice y peso de Akaike para los datos combinados de jaibas creciendo en ambiente natural y cultivo.

Caso	Y_1	Y_2	a	b	I _{Ac}	P_{AK}
1	23.13 (21.64 - 24.68)	103.6 (101.84 - 105.36)	4.11 (3.916 - 4.316)	-0.056 (-0.157 - 0.046)	1.10	15.98
2	22.97 (21.44 - 24.55)	103.7 (101.94 - 105.46)	4.01 (3.82 - 4.206)	0	41.39	66.50
3	17.82 (11.94 - 23.11)	110.59 (108.35 - 112.83)	0.00	2.205 (2.07 - 2.35)	0.10	0.04
4	46.36 (41.88 - 51.0)	121.74 (112.33 - 131.33)	0.00	0	0.10	0.00
5	19.61 (17.08 - 22.14)	105.71 (103.96 - 107.47)	2.28 (2.11 - 2.46)	1	0.72	17.48

$$\tau_1 = 0.04109 \quad \tau_2 = 0.9628$$

Relación longitud peso de *C. arcuatus*.

La relación entre el AC y peso de las jaibas machos de *C. arcuatus* se ajustó mejor al modelo cúbico (Tabla 3.10), lo cual es evidente por su alto P_{AK} . En las hembras el mejor modelo ajustado fue el cuadrático, aunque el modelo cúbico también tuvo un buen soporte en los datos como se refleja en los P_{AK} de ambos modelos. El modelo potencial tradicional, representado por la función lineal de los datos transformados por el logaritmo natural, tuvo el menor P_{AK} de los cinco modelos comparados en los machos, y en las hembras obtuvo un P_{AK} muy bajo. El exponente b del modelo potencial fue 3.55 para machos y 4.07 para hembras, los cual fueron estadísticamente diferentes de 3 (machos $t = 14.9$, $P < 0.001$; hembras $t = 30.6$, $P < 0.001$) indicando un crecimiento del tipo alométrico positivo en ambos sexos.

Tabla 3. 10. Parámetros de los modelos ajustados a los datos Ac y peso de ambos sexos de jaiba *C. arcuatus*, transformados por el logaritmo natural. Con sus respectivos índices de Akaike y peso de Akaike.

Género	Modelo	a	b1	b2	b3	B	I _{Ac}	PAK
Machos	Lineal	-11.90	3.55				-231.16	0.00
	Cuadrática	-35.47	14.95	-1.37			-605.60	37.64
	Cúbica	-79.35	46.85	-9.03	0.61		-615.70	62.36
	MLR	-11.90	3.55	-1.88		4.88	-227.16	0.00
	MDS	-12.87	3.81	3.76		4.40	-263.86	0.00
Hembras	Lineal	-14.19	4.07				130.87	12.13
	Cuadrática	-43.93	19.12	-1.88			104.6	45.10
	Cúbica	-43.88	19.08	-1.87	-0		106.73	40.55
	MLR	-11.90	3.55	-1.88		4.88	185.24	0.80
	MDS	-12.87	3.81	3.76		4.40	173.74	1.42

En la comparación entre sexos, usando el modelo cubico, se encontraron diferencias estadísticamente significativas de acuerdo con la prueba de Kimura (Tabla 3.11).

Tabla 3. 11. Comparación entre sexos de *C. arcuatus* usando la función cubica de la relación Ac - peso sobre datos transformados por logaritmo natural, aplicando la prueba de Kimura.

Fuente	Error Cuadrado	n	X^2	Probabilidad
General	38.01	898	50.688225	0.0000000000
Entre sex	35.93	898		
Hembras	16.01	1568		
machos	19.91	2531		

DISCUSIÓN

Debido a la carencia de un método para asignación directa de edad en los crustáceos las estimaciones de crecimiento con base al análisis de tallas y seguimiento modal no están exentas de cierta incertidumbre. Para atender este problema en este trabajo el análisis de tallas se abordó usando el método de Haddon (2001) para separar las distribuciones de longitud en cohortes y determinando por máxima verosimilitud el mejor ajuste para cada cohorte en cada distribución de frecuencias de talla y cuando se tuvo dudas sobre la existencia de otro grupo de edad en las estructuras de tallas analizadas se utilizó la teoría de la información para definir si mejoraba el ajuste al agregar o eliminar un grupo de edad. Este método lo uso por primera vez Montgomery et al., (2010) para discriminar grupos de edad en metapeneidos de Australia y es la primera vez que se usa en jaibas del género *Callinectes*.

También es la primera vez que se usa el enfoque Multimodelo y el modelo de crecimiento de Schnute (1981) para describir el crecimiento de jaibas del género *Callinectes*, en donde se trata a las cohortes como individuos. Todos los antecedentes sobre crecimiento en las jaibas del género *Callinectes* se abordaron usando el modelo de crecimiento de von Bertalanffy. En reportes previos los parámetros de crecimiento de *Callinectes* spp fueron estimados con algoritmos basados en mínimos cuadrados ordinarios. Este enfoque ha sido justificado con el argumento de que encuentra el mejor ajuste de un único modelo. Sin embargo, muchos métodos de selección (por ej. El clásico selección por pasos) ni siquiera se basan en un criterio explícito para el mejor modelo (Burnham & Anderson, 2002). Por lo tanto un enfoque usando una prueba de razón de verosimilitud es una mejor solución al problema de estimar adecuadamente el patrón de crecimiento individual (Katsanevakis, 2006). En la comparación de varios modelos candidatos, los criterios de selección del mejor modelo incluyen R^2 , la suma de cuadrados residuales y el criterio de información de Akaike. La selección de modelo basado sobre la teoría de la información ha sido recomendada como una mejor y mas robusta alternativa que el enfoque tradicional (Katsanevakis, 2006).

En el enfoque multimodelo empleado para describir el crecimiento de las jaibas, el caso 5 de Schnute, que es equivalente al modelo de von Bertalanffy nunca fue el mejor modelo en ambas especies, aunque en muchas ocasiones fue el segundo mejor modelo.

Una característica común en ambas especies es su rápido crecimiento, llegando a alcanzar la talla legal de captura antes de un año. Para un análisis más detallado se abordará la discusión por separado para cada especie.

Crecimiento de *C. bellicosus*

Los mejores modelos de crecimiento ajustados a los datos de ambos sexos de *C. bellicosus* fue muy evidente en el periodo de 2000 a 2002 por los pesos de Akaike mayores del 50%, en cambio en el periodo 2011-2012 los mejores modelos tuvieron un peso de Akaike menor del 50%, con excepción de las hembras en 2011, y compartieron crédito especialmente con el caso cinco. En el periodo 2000-2002 el crecimiento de las hembras fue consistente en un mejor ajuste con el caso dos de Schnute, mientras que en los machos fue muy variable. Esta variabilidad en el mejor modelo ajustado refleja la variabilidad interanual en el crecimiento de *C. bellicosus*. Debido al rápido crecimiento de esta especie, un cambio en la calidad del hábitat, ya sea por variación de parámetros abióticos o disponibilidad de alimento, se refleja rápidamente en la talla de *C. bellicosus*. En las hembras el ritmo de crecimiento solo fue similar en 2002 y 2011, y los otros años fue completamente diferentes entre sí, en cambio en los machos los patrones de crecimiento en 2001, 2002 y 2011 fueron similares y solo difirieron el 2000 y 2012. No existen antecedentes para comparar los resultados de este trabajo, ya que en el pasado solo se ajustó el modelo de von Bertalanffy al crecimiento de *C. bellicosus*. Las consecuencias de haber considerado a priori el modelo de von Bertalanffy es que se habría llegado a estimaciones de AC_{∞} entre 179 mm y 13702 mm en machos, mientras que en las hembras se habría estimado AC_{∞} máximas entre 124 mm y 196mm, las cuales son evidentemente erróneas. En los casos 1, 2 y 5 el valor de ϵ es equivalente a la L_{∞} del modelo de von Bertalanffy (Montgomery et al., 2010) y cuando algunos de estos casos fue el mejor modelo el valor estimado de AC_{∞} varió entre 158 a 173 mm en los machos y entre 124 a 143 en las hembras. La máxima talla registrada en machos de *C. bellicosus* en las capturas comerciales, en los cinco años analizados, no fue superior a 175 mm de AC y en las hembras no más de 145 mm de AC y como éstas últimas tienen muda terminal no es probable que alcance una talla asintótica promedio de 196 mm, y mucho menos que los machos alcancen una talla de más de un metro de AC. Las máximas tallas registradas para machos de *C. bellicosus* son de 170 mm de AC y para hembras de 145 mm (Escamilla Montes, 1998;

Castro Longoria et al, 2003; Rodríguez Rojero, 2004; Hernández Moreno y Arreola Lizárraga, 2007).

Para determinar el tipo de crecimiento de *C. bellicosus* tradicionalmente se ha utilizado la relación potencial longitud peso, sin embargo en este trabajo se demuestra por primera vez que el modelo potencial no es el adecuado. De haberse considerado a priori el modelo potencial la conclusión sería que el crecimiento de *C. bellicosus* es de tipo alométrico positivo en ambos sexos, conclusión que parcialmente se llega con el mejor modelo aceptado con el enfoque multimodelo. En ambos sexos un modelo cúbico sobre los logaritmos naturales de AC y peso fue evidentemente el mejor modelo como lo demuestra sus pesos de Akaike. Este modelo da una figura oscilante que indica un crecimiento es tipo alométrico, pero que el valor del coeficiente de alometría (b) no es constante como se asume en el modelo potencial. Katsanevakis (2006) afirma que durante la ontogenia de organismos algunas partes del cuerpo crecen a un exponente alométrico constante, otros exhiben un cambio en su exponente alométrico, mientras que otros muestran una discontinuidad de su exponente alométrico en un determinado punto de quiebre, por lo cual en un enfoque multimodelo los estudios de crecimiento alométrico deben incluir además del modelo potencial, modelos que asuman cambios continuos en la alometría y otros que asuman discontinuidad en ciertos puntos. El modelo cúbico es del tipo donde se da un cambio continuo en el coeficiente de alometría. Posiblemente en las jaibas la relación longitud peso cambie en cada muda. Las diferencias entre machos y hembras en la función de alometría cúbica es un reflejo de las diferentes estrategias de crecimiento entre sexos, con muda terminal en las hembras en la madurez y un crecimiento continuo de los machos después de la madurez.

Crecimiento de C. arcuatus

A pesar de la naturaleza oscilante de los datos de crecimiento de la jaiba azul obtenidos en el cultivo, El MOVb no tuvo un buen soporte en los datos, de acuerdo con el índice de información de Akaike. Esto podría explicarse por la falta de ejemplares adultos de tallas y edades cerca del valor máximo para que el modelo tuviera información sobre la fase asintótica del crecimiento que incluye el MOVb. Sin embargo, en los machos, el caso cinco de Schnute (1981), que es equivalente al modelo de von Bertalanffy tradicional, tuvo buen soporte en los datos, pero no así el MOVb. La diferencia del IAc entre el MOVb con respecto al mejor

modelo fue mayor de tres, indicando un pobre soporte de éste modelo y que se reflejó en un P_{AK} de 8% en los machos y de menos de 1% en las hembras. La explicación es que el IAC penaliza mas rigurosamente el MOVb que a los otros modelos porque para el primero se requiere estimar cinco parámetros, mientras que en el modelo de Schnute (1981) se estiman de dos a cuatro parámetros como máximo dependiendo del caso.

Al ajustar el modelo de von Bertalanffy tradicional a datos de crecimiento de juveniles cultivados de esta especie resultaron en un estimado de Ancho de cefalotórax máximo AC_{∞} de 162 mm en hembras y de 200 mm en machos, lo cual es irreal. Pero aún los mejores modelos ajustados a los datos del cultivo no pueden ser utilizados para estimar un valor del parámetro de AC_{∞} porque solo se incluyeron juveniles en el análisis y cualquier extrapolación es incierta. Cuando se combinaron los datos del cultivo que solo incluye juveniles con los de jaibas capturadas en el medio natural que incluye los adultos el mejor modelo fue el caso dos y este modelo puede ser válido para cualquier sector de su ciclo de vida, ya que el rango de datos analizados incluyeron tallas de casi todo el ciclo de vida de esta especie (AC de 20 mm a 106.5 mm) y con este modelo el parámetro AC_{∞} estimado es de 107.7 mm muy cerca de la talla promedio de la cohorte más grande registrada en las jaibas silvestres de 106.5 mm. La talla máxima estimada es más pequeña que la que se ha estimado por otros autores que han abordado el crecimiento de esta especie (Quijano 1985; Salgado *et al.* 1994; Gil-López y Sarmiento-Náfate 2001; Salazar *et al.* 2003; Fisher y Wolff, 2006; Hernández Moreno y Arreola-Lizárraga 2007; Ramos Cruz, 2008). Pero todos estos estudios asumieron *a priori* el modelo de von Bertalanffy. Asumiendo en este trabajo el caso cinco que es el equivalente con el de von Bertalanffy la talla asintótica estimada con los datos de cultivo sería de 200 mm para machos y 160 mm para hembras, lo cual son tallas irreales para esta especie. Si se asume lo mismo en el caso de los datos de jaibas capturadas comercialmente la talla asintótica sería de 117 mm. En todos estos casos el parámetro es mayor que el estimado con el mejor modelo de datos combinados. Ramos cruz (2008) y Fisher y Wolff (2006) estimaron este parámetro en 140 mm y 142 mm respectivamente a pesar de que sus estructuras de tallas muestran muy pocos ejemplares mayores de 115 mm y que pudieran considerarse como los ejemplares más grandes de una cohorte final con una talla promedio más baja. En estos trabajos en particular la ultima moda visible en sus estructuras de tallas es de 102 mm y 109 mm respectivamente y están mas cerca de la talla asintótica de 107.75 mm estimada en este trabajo con el caso dos de

Schnute para datos combinados.

Otro resultado interesante que resalta del análisis del crecimiento de la jaiba azul en el cultivo son las diferencias entre sexos sobre el mejor modelo soportado por los datos. Hasta ahora el crecimiento de *C. arcuatus* había sido abordado solo con el modelo de von Bertalanffy (Quijano 1985; Salgado *et al.* 1994; Gil-López y Sarmiento-Náfate 2001; Salazar *et al.* 2003; Fisher y Wolff, 2006; Hernández Moreno y Arreola-Lizárraga 2007; Ramos Cruz, 2008), por lo que no existen antecedentes sobre otros modelos de crecimiento usados para describir el crecimiento de *C. arcuatus* y los resultados de este estudio son los primeros en utilizar el enfoque multimodelo en esta especie. Sin embargo, Quijano (1985) reportó tasas menores de crecimiento en las hembras con respecto a los machos de esta especie, lo cual puede ser un primer indicio de diferencias en el modelo que podría describir su crecimiento. En *C. arcuatus* las hembras crecen hasta la muda terminal cuando alcanzan su madurez sexual (Fisher y Wolff, 2006), mientras que los machos continúan creciendo, tal y como se presenta en otras especies del género *Callinectes* (Rodríguez Domínguez *et al.*, 2012). Estas diferencias en el crecimiento entre sexos podría ser la explicación a las diferencias en los mejores modelos que describen el crecimiento en cada sexo, tal y como se reportó para *C. bellicosus* (Rodríguez Domínguez *et al.*, 2012). Sin embargo, en las hembras de *C. bellicosus* el mejor modelo ajustado a los datos de crecimiento fue el de von Bertalanffy (Rodríguez Domínguez *et al.*, 2012), que corresponde con el caso 5 de Schnute, y los autores explicaron que la naturaleza asintótica de este modelo describe adecuadamente la muda terminal de las hembras que implica una talla máxima asintótica. Evidentemente esta no puede ser la misma explicación para el mejor modelo estimado para las hembras de *C. arcuatus* cultivadas que en este estudio fue el caso 1 de Schnute. Los resultados del enfoque multimodelo en *C. arcuatus* de este estudio son contradictorios con los del mismo enfoque realizado con *C. bellicosus* (Rodríguez Domínguez *et al.*, 2012). Aunque en ambos trabajos se eligieron modelos candidatos diferentes, la comparación se puede realizar en dos modelos; los casos uno y cinco de Schnute corresponden con los modelos de Schnute y von Bertalanffy, respectivamente, utilizados en el análisis de crecimiento en *C. bellicosus*. En las hembras de *C. arcuatus* cultivadas el mejor modelo fue el caso 1 de Schnute, mientras que el caso cinco no tuvo soporte en los datos, como se evidencia en una diferencia de Akaike mayor de dos con el mejor modelo, en cambio en las hembras de *C. bellicosus* fue al revés; el mejor modelo fue el de von Bertalanffy y el

modelo de Schnute no tuvo soporte en los datos (Rodríguez Domínguez *et al.*, 2012). En el caso de los machos de jaibas cultivadas se presentó una situación similar; en *C. arcuatus* el caso cinco (von Bertalanffy) estuvo soportado por los datos ($\Delta I_{AC} < 2$), a pesar de no ser el mejor modelo, en cambio el modelo de Schnute no tuvo un buen soporte en los datos ($\Delta I_{AC} > 2$) y en *C. bellicosus* el resultado fue al revés. Estas diferencias pueden deberse a que en *C. bellicosus* los datos analizados incluyen juveniles y adultos, mientras que en los datos de cultivo de jaibas de *C. arcuatus* solo se incluyeron los juveniles. Pero considerando los datos combinados de los machos que incluye juveniles y adultos de *C. arcuatus* los casos uno y cinco tuvieron prácticamente el mismo P_{AK} aunque bajo, de 16% y 17% y el mejor fue el caso dos. En este trabajo se comprobó que los mejores modelos ajustados a secciones del ciclo de vida de *C. arcuatus* difieren del mejor modelo considerando información de todo el ciclo de vida. El modelo de Schnute con sus diferentes casos puede modelar adecuadamente cualquier sector del ciclo de vida de las jaibas, pero siempre debe tener el cuidado de no extrapolar más allá del rango de tallas consideradas en la modelación.

Esta es la primera vez que la relación longitud peso de jaibas es abordado con un enfoque multimodelo, incorporando otros modelos diferentes al potencial que se usa tradicionalmente en pesquerías. El hecho de que el modelo cúbico sea el mejor modelo ajustado a la relación AC-Pt sobre datos transformados logaritmicamente de *C. arcuatus* refleja el crecimiento alométrico que muy comúnmente ha sido referido por otros investigadores cuando ajustan un modelo potencial a los datos de AC-Pt de la jaiba azul *C. arcuatus* (Fischer y Wolff, 2006; Hernández Moreno y Arreola Lizarraga, 2007; Ramos Cruz, 2008). En el modelo potencial tradicional se asume que el parámetro b (exponente) es constante a lo largo del crecimiento del organismo, en cambio en el modelo cúbico el valor de b cambia gradualmente, lo cual puede resultar de cambios en el presupuesto energético que se destina al crecimiento corporal a lo largo del ciclo de vida del organismo. En juveniles el presupuesto puede favorecer el crecimiento corporal, mientras que al llegar a la madurez hay un sesgo energético hacia la reproducción a costa del crecimiento y en los organismos mas grandes el metabolismo reduce las tasas relativas de crecimiento corporal. Considerando este modelo potencial en ambos sexos se concluyó que el crecimiento es de tipo alométrico positivo, lo cual coincide con los resultados de Hernández- Moreno y Arreola Lizarraga, (2007), pero difieren del crecimiento tipo alométrico negativo reportado para la misma especie por Ramos Cruz (2008). Así mismo

Fischer y Wolff (2006) reportaron un crecimiento del tipo alométrico positivo en hembras, pero alométrico negativo en machos. Estas diferencias pueden ser explicadas con base al modelo cúbico mejor ajustado a la relación AC-Pt de *C. arcuatus*. El modelo cúbico confirma cambios graduales en la pendiente de la relación AC-Pt, por lo que el rango de tallas consideradas cuando se ajusta el modelo potencial puede influir en el valor del exponente b. En este trabajo el valor del exponente b en el modelo potencial cambio de mayor de tres a menor de tres cuando se eliminaron del análisis aquellos ejemplares menores de 50 mm de AC. Así que la inclusión o exclusión de ejemplares juveniles en los análisis de la relación AC-Pt de *C. arcuatus* con el modelo potencial puede resultar en potencias mayores de tres sugiriendo crecimiento alométrico positivo, en cambio la exclusión de los juveniles resultaría en potencias menores de tres sugiriendo crecimiento alométrico negativo. Hernández- Moreno y Arreola Lizárraga (2007) refieren que encontraron una tendencia a crecimiento isométrico en *C. arcuatus*, aunque no presentan una prueba estadística para comprobar esta afirmación, y sus valores del exponente b fueron 3.28 para machos y 3.27 para hembras y en sus datos tienen una alta dominancia de ejemplares inmaduros (80%), así también en el trabajo de Ramos Cruz (2008) se registró un crecimiento alométrico negativo para ambos sexos de *C. arcuatus* y aunque no da información de la proporción de ejemplares inmaduros en sus muestras, es evidente de sus gráficos que tuvo una dominancia de ejemplares maduros y ningún ejemplar menor de 50 mm de AC. Estrada Valencia (1999) y Arcineaga-Flores y Mariscal Romero (2013) estimaron que *C. arcuatus* alcanza un poco mas de 80 mm de AC a los seis meses de edad, lo cual es coincidente con los datos de este trabajo. En cambio Escamilla Montes (1998) obtuvo crecimiento menor que el registrados aquí para *C. arcuatus*, ella estimó que los machos de *C. arcuatus* alcanzan 74 mm de AC en seis meses mientras que las hembras 59 mm.

REFERENCIAS

- Akaike, H. 1981. Likelihood of a model and information criteria. *Journal of Econometrics* 16: 3-14.
- Arcineaga-Flores y Mariscal Romero, 2013. Estructura poblacional y crecimiento individual de *Callinectes arcuatus* en la Laguna Barra de Navidad, Jalisco. *Ciencia Pesquera* 21(1):15-26.
- Astorga E. L y C. P. Alberto. 2001. Bioensayo experimental de cultivo de jaiba *Callinectes arcuatus* (Ordway 1863) en cautiverio. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias del Mar. Universidad Autónoma de Sinaloa, Mazatlán, Sinaloa, México. 29p.
- Ayala-Cota, F. J. & L. J. Espinoza-Cruz, 2001. Parámetros poblacionales de la jaiba café *Callinectes bellicosus* (Stimpson, 1859) en la Bahía Santa María de la Reforma: Tesis de Licenciatura, Universidad Autónoma de Sinaloa, Mazatlán, Mexico. 35p.
- Baker, T.T., R. Lafferty, and T.J. Quinn. 1991. A general growth curve for mark-recapture data. *Fish. Res.* 11: 257-281. doi:10.1016/0165-7836(91)90005-Z.
- Burnham, K.P. and Anderson, D.R. 2002. Model Selection and Multimodel Inference: a Practical Information-Theoretic Approach, 2nd edn. Springer, New York.
- Castro Longoria R., J. Ramos Paredes, G. Montemayor López y J. Jiménez Rodríguez 2003. Estudio de la Biología Reproductiva del Recurso Jaiba, *Callinectes bellicosus* (Stimpson, 1859) de la Costa del Estado de Sonora. Informe Final Universidad de Sonora, DICTUS, SAGARPA, INAPESCA. 48 p.
- Escamilla Montes R. 1998. Aspectos de la biología de las jaibas del género *Callinectes* en el Estero el Conchalito, Ensenada de La Paz, B.C.S.. Tesis de Maestría. La Paz, Baja California Sur, México, Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, 96 p.
- Estrada Valencia A. 1999. Aspectos poblacionales de la jaiba *Callinectes arcuatus* Ordway 1863, en la laguna de Cuyatlán, Colima, México. Tesis de Maestría. Postgrado Interinstitucional. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Universidad de Colima. 77p.
- Ayala-Cota, F. J. & L. J. Espinoza-Cruz, 2001. Parámetros poblacionales de la jaiba café *Callinectes bellicosus* (Stimpson, 1859) en la Bahía Santa María de la Reforma: Tesis de Licenciatura, Universidad Autónoma de Sinaloa, Mazatlán, Mexico. 35p. Fitz, H. C. and Wiegert, 1991. Tagging juvenile blue crabs, *Callinectes sapidus*, with microwire tags: Retention, survival and growth through multiple molts *J. Crust. Biol.*, 11:229-235.
- Gil-Lopez, H.A. y S. Sarmiento-Náfate. 2001. Algunos aspectos biológicos y pesqueros de las jaibas (*Callinectes* spp) en el sistema lagunar Mar Muerto, Oaxaca-Chiapas. Doc. Técnico. SAGARPA- INP, CRIP-Salina Cruz, Oaxaca. 41p.
- Gompertz, B. 1825. On the nature of the function expressive of the law of human mortality and

on a new mode of determining the value of life contingencies. *Phil. Trans. Royal Soc. Lon.* 115: 515-585.

Haddon M. 2001. *Modelling and Quantitative Methods in Fisheries*. Boca Raton, FL: Chapman and Hall/CRC. 406 p.

Hernández Moreno, L.G.. 2000. Aspectos sobre la ecología y biología de las jaibas *Callinectes arcuatus* y *C. Bellicosus* (Crustacea: Portunidae) en la laguna costera Las Guasimas, Sonora, México. Tesis de maestría. CIBNOR, La Paz, B.C.S. 56 p.

Hernandez-Moreno L. & J. A. Arreola-Lizárraga, 2007. Estructura de tallas y crecimiento de los cangrejos *Callinectes arcuatus* and *C. bellicosus* (Decapoda: Portunidae) en la laguna costera Las Guásimas, México. *Rev. Biol. Trop. [International Journal of Tropical Biology]*, 55(1): 225-233.

Ju, S. J., D. H. Secor, and H. R. Harvey. 2001. Growth rate variability and lipofuscin accumulation rates in the blue crab *Callinectes sapidus*. *Marine Ecology* Progress Series 224:197-205.

Katsanevakis, S. 2006. Modelling fish growth: model selection, multi-model inference and model selection uncertainty. *Fish. Res.* 81, 229-235.

Katsanevakis S., M. Thessalou-Legaki, C. Karlou-Riga, E. Lefkadiou, E. Dimitriou and G. Verriopoulos. 2007. Information-theory approach to allometric growth of marine organisms. *Mar. Biol.* 151:3, 949-959.

Katsanevakis S. & C. D. Maravelias. 2008. Modelling fish growth: multi-model inference as a better alternative to a priori using von Bertalanffy equation. *Fish and Fisheries*, 9, 178-187.

Kilada KR. , B. Sainte-Marie, R. Rochette, N. Davis, C. Vanier and S. Campana. 2012. Direct determination of age in shrimps, crabs and lobsters. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 69: 1728-1733. van

Marquez-Frias J. F. y Montemayor -Lopez G., 2001. Reporte científico para la apertura de temporada de pesca de jaiba en Sonora. CRIP-Guaymas. 2001-2002. INP-CRIP-SAGARPA 25p.

Montgomery, S. S., C.T. Walsh, M. Haddon, C. L. Kesby and D. D. Johnson, 2010. Using length data in the Schnute Model to describe growth in a metapenaeid from waters off Australia. *Mar. and Fres. Res.* 61:1435-1445.

Paul R. K. G. 1982. Abundance, Breeding and Growth of *Callinectes arcuatus* Ordway and *Callinectes toxotes* Ordway (Decapoda, Brachyura, Portunidae) in a Lagoon System on the Mexican Pacific Coast. *Est. Coast. Shelf Sc.* 14:13-26.

Quijano, A.D. 1985. Fecundidad y crecimiento en la jaiba *Callinectes arcuatus* (Ordway 1863), en el sur de Sinaloa, México. Tesis Profesional. Facultad de Ciencias, UNAM, México. 65p.

Puckett, B. J., D. H. Secor, and S. J. Ju. 2008. Validation and application of lipofuscin based age determination for Chesapeake Bay blue crabs (*Callinectes sapidus*). *Trans. Amer. Fish. Soc.* 137:1637-1649.

Ramos Cruz, S. 2008. Estructura y parámetros poblacionales de *Callinectes arcuatus* (Ordway, 1863) (Decapoda: Portunidae), en el sistema lagunar La Joya- Buenavista, Chiapas, México. Julio a diciembre de 2001. *Pan-Amer. J. Aqua. Sci.* (2008) 3(3): 259-268

Ricker, W.E. 1975. Computation and interpretation of biological statistics of fish populations. *Bull. Fish. Res. Board Can.* 191, 1-382.

Rodríguez-Domínguez, G., S. Castillo-Vargas-Machuca, R. Pérez-González & E. A. Aragón-Noriega 2012a. Estimation of the individual growth parameters of the brown crab *Callinectes bellicosus* (Brachyura, Portunidae) using a multi-model approach. 85(1): 55-69.

Rodríguez Rojero A. 2004. Hábitos alimentarios de las jaibas *Callinectes bellicosus* Stimson y *C. arcuatus* Ordway (Brachyura : Portunidae) en Bahía Magdalena, Baja California sur, México. Tesis de Maestría CICIMAR, IPN. 114p.

Ruiz-Camacho M., J. C. Ruiz-Camacho, J. A. Simental-Prado, A. López y J. A. Castro-Ayon, 1985. Contribución al conocimiento biológico pesquero de *Callinectes Arcuatus* (Ordway 1863) Estero el Sábalo, Mazatlán, Sin, México. 1983-1984. Memoria de servicio social Universitario. Escuela Ciencias del Mar, UAS.72pp.

Salazar, I., V. Macías y A. Ramos. 2003. Estudio biológico-pesquero para el manejo sustentable de la pesquería de jaiba *Callinectes bellicosus* (Stimpson, 1859) y *C. arcuatus* (Ordway, 1863) en las bahías de Topolobampo, Navachiste, Santa María La Reforma, Ensenada el Pabellón-Altata y Ceuta, en las costas de Sinaloa, México. Periodo: enero de 1999 a diciembre de 2001. Doc. Téc. SAGARPA-INP, CRIP-Mazatlán. 42p.

Salgado, J.M., F. Ascencio y V.C. García. 1994. Algunos aspectos biológico-pesqueros de la jaiba *Callinectes arcuatus* en la Laguna de Cuyutlán, Col. *Boletín Informativo CRIP-Manzanillo*, 13: 15-27.

Schnute, J. 1981. A versatile growth model with statistically stable parameters. *Can. J. Fish. and Aqua. Sci.* 38, 1128-1140.

Schnute, J.T. and Richards, L.J. 1990. A unified approach to the analysis of fish growth, maturity, and survivor-ship data. *J. Fish. and Aqua. Sci.* 47, 24-40.

Somers I.F. 1988. On a seasonally oscillating growth function. *Fishbyte* 6:8-11.

Sparre, P. y Venema, S.C. 1998. Introduction to tropical fish stock assessment. Part I. Manual. *FAO Fish. Tech. Paper* No. 306.1, Rev. 2. Rome, FAO. 407 pp.

- Ulíbarria Valenzuela J.J. 2003. Aplicación de un modelo predictivo a la pesquería de la jaiba café *Callinectes bellicosus* en la bahía Santa María de la Reforma. Tesis de Licenciatura, FACIMAR UAS. 42p.
- Van-Montfrans, J., J. Capelli, R.J. Orth and C.H. Ryer, 1986. Use of microwire tags for tagging juvenile blue crab (*Callinectes sapidus* Rathbun). *J. Crust. Biol.* 6: 370-376.
- Von Bertalanffy, L.1938. A quantitative theory of organic growth (inquiries on growth laws II). *Hum. Biol.* 10: 181-213.
- Wahle, R.A., Tully, O., and O'Donovan, V. 1996. Lipofuscin as an indicator of age in crustaceans: analysis of the pigment in the American lobster *Homarus americanus*. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 138(1-3): 117-123. doi:10.3354/meps138117.
- Wang Y. and Q. Liu. 2002. Comparison of Akaike information criterion (AIC) and Bayesian information criterion (BIC) in selection of stock-recruitment relationships. *Fish. Res.* 77: 220-225.
- Zamora, O., A. Findiesen, J. Stubblefield, V. Frenkel, and Y. Zohar. 2005. Large-scale juvenile production of the blue crab *Callinectes sapidus*. *Aquaculture* 244:129-139.

CAPITULO 4

TALLA DE PRIMERA MADUREZ DE LAS JAIBAS CAFÉ *Callinectes bellicosus* Y *C. arcuatus* (DECAPODA, PORTUNIDAE) EN LA BAHÍA SANTA MARÍA DE LA REFORMA

RESUMEN

La talla de primera madurez es un parámetro importante en el manejo de una pesquería ya que es un referente para definir la talla de primera captura. Generalmente se ajusta un modelo logístico sobre proporciones de hembras maduras por intervalo de talla y la talla de primera madurez se define como aquella talla donde el 50% de las hembras están maduras. Como esta talla depende de las proporciones de hembras inmaduras e inmaduras muestras sesgadas de estructuras de tallas pueden resultar en estimaciones erróneas. En las jaibas se ha reportado segregaciones espaciales por sexos y estadios de madurez sexual, que pueden producir muestras sesgadas de estructuras de talla y por consecuencia en estimaciones de la talla de primera madurez. Para estimar la talla de primera madurez ($AC_{50\%}$) y el efecto de la segregación espacial y la variabilidad ambiental en esta estimación se analizaron datos de estructuras de tallas por madurez sexual morfométrica de jaibas hembras del género *Callinectes* recabada en los años 2000-2003 y 2011 en la Laguna costera BSM de la Reforma la madurez de machos de *C. bellicosus* y ambos sexos de *C. arcuatus* solo fueron estimadas en 2011. La fuente de datos fue ancho de cefalotórax en muestreos dependientes e independientes de las capturas comerciales. En el año 2000 se realizó un muestreo especial a la mitad del periodo reproductivo en dos sitios de la laguna para probar el efecto de la segregación espacial. El porcentaje de hembras maduras (PHM) en las muestras fue usado como un indicador de la segregación espacial de estadios de madurez en las hembras de *C. bellicosus*. La variabilidad espacial e interanual en hembras de *C. bellicosus* fue evaluada con un modelo potencial de la relación entre el PHM y $AC_{50\%}$, en el cual se probó el efecto la concentración de clorofila *a* y la temperatura superficial del mar sobre esta talla agregándola al modelo como un error multiplicativo.

Se observó una segregación por sexos, estadios de madurez y estructuras de tallas entre la boca y el interior de la laguna, lo cual resultó en diferencias significativas en la estimación de $AC_{50\%}$ de hembras de *C. bellicosus* entre ambos sitios. La $AC_{50\%}$ en la boca fue de 103.7 mm mientras que en el interior fue de 114.08 mm. Con los datos conjuntos se estimó un $AC_{50\%}$ de 107.78 mm. Para el año 2000 la relación entre el PHM y $AC_{50\%}$ de hembras de *C. bellicosus* de cuatro fuentes de datos se ajustó a un modelo potencial de la forma $AC_{50\%} = 120.22 PHM^{-0.036}$ con un coeficiente de determinación R^2 de 0.99. La misma

relación considerando todos los años y fuentes de datos también se ajustó a un modelo potencial pero el coeficiente de determinación se redujo a 0.87 por la variación interanual. El coeficiente mejoró a 0.91 cuando se incorporó la concentración de Clorofila como un error multiplicativo en el modelo potencial de la forma $AC_{50\%} = 115.95 PHM^{-0.034} \cdot e^{0.0086 \cdot ChLa}$. Como la incorporación de la clorofila en el modelo solo incrementó en un 4% la varianza explicada en la variación interanual de $AC_{50\%}$ y la mayor varianza explicada fue por la variación en el PHM que es un indicador de la segregación de estadios de madurez, se recomienda adoptar un $AC_{50\%}$ de 107.78 mm porque fue estimada considerando la segregación espacial. En los machos de *C. bellicosus* la $AC_{50\%}$ estimado fue 107.2 mm y no fue diferente estadísticamente del estimado para hembras. En *C. arcuatus* las $AC_{50\%}$ estimadas fueron 64.8 mm para hembras y 69.1 mm para machos, pero la estructura de tallas de ambos sexos no son muy representativas de la población por lo que estas tallas deben ser estimadas cuidadosamente considerando la segregación de estadios de madurez y sexos que se reporta también para esta especie.

INTRODUCCIÓN.

La talla de primera madurez es un parámetro importante en el manejo de una pesquería ya que es un referente para definir la talla de primera captura. Con esto se busca proteger a los ejemplares juveniles para permitir que se reproduzcan al menos una vez en su vida. Si se capturan intensivamente organismos más pequeños que la talla de primera madurez, la sobrepesca del reclutamiento puede suceder y entonces es probable que pueda haber serios problemas para que la población se recupere. Cushing (1988) documentó varias especies de peces pelágicos que colapsaron porque la captura de hembras inmaduras jugó un papel importante en generar una sobrepesca del reclutamiento, tal como en las pesquerías de arenques en el Mar del Norte, el Mar de Noruega y en el Mar Atlántico noroccidental.

En la región este del Golfo de California se ha establecido una importante pesquería de las jaibas café *C. bellicosus* y azul *C. arcuatus*. La laguna costera conocida localmente como BSM La Reforma está en esta región y es una de las zonas más importantes de Sinaloa donde se captura jaiba comercialmente. A pesar de la importancia económica y social de esta pesquería existen pocas publicaciones arbitradas sobre la biología de estos recursos pesqueros. Se esperaría que esta población explotada recibiera una atención significativa como objeto de la investigación biológica marina, pero no es el caso. El manejo de la pesquería demanda conocimiento de muchos aspectos de la biología poblacional, tales como las características reproductivas de la población. En las jaibas del género *Callinectes* la forma del abdomen es una característica útil para identificar cuando una hembra está madura; un abdomen redondeado que se separa con facilidad del cefalotórax es la característica distintiva de una jaiba madura, a diferencia de un abdomen triangular y adherido al cefalotórax en las jaibas juveniles. Durante el proceso reproductivo el macho busca a la hembra juvenil que está por tener su muda terminal hacia la forma madura (Fischer y Wolff, 2006) y adopta una actitud protectora manteniéndola bajo su vientre, entre sus apéndices ambulatorias, hasta que muda y antes de que endure su nuevo cefalotórax, se da la única cópula que la hembra tendrá en su vida (Van Engel, 1958; Abbe, 1974; Fischer y Wolff, 2006;). La segregación espacial y temporal por sexos y madurez sexual ha sido ampliamente reportado para jaibas del género *Callinectes* (Paúl, 1982; Hines et al. 1987; Schaffner & Díaz, 1988; Olinto Branco & Masunari, 2000; Torre, 2004; Ramach, et al., 2009, Araujo et al., 2012), en general las

hembras maduras migran hacia zonas con condiciones marinas, mientras que los juveniles y machos prefieren las zonas mas estuarinas. Como la talla de primera madurez depende de la proporción de ejemplares maduros e inmaduros, la segregación espacial de los sexos y estadios de madurez puede influir en la estimación de éste parámetro. Así mismo la talla de primera madurez puede variar asociada a la tasa de crecimiento como respuesta a variaciones ambientales interanuales tales como temperatura superficial del mar o disponibilidad de alimento.

En este capítulo se aborda ambas fuentes de variación en la talla de primera madurez en la laguna BSM La Reforma; aquella asociada a la zona de recolecta y como respuesta a las variaciones interanuales de la temperatura superficial del mar (TSM) y Clorofila (Chl α).

MATERIAL Y MÉTODOS.

Área de estudio.

El sistema lagunar estuarino Santa María de la Reforma está localizado sobre la plataforma continental del océano Pacífico Central Mexicano. Es una laguna costera tipo IIIA de plataforma interior con barra (Lankford, 1977) y vegetación de manglar. La temperatura del agua en la laguna alcanza su máximo en Agosto (31°C) y un mínimo en Diciembre (20.1 °C) pero puede bajar hasta 17.5 como en el año 2008 (Flores Cárdenas, 2011). Durante este estudio se registraron temperaturas de 25.7 °C y 26.2 °C en mayo y junio respectivamente. Durante este estudio la salinidad varió de 25.1 a 38.6 PPM. La máxima profundidad de la laguna es de 24 m, y la profundidad media es de 7 m. La laguna conecta con el Océano Pacífico a través de dos bocas con canales de 12 a 17 m de profundidad (fig 4.1).

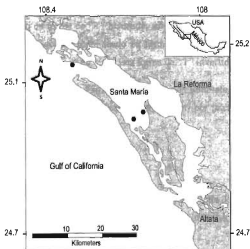


Figura 4.1. Área de estudio. Laguna costera Santa María La Reforma, Sinaloa, México.

Muestreo biológico.

Se recolectaron mensualmente, datos sobre amplitud del cefalotorax (AC) de jaibas cafés *C. bellicosus*, en la laguna BSM La Reforma. Se realizaron muestreos de las capturas comerciales (datos dependientes de la pesquería; DP) durante 2000 a 2003 y 2011 y en muestreos a bordo de embarcaciones comerciales (datos independientes de la pesquería; IP) durante 2000 a 2002 donde un técnico siempre estuvo presente para la colecta de la muestra y evitar los descartes selectivos de los pescadores.

Un muestreo especial se realizó en el 2000 para explorar la segregación de sexos y estadios de madurez. Aparte de los muestreos mensuales DP y IP se colectaron jaibas a la mitad de la temporada reproductiva en tres sitios diferentes (fig. 1); uno en la boca (B) y dos en el interior de la laguna (IL). Las jaibas fueron separadas por sexos y las hembras se clasificaron por estadio de madurez de acuerdo con su morfología externa. Las hembras inmaduras tienen un abdomen triangular o en forma de "V" invertida, adherido al cefalotórax., mientras que las hembras maduras tienen abdomen redondeado en forma de "U" invertida y despegado del cefalotórax. En los machos el abdomen tiene una forma de "T" invertida.

Las hembras inmaduras y maduras fueron clasificadas por intervalo de talla de 10 mm y entonces se calculó la proporción de hembras maduras ($\widehat{p\overline{hm}}_i$) por intervalo de talla i (AC_i) y se ajustaron a un modelo logístico de la forma:

$$\widehat{p\overline{hm}}_i = \frac{1}{1 + e^{\frac{-(AC_i - AC_{50\%})}{\Phi}}}$$

Donde AC_i es la talla media del intervalo de talla i , $AC_{50\%}$ es la talla de primera madurez y Φ es un parámetro del modelo. El modelo fue ajustado maximizando un algoritmo de log verosimilitud de la función binomial.

$$LL = \sum_{i=1}^k LN \left[\frac{N_i!}{n_i! (N_i - n_i)!} \widehat{p\overline{hm}}_i^{n_i} (1 - \widehat{p\overline{hm}}_i)^{N_i - n_i} \right]$$

Donde n_i es el número de hembras maduras en el intervalo de talla i , N_i es el número total de hembras en el intervalo de talla i y $\widehat{p\overline{hm}}_i$ es la probabilidad de madurez estimada por el

modelo logístico.

Con los datos de muestreos de la boca e interior de la laguna se estimó la talla de primera madurez para cada zona y en conjunto como se describió anteriormente. Con el fin de comparar los resultados, se obtuvieron los intervalos de confianza de la talla de primera madurez 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:

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

Donde $L(Y|\theta_{best})$ es la log verosimilitud negativa del valor más probable de θ y $\chi_{1,1-\alpha}^2$ 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 negativa de un θ dado y la log verosimilitud negativa de la mejor estimación de θ que sea menor que 3.84 (Haddon, 2001).

Se estimó el perfil de similitud para θ_i que genera una log verosimilitud negativa igual a la máxima verosimilitud negativa $L(Y|\theta_{best})$ menos la mitad del valor requerido de χ^2 (3.84/2). El estimador es:

$$L(Y|\theta) = L(Y|\theta_{best}) - \frac{\chi_{1,1-\alpha}^2}{2}$$

Como un índice de segregación de hembras por estadio de madurez en la laguna se estimó el porcentaje de hembras maduras (PHM) de las muestras por año y origen de los datos. Para explorar como la segregación de hembras maduras influye en la estimación de $AC_{50\%}$, un modelo potencial fue ajustado a los estimados de $AC_{50\%}$ versus PHM de cuatro fuentes diferentes de datos colectados en el 2000 (DP, IP, B, IL). Para considerar la variación ambiental interanual se usó un modelo potencial negativo extendido como:

$$AC_{50\%} = a_0 PHM^{-b_1} * e^{b_2 * TSM} * e^{b_3 * CH1a}$$

Donde $TSMa$ es la suma anual de anomalías mensuales de la temperatura superficial del mar y $Chla$ es el promedio mensual de la concentración de clorofila a para cada año.

La $TSMa$ y la $Chla$ fueron estimadas usando MODIS AQUA 4km y SEAWIFS 9Km de http://gdata1.sci.gsfc.nasa.gov/daac-bin/G3/gui.cgi?instance_id=ocean_month para dos áreas adyacentes a las bocas norte y sur de la laguna BSM La Reforma con las coordenadas 25.1325989 LN, 108.44742 LW y 24.9952698 LN, 108.33755 LW para la boca norte y 24.8064423 LN, 108.20091 LW y 24.6746063 LN, 108.07594 LW para la boca sur. $TSMa$ fue calculada restando SST de un mes del promedio de ese mes en una serie mensual de temperatura desde enero de 2000 a marzo del 2012. Las series mensuales de $Chla$ de SEAWIFS 9Km estuvieron disponibles desde enero del 2000 a diciembre del 2010, pero las series de MODIS AQUA 4km estuvieron disponibles desde Julio del 2002 hasta marzo del 2012. Por lo tanto para completar la serie de tiempo de $Chla$ de SEAWIFS 9 km hasta diciembre del 2011 se realizó por medio de una relación lineal entre las series temporales coincidentes de ambos sensores. Los coeficientes de determinación R^2 de la estimación lineal fue 0.83 para la boca norte y 0.57 para la boca sur. El modelo potencial extendido fue estimado por pasos; primero se ajustó el modelo potencial sencillo, después se añadió la función exponencial de $TSMa$, luego la se probó con el modelo potencial sencillo mas la función exponencial de $Chla$ y finalmente el modelo potencial con ambas funciones ambientales añadidas. Cada paso fue ajustado maximizando un algoritmo de log verosimilitud normal asumiendo error multiplicativo de los residuos. El índice de Akaike corregido para muestras pequeñas fue calculado en cada paso como sigue:

$$IA_c = 2 \cdot (\Phi - LL) + \frac{(2\Phi(\Phi + 1))}{(n - \Phi - 1)}$$

Donde LL es la máxima log verosimilitud, n es el número de datos y Φ es el número de parámetros estimados en cada paso. El valor más pequeño de IA_c fue usado para determinar hasta donde el ajuste estadístico fue mejorado por considerar la inclusión de variables ambientales en el modelo potencial.

RESULTADOS.

Variación espacial de la talla de primera madurez de *C. bellicosus*.

Se procesaron un total de 651 jaibas cafés *C. bellicosus* que fueron capturadas en dos zonas: adentro y en la boca de la laguna. Este total incluye 255 hembras y 396 machos. Las jaibas de la laguna costera mostraron una marcada segregación de sexos: dentro de la laguna el 73% fueron machos (fig. 4. 2A), mientras que el 71% de las jaibas de la boca de la laguna fueron hembras (fig. 4.2 B). Las hembras inmaduras fueron predominantes en la laguna (78% del total de hembras, fig.4.2A), mientras que las hembras maduras fueron predominantes en la boca de la laguna (81% del total de hembras, fig. 4.2B).

La distribución de frecuencia de AC de las hembras de ambas zonas se muestran en la figura 4.2 A-C. La frecuencia de hembras maduras mostraron una frecuencia máxima en 115 mm de AC en ambas zonas, pero el rango de AC fue más amplio en la boca que en el interior de la laguna (fig. 4.2A-B). La segregación por sexos observada en la laguna fue similar a la segregación por tallas mostrada por las hembras. Las hembras inmaduras mostraron una frecuencia máxima en 105 mm de AC dentro de la laguna y una frecuencia máxima en 95 mm de AC en la boca.

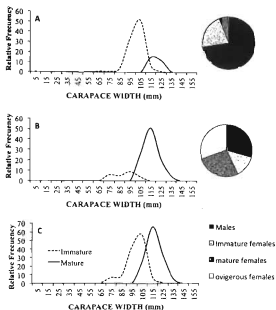


Figura 4.2. Estructura de AC de jaibas hembras de *C. bellicosus* (Stimpson, 1859) recolectadas en el interior (A) y en la boca (B) de la laguna BSM y muestras combinadas (C). En los gráficos circulares: proporción de sexos y estadios de madurez de hembras.

Otra forma de segregación fue mostrada por la talla de primera madurez (medida como amplitud de cefalotórax). La talla de primera madurez fue más grande dentro de la laguna (114.08 mm) que en la boca (103.73) de la misma. La tabla 4.1 muestra la talla de primera madurez y el intervalo de confianza al 95% en ambos sitios. La tabla 4.1 también muestra que la talla de primera madurez combinando los datos de ambas zonas es de 107.78 mm.

Tabla 4. 1. Talla de primera madurez (amplitud de cefalotórax) e intervalos de confianza estimados para *C. bellicosus* (Stimpson, 1859) en una laguna costera en el Golfo de California.

Origen de datos	Talla de primera madurez CW _{50%}	LI 95%	LS 95%
Dentro de la laguna	114.08	112.3	115.9
Boca de la laguna	103.73	102.9	104.4
Muestras conjuntas	107.78	106.5	109.1

La figura 4.3 muestra los modelos logísticos para las proporciones de madurez en ambos sitios y con las muestras combinadas. La figura 4.3 resalta la talla en la cual el 50% de las hembras son maduras. Los perfiles de verosimilitud y las probabilidades de χ^2 se muestran en la figura 4.4.

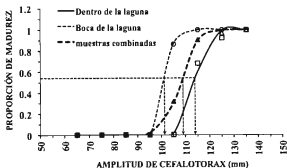


Figura 4.3. Talla de primera madurez (amplitud de cefalotórax) de hembras de jaiba café *C. bellicosus* colectadas en el interior y en la boca de la laguna costera BSM en el Golfo de California.

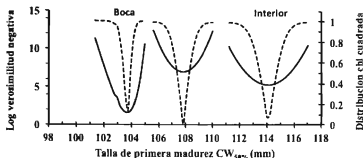


Figura 4.4. Perfiles de log verosimilitud negativa de la talla de primera madurez (amplitud de cefalotórax) de hembras de jaiba café *C. bellicosus* colectadas en el interior y en la boca de la laguna costera Santa María en el Golfo de California. Las líneas sólidas representan el perfil de log verosimilitud negativa y las líneas discontinuas la probabilidad de chi cuadrada.

Variación interanual de la talla de primera madurez de *C. bellicosus*.

Se analizaron 3734 jaibas machos, 923 jaibas hembras inmaduras y 755 jaibas maduras provenientes de las capturas comerciales. Los ejemplares de jaiba recolectados en los muestreos abordó fueron 2060 machos, 1064 hembras inmaduras y 238 hembras maduras.

La relación entre $AC_{50\%}$ y PHM de las cuatro fuente de datos del 2000, describió un modelo potencial negativo con una R^2 de 0.999 (fig. 4.5). Este alto valor del coeficiente de determinación significa que en el mismo año la única fuente de variación de $AC_{50\%}$ fue el PHM de las cuatro fuentes de datos considerados. PHM representa la segregación de hembras maduras en la laguna. El valor más alto de PHM y el valor más bajo estimado de $AC_{50\%}$ se presentó en la boca de la laguna, mientras que el valor más bajo del PHM y el estimado más alto de $AC_{50\%}$ se registró en el interior de la laguna. Las $AC_{50\%}$ estimadas de los datos anuales con origen en FD y FI estuvieron más cerca del estimado para el interior de la laguna que aquel estimado para la boca. La boca de la laguna está lejos de la comunidad pesquera BSM La Reforma, por lo tanto la flota pesquera de jaiba opera en el interior de la laguna para maximizar los ingresos gastando la menor cantidad de combustible.

La relación entre $AC_{50\%}$ y PHM estimados para todos los años y origen de datos analizados también describió un modelo potencial negativa, pero el R^2 resultó en 0.87 (fig. 4.7). La variación interanual fue responsable por la reducción del R^2 en relación al estimado en el año 2000. En el modelo potencial extendido solo la inclusión de Chla resultó en un AIC menor que el modelo potencial sencillo (Tabla 4.1), pero las diferencias fueron de solo 0.3. La inclusión de Chla en el modelo potencial negativo solo incrementó en 4% la varianza total explicada de la variación interanual de $AC_{50\%}$. Lo anterior significa que la Chla es responsable por solo ± 0.03 mm de variación interanual en $AC_{50\%}$ (± 3.94 mm) mientras que el PHM fue responsable por ± 3.69 mm. La variación interanual no explicada en $AC_{50\%}$ por la variación en PHM fue de 0.94 mm, así que 0.22 mm de variación interanual en $AC_{50\%}$ permanece sin explicación. Este orden de magnitud de variación explicada y no explicada por Chla después de la variación explicada por la variación en el PHM es muy pequeño. Esto a pesar que la variación en Chla en los años analizados varió entre 2.06 mg/m^3 y 4.43 mg/m^3 . Para fines prácticos una talla de primera madurez de 107.78 mm de AC que fue estimada con los datos conjuntos del interior y boca de la laguna en el año 2000, debería ser considerada como una buena estimación ya que considera la segregación espacial de hembras maduras.

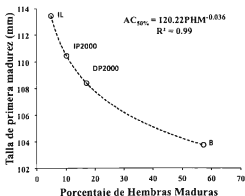


Figure 4.5. Relación entre la talla de primera madurez y el porcentaje de hembras maduras de cuatro fuente de datos de jaiabas café *C. bellicosus* de La laguna Santa María La Reforma en el año 2000.

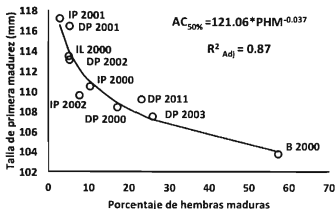


Figure 4.6. Relación entre la talla de primera madurez y el porcentaje de hembras maduras estimadas a partir de muestras anuales de la captura comercial (DP), muestreo a bordo de embarcaciones pesqueras (IP), en la boca de la laguna (B) y en el interior de la laguna (IL) por año (número después de DP, IP, IL, B) de jaibas café *C. bellicosus* de la laguna Santa María La Reforma.

Tabla 4.2. Coeficientes del modelo potencial entre la talla de primera madurez $AC_{50\%}$ y el porcentaje de hembras maduras (PHM) extendido para considerar las variables ambientales. El AIC y R^2 para cada paso es indicado.

M. POTENCIAL EXTENDIDO				
COEFICIENTE	M. POTENCIAL	*SSTA	*CLa	*SSTA * CLa
a_0	121.100	199.882	115.950	104.010
b_1	-0.037	-0.039	-0.034	-0.033
b_2		-0.020		0.004
b_3			0.009	0.009
AIC=	-54.31	-51.44	-54.58	-48.62
R^2 Adj=	0.87	0.86	0.91	0.89

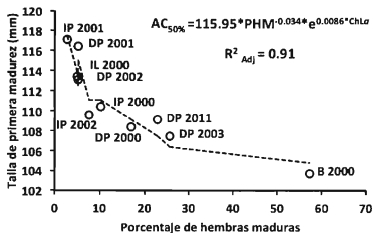


Figura 4.7. Modelo potencial extendido con la función exponencial de Ch/a en la laguna Santa María la Reforma. Los años son indicados después de las letras DP= datos dependiente de la pesquería, IP= independiente de la pesquería, B= boca de la laguna y IL= interior de la laguna.

Talla de primera madurez de machos de *C. bellicosus*

La talla de primera madurez de los machos de *C. bellicosus* fue estimada en 107.2 mm de AC (IC95% = 105.88 a 108.51) (fig. 4.8). Esta talla es 0.6 mm menor a la estimada para las hembras cuando se consideró la segregación espacial (fig. 4.9). Sin embargo, los intervalos de confianza al 95% de ambos sexos se traslapan ampliamente (fig. 4.9), lo que significa que la madurez morfológica se da en la misma talla en machos y hembras.

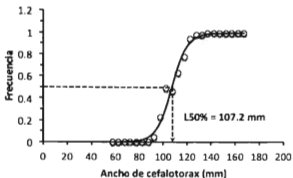


Figura 4.8 Talla de primera madures de machos de *C. bellicosus* en la Bahía Santa María de la Reforma.

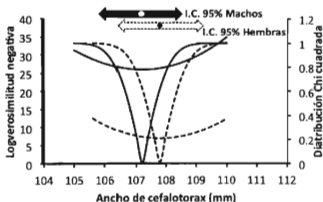


Figura 4.9. Perfiles de verosimilitud (curvas amplia) y distribución de probabilidad de χ^2 (curvas agudas) del valor estimado para la talla de primera madurez de machos (líneas continuas) y hembras (líneas discontinuas) de *C. bellicosus*.

Estructura de tallas de *C. bellicosus* por grado de madurez

Las hembras inmaduras de *C. bellicosus* muestreadas en las capturas comerciales en todos los años analizados mostraron una moda en 97.5 mm de AC (Fig. 4.10), mientras que las hembras maduras muestran una clara distribución normal con moda en 117.5 mm, lo cual sugiere que la aseveración de muda terminal durante la madurez es cierta. En cambio las jaibas machos maduros muestran una estructura de tallas multimodal, sugiriendo que aunque maduran a la misma talla que las hembras estos siguen creciendo y alcanzan tallas mayores que las hembras.

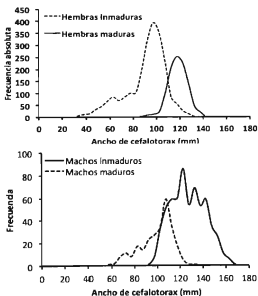


Figura 4.10 Estructura de tallas de machos y hembras de *C. bellicosus* por madurez sexual capturados en la bahía Santa María de la Reforma.

Talla de primera madurez de *C. arcuatus*.

La talla de primera madurez de las hembras de *C. arcuatus* fue estimada en 64.8 mm de AC (fig. 4.11) y de los machos en 69.1 mm de AC (fig. 4.12). Aunque los intervalos de confianza al 95% se traslapan entre los sexos (hembras: entre 60 mm y 69.5 mm; machos entre 66.2 mm a 71.9 mm), la talla más probable de primera madurez en hembras quedo fuera del IC95% de los machos (fig. 4.13), sugiriendo que los machos maduran a una talla mayor que las hembras.

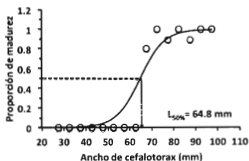


Figura 4.11. Talla de primera madurez de la jaibas hembra azul *C. arcuatus* capturada en la Bahía Santa María de la Reforma.

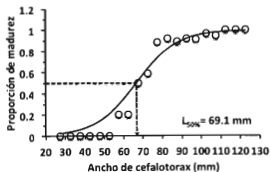


Figura 4.12. Talla de primera madurez de la jaibas macho azul *C. arcuatus* capturada en la bahía Santa María de la Reforma.

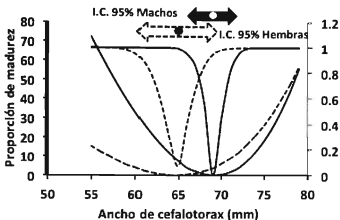


Figura 4.13. Perfiles de verosimilitud (curvas amplias) y distribución de probabilidad de χ^2 (curvas agudas) del valor estimado para la talla de primera madurez de machos (líneas continuas) y hembras (líneas discontinuas) de *C. arcuatus*.

Estructura de tallas de *C. arcuatus* por grado de madurez

Las estructura de tallas de las hembras inmaduras de *C. arcuatus* mostró una moda en 37.5 mm de Ac, mientras que las hembras maduras las mayores frecuencias se observaron entre 80 y 90 mm de AC. (fig 4.14 A). La separación de casi 40 mm entre ambos grupos de tallas sugiere que al menos falta una cohorte intermedia entre estas dos. En los machos la frecuencia de ejemplares inmaduros fue muy poca y variaron entre 27.5 mm a 107.5 mm de AC. Los machos maduros dominaron notablemente las capturas con una moda en 92.5 mm de AC (fig. 4.14B).

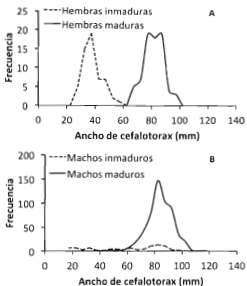


Figura 4.14. Estructura de tallas de hembras (A) y machos (B) de *C. arcuatus* por madurez sexual capturados en la bahía Santa María de la Reforma.

DISCUSIÓN.

El conocimiento de la talla de primera madurez es muy importante en el manejo de pesquerías. La talla de primera madurez promedio o esperada es generalmente estimada ajustando un modelo logístico a la proporción de hembras maduras por intervalo de talla. Se puede asumir que el modelo logístico representa una función de densidad de probabilidad y la talla de primera madurez corresponde a la talla donde el 50% de las hembras están maduras. Como la proporción de hembras maduras es la base de este cálculo, es necesario tener una adecuada representación de la estructura de tallas poblacional de las hembras maduras e inmaduras. En este trabajo se demuestra que la zona de muestreo influye en la talla de primera madurez de *C. bellicosus*, por la segregación espacial que presentaron las jaibas por sexo, madurez y estructura de tallas. E incluso la segregación espacial fue más importante (representada por la proporción de hembras maduras en la muestra) que otros factores en la variación interanual de la talla de primera madurez. Una segregación similar de hembras fecundadas y ovígeras se presenta en otras especies del género (Paúl, 1982; Hines et al. 1987; Schaffner & Diaz, 1988; Olinto Branco & Masunari, 2000; Torre, 2004; Ramach, et al., 2009, Araujo et al., 2012). Si esto es generalizado, se debe tener especial cuidado en considerar esta segregación cuando se realicen estudios sobre la talla de primera madurez en este género.

Estudios sobre otras especies económicamente importantes, tales como camarón (Aragón-Noriega & Alcántara-Razo, 2005) han rendido abundante información biológica. Sorprendentemente, la información biológica publicada sobre las jaibas del pacífico mexicano es escasa, aún y cuando la captura comercial de jaibas se ha incrementado hasta 16,000 toneladas métricas en el Golfo de California. De éste total 13,680 toneladas métricas son de *C. bellicosus* 2320 T.M. de *C. arcuatus*. No se encontró alguna publicación arbitrada que hubiera estimado la talla de primera madurez de *C. bellicosus*, en cambio hay más información disponible acerca de la talla de primera madurez en *C. arcuatus* (Ordway, 1863). En documentos previos no arbitrados (Ayala-Cota & Espinoza-Cruz, 2001; Ramírez-Félix et al., 2003) se reportó un valor de 115 mm de CW para la talla de primera madurez de hembras de *C. bellicosus* en una laguna costera del Golfo de California. Este valor es similar al encontrado en este trabajo para las muestras colectadas en el interior de la laguna. En este estudio se capturaron hembras maduras en la boca y en el interior de la laguna. Los datos del interior de

la laguna son consistentes con el valor de 115 mm de CW para la talla de primera madurez de *C. bellicosus* reportados por los estudios previos. Salazar-Navarro et al. (2006) estimaron una talla de primera madurez de *C. bellicosus* en 110 mm de AC en una laguna costera al sur de BSM, pero en realidad es la mediana de las hembras maduras, ya que la estimaron con el 50% de la frecuencia relativa acumulada de hembras maduras. La mediana de las hembras maduras es más comparable con la moda de 117.5 mm de AC de las hembras maduras de *C. bellicosus* registrada en este trabajo. Hernández- Moreno y Arreola Lizárraga (2007), quienes encontraron un valor de 75 mm de la talla media de madurez de hembras, también estimaron la mediana de los ejemplares adultos, en una muestra dominada en un 80% por juveniles. Hasta donde se conoce este es el primer reporte donde se presentan datos sobre segregación de sexos y estado de madurez en alguna especie del género *Callinectes* de la costa del Pacífico mexicano. Estos resultados no solo son importantes para el manejo de pesquerías si no que también para el conocimiento de la biología general de las especies de *Callinectes*.

Para *C. arcuatus* Fisher & Wolff (2006) estimaron una talla de primera madurez de los machos de 94.63 mm y de hembras en 68.72 mm de AC. Ambos son más grandes que las estimadas en este trabajo; 69.1 mm y 64.8 mm de AC respectivamente. Estos valores más bajos pueden ser resultado de un problema del muestreo. En la estructura de tallas de las hembras de *C. arcuatus* muestreadas en este trabajo es evidente la ausencia de una cohorte de ejemplares inmaduros, que de haberse muestreado e incorporado al análisis, el resultado sin duda sería una talla de primera madurez más grande que la estimada en este trabajo. En los machos de esta misma especie es evidente también en este trabajo que los ejemplares inmaduros no están adecuadamente representados en la muestra. De manera que las tallas de primera madurez aquí estimadas no son confiables por un problema de muestreo de las capturas comerciales y que probablemente este asociado con la segregación espacial de las hembras maduras y sexos.

Otros valores reportados de la talla de primera madurez de *C. arcuatus*, que en realidad son estimaciones de la mediana de las hembras maduras por el método utilizado, varían entre 86 y 90 mm de AC (Salazar Navarro, et al., 2006; Arcineaga-Flores y Mariscal Romero, 2013) y son más comparables al intervalo registrado aquí de 80 a 90 mm de AC donde se obtuvo la

mayor frecuencia de hembras maduras de esta especie.

El limitado conocimiento de la biología de las especies de jaibas de esta región hace que la comparación sea más complicada. La comparación de la talla de primera madurez de camarones de la región del Golfo de California (Aragón-Noriega & Alcántara-Razo, 2005) mostró el efecto de la temperatura superficial del mar (TSM) sobre el período de madurez y la talla de primera madurez. Esos resultados son relevantes para este estudio porque (Aragón-Noriega & Alcántara-Razo, 2005) encontraron que a más altas latitudes y más bajas TSM promedio anual corresponden con períodos más cortos de madurez y tallas de primera madurez más grandes. Sin embargo, el único reporte de la talla de primera madurez de *C. bellicosus* encontrado a más altas latitudes y más bajas TSM promedio anual (Nevárez-Martínez et al., 2003) representa un resultado contradictorio. Nevárez-Martínez et al. (2003) reportó una talla de primera madurez de 80 mm de AC. Este valor difiere sustancialmente de los resultados de este trabajo, ya que se encontró una talla de primera madurez de 114 mm en el interior de la laguna y un valor de 103.7 mm de AC para la boca de la laguna. Estas discrepancias se interpretan como reflejo de un sesgo metodológico, pero otros factores tales como temperatura, pueden influir en los resultados; además, la talla de primera madurez puede ser un parámetro variable, como en otros organismos marinos. Es difícil suponer que *Callinectes spp* represente el único grupo de animales marinos que no siguen el paradigma descrito por Kinne (1970): "Los requerimientos termales para reproducción a menudo están restringidos a una ventana estrecha de temperatura separando el rango de temperatura para el crecimiento del rango de temperatura reproductiva."

Es importante para el manejo de pesquerías reconocer los resultados de este estudio y considerar un valor de 107.8 mm de AC como la talla de primera madurez de *C. bellicosus* de la laguna considerada en esta investigación. También es necesario por supuesto revisar los reportes previos (ej. Nevárez-Martínez et al., 2003), en el cual un valor de 80 mm de CW fue reportado como talla de primera madurez. Otros reportes deben ser revisados para evaluar los métodos usados para coleccionar los datos. Es muy importante completar el conocimiento de *Callinectes spp.* en la costa del océano Pacífico para contribuir al conocimiento general de crustáceos y para el manejo de sus pesquerías, mejorando así la sustentabilidad de las

pesquerías a nivel mundial. Se concluye que la información sobre la segregación de talla de primera madurez y sexo encontrada en este estudio puede ser usada para facilitar un mejor enfoque para evaluar el manejo de las pesquerías, al menos para las especies estudiadas aquí.

REFERENCIAS

- Abbe, G. R. 1974. Second terminal molt in an adult female blue crab, *Callinectes sapidus* Rathbun. *Trans. Am. Fish. Soc.* 103:643-644.
- Argón-Noriega, E. A. & E. Alcántara-Razo, 2005. Influence of sea surface temperature on reproductive period and size at maturity of the brown shrimp (*Farfantepenaeus californiensis*) in the Gulf of California. *Mar. Biol.* 146(2): 373-379.
- Araújo M. S.L.C., A. V. Barreto, A. Rinete, O. Negromonte and R. Schwamborn, 2012. Population ecology of the blue crab *Callinectes danae* (crustacea: portunidae) in a brazilian tropical estuary. *Anais da Academia Brasileira de Ciências* 84(1) Printed version ISSN 0001-3765 / Online version ISSN 1678-2690 www.scielo.br/aabc.
- Arcineaga-Flores y Mariscal Romero, 2013. Estructura poblacional y crecimiento individual de *Callinectes arcuatus* en la Laguna Barra de Navidad, Jalisco. *Ciencia Pesquera* 21(1): 15-26.
- Ayala-Cota, F. J. & L. J. Espinoza-Cruz, 2001. Parámetros poblacionales de la jaiba café *Callinectes bellicosus* (Stimpson, 1859) en la Bahía Santa María de la Reforma: Tesis de Licenciatura, Universidad Autónoma de Sinaloa, Mazatlán, Mexico. 35p.
- Cushing, D., 1988. *The Provident Sea*: 1-329. (Cambridge University Press, Cambridge).
- Fischer, S. & M. Wolff, 2006. Fisheries assessment of *Callinectes arcuatus* (Brachyura, Portunidae) in the Gulf of Nicoya, Costa Rica. *Fish. Res.*, 77: 301-311.
- Flores-Cárdenas, F., 2011. Vulnerabilidad del Sistema Lagunar Santa María-La Reforma (Sinaloa) asociada a las dimensiones humanas y variabilidad climática. Tesis de Licenciatura, Universidad Autónoma de Sinaloa, Mazatlán, México 66p.
- Haddon, M., 2001. *Modelling and quantitative methods in fisheries*. Chapman & Hall/CRC, Boca Raton, FL 406p.
- Hernández Moreno L. & J. A. Arreola-Lizárraga, 2007. Estructura de tallas y crecimiento de los cangrejos *Callinectes arcuatus* and *C. bellicosus* (Decapoda: Portunidae) en la laguna costera Las Guásimas. México *Rev. Biol. Trop.*, 55(1): 225-233.
- Hines A.H., R. N. Lipcius & A. M. Haddon. 1987. Population dynamics and habitat partitioning by size, sex, and molt stage of blue crabs *Callinectes sapidus* in a subestuary of central Chesapeake Bay. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 36: 55-64.
- Kinne, O., 1970. *Marine ecology-A comprehensive, integrated treatise on life in the oceans and coastal waters, I: Environmental factors*. John Wiley & Sons, New York, NY 1774p.
- Lankford, R. R., 1977. Coastal lagoons of Mexico: their origin and classification. In: M. WILEY(ed.), *Estuarine processes, circulation, sediments and transfer of materials in the*

Nevárez-Martínez, M. O., J. López-Martínez, C. Cervantes-Valle, E. Miranda-Mier, R. Morales-Azpeitia & M. L. Anguiano-Carrasco, 2003. Evaluación biológica y pesquera de las jaibas *Callinectes bellicosus* y *Callinectes arcuatus* (Brachyura: Decapoda: Portunidae) en las bahías de Guásimas y Lobos, Sonora, México. In: M. E. Hendrickx (ed.), Contributions to the study of East Pacific Crustaceans, 2. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM, Mazatlán, México 125-138.

Olinto Branco J. & S. Masunari, 2000. Reproductive ecology of the blue crab, *Callinectes danae* Smith, 1869 in the Conceição Lagoon System, Santa Catarina Isle, Brazil. *Rev. Bras. Biol.*, 60 (1): 17-27.

Paul, R. K. G., 1982. Observation on the ecology and distribution of swimming crabs of the genus *Callinectes* (Decapoda: Brachyura: Portunidae) in the Gulf of California, Mexico. *Crustaceana*, 42: 96-100.

Ramach S., M. Zachary Darnell, N. Avissar and D. Rittschof, 2009. Habitat use and population dynamics of blue crabs, *Callinectes sapidus*, in a high-salinity embayment. *J. Shell. Res.*, 28(3), 635-640.

Ramírez-Félix, E., J. Singh-Cabanillas, H. A. Gil, N. S. Sarmiento, I. Salazar, G. Montemayor, J. A. García, D. G. Rodríguez & L. N. Castañeda, 2003. La Pesquería de Jaiba (*Callinectes* spp.) en el Pacífico mexicano: Diagnóstico y Propuesta de regulación: Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, Cd. Mexico, Mexico 1-54.

Salazar-Navarro, I. V. Macías Sánchez, Á. Ramos González, J. A. Virgen Ávila y L. E. Esparza Carvajal. 2006 □ La pesquería de jaiba *Callinectes bellicosus* (Stimpson, 1859) y *C. arcuatus* (Ordway, 1863) en la Bahía de Ceuta, en las costas de Sinaloa, México, 2005. 49-50. En Espino Barr E., M. Á. CARRASCO ÁGUILA y M. Puente Gómez Eds. 2006. Memorias del III Foro Científico de Pesca Ribereña. Del 03 al 05 de octubre de 2006. Puerto Vallarta, Jalisco.

Schaffner L.C. & R.J. Diaz 1988. Distribution and abundance of overwintering blue crabs, *Callinectes sapidus*, in the Lower Chesapeake Bay. *Estuaries* 11(1): 68-72.

Van Engel WA. 1958. The blue crab and its fishery in Chesapeake Bay. Part 2. Reproduction, early development, growth and migration. *Comm. Fish. Rev.* 20(6): 6-17.

Venzon, D. J. & S. H. Moolgavkar, 1988. A method for computing profile-likelihood-based confidence intervals. *App. Stat.*, 37: 87-94.

Torre, J., L. Bourillón y A. H. Weaver. 2004. la pesquería de la jaiba verde (*Callinectes bellicosus*) en la región de Bahía de Kino y Canal de Infiernillo entre 1998 y 2002 Informe interno. Comunidad y Biodiversidad, A.C. (COBI) 49p.

CAPITULO 5

EVALUACIÓN DE LA PESQUERÍA DE LA JAIBA CAFÉ *Callinectes. bellicosus* Y *C. arcuatus* EN LA BAHÍA SANTA MARÍA DE LA REFORMA, SINALOA, MÉXICO.

RESUMEN

En la BSM de la Reforma, una laguna costera de la costa oriental del Golfo de California, se desarrolla una pesquería de jaiba sostenida principalmente por *C. bellicosus* y en segundo término por *C. arcuatus*. Recientemente se ha incrementado el esfuerzo de pesca en esta pesquería por el ingreso de mas pescadores y la incorporación de nuevas tecnologías de captura más eficientes. Para conocer el efecto de este incremento en el esfuerzo sobre la población de jaiba *C. bellicosus* se realizaron evaluaciones de la pesquería en el 2000 y 2011 utilizando el análisis de cohortes por tallas, la curva de captura de longitud transformada a edad y el modelo de Thompson Bell. Los mismos métodos se utilizaron para evaluar la pesquería de *C. arcuatus* en el 2011 ya que anteriormente no se capturaba. Además se utilizó el novel método de Captura-Máximo Rendimiento Sostenible de Martell & Froese (2012) para evaluar la pesquería utilizando la serie de captura anual de jaiba desde 1993 a 2011.

La tasa de explotación en el 2000 para *C. bellicosus* vario entre 0.02 a 0.39 en machos y 0.42 a 0.63 en hembras según el método utilizado y se incrementó sustancialmente para el 2011; entre 0.57 a 0.87 en machos y de 0.49 a 0.86 en hembras. Pero considerando el análisis de cohortes como el método más robusto la tasa de explotación en el 2011 se ubica en 0.57 para machos y 0.49 para hembras de *C. bellicosus*. Considerando el referente de tasa de explotación de 0.5 como la tasa óptima donde se obtiene el MRS se consideraria entonces que en el 2011 las jaibas machos de *C. bellicosus* estarían en la fase de sobrexplotación, pero debido a la alta resiliencia de estas especies se han reportado tasas óptimas de explotación entre 0.78 a 0.8 para *C. sapidus* y *C. arcuatus* por lo que se concluye que la pesquería de *C. bellicosus* no está sobrexplotada, pero sí muy cerca de la máxima tasa de explotación posible. Con el modelo de Thompson Bell se llega a conclusiones similares. Con el método de Captura-MRS se estimo un MRS de 1528 T.M. anuales, el cual se rebasó en 2008 y 2009 provocando una disminución de la biomasa pero que al final de 2011 se mantiene en el nivel de la Biomasa con la que se obtiene el MRS, por lo que se llega a la misma conclusión de los otros métodos de evaluación usados. La evaluación de *C. arcuatus* en el 2011 indica tasas de explotación entre 0.33 a 0.51 según el método utilizado, pero con el análisis de cohortes se obtiene una tasa de explotación de 0.33 por lo que se concluye que esta población está en fase subexplotada. Similar conclusión se obtiene de emplear el modelo de Thompson Bell. Se recomienda una

cuota de captura precautoria de 1171 T.M de Jaiba café *C. bellicosus* y 150 T. M. anuales de jaiba azul *C. arcuatus*.

INTRODUCCIÓN.

En la parte oriental del golfo de California se desarrolla una pesquería de jaibas, la cual comprende a las especies *C. bellicosus* y *C. arcuatus*. En ambos estados la especie dominante en las capturas es la jaiba café *C. bellicosus*, y la jaiba azul comprende entre un 5% en Sonora y de 30% a 40% en Sinaloa. En Sonora las capturas de jaiba se desarrollan en la zona costera marina, mientras que en Sinaloa se captura principalmente dentro de las lagunas costeras. En Sinaloa es la segunda pesquería más importante después del camarón, porque existe disponibilidad todo el año y de esto se sostienen la mayoría de los pescadores durante la veda del camarón. BSM de la Reforma es la laguna costera más grande de Sinaloa con cerca de 58,000 has de superficie de agua y en los últimos cinco años ha aportado el 28% de la producción estatal de jaiba. La pesquería en esta bahía inició en 1993 con producciones de 100 toneladas anuales y para inicios del año 2000 se estaban produciendo cerca de 500 toneladas anuales y se ha incrementado hasta casi 2000 toneladas anuales en promedio durante los últimos tres años. Otra característica de esta bahía es que la pesquería se sostenía exclusivamente de la jaiba café *C. bellicosus*, pero a partir de la temporada 2009 se han empezado a capturar comercialmente la jaiba azul *C. arcuatus*. Los pescadores de esta bahía tienen una extraordinaria capacidad de innovación tecnológica de sus artes de pesca (Rodríguez Domínguez y Castañeda Lomas, 2003) por lo que constantemente están modificando sus equipos. En la pesquería de la jaiba han ensayado con diferentes artes de pesca, primero usaron el aro jaibero, el cual es un aro de hierro cubierto con red de chinchorro de monofilamento nylon el cual es sostenido por tres cuerdas como tirantes que confluyen en uno solo. Los aros se preparan con camada y se colocan en hileras de 30 a 60 aros por embarcación, las cuales van recogiendo y capturando las jaibas que se encuentren comiendo en ese momento. Operar este aro requiere de cierta habilidad del pescador para evitar que la jaiba se escape antes de ser depositada en la embarcación, por tal motivo el acceso a esta pesquería estuvo restringida y solo operaban aquellos pescadores con habilidades para lograr obtener ganancias de la actividad. En los años 2002 a 2003 empezaron a operar una trampa tipo Chesapeake como las que se usan en Sonora, solo que éstas fueron elaboradas con una estructura de hierro plegable y cubiertas con red de malla nylon. Con estas trampas el acceso a la pesquería fue más fácil y por eso el Comité para el manejo de la pesquería de la jaiba que

operaba en ese tiempo la prohibió y volvieron a usar el aro jaibero (Rodríguez Domínguez et al., 2004). Este comité desapareció después del 2003 y a partir del 2008 han empezado a usar una modificación del aro jaibero, al cual le colocaron otro aro más ligero encima cubierto con red de malla nylon y con colgantes de malla que se unen al aro inferior. Este nuevo aro en realidad es una trampa sin orificio de escape y ha permitido un mayor acceso de pescadores a la pesquería de la jaiba.

Los datos de incremento en las capturas de jaiba, la reciente inclusión de *C. arcuatus* a la pesquería comercial y las innovaciones tecnológicas y acceso a la pesquería hacen suponer que el esfuerzo de pesca se ha incrementado sustancialmente en los últimos años y que la pesquería podría estar en una situación de riesgo de sobreexplotación.

Para la evaluación de una pesquería de invertebrados, como el caso de la jaiba, que no preservan estructuras duras sobre las cuales se pueda determinar la edad comúnmente se utilizan métodos basados en las estructuras de tallas (Pauly y Morgan, 1987, Sparre y Venema, 1998). Jones y Van Zalinge (1981) desarrolló un análisis de cohortes basado en tallas, con el cual se puede llegar a estimar un vector de mortalidad por pesca por intervalo de talla o una mortalidad por pesca promedio si se conoce la mortalidad natural, la captura total anual y se asume reclutamiento y mortalidad natural constante. Conociendo la mortalidad natural y por pesca es posible calcular la tasa de explotación el cual es un referente del estado de la pesquería (Caddy y Mahon, 1996); si el valor es mayor de 0.5 la pesquería esta sobreexplotada, si el valor es cerca de 0.5 la pesquería está en su máximo rendimiento sostenible (MRS) y si es menor de 0.5 entonces se determina que la pesquería tiene capacidad para sostener un mayor esfuerzo de pesca. Con el vector de mortalidad por pesca y la captura total anual se puede realizar simulaciones del efecto de cambios en el esfuerzo de pesca sobre el rendimiento anual de la pesquería a través del modelo de Thompson y Bell (Sparre y Venema, 1998). Conociendo la mortalidad natural y la captura total por intervalos de talla se puede aplicar el método de curva de captura de longitud convertida a la edad (Length converted catch curve) para estimar mortalidad total y la tasa de explotación (Pauly, 1984). Recientemente Martell and Froese, (2012) diseñaron un método para evaluar pesquerías que no cuentan con mucha información basados solamente en series anuales de captura que denominaron método Captura-Máximo Rendimiento Sostenible.

En esta investigación se hace una evaluación del estado de la pesquería de las jaibas en la BSMR comparando la situación en el año 2000 y en el 2011 utilizando tres métodos diferentes.

METODOLOGÍA

Los datos utilizados en este trabajo provienen de muestreos de las capturas comerciales de los años 2000 y 2011 y series de captura de *C. bellicus* de 1993 a 2011. Para *C. arcuatus* solo se contó con datos del 2011. Los muestreos comerciales se realizaron mensualmente durante la temporada de pesca en donde se registró el ancho de cefalotórax y sexo de ejemplares de jaiba café y azul, con los cuales se construyeron tablas de frecuencia por intervalo de talla y sexo. Estas tablas se expandieron a la captura total de cada mes (Ct_t) multiplicando la frecuencia por el factor de expansión (Fe) del mes correspondiente, el cual se calculó con la siguiente expresión: $Fe = \frac{\text{Captura mensual}}{\text{Peso de la muestra}}$

y finalmente se sumaron las frecuencias de captura mensual para obtener la captura anual por intervalo de talla (Ct_t).

Análisis de cohortes. Se utilizó el método de Jones (Jones y Van Zalinge, 1981) para el análisis de cohortes basado en tallas (Sparre y Venemoa, 1998). Este método consiste en estimar el número total de individuos en la población (N_t) por intervalo de talla que soportó la captura C_t . Primero se asume que la captura en el último intervalo de talla ($C_{t_{final}}$) es pescado al máximo rendimiento sostenible, por lo tanto $N_{t_{final}} = \frac{C_{t_{final}}}{0.5}$ y las abundancias precedentes se estiman del último al primer intervalo de talla con la siguiente expresión.

$$N_t = (N_{t+1} * H' + C_t) * H'$$

donde H' es el equivalente a $e^{\frac{M \Delta t}{2}}$ del modelo de cohortes basado en la edad de Pope, (1972) y que se obtiene estimando del intervalo de edad por intervalo de talla con la función inversa de edad en cada caso de Schnute (1981) y substituyéndolo en la expresión anterior.

Como los mejores ajustes de crecimiento fueron con los caso 1 y 2 del modelo de Schnute (1981) se estimaron los valores de H' como sigue:

Caso 1.
$$H' = \left[\frac{LS^Y - e^Y}{Li^Y - e^Y} \right]^{\frac{-M}{2k}}$$

Caso 2.
$$H' = \left[\frac{LN(Li) - LN(\epsilon)}{LN(Ls) - LN(\epsilon)} \right]^{\frac{M}{zk}}$$

Donde Li y Ls son el límite inferior y superior respectivamente del intervalo de talla,

M es la mortalidad natural y

γ , ϵ y k son los parámetros del modelo de crecimiento de Schnute (1981).

La tasa de mortalidad Natural fue estimada usando el modelo empirico de Rikhter y Efanov

(1976). $M = \frac{1.521}{t_{50\%}^{0.72}} - 0.155$ donde $t_{50\%}$ es la edad de la talla de primera madurez.

Posteriormente se calcula la tasa de explotación E_i y la mortalidad por pesca F_i por intervalo de talla como sigue:

$$E_i = \frac{F_i}{Z_i} = \frac{Ct_i}{N_t - N_{t+1}} \quad \text{y} \quad F_i = \frac{M \cdot E_i}{1 - E_i}$$

y se obtiene una tasa de explotación y mortalidad por pesca promedio para la pesquería con la siguiente función:

$$E1 = \frac{\sum(Ct_i \cdot Nt_i)}{\sum Nt_i} \quad \text{y} \quad F = \frac{\sum(F_i \cdot Nt_i)}{\sum Nt_i}$$

Alternativamente se puede estimar un valor de E con la siguiente expresión

$$E2 = \frac{F}{F + M}$$

Curva de captura de longitud transformada a la edad. La curva de captura de longitud transformada a edad se obtiene de transformar la captura total por intervalo de talla a captura por intervalo de edad estandarizado y graficar este dato contra la edad promedio de cada intervalo y se selecciona la sección descendente del gráfico para calcular la mortalidad total a través de una regresión. La expresión linealizada es:

$$\ln \left(\frac{Ct_i}{\Delta t} \right) = N_0 - z \bar{t}$$

Alternativamente se uso un modelo combinado de selectividad y mortalidad como sigue:

$$\frac{Ct_i}{\Delta t} = \left[1 + e^{\left(-\frac{(t-t_{50\%})^2}{\sigma^2} \right)} \right]^{-1} \cdot N_0 \cdot e^{(-ZF)}$$

el cual se ajustó por máxima verosimilitud con un procedimiento iterativo usando el algoritmo de Newton.

En la regresión como en el modelo combinado el resultado es un estimado de Z la mortalidad total, con la cual se puede estimar F y E dado que se conoce M.

Modelo de Thompson Bell. Este modelo consiste en ponderar el vector de mortalidad por pesca por valores relativos de incrementos o decrementos del esfuerzo de pesca para estimar su efecto sobre el rendimiento y biomasa de la población. (Sparre y Venema, 1998). El procedimiento inicia estimando la abundancia de la población a partir de un N_t inicial que es el mismo del intervalo de talla más pequeño estimado en el análisis de cohortes y F_i el vector de mortalidad por pesca.

$$N_{t+1} = N_t \cdot \frac{\left(\frac{1}{H'} - X \frac{F_i}{Z_i} \right)}{H' - X E_i}$$

$$Z_i = X F_i$$

y X es el valor relativo del esfuerzo de pesca con respecto al actual. La captura se estima con:

$Ct_i = \frac{X F_i}{Z_i} (N_t - N_{t+1})$ y el rendimiento con

$$\sum Y_i = \sum Ct_i \cdot W_i$$

Donde w_i es el peso promedio por de la talla i.

Y la Biomasa se obtiene de:

$$B \cdot \Delta t = \frac{(N_t - N_{t+1})}{Z_i} W_i$$

Método de Captura-MRS. Este método requiere de una serie de tiempo de captura C_t , intervalos de biomasa inicial ($\lambda_{01}, \lambda_{02}$) y final (λ_1, λ_2) del stock, en la serie de captura, como una proporción de la capacidad de carga (K) y un conjunto de valores de r (tasa máxima de incremento poblacional) y k seleccionados a través de un proceso aleatorio de una distribución uniforme en un rango para cada parámetro. Después se realizan estimaciones de la biomasa anual usando el modelo de producción excedente de Schaefer (1981) con cada par de valores de r y k generados, pero usando una distribución de Bernoulli como función de verosimilitud para aceptar cada par de $r-k$ si no llevan al modelo a colapsar el stock o a exceder la capacidad de carga y que la biomasa resultante quede incluida en el rango de depleción (λ_1, λ_2) asumido. Un error de proceso puede ser considerado multiplicando el modelo de Schaefer por el antilogaritmo de un error con distribución normal con $(0, \sigma(v t))$. Cuando $\sigma(v t) = 0$ se asume un error de observación.

Para el caso de la pesquería de la jaiba en BSM se usó una serie de captura de la jaiba café *C. bellicosus* de 1993 a 2011 obtenidas de los registros oficiales de la CONAPESCA. Se usó un rango inicial de proporción de biomasa ($\lambda_{01}, \lambda_{02}$) de 0.8 a 1.0 porque la serie de captura inició cuando la población era virgen. La captura al final de la serie dividido entre la máxima captura fue mayor de 0.5, por lo que se usó un rango de depleción de $\lambda_1 = 0.3, \lambda_2 = 0.7$ y se asumió un error de observación. Un intervalo de r para especies de alta resiliencia de 0.6 a 1.5 fue asumido para la primera iteración porque un r de 0.85 y 0.9 fue reportado para una especie del mismo género; *C. sapidus* (Murphy et al, 2007). El valor de K para la primera iteración fue definido como (máxima captura, $100 \cdot$ máxima captura). La biomasa inicial en la serie de tiempo fue calculada como $B_0 = \lambda_0 k \cdot \exp(v t)$ y las biomases de los siguientes años como:

$$B_{t+1} = \left[B_t + r B_t \cdot \left(1 - \frac{B_t}{k} \right) - C_t \right] \cdot \exp(v t)$$

Este procedimiento fue realizado con 100,000 pares de $r-k$ generados con las siguientes probabilidades independientes:

$$P(r) \sim \exp(\text{uniform}(Ln(lr), Ln(ur)))$$

$$P(rk) \sim \exp(\text{uniform}(\ln(lk), \ln(uk)))$$

y este proceso fue repetido para cada valor de λ_0 en el intervalo de 0.8 a 1.0 en pasos de 0.05. Por lo tanto 500,000 pares de r - K fueron evaluados con la distribución de Bernoulli. En los casos cuando las combinaciones de (r, K) dieron como resultado una extinción de la población o rebasaron la capacidad de carga antes de terminar la serie de tiempo se le asignó un 0 a esa combinación de parámetros. Para combinaciones de (r, K) que resultaron en un tamaño del stock al final de la serie en un intervalo entre λ_1 y λ_2 se asignó un valor de 1. Después solo los casos en los cuales la verosimilitud fue de 1 fueron seleccionados y nuevos valores de r y K fueron definidos para una segunda iteración. Los valores más pequeños de $K1$ cerca del límite inicial de $r1$ fue seleccionado como un máximo $K2$ y el mínimo $k2$ fue definido como 0.9 del mínimo $k1$. El valor máximo de $r2$ fue 1.2 veces el máximo $r1$ y finalmente el mínimo $r1$ fue también el mínimo $r2$. El análisis fue repetido con los nuevos rangos de $r2$ y $k2$ y los resultados elegidos fueron también aquellos con una verosimilitud de 1. Este procedimiento fue realizado con un marco en una hoja de Excel. Con esos valores de $r2$ y $k2$ seleccionados se estimaron las siguientes cantidades de manejo:

$$MRS = \frac{rk}{4}$$

$$B_{MRS} = \frac{k}{2}$$

$$F_{MRS} = \frac{r}{2}$$

Se calculó la media geométrica de r , k , MRS , $BMRS$, $FMRS$ y Biomasa en cada año de la serie de tiempo. La media y desviación estándar de los logaritmos de los parámetros, cantidades de manejo y biomasa fueron estimadas, luego a la media se sumó y restó dos veces la desviación estándar y luego se des-transformó aplicando antilogaritmo. El resultado fue un intervalo de confianza al 95%. Esto implica que en una distribución lognormal las estimaciones de los parámetros, cantidades de manejo y biomasa varían en ese rango con un 95% de confianza.

RESULTADOS

La mortalidad por pesca en el 2000 vario entre 0.04 a 1.06 en machos y de 1.62 a 2.84 en hembras según el método utilizado para la estimación (Tabla 5.1), y se incremento notablemente para el 2011; ya que varió de 5.36 a 12.91 en machos y de 3.95 a 13.89 en hembras. Este incremento en *F* se reflejó también en la tasa de explotación; en el 2000 la tasa varió entre 0.02 a 0.39 en machos y de 0.42 a 0.63 en hembras, mientras que en el 2011 esta vario de 0.57 a 0.87 en machos y de 0.49 a 0.86 en hembras. Comparando estos resultados con el referente de 0.5 en la tasa de explotación de una población aprovechada al MRS, indican que en el año 2000 la pesquería estaba en un nivel de sub-explotada a explotada al MRS, mientras que en el 2011 paso a estar en situación de sobre-explotada.

Tabla 5.1. Resultados del análisis de cohortes y curva de captura de longitud transformada a edad en la pesquería de la jaiba café *C. bellicosus* en la bahía Santa María

Sexo	Parámetro	Análisis de cohortes	Curva de Captura		Análisis de cohortes	Curva de Captura	
			Regresión	Modelo combinado		Regresión	Modelo combinado
Machos	M	1.66	1.66	1.66	1.93	1.93	1.93
	F	1.06	0.41	0.04	5.36	10.20	12.91
	Z	2.72	2.07	1.70	7.29	12.14	14.84
	E1	0.34			0.57		
	E2	0.39			0.74		
	E3		0.20			0.84	
	E4			0.02		0.87	
Hembras	M	1.65	1.65	1.65	2.16	2.16	2.16
	F	1.62	2.00	2.84	3.95	11.45	13.89
	Z	3.27	3.65	4.49	6.11	13.61	16.05
	E1	0.42			0.49		
	E2	0.49			0.65		
	E3		0.55			0.84	
	E4			0.63		0.86	

El modelo predictivo de Thompson Bell arrojó resultados similares; de acuerdo con este modelo, en el año 2000, la pesquería de jaibas machos se encontraba en una fase sub-explotada y debería incrementar el esfuerzo pesquero para obtener el MRS (fig. 5.1), aunque el incremento marginal del rendimiento anual sería muy bajo. Para el año 2011 la situación se invirtió; la pesquería paso a estar en fase sobre explotada y se requiere de una reducción de casi el 50% para obtener el MRS, aunque también el incremento marginal del rendimiento

sería muy bajo. En este modelo también se puede apreciar que la biomasa en el nivel de esfuerzo de ambos años es igual; cerca de 150 T.M., pero como en este método la biomasa estimada esta multiplicada por el Δt ésta biomasa equivale en términos anuales a cerca de 2300 T.M. De igual manera se observa que los niveles y tendencias del rendimiento en el año 2000 son muy bajas en relación al año 2011; mientras que en el 2000 los máximos valores de rendimiento que podría alcanzar la pesquería son del orden de 270 T.M, en el 2011 son de 1084 T.M.

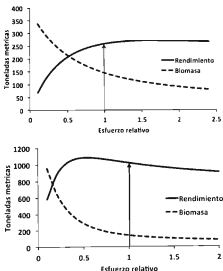


Figura 5.1. Modelo de Thompson Bell aplicado a la pesquería de la jaiba café machos, *C. bellicosus*, en la bahía Santa María de la Reforma en los años 2000 (arriba) y 2011 (abajo).

Para la hembras el modelo predictivo indica que en ambos años la explotación de las jaibas hembras está en una fase sub-explotada y se requiere aumentar el esfuerzo para lograr el MRS (fig. 5. 2). Sin embargo se observa que en el año 2000 el nivel de esfuerzo estaba mucho mas debajo de aquel con el que se obtendría el MRS que como se obtuvo para el año 2011.

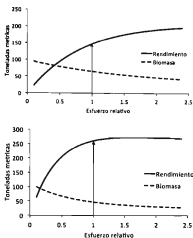


Figura 5. 2. Modelo de Thompson Bell aplicado a la pesquería de la jaiba café hembras, *C. bellicosus*, en la bahía Santa María de la Reforma en los años 2000 (arriba) y 2011 (abajo).

La tabla 5. 2 muestra los resultados obtenido de aplicar el método Captura-MRS a la pesquería de la jaiba café *C. bellicosus*. La tasa máxima de incremento poblacional resultó alta, de 1.12, típica de una especie con alta resiliencia, que duplica su abundancia en el término de un año. La capacidad de carga resultó en casi 5500 T.M y el MRS en 1500 T.M. La biomasa de la población requerida para producir el máximo rendimiento es de 2700 T.M., lo cual se logra con un $F_{MRS} = 0.56$ de mortalidad por pesca. El valor de F en este método esta expresado como proporción de la biomasa y equivale a un coeficiente anual de $F = 0.82$ (Límites de confianza al 95% de 0.41 a 2.81).

Tabla 5.2. Resultados de la aplicación del método Captura-MRS a la pesquería de la jaiba café *C. bellicosus* en la bahía Santa María de la Reforma.

Parámetro o cantidad de manejo	Promedio	Li 95%	Ls 95%
r	1.12	0.66	1.87
K	5468	3848	7769
MRS	1528	1171	1993
B_{MRS}	2734	1924	3885
F_{MRS}	0.56	0.33	0.94

En la Figura 5.3 se muestran las distribuciones de frecuencia de r, k y MRS como resultaron de la aplicación del método Captura-MRS. La máxima frecuencia de r y MRS son congruentes con el valor promedio estimado, pero la distribución de frecuencia de K muestra un incremento con respecto al valor de K, que es interrumpido por los límites de entrada elegidos en la segunda iteración.

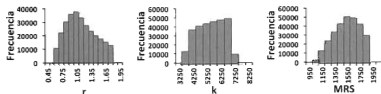


Figura 5.3. Distribuciones de frecuencia de r, K y MRS resultantes de la aplicación del método Captura-MRS a la pesquería de jaiba café *C. bellicosus* en la bahía Santa María de la Reforma.

De acuerdo con estos resultados la pesquería alcanzó niveles de captura del MRS después del 2006 e incluso en el 2008 fue rebasado con mucho este nivel (fig. 5.4).

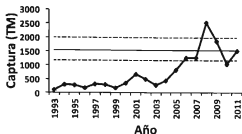


Figura 5. 4. Serie de tiempo de captura (línea con rombos) y valor promedio (línea horizontal continua) e intervalos de confianza al 95% (líneas horizontales discontinuas) del MRS en la pesquería de la jaiba café *C. bellicosus* en la bahía de la Reforma.

La biomasa estimada de la población de la jaiba café *C. bellicosus* se mantuvo por encima de la biomasa con la que se obtiene el MRS desde el inicio de la pesquería hasta el 2008 y en los años siguientes el valor promedio se mantuvo por abajo, pero muy cerca de la biomasa del MRS, e incluso los límites de confianza incluyen este B_{MRS} (fig. 5.5). Es notorio que la disminución de la biomasa inicia en el 2006 que es cuando la captura alcanzó un volumen dentro del intervalo de confianza del MRS. De acuerdo con la biomasa estimada, la pesquería en el año 2000 se encontraba en una fase de sub explotación, mientras que en el año 2011 está en la fase de su MRS.

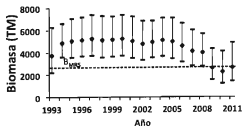


Figura 5. 5. Biomasa estimada de la población de jaiba café *C. bellicosus* en la bahía Santa María de la Reforma y la referencia de B_{MRS} .

Evaluación de *C. arcuatus*.

La mortalidad natural de *C. arcuatus* resultó más alta que la de *C. bellicosus* para el mismo periodo y fue de $M= 3.37$. La mortalidad por pesca de *C. arcuatus* vario entre $F= 1.9$ y 3.56 según el método empleado (Tabla 5. 3) y la tasa de explotación resultó entre 0.33 y 0.51 según el método empleado.

Tabla 5.3. Resultados del análisis de cohortes y curva de captura de longitud transformada a edad en la pesquería de la jaiba azul *C. arcuatus* en la bahía Santa María en el periodo 2011-2012.

Parámetro	Análisis de cohortes	Regresión	Modelo combinado
M	3.37	3.37	3.37
F	1.9	2.11	3.56
Z	5.27	5.48	6.93
E1	0.33		
E2	0.36		
E3		0.38	
E4			0.51

El modelo de Thompson Bell aplicado a la pesquería de *C. arcuatus* indica que la población está subexplotada y que se podría aumentar hasta cuatro veces el esfuerzo de pesca antes de alcanzar el máximo rendimiento sostenible.

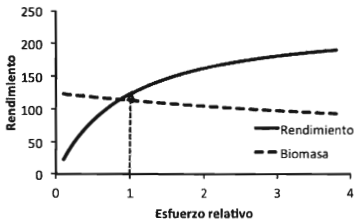


Figura 5. 6. Modelo de Thompson Bell aplicado a la pesquería de la jaiba azul machos, *C. arcuatus*, en la bahía Santa María de la Reforma en el periodo 2011-2012. La flecha vertical indica el rendimiento y biomasa actual.

DISCUSIÓN.

Consistentemente la mortalidad por pesca F estimada para *C. bellicosus* por cada método fue mayor en 2011 que en el año 2000, aunque hubo diferencias notables entre métodos. Las mortalidades por pesca estimadas para *C. arcuatus* en el 2011 fueron con mucho menores que las de *C. bellicosus* para el mismo año. Los estimados de F con la curva de captura fueron más altos que con el análisis de cohortes, en ambas especies y sexos, excepto en los machos de *C. bellicosus* del año 2000. Esto se debe a que el estimado de F en el análisis de cohortes se obtiene de un promedio ponderado de la mortalidad por pesca por intervalo de talla y la ponderación se realiza con el número total de individuos en la población en el intervalo de talla correspondiente. De manera que los primeros grupos de tallas, que tienen una F_i menor por la selectividad pero tienen una abundancia mayor que las tallas más grandes, tienen más peso importante en el estimado de F promedio ponderado. En cambio en el método de curva de captura solo se usan los valores no afectados por selectividad (parte descendente de la curva de captura) para estimar Z la mortalidad total y F se obtiene por sustitución restando M la mortalidad natural de la mortalidad total. La mortalidad por pesca de las tallas afectadas por selectividad no son consideradas en el método donde se aplica regresión lineal a la parte descendente de la curva. La misma F resultaría si las tallas menores a la que tienen un completo reclutamiento al arte de pesca (selectividad < 1) no fueran capturadas o si la mínima talla capturada estuviera completamente reclutada al arte de pesca (selectividad 1) y es obvio que estas dos situaciones tendrían una mortalidad por pesca diferente. En el modelo combinado de selectividad y curva de captura tampoco considera la F_i de tallas no completamente reclutadas al arte de pesca, solo evita la selección arbitraria de donde considerar la parte descendente de la curva. De esta manera los valores de F están sobrestimados ya que no considera las tasas de explotación de ejemplares no completamente reclutados al arte de pesca cuya F_i es menor que los ejemplares completamente reclutados.

El método de curva de captura ha sido criticado porque sobrestima el valor de Z (Hampton y Majkowski, 1987) y Pauly (1990) afirma que esto se presenta cuando los organismos presentan crecimiento estacional, sin embargo en este estudio no se detectó algún crecimiento estacional y coincide con Hernández Moreno y Arreola Lizárraga (2007) quienes a pesar de

tener una diferencia entre invierno y verano de 13 °C no detectaron crecimiento estacional en las jaibas *C. arcuatus* y *C. bellicosus* en una laguna costera de Sonora.

Los estimados de F con el análisis de cohortes se consideran más completos que los estimados con la curva de captura porque no considera constante la mortalidad por pesca por intervalo de talla como en el método de curva de captura.

Las F estimadas para hembras de *C. bellicosus* resultaron más altas que en machos, a pesar de que en las capturas predominan los machos (63.7% en el 2000 y 62% en 2011) La explicación es que los métodos utilizados para estimar Z consideran que la estructura de tallas es representativa de la población y en las jaibas hembras de *C. bellicosus* esto puede estar alejado de la realidad por dos causas; primero las hembras tienen una muda terminal al pasar a la madurez morfológica y entonces las tallas de hembras maduras de diferentes edades se acumulan en esta talla y pueden dar un valor aparente de menor mortalidad que la que realmente es, pero también las hembras de *C. bellicosus* al madurar se segregan y en el caso de BSMR emigran hacia la boca (Capítulo 3) y quedan lejos del alcance de la mayoría de los pescadores y entonces no están adecuadamente representadas en la captura comercial, lo cual daría una mortalidad más alta de lo que verdaderamente es por estar incluida la migración en la disminución de ejemplares maduros.

El método de curva de captura sobre datos de un solo año asume que el reclutamiento y mortalidad total son constante entre las diferentes edades e implica que la muestra anual de captura contiene cohortes que nacieron en años diferentes donde las condiciones ambientales como temperatura o disponibilidad de alimento pueden variar interanualmente y con esto la mortalidad total o el reclutamiento constante puede no ser cabalmente cumplido y por esto este método ha sido considerado "un procedimiento peligroso" (Quinn y Deriso, 1999) que solo se debería de usar si se conoce que no ha habido cambios sustanciales en el reclutamiento. En la población de jaiba café considerada en este estudio el intervalo de edad entre el intervalo más pequeño de talla al más grande es menor o igual a un año, por lo que la mayoría de las cohortes nacieron en el mismo año del análisis de manera que los intervalos de tiempo entre cohortes es relativamente corta y podría asumirse que en ese tiempo el reclutamiento y mortalidad permanezcan constantes.

Con el análisis anterior se considera que la mejor estimación de F sería con el análisis de cohortes y por lo mismo la tasa de explotación estimada como un promedio ponderado con

este mismo método. En los machos de *C. bellicosus* la tasa de explotación cambio de 0.34 en 2000 a 0.57 en el 2011, lo cual considerando el referente de 0.5 indica que en el 2000 la pesquería estaría en condición de sub explotada mientras que en el 2011 estaría entrando a la fase de sobreexplotada. Caddy y Mahon (1996) sostienen que tasas de explotación menores de 0.33 son más sustentables en muchas especies de invertebrados acuáticos. Sin embargo las jaibas del género *Callinectes* tienen altas tasas intrínsecas de crecimiento poblacional (Villasmil y Mendoza, 2001; Murphy et. al, 2007), lo cual les permite ser altamente resilientes a tasas intensas de explotación pesquera. En *Callinectes* se han reportado tasas de explotación óptima entre 0.65 y 0.7 (Fischer y Wolff, 2006; Rosas Correa y de Jesús-Navarrete, 2008). Bajo esta óptica entonces la pesquería de la jaiba café *C. bellicosus* estaría en una condición cerca del Máximo Rendimiento Sostenible en el 2011 y para el mismo año *C. arcuatus* en fase de subexplotación. El método de captura-MRS arroja que la biomasa de la población de la jaiba café se ha mantenido en el intervalo de confianza de la B_{MRS} en los últimos tres años, es decir en el nivel de biomasa donde se obtiene el MRS, lo cual es coincidente con las conclusiones obtenidas con los métodos anteriores donde se estimaron tasas de explotación. Martell y Froese (2012) validaron este método en otras especies de peces donde contaron con evaluaciones formales y los resultados fueron coincidentes. En este estudio los resultados de la evaluación con el método Captura-MRS son similares a los obtenidos con el análisis de cohortes. Se puede concluir entonces que la pesquería de jaiba de la BSM se encuentra en un nivel de máxima explotación. Sin embargo no es recomendable llevar una pesquería a su tasa de explotación óptima. Miller et al., (2011) afirma que la pesquería de *C. sapidus* en Chesapeake Bay estuvo técnicamente sobreexplotada entre 2001 y 2003 después de un periodo de tres años, desde 1998 a 2000 donde la tasa de explotación vario entre 0.65 a 0.75, las máximas reportadas en un periodo de 20 años, desde 1989 a 2009.

Es muy riesgoso mantener el manejo de la pesquería de la jaiba café *C. bellicosus* con una cuota anual del MRS y Martell y Froese (2012) recomiendan que una cuota precautoria debería ser aquella del límite inferior del intervalo de confianza del MRS, que en este caso de la jaiba café para la BSM de La Reforma es de 1171 T.M. En la jaiba azul *C. arcuatus* las capturas se podrían incrementar precautoriamente a un 75% del máximo rendimiento sostenible que en este caso sería de orden de 150 T.M. por año.

Una característica favorable de la población de jaiba es su alta resiliencia a la pesca reflejada

por sus valores altos de la tasa intrínseca de crecimiento poblacional y de crecimiento individual (Capítulo 2). La población podría ser reducida hasta la cuarta parte de su capacidad de carga y en un año sin pesca podría recuperarse hasta el nivel de B_{MRS} . Sin embargo se debe tener la precaución de no reducir demasiado el nivel de abundancia de la población porque la tasa de explotación puede ser depensatoria como se ha registrado en la pesquería de la jaiba azul *C. sapidus* (Miller et al, 2011), y se corre el riesgo de colapso de la pesquería. El manejo de la pesquería se debiera enfocar en reducir la tasa de explotación y fortalecer el cumplimiento de la Norma Oficial para garantizar la no sobrepesca del crecimiento. La reducción de la tasa de explotación se puede lograr estableciendo horarios de pesca, vedas temporales, suspensión del aro doble como arte de pesca o reduciendo el ingreso de pescadores a la actividad. El aro doble se ha adoptado por ser más eficiente que el aro sencillo en la captura de jaibas, pero captura muchos ejemplares de tallas no legales. Aunque el pescador realiza una selección posterior a la captura el manejo durante esta selección se golpea muchas jaibas pequeñas y esto podría estar resultando en un incremento de la tasa de mortalidad, además de que en muchas de las jaibas seleccionadas no alcanzan la talla legal de captura. En el 2011-2012 el 71% de las jaibas cafés *C. bellicosus* capturadas no cumplieron con la talla mínima legal de 115 mm de AC y el 64% de las jaibas azules *C. arcuatus* no alcanzaron la talla mínima legal de 95 mm de A.C. La suspensión del aro doble como arte de pesca tendría como consecuencia una expulsión natural de pescadores de la pesquería de jaiba, ya que el aro sencillo requiere de cierta habilidad de parte del pescador para que la pesca sea redituable económicamente. De manera que esta estrategia para reducir la tasa de explotación tendría sin duda muchos detractores. Una alternativa sería probar una abertura de escape de ejemplares de tallas no legales. La reducción de pescadores en la actividad tampoco sería una estrategia popular. Los horarios de pesca y las vedas temporales son más aceptadas por los pescadores.

REFERENCIAS

Caddy Jf y R Mahon. 1996. Puntos de referencia para la ordenación pesquera. Roma. *FAO Doc. Téc. Pes.* 347, 67p.

Hampton, J. and Majkowski, J., 1987. An examination of the reliability of the ELEFAN computer programs for length-based stock assessments. In: D. Pauly and G.R. Morgan (Editors). *Length-based Methods in Fisheries Research*. ICLARM Conference Proceedings, Vol. 13. International Center for Living Aquatic Resources Management, Manila and Kuwait Institute for Scientific Research, Safat, pp. 203-216.

Fischer, S. & Wolff, M. 2006. Fisheries assessment of *Callinectes arcuatus* (Brachyura, Portunidae) in the Gulf of Nicoya, Costa Rica. *Fish. Res.* (77): 301-311

Jones, R. and N.P. van Zalinge 1981. Estimates of mortality rate and population size for shrimp in Kuwait waters. *Kuwait Bull. Mar. Sci.* 2: 273-288.

Quinn, T.J.II y R.B. Deriso. 1999. *Quantitative Fish Dynamics*. Oxford University Press. New York. 542 pp.

Hernández, Moreno L. y J. A. Arreola-Lizárraga, 2007. Estructura de tallas y crecimiento de los cangrejos *Callinectes arcuatus* and *C. bellicosus* (Decapoda: Portunidae) en la laguna costera Las Guásimas, México. *Rev. Biol. Trop.* 55(1): 225-233.

Martell S. & R. Froese, 2012. A simple method for estimating MSY from catch and resilience. *Fish and Fisheries*. 1-11.

Miller, T.J., M.J. Wilberg, A.R. Colton, G.R. Davis, A. Sharov, R.N. Lipcius, G.M. Ralph, E.G. Johnson, and A.G. Kaufman. 2011. Stock Assessment of the Blue Crab in Chesapeake Bay. UMCES Tech. Ser. No. TS-614-11, University of Maryland Center for Environmental Science Chesapeake Biological Laboratory, Solomons, MD. 203pp.

Murphy M. D., A. L. McMillen-Jackson, and B. Mahmoudi. 2007. A stock assessment for blue crab, *Callinectes sapidus*, in Florida waters. Report to the Florida Fish and Wildlife Commission Division of Marine Fisheries Management, In House Report 2007-006. 85pp.

Pauly, D. y G.R. Morgan 1987. Length-based methods in fisheries research. *ICLARM Conf. Proc.*, 13:468.

Pauly, O., 1984. Length-converted catch curves: a powerful tool for tropical fisheries research (II). *Fishbyte* 2(1):17-19.

Pauly, D. (1990) Length converted catch curves and the seasonal growth of fishes. *ICLARM Fishbyte* 8 (3), 33-38.

Pope, J.G. 1972. Investigation of the Accuracy of Virtual Population Analysis Using Cohort Analysis. *ICNAF Res. Bull.*, 9:65-74

Rickhter VA & VN Efanov. 1976. On one of the approaches to estimation of natural mortality of fish populations. International Commission of the Northwest Atlantic Fisheries, Research Document 76/VL/8: 1-12.

Rodríguez Domínguez G. y Nicolás Castañeda Lomas, 2003. La capacidad innovadora de los pescadores ribereños de Bahía Santa María de la Reforma. En Espino Barr E., M.A. Carrasco Aguila, E.G. Cabral Solís y M. P. uente Gómez (Eds) Memorias del II Foro Científico de Pesca Ribereña del 20 al 22 de octubre de 2003. Manzanillo Colima.

Rodríguez Domínguez, G., N. Castañeda-Lomas, M. Cárdenas-Valdez, H. Ortega-Casillas Y R. M. Garduño Gil, 2004. Consolidación y difusión del proceso de comanejo de la pesquería de jaiba en Bahía Santa María. Informe final de proyecto. Conservación Internacional México A. C. FACIMAR-UAS. 39 pp.

Rosas-Correa C.O. y A. De Jesús-Navarrete 2008. Parámetros poblacionales de la jaiba azul *Callinectes sapidus* (Rathbun, 1896) en la bahía de Chetumal, Quintana Roo, México. *Rev.de Biol. Mar. y Ocean.* 43(2): 247-253.

Schnute, J., 1981. A versatile growth model with statistically stable parameters. *Canadian Journ. Fish. Aquat. Sci.*, 38: 1128-1140.

Sparre, P. y Venema, S.C. 1998. Introduction to tropical fish stock assessment. Part 1. Manual. *FAO Fish. Tech. Paper* No. 306.1, Rev. 2. Rome, FAO. 407 pp.

Villasmil L. y J. Mendoza, 2001. La pesquería del cangrejo *Callinectes sapidus* (Decapoda Brachyura) en el lago Maracaibo, Venezuela. *Interciencia*, 26(7): 301-306.

DISCUSIÓN GENERAL

En esta tesis se logró el objetivo general de evaluar la pesquería de las jaibas *C. bellicosus* y *C. arcuatus* de la BSMR. Pero la hipótesis de que la pesquería se encontraba en una fase de sobreexplotación fue rechazada. No obstante algunos indicadores biológicos de la pesquería mostraron signos de intensificación de la mortalidad por pesca, tales como la reducción de tallas y de la captura por unidad de esfuerzo de *C. bellicosus* entre los dos periodos analizados. Así mismo el incremento de la proporción de hembras de *C. bellicosus* y la incorporación de *C. arcuatus* en las capturas comerciales fueron interpretados como estrategias para mantener el ingreso ante la reducción de la abundancia relativa de los machos de *C. bellicosus*; la especie de mayor valor comercial. La mortalidad por pesca estimada por cuatro métodos diferentes confirmaron el incremento de F en *C. bellicosus* entre 2000-2003 y 2011-2012. Como consecuencia las tasas de explotación también se incrementaron, de menos de 0.5 en 2000 a 0.57 en el 2011. Con este último referente se podría concluir que la pesquería estaría en sobreexplotación en el 2011 porque se rebasó la tasa de explotación de 0.5, sin embargo algunos antecedentes sobre el género *Callinectes* indican que la tasa óptima de explotación se encuentra entre 0.65 y 0.7. En *C. arcuatus* la tasa de explotación estimada estuvo entre 0.33 y 0.51 por lo que también se concluye que no está sobreexplotada. Finalmente la evaluación con el método Captura-MRS indicó una captura de jaiba(de ambas especies) en el 2011 cercana al MRS estimado, un F_{MRS} de 0.86 y la biomasa de la población sostenida en valores cercanos a la B_{MRS} . Estos referentes indican una pesquería en su máxima tasa de explotación, sin rebasar a la fase de sobreexplotación.

Los resultados también indican una alta resiliencia a la explotación pesquera de la población de jaibas con base a tasas de crecimiento individual y poblacional extraordinariamente altas. En menos de un año ambas especies alcanzan la talla de primera madurez y la tasa intrínseca de incremento poblacional es del orden de 1.2.

CONCLUSIÓN GENERAL

Se rechaza la hipótesis de que la pesquería de la jaiba en BSMR se encuentra sobre-explotada. Sin embargo los referentes biológicos tales como la tasa de mortalidad por pesca (F) el máximo rendimiento sostenible (MRS) la biomasa de máximo rendimiento sostenible (B_{MRS}) y el nivel de explotación está en su máximo nivel, lo cual es un alto riesgo para la sostenibilidad de la actividad, por lo que se recomienda reducir la intensidad de pesca a un nivel de captura anual de 1171 TM de jaiba café *C. bellicosus* y 150 T.M. de jaiba azul *C. arcuatus*.

CURRICULUM VITAE

Guillermo Rodríguez Domínguez nació el 24 de Abril de 1959 en Santa Apolonia Tamaulipas. Egresó de la Facultad de Ciencias del Mar de la UAS en 1980 en la ciudad de Mazatlán, Sinaloa, obteniendo el título de Biólogo Pesquero con la tesis "Contribución al estudio biológico pesquero de los peces del género *Hyporhamphus* del sur de Sinaloa". Realizó estudios de Maestría en Ciencias en Ecología Marina en el Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada en el periodo 1983-1986 y se tituló en 1987 con la tesis "Caracterización bioecológica de las tres especies de sardina crinuda *Ophistonema spp* del Pacífico Mexicano".

Es profesor e investigador de T. C. adscrito a la Facultad de Ciencias del Mar de la UAS desde 1980 en donde ha impartido diversas materias a nivel licenciatura que comprenden Ecología I y II, Ecología Costera, Plancton, Biología, Dinámica de Poblaciones I y II, Ciencia Pesquera y a nivel de postgrado las materias de Evaluación de stock, Ecología Acuática y Ciencia Pesquera. Ha sido director de la Facultad de Ciencias del Mar de la UAS en dos periodos no consecutivos y en 2008 fungió como Subdirector de Manejo de Recursos Pesqueros en la región del Pacífico Norte del INAPESCA. Ha dirigido alrededor de 50 tesis de licenciatura y 6 a nivel maestría en el área de biología pesquera y acuícola .

Cuenta con seis publicaciones en revistas indexadas en los últimos cinco años y una en prensa ya aceptada que se publicará en 2014, además de dos artículos sometidos en revista mexicana arbitrada sobre el área de Biología pesquera y manejo de recursos pesqueros. En el mismo periodo ha elaborado cuatro informes técnicos sobre evaluación de recursos pesqueros.

Pertenece al Cuerpo Académico Consolidado "Manejo de Recursos Pesqueros" de la Facultad de Ciencias del Mar de la UAS desde su integración. Ha recibido el Reconocimiento de Profesor con Perfil PROMEP en los últimos 10 años y es miembro del Sistema Estatal de Investigadores de Sinaloa desde 2011. Recibió el premio al Mérito Universitario en 2003-2004 por la Universidad Autónoma de Sinaloa.