



Gobierno de Nicaragua
Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales
MARENA

Estudio de la biología y ecología del
Camarón de Río
en Río San Juan
(*Macrobrachium carcinus*)



Jordi Pascual Sala



EMBAJADA
DE ESPAÑA
EN NICARAGUA



AGENCIA ESPAÑOLA
DE COOPERACIÓN
INTERNACIONAL
OFICINA TÉCNICA
DE COOPERACIÓN

ARAUCARIA

río san juan



Gobierno de Nicaragua
Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales
MARENA

**ESTUDIO DE LA BIOLOGÍA Y
ECOLOGÍA DEL
CAMARÓN DE RÍO EN RÍO SAN JUAN
(*Macrobrachium carcinus*)**

**Compendio de investigaciones de la ictiofauna de
importancia comercial en Río San Juan y el Lago de Nicaragua**

VOLUMEN I

Jordi Pascual Sala

Managua, Nicaragua; Noviembre del 2005

N

593.384 3

P281

Pascual Sala, Jordi

Estudio de la biología y ecología del camarón de río
(*Macrobrachium carcinus*) / Jordi Pascual Sala. --1a ed.--
Managua: Proyecto Araucaria Río San Juan - MARENA,
2005.

112 p. : il., mapas, tablas, graf.

En la cubierta: Compendio de investigación de la
ictiofauna de importancia comercial en Río San Juan y
el Lago de Nicaragua

ISBN : 99924-0-399-3

1. CAMARONES 2. RIO SAN JUAN (NICARAGUA)-
COMERCIO

El presente estudio está enmarcado dentro del proyecto “Adaptación y validación de técnicas para el engorde de juveniles y mejoras en las técnicas de pesca y preservación del camarón de río autóctono (**Macrobrachium carcinus**) en los municipios de San Carlos y El Castillo, Río San Juan”, ejecutado por la ONG italiana Asociación de Cooperación Rural en África y América Latina (ACRA) y financiado por el Fondo de Apoyo a la investigación Tecnológica Agropecuaria y Forestal de Nicaragua (FAITAN) de la Fundación para el Desarrollo Tecnológico, Agropecuario y Forestal de Nicaragua (FUNICA).

Primera edición, 2005, financiada con fondos de la Agencia Española de Cooperación Internacional - AECI, en el marco del Proyecto Integral MARENA/ARAUCARIA Río San Juan, ejecutado por el Gobierno de la República de Nicaragua, a través del Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales - MARENA. Teléfono/Fax: 26391271/ 2331595

Fotografía de portada:

Proyecto ARAUCARIA - MARENA

Diseño y Diagramación:

Franklin Ruíz M.

Esta primera edición cuenta de 500 ejemplares, se terminó de imprimir el 30 de Noviembre de 2005.

© MARENA – ARAUCARIA – AECI, 2005

© Pascual Sala, Jordi.

Presentación

El presente libro titulado “*Estudio de la biología y ecología del Camarón de Río (Macrobrachium carcinus) en el Departamento de Río San Juan*”, está enmarcado dentro del proyecto ‘Adaptación y validación de técnicas para el engorde de juveniles y mejoras en las técnicas de pesca y preservación del camarón de río autóctono (*Macrobrachium carcinus*) en los municipios de San Carlos y El Castillo, Río San Juan’, ejecutado por la ONG Italiana Asociación de Cooperación Rural en África y América Latina (ACRA) y financiado por el Fondo de Apoyo a la Investigación Tecnológica Agropecuaria y Forestal de Nicaragua (FAITAN) de la Fundación para el Desarrollo Tecnológico, Agropecuario y Forestal de Nicaragua (FUNICA), y es el resultado de un esfuerzo conjunto que viene a llenar un importante vacío de información sobre el recurso Camarón de Río en Nicaragua.

Durante los últimos años las poblaciones de la especie *Macrobrachium carcinus* se han visto sometidas a un proceso de aprovechamiento falto de regulación que ha propiciado, entre otros, su comercio ilegal. Es por eso que el MARENA ha retomado éste valioso estudio como insumo científico para promover la realización de una normativa que establezca, los criterios, requisitos y procedimiento administrativo para regular el aprovechamiento sostenible de éste importante recurso. Esta normativa deberá estar aprobada a inicios del año 2006.

Así mismo, el estudio es considerado como el más completo sobre esta especie que se haya realizado a la fecha en Río San Juan, permitiendo establecer las bases biológicas para un aprovechamiento racional y con ello las pautas y criterios técnicos para la regulación a través de la correspondiente normativa.

Finalmente es menester agradecer el apoyo del Gobierno de España quien, a través del Proyecto MARENA / ARAUCARIA – Río San Juan, ha financiado una parte del estudio biológico, la presente publicación y la realización de la normativa para el aprovechamiento sostenible del camarón de río.



C. ARTURO HARDING LACAYO
Ministro

Contenido

Resumen	8
Introducción	10
Antecedentes	12
Área de estudio	16
Materiales y Métodos:	22
a) Definición de los sitios de muestreo	22
b) Metodología de los muestreos	24
c) Datos tomados en los muestreos	26
d) Marcaje	28
e) Análisis de los datos	29
Resultados	32
Discusión	86
Distribución y abundancia comparada de las especies de crustáceos capturadas en los muestreos.	86
Relacion entre la abundancia relativa de <i>M. carcinus</i> y parámetros ambientales.	88
Efecto de las alteraciones del río en marzo-mayo en Río San Juan sobre la población de <i>M. carcinus</i>	89
Análisis morfométricos de <i>M. carcinus</i>	90
Estimación del crecimiento del camarón de río <i>M. carcinus</i>	91
Análisis de las recapturas de <i>M. carcinus</i>	92

Abundancias relativas de <i>M. carcinus</i> en los muestreos	95
Proporción de machos y hembras de <i>M. carcinus</i> en los muestreos	97
Proporción de hembras con y sin huevos de <i>M. carcinus</i> en los muestreos	98
Tamaño de los machos de <i>M. carcinus</i> en los muestreos	100
Distribución de de Longitud total en <i>M. carcinus</i>	100
Evolución fenológica de las clases de edad en las Cruses	101
Conclusiones	102
Recomendaciones	108
Referencias	112

Las ideas, afirmaciones y demás expresiones contenidas en la presente obra, no representan la posición oficial del Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales (MARENA), si no que son única y exclusivamente opinión del autor, por lo que cualquier situación derivada de las mismas y que genere cualquier tipo de responsabilidad, corresponde al autor asumirla.

Estudio de la biología y ecología del Camarón de Río en Río San Juan (*Macrobrachium carinus*)

Resumen

En el curso del Río San Juan, incluyendo sus afluentes directos, se encuentran las siguientes especies de *Macrobrachium*: *M. carcinus*, *M. olfersi*, *M. acanthurus*, y *M. heterochirus*. *M. carcinus* se encuentra por todo el curso del Río San Juan y sus afluentes, mientras *M. olfersi* y *M. acanthurus* se concentran en el curso bajo del San Juan y *M. heterochirus* (suponemos) en el curso medio y alto de los afluentes. *M. olfersi* y *M. acanthurus* presentan hembras y juveniles únicamente en el curso bajo, mientras que algunos machos adultos fueron capturados en el curso medio (Ma y Mo) y alto (Mo) del río. Esto demuestra el requerimiento de aguas salobres para la reproducción de estas dos especies.

La abundancia de *M. carcinus* en las capturas con nasas aumenta cuanto más turbia es el agua, mayor es la nubosidad, menores son la corriente y la profundidad del río y la luna está en fase llena o nueva. Estas condiciones coinciden con el estado de los ríos justo después de las llenas, cuando los camarones salen de sus cuevas a alimentarse.

La longitud total promedio de *M. carcinus* en el estudio fue de 19.65 ± 2.87 cm, siendo de 20.59 ± 2.89 cm en los machos y de 17.79 ± 1.68 cm en las hembras. Todas las hembras capturadas eran adultas, y no se capturó ningún animal menor de 10 cm. *M. carcinus* tiene un fuerte crecimiento en los primeros 6 meses de edad, alcanzando su madurez sexual en aproximadamente 4-5 meses (des de que la post-larva pasa a juvenil). En el estudio se obtuvieron un 7.4% de recapturas (en total 89), 5 de ellas más allá de los 100 días del marcaje, lo cual demuestra la efectividad del sistema de marcaje utilizado (aguanta 3-4 mudas) consistente en el corte de los márgenes inferiores de las pleuras. Ningún animal fue recapturado en un sitio de muestreo diferente al de su marcaje, y se recapturó preferentemente a los machos, seguramente por efecto de la territorialidad. El camarón una vez es soltado en un lugar diferente al de su captura tiene tendencia a

caminar en dirección al lugar dónde se encontraba previamente, aunque muestra una tendencia natural a caminar a contracorriente.

Las mayores abundancias de *M. carcinus* se dan en la zona central del curso del San Juan, al inicio y sobretodo al final de la estación de lluvias, y se mantienen en valores mayores durante esta estación lluviosa que durante la estación seca. La proporción de sexos encontrada fue de 1.89 machos por cada hembra. Todo el año hay hembras grávidas, con máximos de reproducción al inicio y al final de la estación lluviosa y mínimos al final de la estación seca. Las hembras de *M. carcinus* se mueven a los afluentes del curso alto al inicio de la estación lluviosa, pasan ahí toda la época de lluvias y al inicio de la estación seca bajan el río hacia el curso medio-bajo para pasar ahí toda la época seca. Así, la mayor parte de las larvas eclosionan en los afluentes del curso alto del Río San Juan en la estación lluviosa y en el curso bajo del río en la estación seca. Los machos de *M. carcinus* presentan mayor tamaño cuanto más lejos del mar. Al inicio de la estación lluviosa se concentra el reclutamiento de machos pequeños en todo el curso del Río San Juan y sus afluentes.

Introducción

Problema a resolver y Objetivo del estudio

La cuenca del Río San Juan constituye una región de una extraordinaria riqueza de fauna propia de aguas dulces y salobres. La mayor parte de la gente del Departamento de Río San Juan vive a orillas del citado río y de sus afluentes, siendo la cuenca hidrográfica el eje principal de sus actividades.

La explotación de los recursos faunísticos que proporcionan los ríos, y en especial del camarón de río *Macrobrachium carcinus*, supone una de las principales fuentes de subsistencia para la gente de la región. Sin embargo, la carencia de los medios, servicios y conocimientos básicos para poder hacer un uso adecuado de estos recursos supone que su explotación sea insostenible y poco rentable económicamente.

El presente estudio pretende determinar los parámetros básicos de la biología y ecología del camarón de río *Macrobrachium carcinus* que permitan proponer un ordenamiento y regulación del sector pesquero del departamento en relación a esta especie.

Estudio de la biología y ecología del Camarón de Río en Río San Juan (*Macrobrachium carinus*)

Antecedentes

Los camarones de río que podemos encontrar en Nicaragua se engloban dentro del género *Macrobrachium* (Crustacea, Decapoda, Palaemonidae) del cual se han descrito más de 100 especies distribuidas por regiones tropicales y subtropicales. De ellas, 26 se encuentran en América (Holthuis 1980, New & Singholka, 1984) y 7 se han citado para Costa Rica: *Macrobrachium acanthurus*, *M. olfersii*, *M. carcinus* y *M. heterochirus* en la región Atlántica y *M. hancocki*, *M. tenellum* y *M. americanum* en la Pacífica (Holthuis 1980). La especie *Macrobrachium carcinus* (Linnaeus, 1758) se encuentra distribuida desde Florida hasta Brasil, pasando por América Central y las Antillas Mayores y Menores (Chace & Hobbs, 1969; citado en Debrot 2003).

El camarón de río *Macrobrachium carcinus*, a pesar de ser un animal tan ampliamente distribuido y de tanta importancia económica y alimentaria para la región, ha sido una especie muy poco estudiada. Lewis *et al.* (1966) estudiaron el ciclo reproductivo, crecimiento y alimentación de esta especie, Graziani *et al.* (1993) estudiaron el comportamiento reproductivo y fertilidad, Choudhury (1971) estudió la respuesta de las larvas a variaciones de salinidad, Graziani *et al.* (1995) estudiaron la salinidad óptima de las distintas fases del ciclo vital, Montesinos *et al.* (1977) estudiaron la biología general de la especie para su cultivo en cautiverio, Herman *et al.* (1999) estudiaron las posibilidades y potencialidades de la cría de larvas en cautividad, Gillet (1984) estudió la dinámica de sus poblaciones en el ambiente natural del río, Covich *et al.* (1) estudiaron los factores ecológicos que determinan su distribución y Mejía-Ortiz *et al.* (2001) estudiaron la distribución y fecundidad de esta especie en su hábitat natural.

Según Graziani *et al.* (1993, 1995; extraído de Chung) *Macrobrachium carcinus* requiere de alta salinidad en su desarrollo larval,

mientras que juveniles y adultos prefieren agua de poca salinidad o agua dulce. Este comportamiento fisiológico indica que las larvas del camarón de río prefieren las aguas someras de las bocas de los ríos, donde la salinidad fluctúa, mientras que los juveniles y pre-adultos remontan los ríos desde su desembocadura, confirmando que esta especie requiere ajustarse a diferentes salinidades a lo largo del desarrollo ontogenético.

En un estudio realizado en Venezuela, Montesinos *et al.* (1977; citado en Alvarez-Ruiz *et al.*) encontraron que durante el día los adultos se esconden debajo de las piedras, troncos, hojas o en cuevas, mientras que los juveniles se encuentran debajo de la vegetación. Durante la época seca se capturan individuos de gran tamaño, los cuales desaparecen en la estación lluviosa. Según los autores esto se debe a que durante la estación lluviosa, con la creciente de los ríos, las aguas se tornan turbias y es cuando los camarones migran en forma masiva aguas abajo hasta llegar a los estuarios. Las capturas obtenidas tanto de *M. carcinus* por Montesinos *et al.*(1977) en Venezuela como de *M. americanum* por Alvarez-Ruiz *et al.* en Costa Rica presentaban predominancia de hembras, lo cual atribuyen al arte de pesca empleado (una red de nylon con abertura de 2 mm de entretendido, muy efectiva para individuos pequeños). A lo largo del estudio, Alvarez-Ruiz *et al.* encontraron para *M. americanum* un predominio de las hembras en la estación de lluvias y de los machos en la estación seca. En el mismo estudio, en casi todos los muestreos encontraron individuos de tallas pequeñas (< 40 mm de LT), lo que según ellos indica que esta especie se reproduce durante casi todo el año, principalmente en la época lluviosa, lo que coincidiría con lo que encontraron Montesinos *et al.* (1977) y con lo que señala Gillet (1984) para *M. faustinum*, *M. heterochirus* y *M. carcinus*.

Covich *et al.* (1) estudiaron la distribución y comportamiento de *M. carcinus* en Puerto Rico. Según el estudio las post-larvas de *M. carcinus* migran de los estuarios a pozas situadas corriente arriba en los ríos. Los juveniles y adultos omnívoros pasan de una alimentación basada en algas e insectos acuáticos a una basada en presas mayores a medida que aumentan de tamaño y migran corriente arriba de los ríos. Después de varios años de crecimiento, los autores señalan que un macho adulto de esta especie puede alcanzar 1 kg. de peso. La abundancia de los adultos aumentó en el estudio al incrementarse la elevación del río, sobretodo por encima de los raudales, donde la depredación por parte de peces es mínima puesto que estos no pueden acceder. Ambos sexos migran estacionalmente a contracorriente y las hembras están grávidas durante los períodos de poca corriente (Diciembre a Abril). Los adultos se encuentran en pozas profundas donde buscan cobertura durante el día. Las principales amenazas que señalan los

autores para *M. carcinus* son el erosión por actividades agrícolas y construcción de infraestructuras (que aumentan el transporte de sedimentos de los ríos, el cual puede rellenar grietas del substrato y reducir la calidad del hábitat para esta especie), la contaminación de los hábitats estuarinos costeros, la desviación de aguas y la reducción de los flujos de los ríos, conjuntamente con la pesca indiscriminada. En otro estudio, Covich *et al.* (2) encontraron que en condiciones de sequía *M. carcinus* migra a contracorriente hacia las cabeceras de los ríos, probablemente debido a la disminución del hábitat disponible en las partes bajas del río.

Chávez-Alarcón & Chávez (1976; citado en Román-Contreras & Campos-Lince) estudiaron una población de *M. carcinus* en Veracruz (México) y calcularon para ella una Loo de 260 mm y tallas aproximadas a 250 mm de longitud total en un lapso de año y medio. Por su parte, Lewis *et al.* (1966; citado en Román-Contreras & Campos-Lince) calcularon un incremento en longitud de 20 a 110 mm en 13 ó 14 meses para la misma especie. Con base en los resultados del primer estudio se deduce que para alcanzar los valores máximos de longitud total y peso los individuos deberían tener una longevidad cercana a tres años. También en ese mismo estudio se encontró que hembras de *M. carcinus* de 125 mm de LT llegan a tener hasta 35,580 huevecillos, y que hay una alta correlación entre la longitud de las hembras y la cantidad de huevecillos que producen.

En un estudio realizado en el río Huitzilapan (Veracruz, Mexico) por Mejía-Ortíz *et al.* se encontró que adultos de *Macrobrachium acanthurus* y *M. carcinus* ocuparon las partes bajas del río en la zona estuarina, mientras que organismos reproductivos de *M. heterochirus* se distribuyeron de los 105 a los 535 m de altitud. *Macrobrachium acanthurus* exhibió diferencias significativas debidas a la época del año en fecundidad, talla promedio de hembras ovígeras y tamaño de huevo. Para *M. heterochirus* el tamaño del huevo varió dependiendo de la época del año y de la posición dentro del río. Finalmente, para *M. carcinus*, el tamaño del huevo varió solamente debido a la época del año.

Estudio de la biología y ecología del Camarón de Río en Río San Juan (*Macrobrachium carinus*)

Área de estudio

El área de estudio se encuentra localizada el departamento de Río San Juan, Nicaragua, entre los meridianos $83^{\circ}70'$ y $84^{\circ}46'$ de longitud Oeste y los paralelos $10^{\circ}80'$ y $11^{\circ}11'$ de latitud Norte. Los puntos de muestreo se situaron en la cuenca de dos ríos: el Río San Juan (concretamente en el mismo río principal y en algunos de sus principales afluentes: ríos Frío, Sábalos, Pocosol y Sanjuanillo) y el río Indio (concretamente en el mismo río y en su principal afluente Caño Negro). El área muestreada abarcó desde la parte alta de la cuenca de estos ríos hasta muy cerca de su desembocadura en el mar (ver Fig.2).

El clima del área corresponde al tropical húmedo, muy húmedo o pluvial de tierras bajas variando en cuanto a precipitaciones de oeste a este de los 1832mm de San Carlos (con una estación lluviosa de 8 meses de Mayo a Diciembre y una estación seca de 4 meses de Enero a Abril) a los aproximadamente 6000mm de San Juan del Norte (sin estación seca definida). En la parte media del río, en la zona de El Castillo, la precipitación media anual es de 2831mm anuales con 3 meses de sequía ($<100\text{mm/mes}$, de Febrero a Abril). La temperatura media anual en San Carlos es de 26.3°C y en El Castillo es de 25.6°C , mientras que la temperatura media mensual mínima es de 24.9°C y 24.4°C en San Carlos y El Castillo, respectivamente, ambas en el mes de enero. Durante todo el año hay un predominio de los vientos del este (valores proporcionados por INETER basados en los datos recogidos de 1962 a 2002 para San Carlos y de 1968 a 1988 para El Castillo). La altura sobre el nivel del mar del Río San Juan varía de los 40 msnm en su nacimiento en San Carlos a los 0 msnm en su desembocadura. La mayor parte de las tierras de todo el departamento que lleva su mismo nombre se encuentran por debajo de los 100-200msnm.



Figura 1. Mapa del área de estudio, con la ubicación de los ríos y cabeceras municipales.

La cuenca del Río San Juan es la más extensa de Centroamérica con una superficie de 41,600 kilómetros cuadrados, y se encuentra dividida en tres sub-sistemas:

- Cuenca del Lago de Managua o Xolotlán 6,669 Km²
- Cuenca del Lago de Nicaragua o Cocibolca 23,844 Km²
- Cuenca del Río San Juan propiamente 11,125 Km²

El caudal de este río varía a lo largo del año debido a la estacionalidad de las lluvias en la mayor parte de su cuenca. Así, en los registros tomados por INETER en El Castillo desde 1969 hasta 1979 se encontró que el menor caudal diario promedio se daba en el mes de Abril con 270 m³/s y el mayor en el mes de Noviembre con 589 m³/s, presentándose valores superiores a los 400 m³/s de Julio a Febrero y superiores a los 500 m³/s de Septiembre a Diciembre. En esos 10 años el mayor caudal instantáneo registrado fue de 2054 m³/s en el mes de Septiembre del año 1971, mientras que el promedio mensual de caudal diario más bajo se registró en Mayo del 1978 con 115 m³/s.

El Río San Juan presenta diferentes tramos claramente diferenciados: en sus primeros kilómetros, desde San Carlos hasta Boca de Sábalos, se trata de una prolongación del lago de Nicaragua, puesto que el río transcurre con poca corriente por un terreno totalmente plano con numerosos llanos de inundación estacional en sus márgenes y con un lecho básicamente lodoso. En este tramo el río es ancho y bastante poco profundo (especialmente en la estación seca) y el agua proviene en su mayoría de los aportes del lago (excepto en momentos de gran caudal del río Frío), lo cual

condiciona mucho sus características. A partir de Boca de Sábalo y hasta Aguas Muertas el río transcurre por un terreno de relieve accidentado y presenta una sucesión de raudales o rápidos pedregosos separados por tramos llanos y de substrato lodoso. Aquí, excepto algunas pozas como la que hay cerca de la desembocadura del río Pocosol, el río es en general muy poco profundo, llegando en la estación seca a poderse cruzar a pie de una orilla a la otra por los raudales excepto el estrecho canal por el que transitan los botes (que a menudo ha sido profundizado artificialmente). Los principales raudales son El Toro, en Boca de Sábalo, El Diablo, en El Castillo, y Machuca. Del final de este último raudal hasta la conexión con el río San Carlos el Río San Juan, a pesar de circular todavía entre lomas, se vuelve estrecho, profundo y con muy poca corriente, llamándose por ello Aguas Muertas a este tramo. En Boca San Carlos el río aumenta considerablemente su caudal, la carga de sedimentos (arenas provenientes de la erosión de la cuenca del río San Carlos por las actividades agrícolas y ganaderas) y la velocidad de la corriente, pero esto se hace especialmente notable cuando el río Sarapiquí conecta con el Río San Juan. Los aportes de agua de estos dos ríos multiplican varias veces el caudal del río y lo llenan de arena que se deposita en su lecho formando copiosos bancos que dificultan mucho la navegación en la estación seca. De aquí en adelante el Río San Juan transcurre por un terreno muy plano y forma un enorme delta antes de su desembocadura dividiéndose en dos brazos, uno costarricense (el río Colorado) y otro nicaragüense (que mantiene el nombre de Río San Juan a pesar de llevar menos del 10% del caudal total antes de la bifurcación). Este último brazo discurre con bastante corriente y cargado de sedimentos por un lecho arenoso hasta llegar a una serie de lagunas de agua salobre que se conectan directamente con el mar. En este segmento de río en la estación seca (Marzo-Abril) se puede producir la entrada del agua de mar, con lo cual su salinidad puede aumentar de forma importante en esos meses.

En cuanto a los ríos afluentes del San Juan que fueron objeto de estudio, podemos señalar lo siguiente:

-Río Frío: este río presenta casi toda su cuenca en Costa Rica; nace en la zona del volcán Arenal y discurre por toda la planicie aluvial de San Carlos hasta llegar a la frontera con Nicaragua en Los Chiles. En el tramo nicaragüense el río Frío es bastante profundo y estrecho y discurre por un terreno muy plano rodeado de llanos sujetos a inundación estacional hasta llegar a su desembocadura, justo enfrente de San Carlos, donde el lago Cocibolca se transforma en el Río San Juan. El río Frío sufre variaciones estacionales muy importantes, presentando una fuerte corriente y carga de sedimentos en la estación lluviosa (Junio-Enero) y volviéndose muy manso

y de aguas transparentes en la estación seca (Febrero-Mayo), con poca corriente, sin nada de corriente o incluso con corriente inversa provocada por la entrada de aguas del lago hacia el interior del río.

-Río Sábalos: este río presenta una cuenca considerablemente menor que el Río Frío, por lo que su caudal es mucho menor y más sujeto todavía a variaciones estacionales. Hasta los últimos kilómetros antes de su desembocadura al Río San Juan (poco antes de la comunidad de Mauricio) se trata de un río que alterna pozas profundas en los cortos tramos llanos con largos rápidos pedregosos muy poco profundos en las zonas con pendientes. En la estación seca y en las semanas de poca precipitación en la estación lluviosa las aguas de este tramo son muy transparentes y las pozas presentan muy poca corriente. Sin embargo, cuando se producen lluvias copiosas el río cambia repentinamente, aumentando mucho su carga de sedimentos y su corriente. Por otro lado, poco antes de la comunidad de Mauricio el río llega casi al nivel del Río San Juan, y de aquí a su desembocadura discurre varios kilómetros como un río bastante profundo (en la estación lluviosa) y de aguas mansas. Aquí también se nota mucho el efecto de la precipitación: cuando no llueve la corriente es muy leve o inexistente y las aguas son transparentes, mientras que cuando llueve fuerte se producen crecidas repentinas del río que se convierte en muy correntoso y con una muy importante carga de sedimentos. En estas crecidas el río arrastra de la parte alta de su curso árboles, ramas y todo lo que encuentra a su paso, los cuales son depositados en las pozas entre rápidos o en la parte baja de su curso.

-Río Pocosol: se trata de un río con características intermedias entre el río Frío y el río Sábalos. Su cuenca nace también en las montañas del norte de Costa Rica, en la zona de Ciudad Quesada, y transcurre por la llanura de San Carlos hasta desembocar en el Río San Juan. Sin embargo, su recorrido es más accidentado y no forma llanos tan extensos como el río Frío. Su caudal es mucho mayor que el del río Sábalos pero menor que el del río Frío. Una vez el río Pocosol penetra en Nicaragua lo hace ya en un terreno muy llano donde el río serpentea con poca corriente excepto cuando se producen las crecidas de la época de lluvias. Este río en la estación seca no tiene nada de corriente y es de aguas transparentes. En la estación de lluvias cuando llueve poco tiene muy poca corriente y sus aguas se enturbian un poco pero siguen siendo muy transparentes, cuando llueve pero no mucho la corriente aumenta y las aguas se enturbian más, mientras que cuando las lluvias son fuertes en su cabecera el río se vuelve muy correntoso y cargado de sedimentos.

-Río Sanjuanillo: este río tiene varios tramos claramente diferenciados. En su curso alto se trata de un río de poco caudal que transcurre por una zona de terreno accidentado cubierto por una espesa selva, en el interior de la Reserva Índio-Maíz. Después llega a una zona más llana y sujeta a inundación donde el río transcurre con mayor profundidad y más encalmado hasta llegar a un sistema de extensas lagunas de agua dulce que se encuentran ya cerca de su desembocadura en el Río San Juan, donde se convierte nuevamente en un río estrecho y algo profundo de corriente variable. Su caudal es inferior al de río Frío y río Pocosol, algo parecido al de río Sábalos.

La otra cuenca en la que llevamos a cabo muestreos fue la del río Indio. Este río presenta una cuenca bastante extensa que ocupa toda la parte central de la Reserva Indio-Maíz, enteramente cubierta por una espesa pluvisilva. En la mayor parte de su recorrido este río transcurre por un terreno muy accidentado, que se vuelve llano pocos kilómetros antes de su desembocadura en la laguna de San Juan, justo enfrente del mar. En la parte alta y media de su curso se trata de un río no muy profundo y de caudal bajo o medio de aguas muy transparentes excepto en las grandes crecidas provocadas por las intensas precipitaciones de la estación lluviosa. Sin embargo, incluso en plena época lluviosa si no hay precipitaciones extraordinarias este río sigue presentando aguas muy transparentes, puesto que su cuenca selvática impide la erosión de los suelos y filtra las aguas de escorrentía. El curso bajo del río Indio transcurre por un terreno ondulado hasta llegar a la conexión con el Río Caño Negro. De ahí hasta llegar en línea recta hasta casi el mar se entra en un terreno muy llano que recibe las aguas de múltiples caños de aguas negras procedentes de llanos cubiertos por yolillales. En este tramo el río es bastante profundo y de corriente muy débil, con aguas bastante transparentes de un color oscuro, puesto que a las aguas claras o coloradas del río Indio se les juntan las aguas negras del Caño Negro y de los pequeños caños de los llanos. Una vez enfrente del mar, el río Indio gira hacia el sudeste formando una estrecha y larga barra arenosa cubierta de bosque y de cocotales que lo separa del mar. En este tramo el río es bastante ancho y profundo y en sus dos márgenes presenta un gran crecimiento de gramíneas flotantes, también llamados zacatales, muy importantes para los crustáceos acuáticos. Finalmente, y poco después de pasado San Juan nuevo, el río desemboca sus aguas en la laguna de San Juan, donde se junta con las aguas del Río San Juan, justo enfrente de la salida hacia el mar.

El único afluente del río Indio en el que muestreamos fue el Caño Negro. Este río, que también nace en el corazón de la Reserva Indio-Maíz, presenta aguas de color negruzco debido al alto contenido de ácido húmico,

Estudio de la biología y ecología del Camarón de Río en Río San Juan (*Macrobrachium carinus*)

proveniente de la lixiviación de los tanninos de las hojas y de la degradación de la materia orgánica acumulada en su lecho. En su curso bajo el río Caño Negro transcurre por bajíos cubiertos por una pluvisilva de zonas poco drenadas. Se trata de un río mediano de aguas algo profundas y con poca corriente.

Materiales y Métodos

a) Definición de los sitios de muestreo:

Se escogieron dos sitios fijos de muestreo en el Río Frío, tres sitios fijos de muestreo en el Río San Juan y un sitio de muestreo variable, que normalmente se estableció en un punto fijo del río Pocosol pero a veces en el río Sábalos o en el Río San Juan (ver Tabla 1 y Fig. 2). Los cinco sitios fijos de muestreo se establecieron con el objetivo de poder determinar el patrón estacional de capturas, proporción de sexos, tamaños, etc. en un mismo lugar, además de permitirnos obtener un número importante de recapturas en caso que el camarón no se desplazase mucho. El sitio variable de muestreos nos permitió buscar el camarón en otros puntos del Río San Juan y sus afluentes, para determinar la distribución de esta especie en la zona. Además, cada tres meses se llevaron a cabo muestreos en el curso bajo del Río San Juan y en la cuenca del río Indio para conocer el comportamiento de *M. carcinus* en las aguas salobres o próximas al mar. Dos puntos fijos de muestreo del Río San Juan y dos del río Frío se establecieron a menos de 5 Km. de distancia con el objetivo de poder detectar desplazamientos de corto alcance de los camarones en caso de que estos se dieran.

Los dos sitios fijos de muestreo de camarón de río Frío, uno de los de Río San Juan (Bartola) y el sitio variable de muestreo de río Pocosol y río Sábalos se ubicaron en las áreas de mayor producción y pesca de camarón en la región, mientras que los otros dos sitios fijos de muestreo de Río San Juan (Aguas Frescas y Las Cruces) se ubicaron dentro de la Reserva de Vida Silvestre de Río San Juan, en una zona donde la pesca de camarón de río está prohibida, con el objetivo de poder comparar los datos poblacionales entre las zonas sometidas a presión pesquera con los datos poblacionales de estas zonas testigo.

Estudio de la biología y ecología del Camarón de Río en Río San Juan (*Macrobrachium carcinus*)

Sitio de Muestreo (Cuenca del Río San Juan)	Abreviación	Río	Curso
Río Frío cerca de la frontera con Costa Rica	RF-M	Río Frío	Alto
Río Frío cerca de San Carlos	RF-C o RF-SC	Río Frío	Alto
Buena Vista	BV	Río Sábalos	Alto
Poza El Gallo	PEG-RS	Río Sábalos	Alto
Mauricio	MAU-RS	Río Sábalos	Alto
Isla Chica	ICH-RSJ	Río San Juan	Alto
La Noca	LN	Río San Juan	Alto
Pocosol	PCS-RA o PCS-AB	Río Pocosol	Alto
Río San Juan cerca de la boca de Pocosol	PCS-RSJ	Río San Juan	Alto-Medio
Bartola	BT-RSJ o BT	Río San Juan	Alto-Medio
Aguas Frescas	AF	Río San Juan	Alto-Medio
Las Cruces	LC o AM-LC	Río San Juan	Medio
Machado	MCH-RSJ	Río San Juan	Medio
Isla La Danta	ILD-RSJ	Río San Juan	Medio
Delta	DT-RSJ	Río San Juan	Bajo
Laguna Silicon	LS-RSJil	Río San Juanillo	Bajo
Río San Juan cerca de la boca del Río San Juanillo	RSJillo	Río San Juan	Bajo
Laguna de San Juan viejo	LSJ-RSJ	Río San Juan	Bajo
Sitio de Muestreo (Cuenca del Río Índio)	Abreviación	Río	Curso
Cantagallo	CTG-RI	Río Índio	Alto
Los Castillos	LC-RI	Río Índio	Medio
Boca Caño Castilla	BCC-CN	Río Caño Negro	Medio
Dos bocas	DB-RI	Río Índio	Medio-Bajo
Cangrejera	CGJ-RI	Río Índio	Bajo

Tabla 1. Localización y abreviación de los sitios en los cuales se llevaron a cabo muestreos de camarón de río. Los sitios se encuentran ordenados de mayor a menor distancia al mar

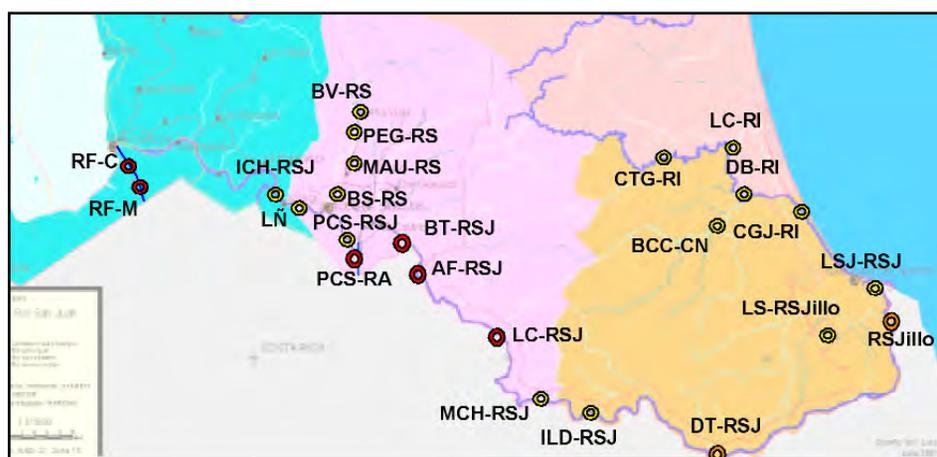


Figura 2. Localización de los sitios en los cuales se llevaron a cabo muestreos de camarón de río. En los marcadores rojos se señalan los sitios habituales de muestreo, en naranja los sitios no habituales que fueron muestreados al menos 4 veces y en amarillo los sitios no habituales que fueron muestreados menos de 4 veces.

b) Metodología de los muestreos:

En los seis sitios de muestreo escogidos se llevaron a cabo dos muestreos cada mes durante los 17 meses de estudio (ver Tabla 2). Uno de cada 3 meses se llevó a cabo únicamente una semana de muestreos pero que se extendieron hasta el municipio de San Juan del Norte, con lo cual el número de sitios de muestreo aumentaba a 11. En el mes de diciembre del 2003 se realizó un muestreo exploratorio en río Frío y en el mes de Enero del 2003 se realizó un muestreo experimental previo al inicio de los muestreos quincenales propiamente dichos, que se iniciaron en la primera semana el mes de Febrero del 2003. Estos muestreos se continuaron sin interrupción hasta la última semana del mes de Junio del 2004. Se perdieron las hojas de datos correspondientes a la 3ª semana de Marzo, 1ª y 3ª semanas de Abril, 1ª semana de Mayo y parte de las correspondientes a la 1ª semana de Marzo (todas del año 2003). Afortunadamente, como llevábamos un registro paralelo para los informes trimestrales, contamos con los datos de los parámetros ambientales y del número de camarones por

Semana de muestreo	Sitio de muestreo
1a Feb	AF, BT, PCS-RSJ, BV, RF-SC, RF-M
3a Feb	AF, BT, PCS-RSJ, BV, RF-SC, RF-M
1a Mar	AF, BT, PCS-RSJ, BV, RF-SC, RF-M
3a Mar	AF, BT, PCS-RSJ, ICH-RSJ, RF-SC, RF-M
1a Abr	AF, BT, AM, LC, PCS-RSJ, RF-SC, RF-M
3a Abr	PCS-RSJ, LC, LN, RF-SC, RF-M
1a May	RF-SC, RF-M, PCS-RA
3a May	BT, AF, LN, RF-SC, RF-M
1a Jun	BT, AF, RF-SC, RF-M, PCS-RA
3a Jun	LC, LN, RF-SC, RF-M, PCS-RA
3a Jul	RF-SC, RF-M, PCS-RA, LC, RSJillo, DB-RI, DT-RSJ, ILD-RSJ
1a Ago	RF-SC, RF-M, BT, AF, LC, PCS-RA
3a Ago	RF-SC, RF-M, BT, AF, LC, PCS-RA
1a Sep	RF-SC, RF-M, AF, BT, LC PCS-RA
3a Sep	RF-SC, RF-M, AF, BT, LC PCS-RA
3a Oct	RF-SC, RF-M, AF, BT, DT-RSJ, CTG-RI, CGJ-RI, RSJillo, MCH-RSJ, PCS-RA
1a Nov	RF-M, RF-SC, AF, BT, LC, PCS-RA, MAU-RS, PEG-RS
3a Nov	AF, BT, PCS-RA, RF-M, RF-SC
2a Dic	RF-M, RF-SC, AF, BT, LC, PCS-RA, DT-RSJ, BCC-CN, LSJ-RSJ, LS-RSJillo, RSJillo
2a Ene	PCS-RA, AF, BT, LC, RF-SC, RF-M
4a Ene	RF-SC, RF-M, PCS-RA, LC, AF, BT
1a Feb	RF-M, RF-SC, PCS-RA, LC, AF, BT
1a Mar	PCS-RSJ, LC, AF, BT, RF-M, RF-SC
3a Mar	RF-M, RF-SC, PCS-RA, LC, AF, BT
3a Abr	RF-M, RF-SC, AF, BT, DT-RSJ, RSJillo, LC-RI, ILD-RSJ, LC, MAU-RS
2a May	RF-M, RF-SC, AF, BT, LC, MAU-RS
4a May	RF-M, RF-SC, PCS-RA, LC, AF, BT
2a Jun	RF-M, RF-SC, PCS-RSJ, LC, AF, BT
4a Jun	RF-M, RF-SC, PCS-RA, AF, BT, LC

Tabla 2. Sitios que fueron objeto de muestreo para cada semana de muestreos.

nasa correspondientes a los muestreos de estos meses.

Los muestreos se realizaron en la 1^a y 3^a o 2^a y 4^a semana de cada mes. Para los muestreos se utilizaron las nasas cangrejeras japonesas, que mostraron una gran capturabilidad y que son muy prácticas en su transporte y manipulación. En los meses de validaciones, además de estas nasas, se ocuparon otras artes a validar (nasas de madera y cajillas), aunque los datos de estas artes no se tomaron en cuenta a la hora de estudiar la estacionalidad del número de capturas. El número de nasas cangrejeras japonesas que se utilizaron en cada punto en cada semana de muestreos fue de 14 a 17 excepto en las

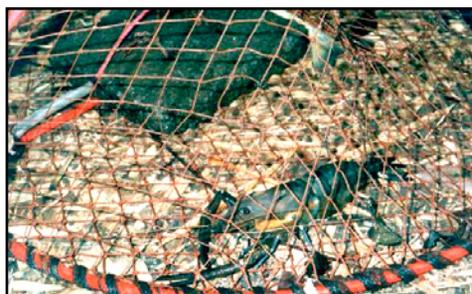
dos parejas de puntos de muestreo cercanos (RF-M – RF-SC y AF-BT) que se muestreaban en una misma noche con las mismas 14-17 nasas (en los dos puntos de Río Frío se ponía una cantidad parecida en los dos puntos, alrededor de 7-8, mientras que en el caso de AF-BT se priorizaba AF, dónde siempre se ponían un mínimo de 10 nasas (excepto 8-9 de Febrero a Mayo del 2003) en unos sitios fijos de muestreo para estudiar los movimientos de los camarones marcados, mientras que en BT se colocaban el resto, normalmente 4-7 pero en algunos meses menos, concretamente 2 en Enero del 2004 y 3 en Diciembre del 2003 y en Enero, Febrero y Marzo del 2004). Este número variable de nasas utilizadas se debió al robo que sufrimos por parte de algunos pescadores, a que algunas nasas se quedaron pegadas en palos a más de 6m. de profundidad (a menores profundidades las sacábamos sumergiéndonos) y a la pérdida de algunas otras nasas por acción de algún lagarto negro (*Crocodylus acutus*) o a veces por algún



Viajes de campo en el Río San Juan



Tipos de nasas utilizados durante la investigación



Camarón de Río capturado con una nasa

descuido en su colocación o retirada.

Estas nasas perdidas las repusimos dando a hacer 5 nasas idénticas a las nasas cangrejas japonesas, las cuales en los análisis realizados (ver Validación de artes de pesca) no mostraron ninguna diferencia en capturabilidad. A veces también tuvimos el problema de que algunas nasas fueron levantadas por la corriente, las cuales no fueron tenidas en cuenta en el cálculo del número de camarones/nasa, factor que fue especialmente importante en Río Frío dónde la corriente en la estación lluviosa era muy fuerte. A partir del mes de Julio forramos un total de 4 nasas cangrejas japonesas con una malla plástica de mosquitero con un ojo de 1mm aproximadamente, con el objetivo de capturar individuos de pequeño tamaño.

c) Datos tomados en los muestreos:

Para cada arte empleada en los muestreos se anotaron una serie de datos del lugar dónde era colocada: posición geográfica (con un GPS), hábitat del río, tipo de vegetación de la orilla, velocidad de la corriente (estimada de acuerdo al tiempo que dilata un mismo objeto ligero en recorrer una distancia conocida) y profundidad del río (medida con una cuerda numerada con un plomo en el extremo). Además, se anotó la hora de apertura y de cierre del arte, las horas en que se realizaron revisiones, el tipo de carnada utilizada y el peso de la carnada.

Paralelamente, se tomaron una serie de parámetros físico-químicos del agua: temperatura (con el termómetro del pHmetro o del oxímetro), O₂ disuelto (con un oxímetro), pH (con un pHmetro), turbidez (con un disco de Secchi), nivel del río (con una vara fija y graduada) y meteorología del ambiente (nubosidad estimada como

% de cobertura nubosa y fase lunar). En el uso de los aparatos electrónicos nos encontramos con problemas a partir del mes de Junio en el caso del oxímetro y desde el primer mes en el caso del pHímetro. Es por ello que únicamente tuvimos en cuenta los datos de oxígeno de Marzo a Junio del 2003 y descartamos todos los datos de temperatura y pH.



Registro de datos físico químicos en el agua

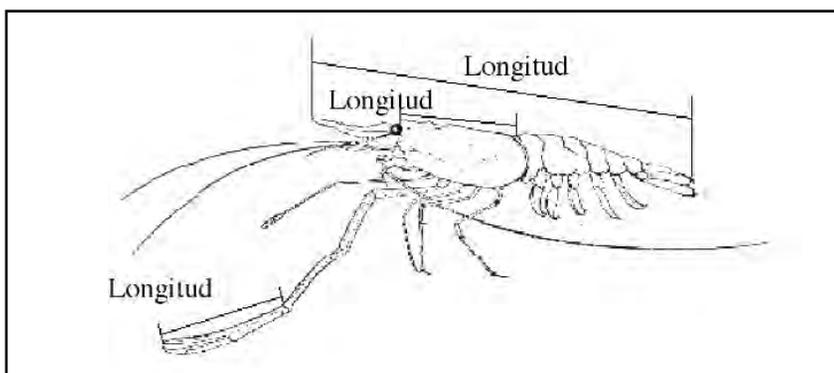
En cada revisión se anotó la hora de la revisión y el número de camarones capturados así como las capturas de otros animales (número de

cangrejos, tortugas, etc.).

Para cada camarón capturado se determinó visualmente el sexo, el estadio reproductivo de las hembras (presencia o no de huevos, y en caso de que los hubiera, cantidad de huevos y coloración de los mismos), se midió con un camarómetro (o tabla numerada con un tope en el extremo y una precisión de $\pm 1\text{mm}$, ver Anexo 1) la longitud total (desde el extremo anterior del rostrum hasta el extremo distal del télson), con un vernier o pie de rey (con una precisión de $\pm 0.5\text{mm}$) se midió la longitud del cefalotórax (de la parte inferior de la órbita del ojo hasta el margen posterior del caparazón) y la longitud total de la pinza (des del extremo distal al extremo proximal del último podito del segundo pereiópodo de mayor tamaño) (ver Fig. 2 y también Anexo 1), mientras que con una balanza digital (con una precisión de $\pm 0.1\text{g}$) se tomó el peso total (ver Anexo 1).



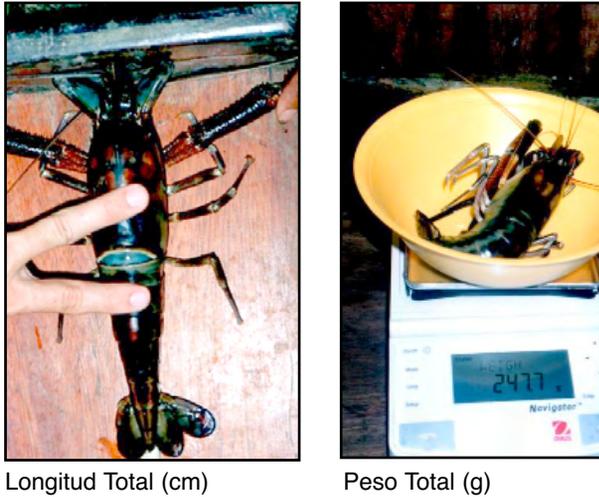
Registro de datos biológicos de cada espécimen capturado



Longitud Cefalotorax (cm)



Longitud Cefalotorax (cm)



Longitud Total (cm)

Peso Total (g)

Figura 3. Mediciones tomadas del camarón de río *Macrobrachium carcinus*.

d) Marcaje:

Todos los camarones capturados fueron marcados con un código individual consistente en unos cortes realizados con un cortaúñas en los dos márgenes inferiores de cada uno de los somitos abdominales (ver Foto 1). Para cada animal capturado se anotó su código individual de marcaje y posteriormente fue liberado nuevamente al río, justo en el lugar o base de trabajo (y no en el lugar exacto dónde fue capturado). Los animales recapturados en los muestreos se midieron y pesaron de nuevo y posteriormente fueron liberados. Se contó, además, con la recaptura de camarones marcados por parte de los pescadores de camarón, a los que se les pidió que nos guardasen a estos animales vivos (les fueron pagados a un precio mayor que el de su venta) y que anotaran el día y lugar exacto de su captura.



Foto 1. Sistema de marcaje del camarón de río *Macrobrachium carcinus*. Con un cortaúñas se efectúan cortes en forma de V invertida en los márgenes inferiores de 5 somitos abdominales. Hay dos lados de cada somito (derecha e izquierda) y 5 somitos, lo cual nos permite 1720 combinaciones diferentes.

e) Análisis de los datos:

Se realizaron las siguientes comparaciones: frecuencia de sexos x mes, % frecuencia de sexos x sitio, frecuencia de hembras con y sin huevos x mes, frecuencia de hembras con y sin huevos x sitio, n°camarones/nasa x mes, n°camarones/nasa x sitio, longitud total x mes, longitud total x sitio. Para las primeras cuatro comparaciones, que se establecieron en base a frecuencias en tablas 2x2 (n°machos / n°hembras; n° hembras con huevos / n° hembras sin huevos), se aplicó una Chi-cuadrado de Pearson. Para las otras cuatro comparaciones, además de otras comparaciones que se hicieron en los análisis de las recuperaciones de animales marcados, en la comparación morfométrica entre sexos y entre hembras con y sin huevos y en la comparación entre fases lunares del n°camarones/nasa, puesto que se establecieron en base a variables continuas, se llevaron a cabo análisis de la varianza ANOVA y se hicieron comparaciones Post-Hoc (LSD test) para determinar cuales de las diferencias entre sitios, meses, sexos, estadios reproductivos o fases lunares eran significativas. Paralelamente se llevaron a cabo análisis de la varianza ANOVA no paramétricos (por rangos) de Kruskal-Wallis que no tienen las restricciones en cuanto a normalidad de la distribución.

También se llevaron a cabo análisis de regresión en la búsqueda de correlación entre variables morfométricas, en la búsqueda de correlación entre parámetros ambientales y el n°camarones/nasa y en el estudio de territorialidad. Se aplicaron tanto los tests paramétricos como los no paramétricos (correlación de Spearman).

Para el estudio de territorialidad o desplazamiento del camarón de río, se miró la correlación entre la distancia de la base (donde se medían y liberaban los camarones) al sitio de 1ª captura de los camarones (Movsilib) y la distancia de la base al sitio de 2ª captura de estos mismos camarones marcados y recapturados (M1casl). De este modo podíamos saber cuánto se habían desplazado del sitio de liberación y si habían regresado o no al lugar de dónde los habíamos sacado. Para testar si los camarones son o no territoriales se estudió la correlación entre las dos variables (Movsilib y M1casl). Para este estudio se consideraron únicamente los datos de Aguas Frescas (AF), que es el único lugar libre de pesca, por lo que presentó el mayor número de recapturas.

En este sitio teníamos puntos fijos de muestreo por encima y por debajo de la base (sitio de liberación de los camarones), por lo que pudimos estudiar los movimientos en los dos sentidos (a favor o en contra de la corriente)(ver Fig.4).

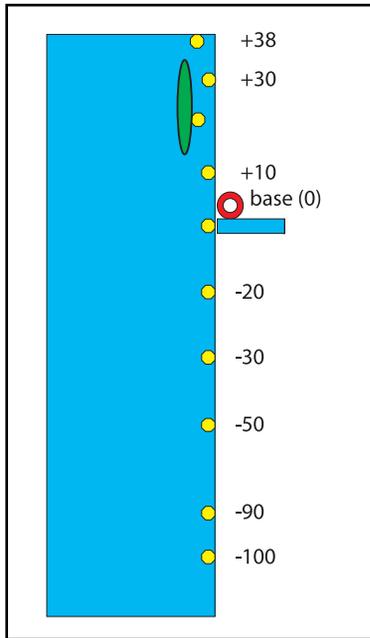


Figura 4. Esquema de la distribución de los puntos fijos de muestreo en el sitio de Aguas Frescas. Las barras azules representan el Río San Juan (grande) y el caño de Aguas Frescas (pequeño). La figura verde representa una pequeña isla en medio del río (a sólo 10 metros de la orilla). Los círculos amarillos son los puntos fijos de muestreo dónde se colocaban las nasas. El número escrito en el margen derecho se refiere a los metros encima (a contracorriente, en positivo) o debajo (a favor de corriente, en negativo) de la base que se encontraba el punto de muestreo. La base está señalada con un anillo de color rojo, y se trata del lugar dónde se llevaban los camarones una vez sacadas las nasas de los puntos de muestreo, dónde estos eran medidos, pesados y marcados, y dónde estos eran finalmente liberados de nuevo al río.

Para el estudio de mortalidad por pesca se utilizaron los datos de % recapturas, asumiendo que la mortalidad natural es igual para todas las zonas de muestreo.

Finalmente, para el estudio del crecimiento se utilizó el programa FISAT (Fao Iclarm Stoch Assessment Tools), que permite aplicar las ecuaciones y modelos de crecimiento y mortalidad (para más información, ver: King, 1998. *Fisheries biology, Assessment and Management. Fishing News Books.*). Con él (y también manualmente con los datos de longitud total en la 1ª y 2ª captura de los animales marcados) se determinaron los parámetros pesqueros básicos con los que se aplicó la ecuación de von Bertalanffy, que nos permitió obtener la curva de crecimiento para la población de *M. carcinus* del Río San Juan.

Estudio de la biología y ecología del Camarón de Río en Río San Juan (*Macrobrachium carinus*)

Resultados

Distribución y abundancia comparada de las especies de crustáceos capturadas en los muestreos:

En el estudio se capturaron un total de 1381 camarones de río *M. carcinus*, 348 *M. olfersi*, 157 *M. acanthurus*, y 2 *M. heterochirus* (ver Tabla 3). Mientras *M. carcinus* se capturó en todos los sitios de muestreo, *M. acanthurus* se capturó básicamente de la Isla la Danta (ILD-RSJ) hasta el mar, excepto algún caso excepcional de machos adultos que se capturaron por encima (ver Fig.5). Esta especie presentó una gran abundancia en los manglares de la laguna de San Juan. En el caso de *M. olfersi*, se capturó básicamente de Machado hasta el mar (pero no en los manglares de la laguna de San Juan), aunque se capturaron algunos machos adultos en muchos de los puntos de muestreo, incluso en río Frío (pero en ningún caso hembras, juveniles ni animales de tamaño pequeño). En los muestreos únicamente se capturó un individuo de *M. heterochirus* en el sitio de Delta; sin embargo, un pescador de río Frío capturó un individuo de esta especie en el lugar de RF-M y nos lo guardó, con lo cual lo pudimos identificar. Por las entrevistas que realizamos a los pescadores (ver 'Encuesta socio-económica') pudimos saber que esta especie aparece con cierta regularidad (aunque en frecuencias siempre muy bajas) en Río Frío, mientras que es desconocida en el resto de los ríos (exactamente lo contrario de lo que ocurre con *M. acanthurus*).

Sin embargo, a posteriori de las encuestas pudimos encontrar un pescador de río Pocosol que también conocía a *M. heterochirus*, con lo cual parece que esta especie se encuentra básicamente en los afluentes del Río San Juan, en la parte alta o media de la cuenca. Este resultado coincide con lo señalado por otros autores (ver discusión). En el caso del individuo capturado en Delta, probablemente se relacione con las migraciones estacionales con fines reproductivos.

Estudio de la biología y ecología del Camarón de Río en Río San Juan (*Macrobrachium carcinus*)

Sitio	N°Mc	N°Ma	N°Mo	N°Mh	N°cang	N°jaibas	N
RF-M	68	0	6	1*	205	0	413
RF-SC	98	0	10	0	176	0	216
BV-RS	7	0	0	0	271	0	29
PEG-RS	7	0	0	0	167	0	17
MAU-RS	32	0	0	0	107	0	47
PCS-RA	170	0	20	0	348	0	279
PCS-RSJ	29	1	0	0	275	0	62
BT	91	2	4	0	970	0	152
AF	271	0	2	0	1959	0	239
LC	426	2	14	0	2910	1	322
MCH-RSJ	19	0	5	0	43	1	15
ILD-RSJ	13	4	9	0	26	5	32
DT-RSJ	71	18	138	1	16	28	78
RSJillo	67	65	122	0	0	39	77
LS-RSJillo	1	4	0	0	0	0	15
LSJ-RSJ	1	46	1	0	0	10	15
CTG-RI	2	10	0	0	0	0	16
LC-RI	3	0	0	0	0	0	15
BCC-CN	2	1	2	0	0	0	15
DB-RI	3	1	1	0	0	1	17
CGJ-RI	0	3	14	0	0	7	14
TOTAL	1381	157	348	2	7473	92	2085

*El Mh de RF-M fue capturado por un pescador, no en los muestreos.

Tabla 3. Número de individuos de las diferentes especies de crustáceos que se capturaron en los muestreos realizados en los ríos del departamento de Río San Juan del mes de Febrero del 2003 al mes de Junio del 2004.

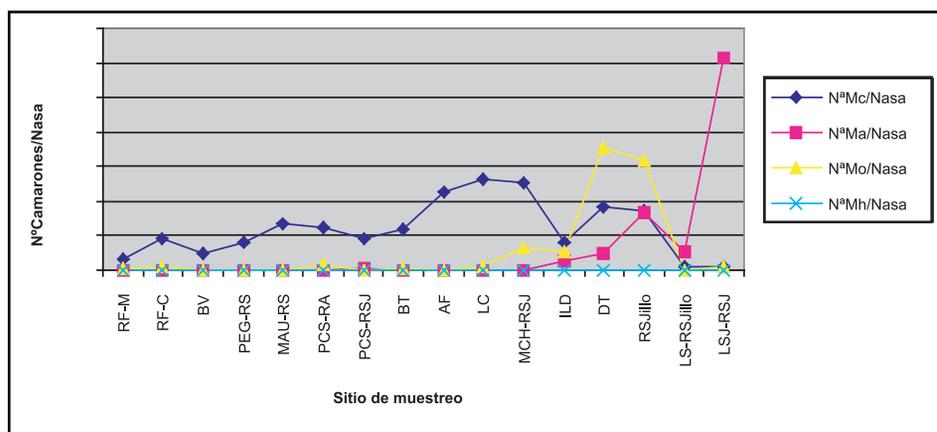


Figura 5. Número de camarones de río por nasa capturados en los distintos sitio de muestreo del Río San Juan y sus afluentes de Febrero del 2003 a Junio del 2004.

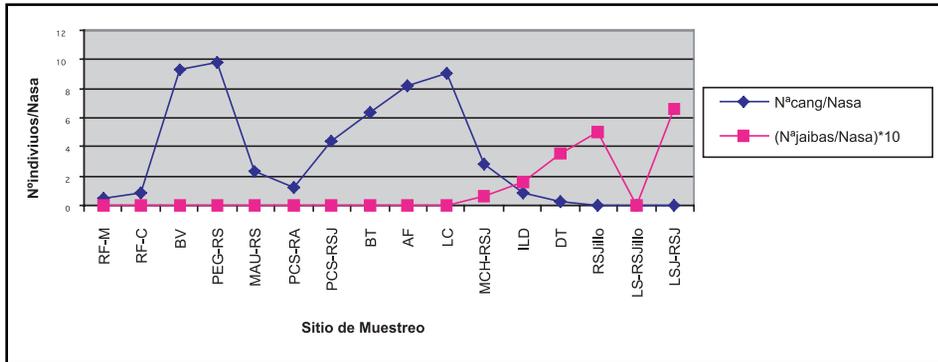


Figura 6. Número de cangrejos por nasa y número de jaibas por nasa multiplicado por diez en los distintos puntos de muestreo del Río San Juan de Febrero'03 a Junio'04.

Cómo se puede observar en la Fig.6, la distribución de los cangrejos y jaibas está muy marcada por la proximidad al mar (en relación con la salinidad). Así, los cangrejos desaparecen del río justo dónde las jaibas empiezan a aparecer en los muestreos. Estas últimas aumentan en abundancia a medida que nos acercamos al mar, con las mayores abundancias en los manglares de la laguna de San Juan (en cambio, en la laguna de aguas dulces de Sílicon no capturamos ningún individuo de esta especie).

En el caso de la cuenca del río Indio, ahí no capturamos ningún cangrejo y en cambio sí capturamos muchas jaibas, que aumentaron de frecuencia a medida que nos acercamos al mar (ver Tabla 3).

También en la Fig.6 se puede observar la variación en la abundancia de los cangrejos a lo largo del Río San Juan y sus afluentes. Podemos ver cómo ésta es especialmente grande en el curso alto del río Sábalo (BV y PEG-RS) y en la cuenca media del Río San Juan (de Pocosol a Las Cruces), mientras que en río Frío y en el curso bajo del río Sábalo se dan abundancias muy bajas.

Comparando la distribución de abundancias entre cangrejos y *M. carcinus*, podemos ver que coinciden bastante en el Río San Juan (aumentando hasta Las Cruces y disminuyendo de ahí en adelante) pero no en sus afluentes (dónde los camarones son muy abundantes en el curso bajo y poco en el alto, al revés que los cangrejos, probablemente por la preferencia de estos últimos por los lechos rocosos).

Relación entre la abundancia relativa de *M. carcinus* y los parámetros ambientales:

Existe una correlación significativa entre todas los parámetros ambientales y el número de camarones *M. carcinus* por nasa capturados en una noche en un sitio determinado (ver Tabla 4). La correlación es negativa en el caso de la visibilidad, corriente y profundidad y positiva en el caso de la nubosidad (ver Figuras 7, 8, 9 y 10). La primera variable que entró en el análisis paso a paso fue la visibilidad: cuanto más turbia el agua (menos visibilidad) más camarones se capturaron. Además, se obtuvieron más capturas cuánto mayor nubosidad hubo, menor fue la corriente y menor la profundidad media del río.

	BETA	St. Err. of BETA	B	St. Err. of B	t(135)	p-level
Intercept			1,587	0,255	6,223	0,000
Visibilidad (cm)	-0,299	0,086	-0,006	0,002	-3,476	0,001
Nubosidad (%)	0,174	0,078	0,003	0,001	2,215	0,028
Corriente (m/s)	-0,267	0,086	-1,183	0,381	-3,101	0,002
Profundidad (cm)	-0,195	0,081	-0,001	0,000	-2,418	0,017

	Beta in	Partial cor.	Simipart. cor.	Tolerance	R-square	t(135)	p-level
Visibilidad (cm)	-0,30	-0,29	-0,27	0,82	0,18	-3,48	0,001
Nubosidad (%)	0,17	0,19	0,17	0,99	0,01	2,22	0,028
Corriente (m/s)	-0,27	-0,26	-0,24	0,82	0,18	-3,10	0,002
Profundidad (cm)	-0,20	-0,20	-0,19	0,93	0,07	-2,42	0,017

	Step + in/-out	Multiple R	Multiple R-square	R-square change	F - to entr/rem	p-level
Visibilidad (cm)	1	0,233	0,054	0,054	7,944	0,006
Nubosidad (%)	2	0,327	0,107	0,052	8,039	0,005
Corriente (m/s)	3	0,385	0,148	0,042	6,629	0,011
Profundidad (cm)	4	0,422	0,178	0,030	4,906	0,028

Tabla 4. Resultados de la regresión entre el número de *M. carcinus* por nasa (variable dependiente) y los parámetros ambientales (variables independientes), correlaciones parciales entre las distintas variables y variables incluidas en una regresión paso a paso. La visibilidad del agua es el inverso de la turbidez (hasta qué profundidad es visible un disco de Secchi), la nubosidad se midió en %, la corriente se midió con un objeto flotante recorriendo un segmento de longitud conocida y la profundidad se calculó como el promedio de las profundidades en las que se pusieron todas las nasas en una noche de muestreos en un sitio determinado.

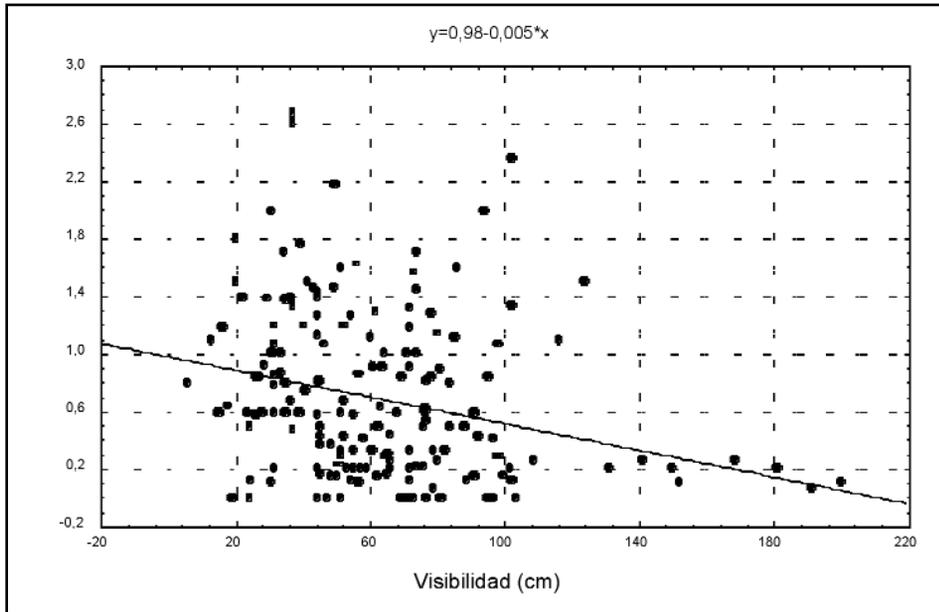


Figura 7. Análisis de regresión entre el número de camarones *M. carcinus* por nasa y la visibilidad del agua (que es el inverso de la turbidez).

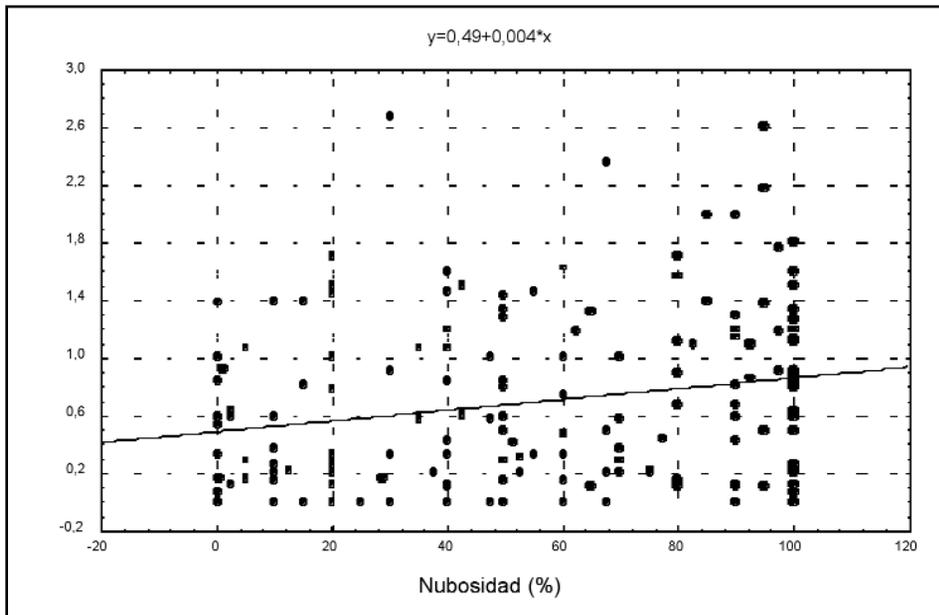


Figura 8. Análisis de regresión entre el número de camarones *M. carcinus* por nasa y la nubosidad (calculada como porcentaje de cielo cubierto por nubes).

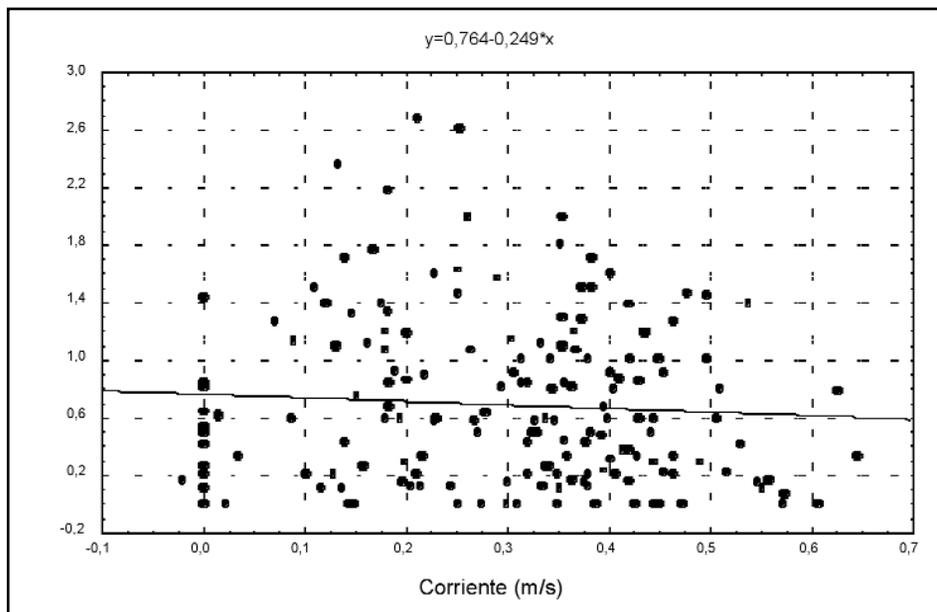


Figura 9. Análisis de regresión entre el número de camarones *M. carcinus* por nasa y la corriente del río (medida con un objeto flotante recorriendo un segmento de longitud conocida).

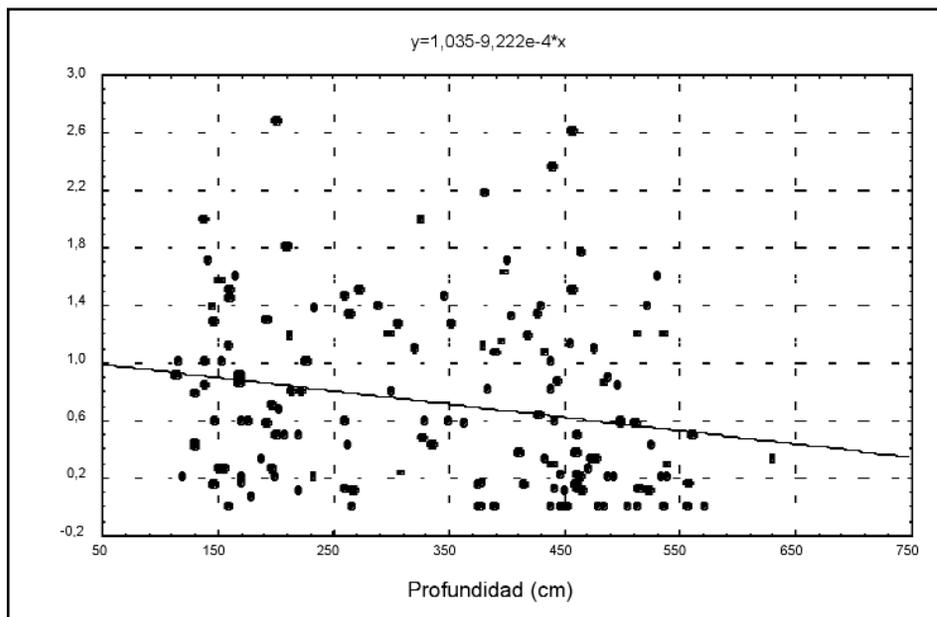
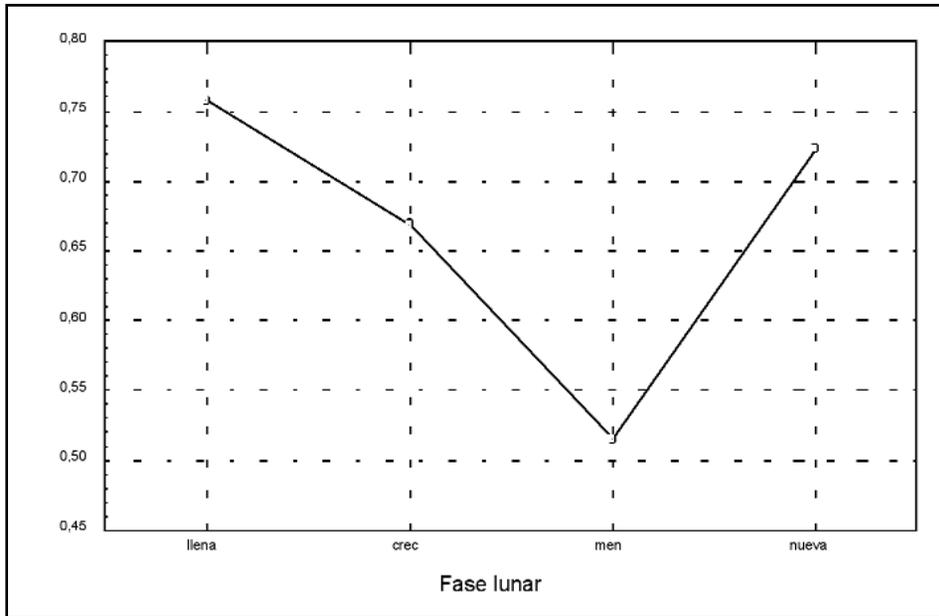


Figura 10. Análisis de regresión entre el número de camarones *M. carcinus* por nasa y la profundidad (calculada como el promedio de las profundidades en las que se pusieron todas las nasas en una noche de muestreo en un sitio determinado).

Se encontraron diferencias significativas entre la fase lunar y el número de camarones por nasa (ANOVA Kruskal-Wallis test: $H(3, N=177) = 10,00778$ $p = ,0185$). Concretamente, se encontró que las mayores capturabilidades se dieron con la luna en fase de menguante, mientras que las menores se dieron con luna llena (ver Fig. 11).



(ANOVA Kruskal-Wallis test: $H(3, N=177) = 10,00778$ $p = ,0185$)

Figura 11. Comparación del número de camarones *M. carcinus* por nasa y la fase lunar.

En la Tabla 5 se pueden observar las correlaciones que existen entre los distintos parámetros ambientales.

	Visibilidad (cm)	Nubosidad (%)	Corriente (m/s)	Profundidad (cm)	NºCamarones/Nasa
Visibilidad (cm)	1,00	0,00	-0,40	0,21	-0,23
Nubosidad (%)	0,00	1,00	-0,05	-0,07	0,20
Corriente (m/s)	-0,40	-0,05	1,00	-0,21	-0,12
Profundidad (cm)	0,21	-0,07	-0,21	1,00	-0,22
NºCamarones/Nasa	-0,23	0,20	-0,12	-0,22	1,00

Tabla 5. Correlación entre los diferentes parámetros ambientales (visibilidad, nubosidad, corriente y profundidad).

En las figuras 12-15 se puede observar la variación anual de los parámetros ambientales y su relación con la variación en la abundancia de camarones para algunos de los principales sitios de muestreo de camarón de río.

En río Frío se encontraron correlaciones significativas del número de camarones *M. carcinus* por nasa con la visibilidad ($B=-0.005$, $p=0.03$) y con la nubosidad ($B=0.004$, $p=0.007$), en Aguas Frescas y Bartola con la visibilidad ($B=-0.01$, $p=0.03$) y con la corriente ($B=-5.63$, $p=0.01$) y en Pocosol y Las Cruces con ninguna variable ($p>0.08$).

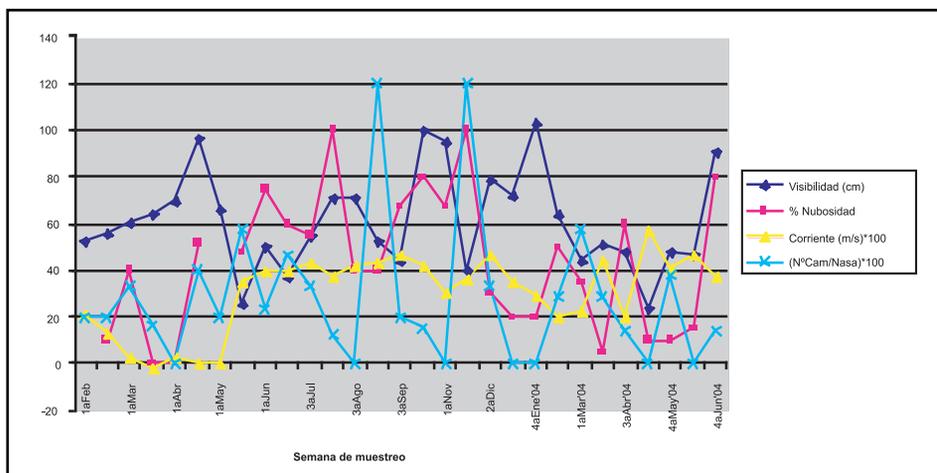


Figura 12. Variación anual de los parámetros ambientales y su relación con la variación en la abundancia de camarones para río Frío (concretamente en el sitio de RF-M).

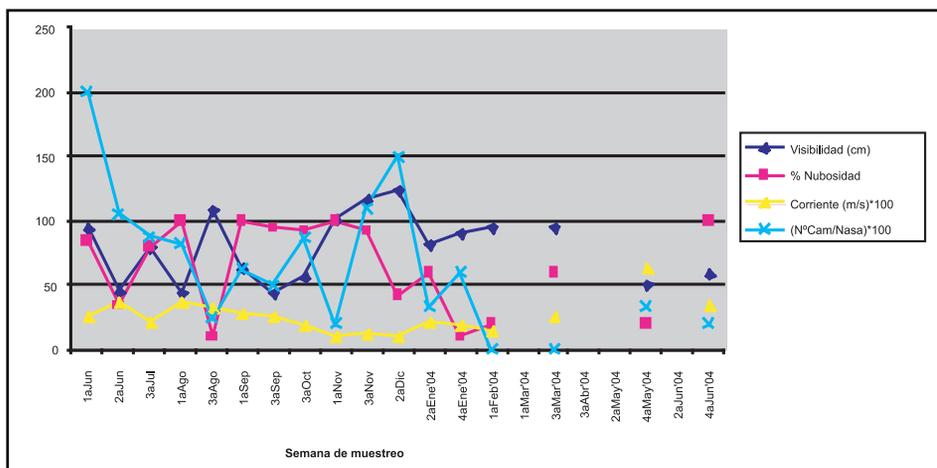


Figura 13. Variación anual de los parámetros ambientales y su relación con la variación en la abundancia de camarones para río Pocosol.

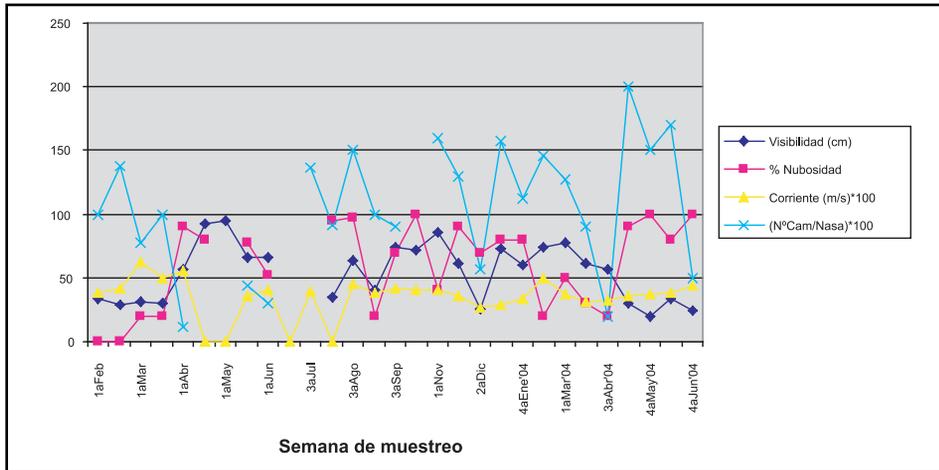


Figura 14. Variación anual de los parámetros ambientales y su relación con la variación en la abundancia de camarones para Aguas Frescas.

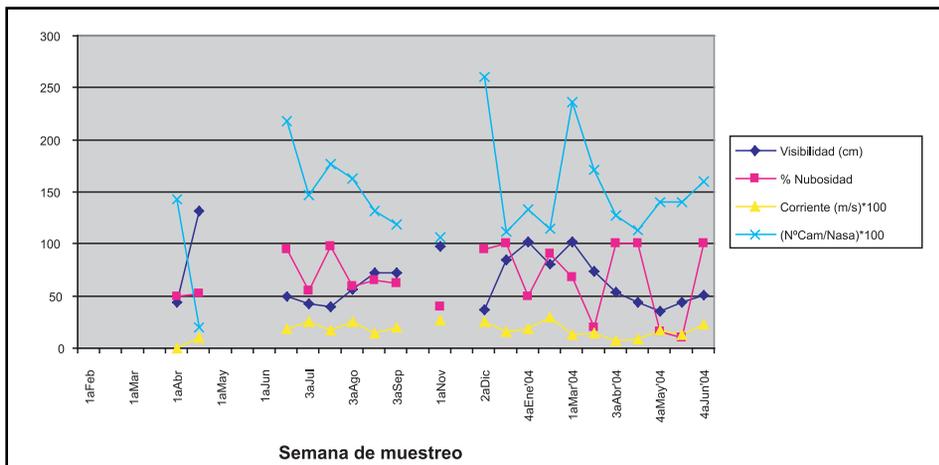


Figura 15. Variación anual de los parámetros ambientales y su relación con la variación en la abundancia de camarones para Las Cruces.

En la figura 16 se pueden observar las variaciones a lo largo de los meses de estudio en el nivel de los ríos Frío y San Juan.

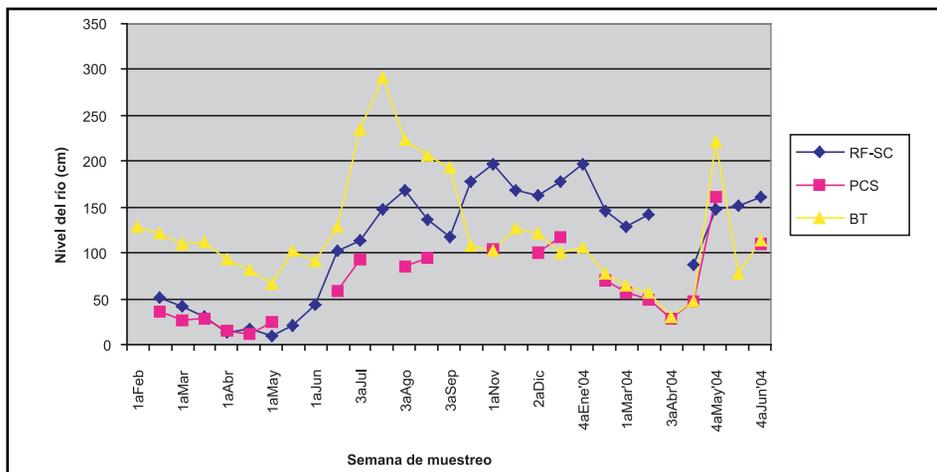


Figura 16. Variación anual del nivel del río (medido con una cuerda numerada en varas de aluminio enterradas fijas en el río) en los ríos Frio (sitio de RF-SC) y San Juan (sitios de PCS-RSJ y BT).

Efecto de las alteraciones del río en Marzo-Mayo en Río San Juan sobre la población de *M. carcinus*:

De mediados de Marzo a inicios de Abril se dieron unas condiciones de anoxia en el Río San Juan que provocaron una gran mortandad de camarones y peces. En la figura 17 se puede ver como este descenso de los niveles de oxígeno y la mortandad de pescado están muy relacionados con el avance de la plaga de chayules (*Chironomidae*) que se produjo en esas semanas, y en la figura 18 se puede ver como afectaron esas condiciones a la abundancia de camarones en los ríos.

La plaga de chayules se inició en el lugar de Las Tiricias, cerca del sitio de Aguas Frescas, a inicios del mes de Marzo. De ahí la plaga fue avanzando en dirección este-oeste conforme a los vientos predominantes en la zona, cubriendo un tramo de río de varios kilómetros pero con un frente con las mayores concentraciones de animales de unos 2-4 kilómetros. Esta plaga fue siguiendo su curso hasta llegar a San Carlos, donde se quedó instalada la plaga hasta el día de hoy, con las mayores concentraciones en la zona de la Isla El Pitazo y Medio Queso, a unos 3-5 kilómetros río abajo de San Carlos.

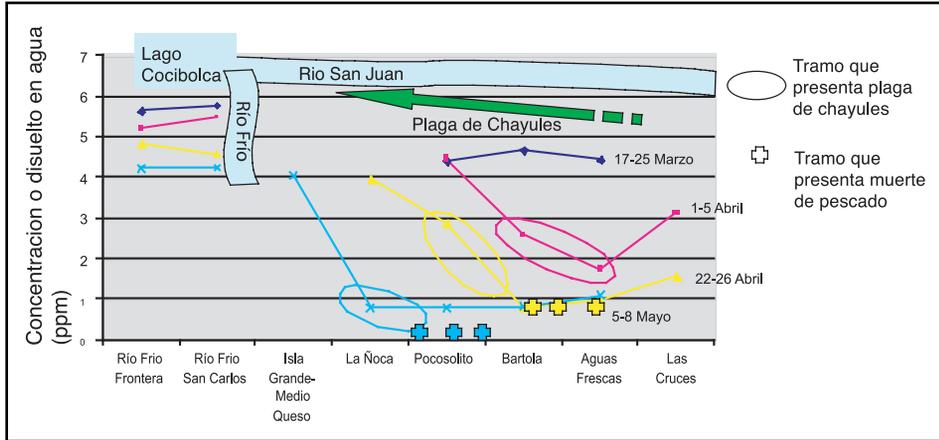


Figura 17. Gráfico que muestra la relación entre el avance de chayules, la reducción en los niveles de oxígeno y la mortalidad de peces en el Río San Juan (también se muestran los datos de concentración de oxígeno en río Frio por comparación). Las líneas indican los valores de concentración de oxígeno en las distintas semanas de muestreo (una línea para cada semana) en los distintos puntos de muestreo.

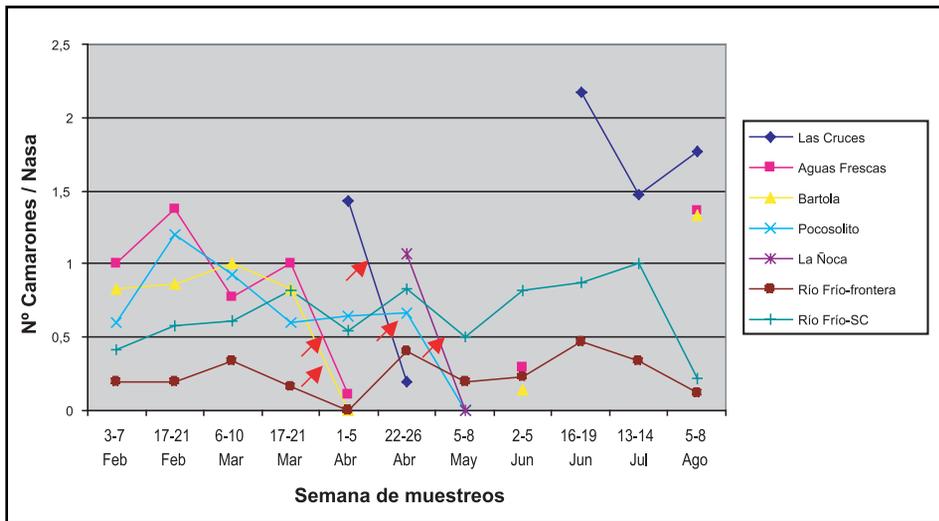


Figura 18. Gráfico que muestra la caída en picado de la abundancia de camarones como consecuencia de la llegada de la plaga de chayules a los diferentes sitios de muestreo de Río San Juan, en comparación con la estabilidad de la abundancia de camarones en río Frio, donde no se dio la plaga de chayules. También se puede observar la recuperación de los valores normales de abundancia en Aguas Frescas, Bartola y Las Cruces. Las flechas en rojo indican la llegada de los chayules a un sitio de muestreo.

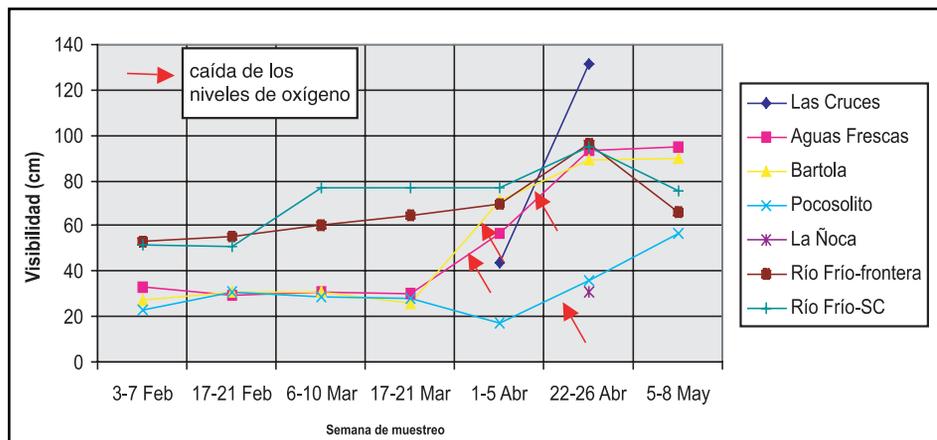


Figura 19. Gráfico que muestra la caída en picado de la abundancia de camarones como consecuencia de la llegada de la plaga de chayules a los diferentes sitios de muestreo de Río San Juan, en comparación con la estabilidad de la abundancia de camarones en río Frío, donde no se dio la plaga de chayules. También se puede observar la recuperación de los valores normales de abundancia en Aguas Frescas, Bartola y Las Cruces. Las flechas en rojo indican la llegada de los chayules a un sitio de muestreo.

El avance de la plaga provocaba dos efectos principales en el río: una caída súbita de las concentraciones de oxígeno y un gran aumento de la visibilidad (inversa a la turbidez, ver Fig.19). Por análisis que efectuamos en el CIDEA, se pudo observar que la concentración y variedad de algas se redujo dramáticamente de la zona de río por delante de la plaga (todavía no afectada) a la zona por debajo de la plaga (ya afectada). Todas las algas planctónicas quedaron atrapadas por la gelatina que envuelve los huevos de los chayules, que cuando poníamos nasas en la zona afectada del río llegaba a cubrir las por completo en el momento que las levantábamos la mañana siguiente. Esa masa de gelatina de con algas (de varios centímetros de grosor, hasta llegar a más de una cuarta en ciertas partes) cubría todo el fondo del río y la vegetación flotante (los llamados gamalotes, y también los troncos caídos), y se encontraba repleta de larvas de chayul que eclosionaban de los huevos en grandes cantidades. Estas larvas construían con la masa de lodo con algas unas características ‘casetas’ tubulares. Estos animales presentan hemoglobina para soportar condiciones de muy bajas concentraciones de oxígeno, por lo que son de un característico color rojo intenso.

La asociación entre plaga de chayules y mortandad de pescado se observó hasta la zona de Palo de Arco. De ahí para arriba la plaga no

provocó mortandad de pescado, pero sí la salida del río en grandes cantidades de los cangrejos y la presencia justo en la orilla de los camarones (tal y como nos comentó un trabajador de la finca de Santa Fe, situada unos 10 kilómetros por debajo de San Carlos).

Para comprobar si la mortandad del río no fue provocada por una intoxicación por pesticidas, la Procuraduría General del Ambiente tomó unas muestras de pescado y de cangrejos para analizar si contenían una concentración de tóxicos que explicara su muerte. Los análisis mostraron únicamente pequeñas trazas de Eldrín y Dieldrín en algún animal, pero en concentraciones mucho menores que las necesarias para provocar la muerte de esos animales.

Análisis morfométricos de *M. carcinus*:

Hay una regresión significativa entre la longitud total y el resto de las variables morfométricas (ver Tablas 6 y 7).

	BETA	St. Err. of BETA	B	St. Err. of B	t(1112)	p-level
Intercpt			4,86213162	0,20711174	23,4758857	0
Long. Cefal.	0,909	0,018	0,236	0,005	50,383	0,000
Long. Pinza	-0,070	0,015	-0,005	0,001	-4,625	0,000
Peso	0,139	0,022	0,004	0,001	6,249	0,000

R= ,95648908 R_ = ,91487136 Adjusted R_ = ,91417738
 F(3,368)=1318,3 p<0,0000 Std.Error of estimate: ,48803

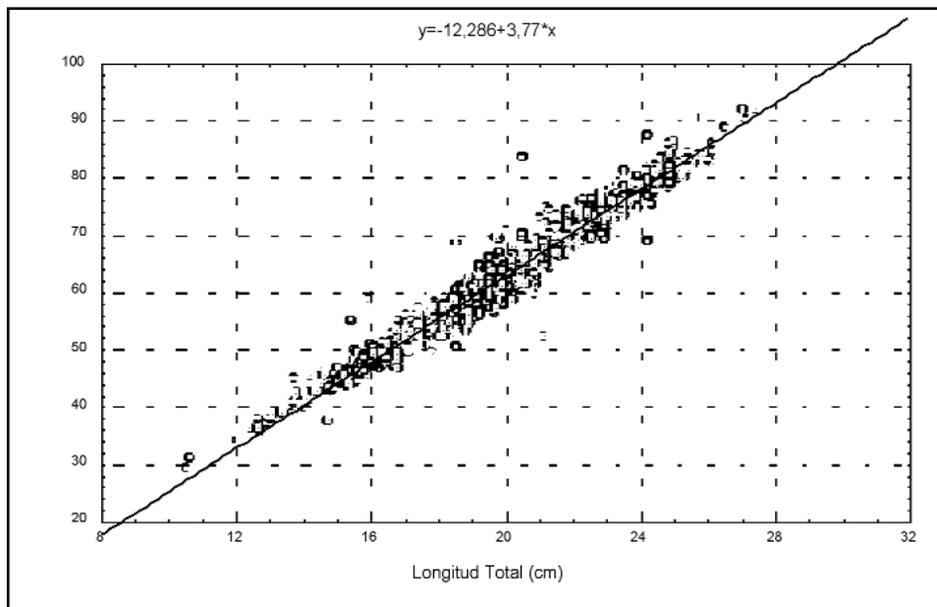
	Beta in	Partial cor.	Simipart. cor.	Tolerance	R-square	t(1112)	p-level
Long. Cefal.	0,909	0,834	0,300	0,109	0,891	50,383	0,000
Long. Pinza	-0,070	-0,137	-0,028	0,156	0,844	-4,625	0,000
Peso	0,139	0,184	0,037	0,072	0,928	6,249	0,000

Tabla 6. Regresión de la longitud total (variable dependiente) y el resto de variables morfométricas (longitud cefalotórax, longitud pinza y peso)(variables independientes), correlaciones parciales entre las distintas variables y variables incluidas en una regresión paso a paso.

	LONGCEFA	LONGPINZ	PESO	LONGTOT
LONGCEFA	1,00	0,87	0,94	0,98
LONGPINZ	0,87	1,00	0,92	0,85
PESO	0,94	0,92	1,00	0,93
LONGTOT	0,98	0,85	0,93	1,00

Tabla 7. Correlación entre las diferentes variables morfométricas (longitud total, longitud cefalotórax, longitud pinza y peso).

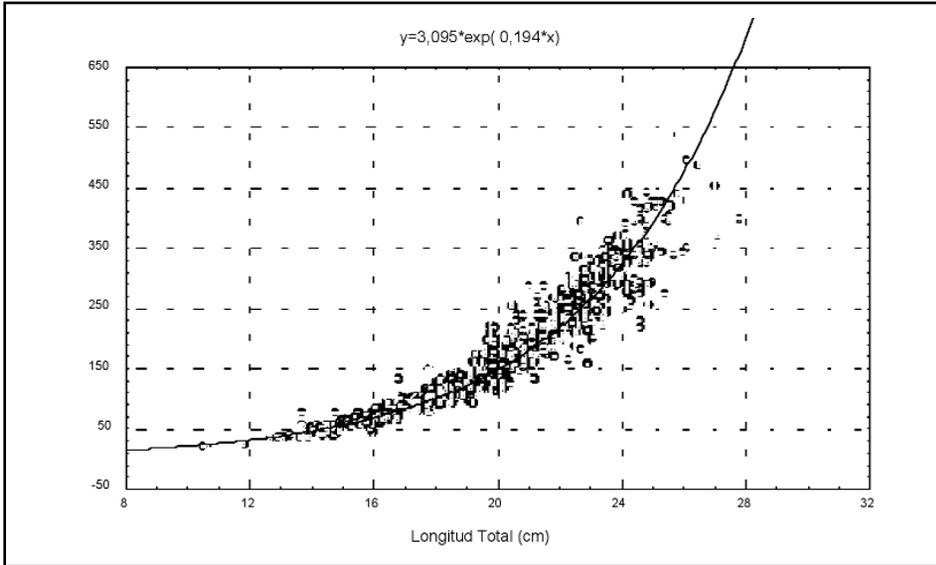
Como se puede observar, existe una correlación positiva y muy significativa entre todas las variables morfométricas. Las dos variables más correlacionadas con la longitud total son la longitud del cefalotórax y el peso, que en conjunto explican el 96% de su varianza. La longitud de la pinza también presenta muy buena correlación con la longitud total, aunque un poco inferior a la de las dos anteriores variables.



Spearman R = 0.98, N=1220

Figura 20. Regresión entre longitud total y longitud cefalotórax.

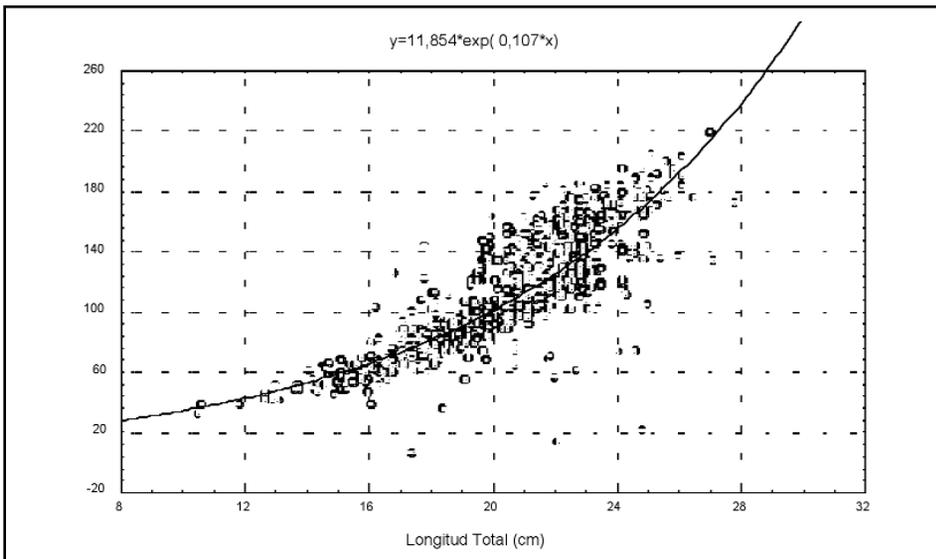
En la Fig.20 se puede observar que la correlación entre la longitud total y la longitud del cefalotórax es perfectamente lineal. En cambio, la relación entre la longitud total y el peso es de tipo exponencial (ver Fig.21).



Spearman R = 0.88, N=1133

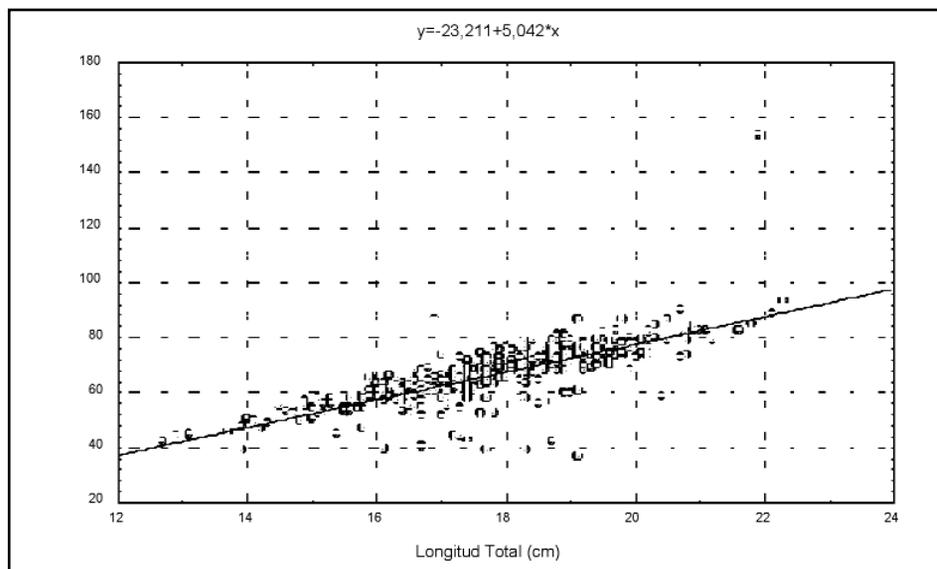
Figura 21. Regresión entre longitud total y peso.

La relación entre la longitud total y la longitud de la pinza depende del sexo. Así, mientras en los machos es de tipo exponencial, en las hembras es de tipo lineal (ver Fig.22 y 23).



Spearman R = 0.96, N=778

Figura 22. Regresión entre longitud total y longitud pinza (machos).



Spearman R = 0.95, N=388

Figura 23. Regresión entre longitud total y longitud pinza (hembras).

Diferencias morfométricas entre machos y hembras

En la Tabla 8 se pueden observar las medias de longitud total, longitud cefalotórax, longitud pinza y peso para la población de *M. carcinus* de Río San Juan.

Medidas morfométricas	N	Media	Mínimo	Máximo	Desviación Estándar	Error Estándar
Long.Tot. (cm)	1265	19,65	10,50	27,80	2,87	0,08
Long. Cef. (mm)	1301	61,53	29,30	92,60	11,02	0,31
Long. Pin. (mm)	1206	98,14	6,65	219,00	39,08	1,13
Peso (g)	1241	162,08	17,70	537,40	91,02	2,58

Tabla 8. Media, valores mínimo y máximo, desviación estándar y error estándar de las diferentes medidas morfométricas que se tomaron en los muestreos para la población de *M. carcinus* del departamento de Río San Juan, Nicaragua.

Se encontraron diferencias significativas entre sexos para todas las medidas morfométricas (ver Tabla 9). En las tablas 10 y 11 se pueden observar las medias para machos y hembras.

Medida morfométrica	Resultados ANOVA no paramétrica
Long. Total	Kruskal-Wallis test: H (1, N=1265) = 303,2290 p =0,000
Long.Cef.	Kruskal-Wallis test: H (1, N=1301) = 395,3626 p =0,000
Long.Pinza	Kruskal-Wallis test: H (1, N=1206) = 470,7983 p =0,000
Peso	Kruskal-Wallis test: H (1, N=1241) = 362,6730 p =0,000

Tabla 9. Resultados de los análisis de la varianza (ANOVA) no paramétricos con las diferentes variables morfométricas como variables dependientes y el sexo como variable independiente.

Medidas morfométricas	N	Media	Mínimo	Máximo	Desviación Estándar	Error Estándar
Long.Tot. (cm)	842	20,59	10,50	27,80	2,89	0,10
Long. Cef. (mm)	835	65,87	29,30	92,60	10,90	0,38
Long. Pin. (mm)	783	115,20	6,65*	219,00	38,18	1,36
Peso (g)	810	196,07	17,70	537,40	94,35	3,32

*Se trata de un individuo que está regenerando sus quelípodos.

Tabla 10. Media, valores mínimo y máximo, desviación estándar y error estándar de las diferentes medidas morfométricas que se tomaron en los muestreos para los machos de la población de *M. carcinus* del departamento de Río San Juan, Nicaragua.

Medidas morfométricas	N	Media	Mínimo	Máximo	Desviación Estándar	Error Estándar
Long.Tot. (cm)	423	17,79	12,70	22,30	1,68	0,08
Long. Cef. (mm)	466	53,74	36,30	70,80	5,60	0,26
Long. Pin. (mm)	423	66,56	37,15	153,65	10,98	0,53
Peso (g)	431	98,20	33,40	239,10	29,58	1,42

Tabla 11. Media, valores mínimo y máximo, desviación estándar y error estándar de las diferentes medidas morfométricas que se tomaron en los muestreos para las hembras de la población de *M. carcinus* del departamento de Río San Juan, Nicaragua.

Como se puede ver, los machos son mucho mayores de promedio que las hembras en todas las variables morfométricas analizadas. No se encontró ninguna hembra con longitud total superior a los 22.3 cm. ni con un peso superior a un cuarto de Kg., mientras que un macho de Río Frío alcanzó los 27.8 cm. y superó el medio Kg. (537.4 g). No se capturó ningún animal, ni macho ni hembra, de un tamaño inferior a los 10 cm. de longitud total.

En la Tabla 12 se puede ver como las hembras con y sin huevos no presentan diferencias en tamaño pero sí en peso. Las hembras con huevos (grávidas) pesan de promedio 7 g. más que las hembras sin huevos (no grávidas) a pesar de medir únicamente 2 mm. más de longitud total (ver

Tablas 13 y 14). Es destacable que la hembra grávida más pequeña medía únicamente 12.9 cm. de longitud total, un tamaño casi igual al de la hembra más pequeña que se capturó en los muestreos (12.7 cm.), con lo cual se puede considerar que todas las hembras que se capturaron en el estudio eran adultas.

Medida morfométrica	Resultados ANOVA no paramétrica
Long. Total (cm)	Kruskal Wallis test: H (1, N= 411) = ,7459724 p =,3878
Long. Cef. (mm)	Kruskal Wallis test: H (1, N= 453) = ,1957651 p =,6582
Peso (g)	Kruskal Wallis test: H (1, N= 419) = 3,890109 p =,0486

Tabla 12. Resultados de los análisis de la varianza (ANOVA) no paramétricos con las diferentes variables morfométricas como variables dependientes y el estadio reproductivo de las hembras (con o sin huevos) como variable independiente.

Medidas morfométricas	N	Media	Mínimo	Máximo	Desviación Estándar	Error Estándar
Long. Total (cm)	283	17,75	12,70	22,30	1,62	0,10
Long. Cef. (mm)	299	53,65	36,30	69,95	5,50	0,32
Long. Pinza (mm)	269	66,31	37,15	153,65	11,76	0,72
Peso (g)	275	95,93	33,40	239,10	28,03	1,69

Tabla 13. Media, valores mínimo y máximo, desviación estándar y error estándar de las diferentes medidas morfométricas que se tomaron en los muestreos para las hembras no grávidas (sin huevos) de la población de *M. carcinus* del departamento de Río San Juan, Nicaragua.

Medidas morfométricas	N	Media	Mínimo	Máximo	Desviación Estándar	Error Estándar
Long. Total (cm)	128	17,95	12,90	22,10	1,82	0,16
Long. Cef. (mm)	154	53,97	37,20	70,80	5,86	0,47
Long. Pinza (mm)	143	67,13	44,15	90,20	9,40	0,79
Peso (g)	144	102,99	35,60	226,00	32,15	2,68

Tabla 14. Media, valores mínimo y máximo, desviación estándar y error estándar de las diferentes medidas morfométricas que se tomaron en los muestreos para las hembras grávidas (con huevos) de la población de *M. carcinus* del departamento de Río San Juan, Nicaragua.

Estimación del crecimiento del camarón de río *M. carcinus* :

Se estimó el crecimiento de *M. carcinus* de dos maneras distintas: a través de los datos de recapturas y a través de los datos de longitud total con el programa FISAT.

Estimación del crecimiento del camarón de río *M. carcinus* con los datos de recapturas:

Se estableció la recta de regresión entre la longitud total en la primera captura y la longitud total en la recaptura (ver Fig.24).

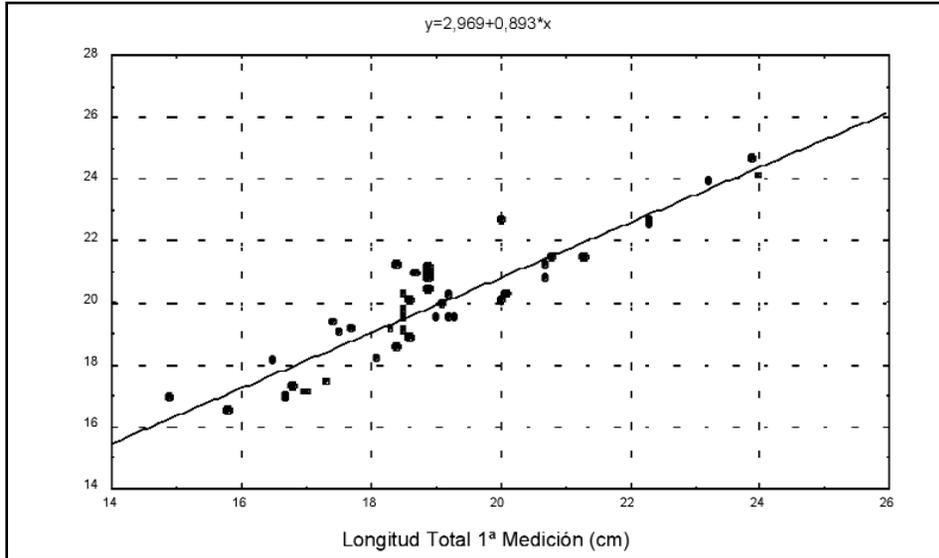


Figura 24. Recta de regresión entre la longitud total en la primera captura y la longitud total en la recaptura.

Con la pendiente y el punto de intersección de la recta de regresión se calcularon los distintos parámetros de crecimiento de la ecuación de Von Bertalanffy:

$$\text{Ecuación de Von Bertalanffy: } L_t = L_{\infty} (1 - e^{-K(t-t_0)})$$

L_t = longitud total K = coeficiente de crecimiento

L_{∞} = longitud infinita t_0 = edad a la cual la longitud es 0

$$y = a + b x$$

$$K = -\ln(b)$$

$$L_{\infty} = a / (1 - e^{-K})$$

$$t_0 = -e^{-0.9031 - 0.2752 \cdot \log_{10}(L_{\infty}) - 1.038 \cdot \log_{10}(K)}$$

De esta manera obtuvimos los valores de estos parámetros de crecimiento:

$$L_{\infty} = 27.7477, K = 0.1132, T_0 = -0.7276 .$$

Una vez con estos parámetros pudimos calcular la longitud total de los camarones en función de la edad según la siguiente fórmula:

$$Lt=27.7477*(1-EXP(-0.1132*(Edad+0.7276)))$$

Después, transformamos la longitud en peso aplicando la siguiente fórmula (que se deriva de la función de correlación exponencial entre las dos variables establecida con el gráfico de la Fig.38):

$$\text{Peso}= 3.095*EXP(0.194*Lt)$$

Así, pudimos también representar la curva de crecimiento en peso.

Y, finalmente, calculamos la ganancia diaria de peso a través de la ganancia de peso entre intervalos de edad, según la siguiente fórmula: $Gdp=(\text{Peso } t_x - \text{Peso } t_{x-1})/30$ (puesto que los intervalos de edad eran de un mes, es decir: $t_x - t_{x-1}=30$ días).

Así, pudimos también representar la curva que relaciona la ganancia diaria de peso con la edad.

Todas estas curvas de crecimiento se pueden ver observar en las Fig.25-27.

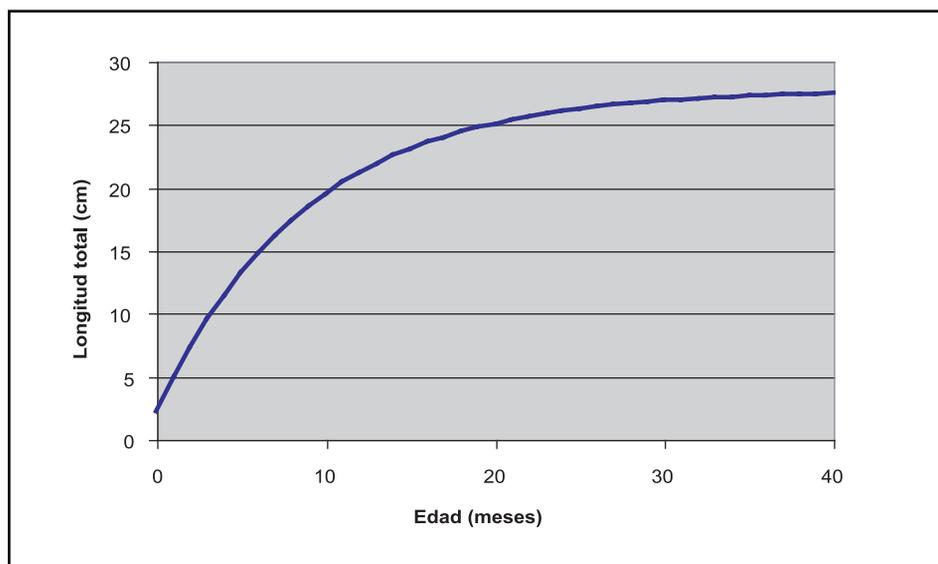


Figura 25. Curva de crecimiento de *M. carcinus* que relaciona la longitud total con la edad según la siguiente ecuación: $Lt=27.7477*(1-EXP(-0.1132*(Edad+0.7276)))$

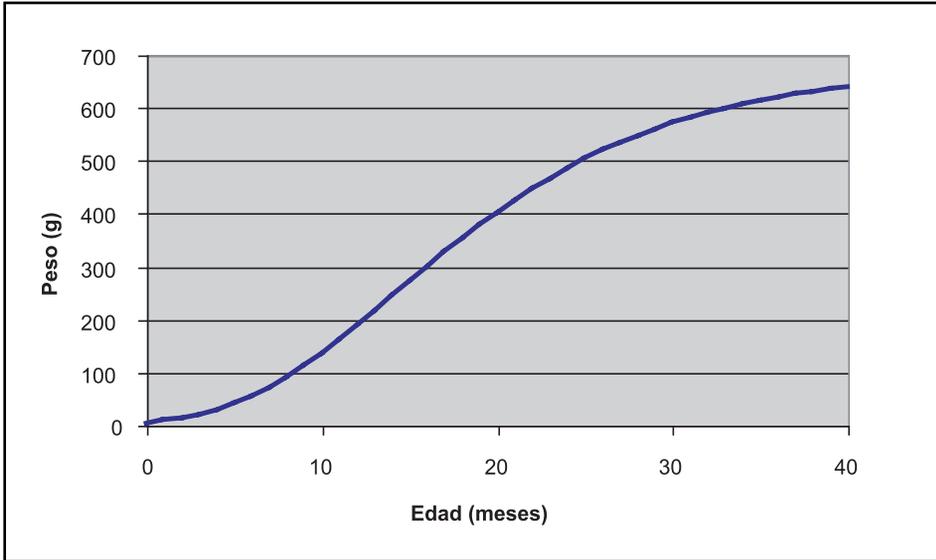
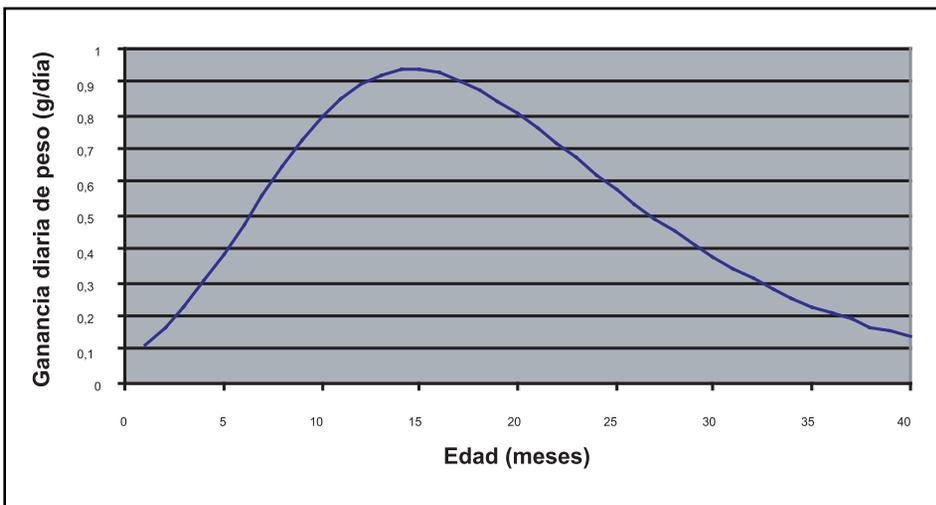


Figura 26. Curva de crecimiento de *M. carcinus* que relaciona el peso con la edad. El peso para cada edad se calculó a partir de la longitud total para esa edad según la siguiente fórmula: $\text{Peso} = 3.095 \cdot \text{EXP}(0.194 \cdot \text{Lt})$



Estimación del crecimiento del camarón de río *M. carcinus* con el programa FISAT:

Figura 27. Curva de crecimiento de *M. carcinus* que relaciona la ganancia diaria de peso con la edad. La ganancia diaria de peso se calculó a partir de los valores de peso para dos edades consecutivas (en meses): $\text{Gdp} = (\text{Peso } t_x - \text{Peso } t_{x-1}) / 30$

Se creó una base de datos con la distribución de frecuencias de longitud total para los camarones capturados en Las Cruces (se tomaron únicamente los datos de este sitio para no mezclar animales de distintos sitios y porque este es el lugar con mayores capturas con diferencia). Con esa base de datos se aplicó el método de Shepherd (Programa FISAT) para la estimación de los parámetros de crecimiento. Con este método se obtuvieron los siguientes valores: $L_{\infty} = 28.35$ y $K = 0.140$. La T_0 se calculó según la ecuación:

$$T_0 = -e^{-0.9031 - 0.2752 \cdot \log_{10}(L_{inf}) - 1.038 \cdot \log_{10}(K)}$$

Con ella se obtuvo un valor de $T_0 = -0.6593$.

Con estos valores se obtuvo la siguiente ecuación de crecimiento:

$$L_t = 28.35 \cdot (1 - \text{EXP}(-0.140 \cdot (\text{Edad} + 0.6593)))$$

En la figura 28 se puede ver el gráfico que relaciona la longitud total con la edad según esta nueva ecuación.

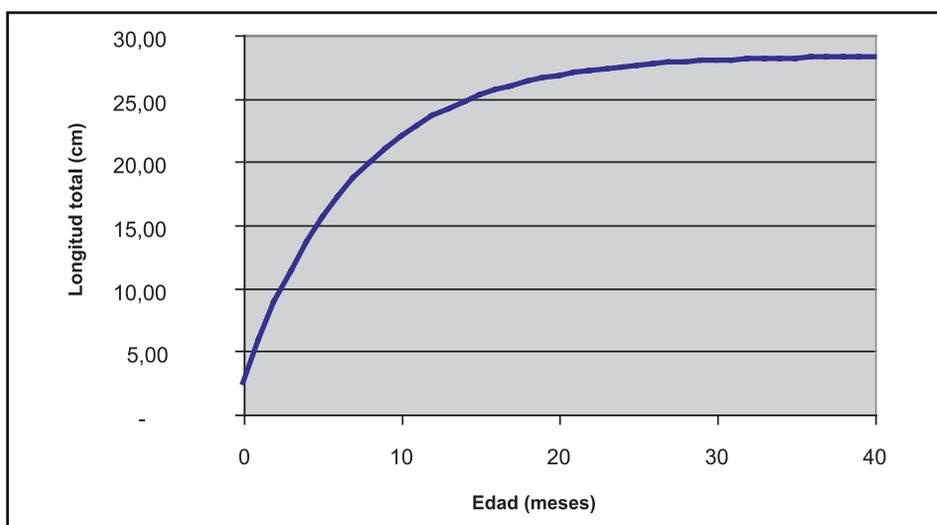


Figura 28. Curva de crecimiento de *M. carcinus* que relaciona la longitud total con la edad según la siguiente ecuación: $L_t = 28.35 \cdot (1 - \text{EXP}(-0.140 \cdot (\text{Edad} + 0.6593)))$

Análisis de las recapturas de *M. carcinus*:

De los 1153 camarones capturados y marcados en los sitios habituales de muestreo del curso medio y alto del Río San Juan, 89 estaban marcados (correspondientes a 80 animales distintos, 7 fueron recapturados

2 veces y 1 fue recapturado 3 veces). En las zonas habituales de muestreo se recapturaron 85 camarones, con un porcentaje medio de recapturas del 7.4%, aunque este varió mucho de un sitio a otro de muestreo (ver Tabla 15).

	RF-M	RF-SC	AF	BT	LC	PCS-RA	PCS-RSJ	TOTAL
Nº capturas	68	98	271	91	426	170	29	1153
Nº recuperaciones	2	4	48	2	26	2	1	85
% recapturas	2,9	4,1	17,7	2,2	6,1	1,2	3,4	7,4

Tabla 15. Número de capturas, número de recuperaciones y porcentaje de recapturas en los distintos sitios habituales de muestreo del Río San Juan y sus afluentes en los muestreos realizados de Febrero'03 a Junio'04. El %recapturas es una estimación de la presión pesquera.

Como se puede observar, el mayor porcentaje de recapturas con diferencia corresponde a Aguas Frescas, con el 18%, que es un sitio donde no se lleva a cabo la pesca de *M. carcinus*. El siguiente lugar en % recapturas es Las Cruces, con el 6%, un lugar donde la pesca está prohibida y no hay población nicaragüense pero sí que hay cierta pesca por parte de la población costarricense asentada en la orilla sur del río, que se dedica básicamente a la ganadería y la agricultura. El resto de sitios de muestreo se encuentran en áreas bastante densamente pobladas y dónde los campesinos y ganaderos tienen la pesca del camarón de río como actividad principal o complementaria.

En la Fig.29 se puede observar como la mayor parte de las recapturas se efectuaron antes de 40 días de la primera captura y marcaje. Sin embargo, 24 animales se recapturaron más de dos meses después de su primera captura y de ellos 5 más allá de los 100 días de la primera captura. Esto demuestra que el sistema de marcaje utilizado dura mucho antes de perderse, unas tres o cuatro mudas según nuestras observaciones en el campo y en las pilas de cría y cultivo (obs. pers.).

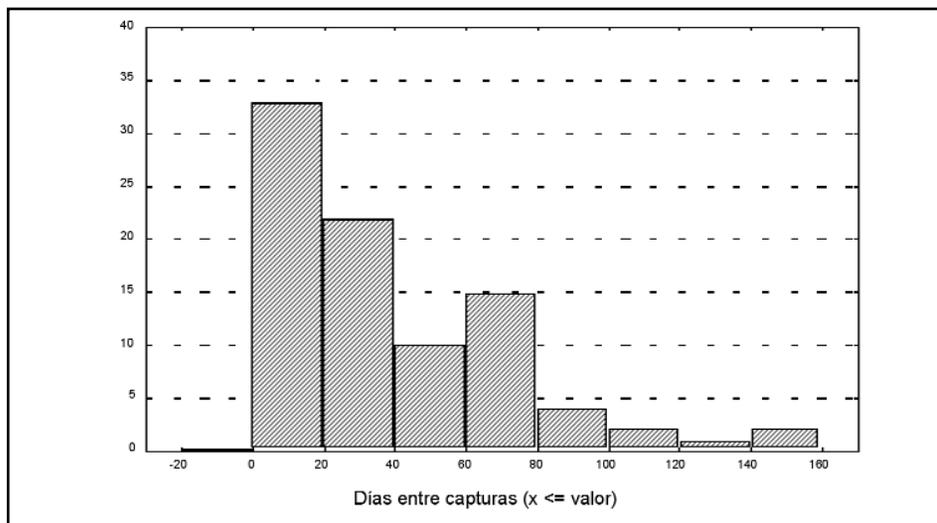


Figura 29. Histograma de frecuencias del número de días entre capturas de los animales recapturados.

La tasa diaria de crecimiento depende mucho de las mudas, es decir, los camarones no crecen a un ritmo constante, sino que crecen de forma discontinua en cada muda. En la Fig.30 podemos ver cómo las tasas de crecimiento son máximas de los 20 a los 80 días entre capturas, puesto que los animales capturados antes de 20 días no han mudado en su mayoría y los capturados después de los 80 días sí han mudado pero la tasa de crecimiento disminuye con el tamaño del camarón.

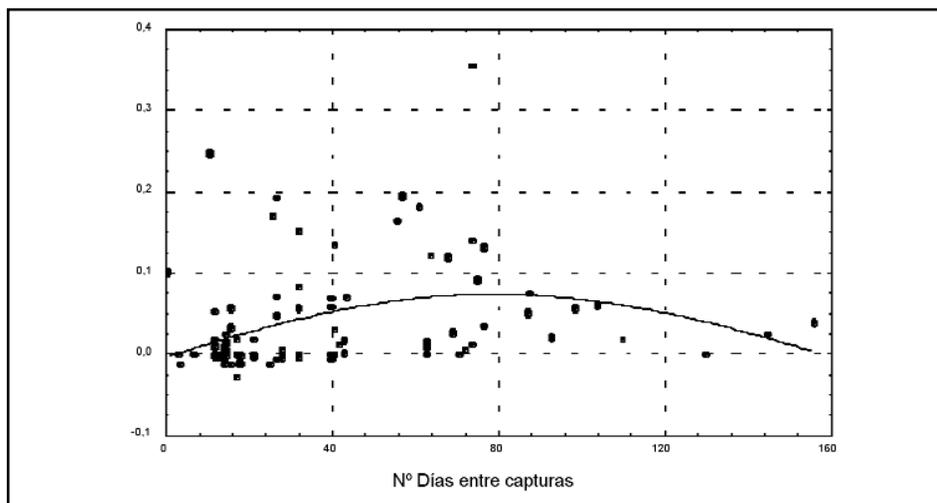
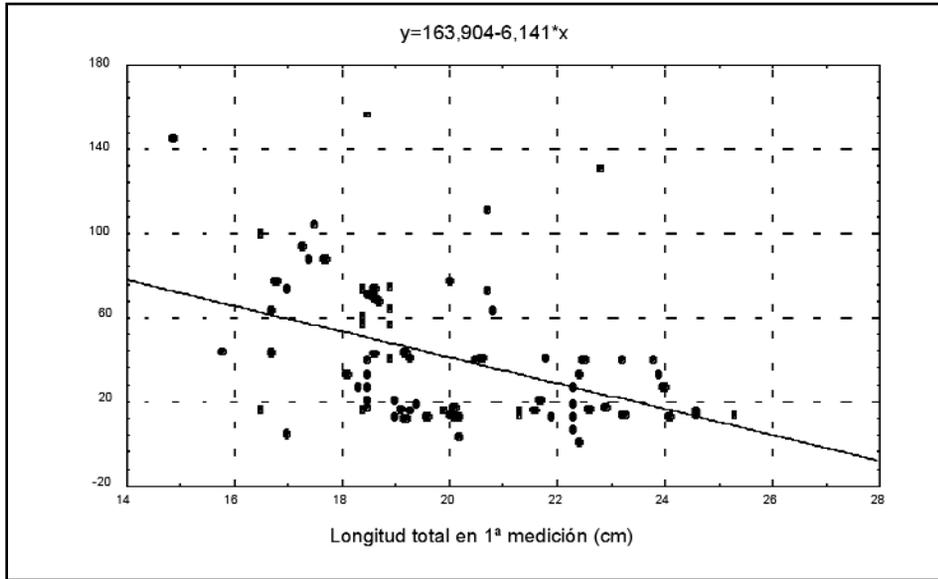


Figura 30. Relación entre el número de días entre capturas y la tasa de crecimiento diario entre capturas de la longitud del cefalotórax.

Existe una correlación negativa entre el número de días entre capturas y la longitud total, es decir, que los camarones se recapturan más pronto cuánto más grandes son (ver Fig.31).



$R = 0,43$ $R^2 = 0,18$ Adjusted $R^2 = 0,175$
 $F(1,82) = 18,608$ $p < 0,00004$ Std.Error of estimate: 30,304

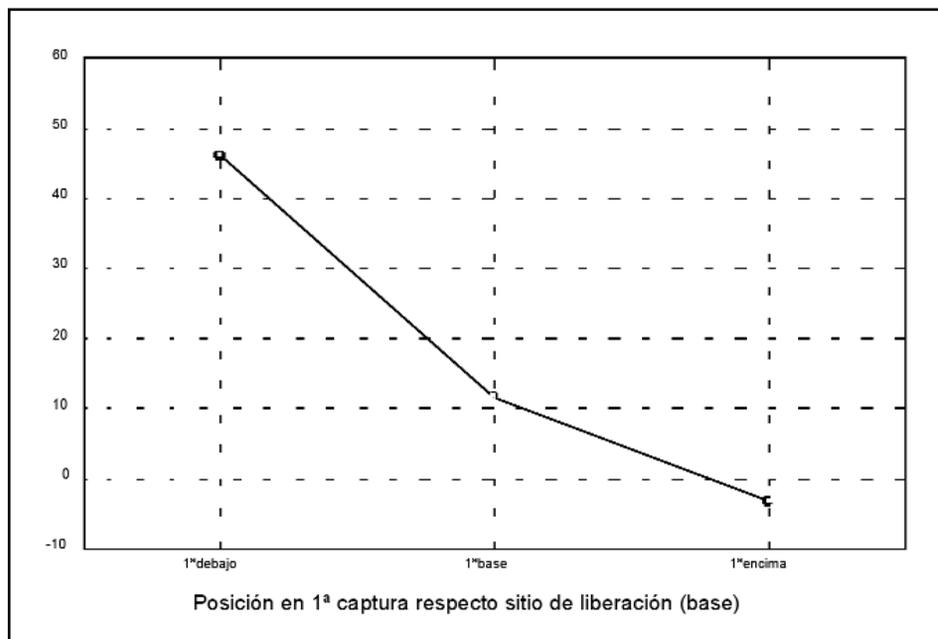
Figura 31. Regresión entre la longitud total en la primera medición y el número de días entre la captura y la recaptura.

No se encontraron diferencias significativas entre sitios de muestreo en crecimiento diario de peso, de longitud total, de longitud cefalotórax y de longitud pinza ($p > 0.1$ en todos los casos). En cambio, sí se encontraron diferencias significativas entre sexos en la tasa de crecimiento diario de peso (media machos=0.46, $N=58$; media hembras=0.18, $N=14$; ANOVA Kruskal-Wallis test: $H(1, N=72) = 5,479318$ $p = 0,0192$), pero no en crecimiento diario en longitud total (media machos=0.0133, $N=48$; media hembras=0.0136, $N=21$; $p=0.71$) ni en longitud cefalotórax (media machos=0.047, $N=63$; media hembras=0.031, $N=24$; $p=0.58$). En el caso de la longitud de la pinza, no se encontraron diferencias significativas pero sí se observa una clara tendencia a un crecimiento superior en machos (media machos=0.23, $N=56$; media hembras=0.051, $N=16$).

De 89 recapturas efectuadas, únicamente 7 correspondieron a movimientos de más de 1 kilómetro, y 6 correspondieron a movimientos

entre 150 m. y 1 kilómetro. El resto de animales se recapturaron a menos de 150 m. de distancia de la primera captura. La recaptura efectuada a mayor distancia fue a 5 km. de la primera captura.

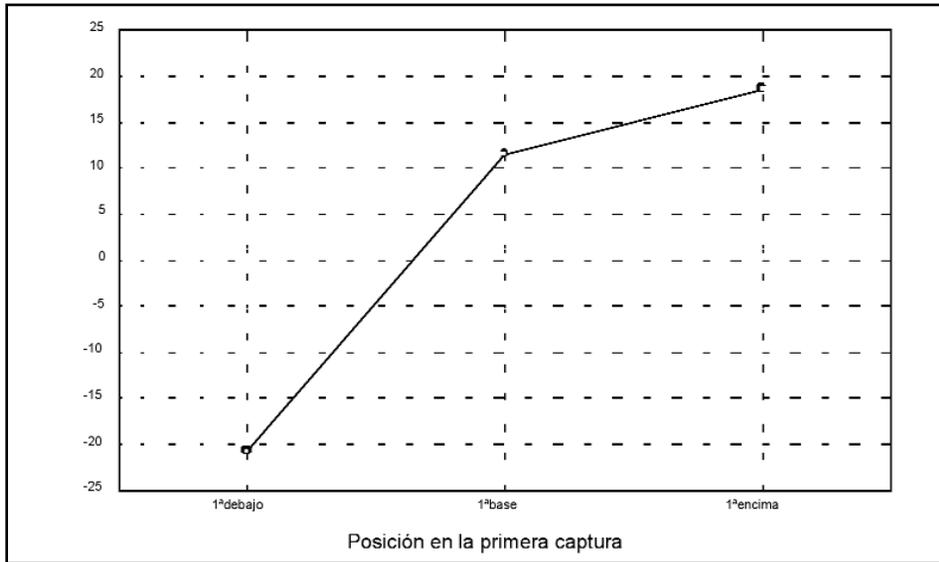
En los análisis efectuados en la zona de Aguas Frescas, se encontraron diferencias significativas en los movimientos entre la primera y la segunda captura según si el animal había sido capturado por primera vez encima de la base o sitio de liberación, por debajo de la base o justo en ella (ANOVA Kruskal-Wallis test: $H(2, N=37) = 9,625641$ $p = ,0081$) (ver Fig.32).



(ANOVA Kruskal-Wallis test: $H(2, N=37) = 9,625641$ $p = ,0081$)

Figura 32. Comparación de los movimientos entre la primera y la segunda captura según si el animal había sido capturado por primera vez por encima, por debajo o justo enfrente del sitio de liberación de los camarones marcados (o base).

Igualmente, se encontraron diferencias significativas en los movimientos entre el sitio de liberación y el sitio de recaptura según si el animal había sido capturado por primera vez encima de la base o sitio de liberación, por debajo de la base o justo en ella (ANOVA Kruskal-Wallis test: $H(2, N=37) = 7,380028$ $p = ,0250$) (ver Fig.33).



(ANOVA Kruskal-Wallis test: $H(2, N=37) = 7,380028$ $p = ,0250$)

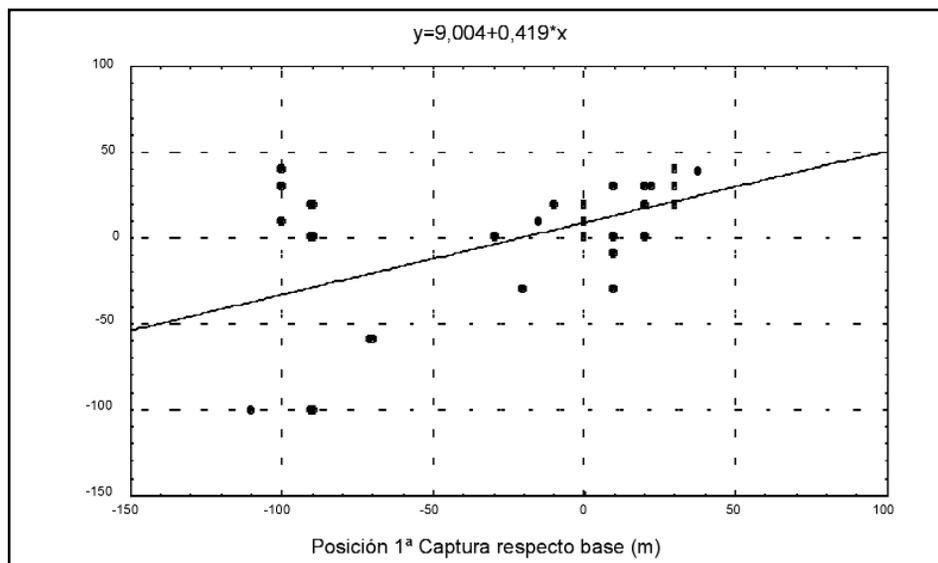
Figura 33. Comparación de los movimientos entre el sitio de liberación y el sitio de recaptura según si el animal había sido capturado por primera vez por encima, por debajo o justo enfrente del sitio de liberación de los camarones marcados (o base).

Como se puede observar (ver Fig.44 y 45), los animales que se capturaron por primera vez por debajo del sitio de liberación, de promedio se desplazaron 20 m. a favor de corriente pero todavía se quedaron 47 m. por encima del lugar de primera captura. Los animales que se capturaron por primera vez en el sitio de liberación, se desplazaron de promedio 11m. a contracorriente. Finalmente, los animales capturados por primera vez por encima del sitio de liberación, se desplazaron de promedio 19 m. a contracorriente con respecto al lugar de liberación, quedándose de promedio unos 3 m. por debajo del lugar de primera captura.

Encontramos una correlación muy significativa entre la posición de primera captura respecto de la base y el movimiento respecto de esta base después de la liberación (ver Tabla 16 y Fig.34).

	BETA	St. Err. of BETA	B	St. Err. of B	t(35)	p-level
Intercept			9,0040	5,6200	1,6022	0,1181
Distancia sitio 1ºcap. a base	0,5285	0,1435	0,4191	0,1138	3,6827	0,0008

Tabla 16. Resultados de la regresión entre la posición de primera captura respecto de la base y el movimiento respecto de esta base después de la liberación.



R= 0,53 R_{adj} = 0,28 Adjusted R_{adj} = 0,26
 F(1,35)=13,563 p<,00077 Std.Error of estimate: 32,386

Figura 34. Análisis de regresión entre la posición de primera captura respecto de la base y el movimiento respecto de esta base después de la liberación.

En la tabla 17 se puede observar el movimiento de los camarones con respecto al sitio de liberación según la posición relativa de su primera captura respecto de la base.

Posición sitio de 1ª captura	%	Movimiento respecto sitio de liberación
Encima	75,0	suben (44% regresan al mismo sitio de 1ª captura)
Encima	12,5	no se mueven
Encima	12,5	bajan
Debajo	42,9	bajan
Debajo	42,9	suben
Debajo	14,3	no se mueven
Base	85,7	suben
Base	14,3	no se mueven

Tabla 17. Movimiento de los camarones con respecto al sitio de liberación según la posición relativa de su primera captura respecto de la base.

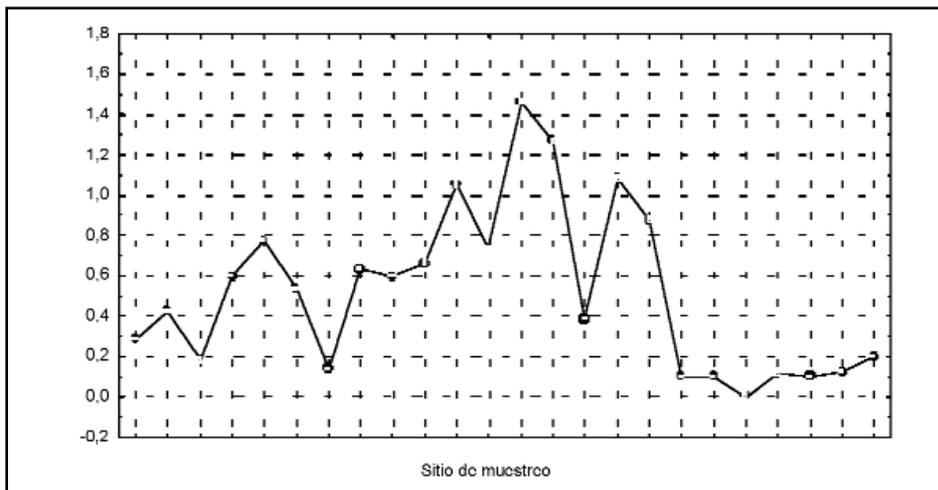
Con todos estos resultados podemos comprobar que el camarón de río, una vez liberado, tiene una clara tendencia a volver al lugar dónde se encontraba previamente, lo cual demuestra su territorialidad. Sin embargo, esto es especialmente cierto para los camarones capturados la primera vez

por encima del lugar de liberación, mientras que los capturados primero en la base acostumbran a ir a contracorriente en lugar de quedarse dónde estaban, y de los capturados primero por debajo de la base hay dos grandes grupos de animales: unos que bajan a favor de corriente en dirección a su antigua morada y otros que se desplazan a contracorriente en sentido contrario. Con todo esto parece ser que el camarón de río tiene una tendencia general a desplazarse a contracorriente.

Abundancias relativas de *M. carcinus* en los muestreos:

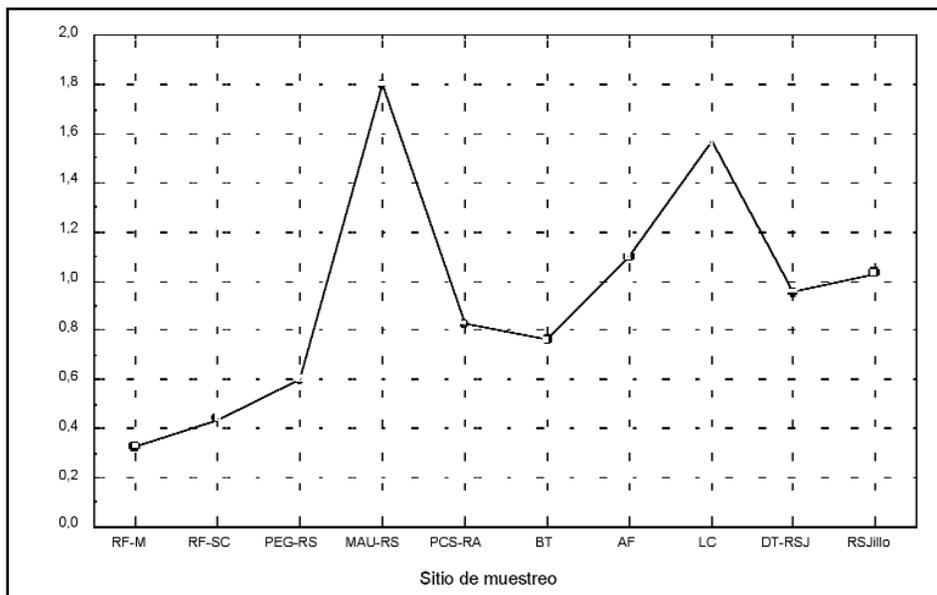
Abundancia relativa por sitio de muestreo:

Existen diferencias significativas entre sitios de muestreo en la abundancia relativa de *M. carcinus* (ANOVA Kruskal-Wallis test: $H(9, N=141) = 66,67529$ $p < 0,0001$). En la Figura 35 podemos ver cómo varía la abundancia a lo largo de la cuenca del Río San Juan y el río Indio. Se observa que las mayores abundancias se dan en el curso medio del Río San Juan, concretamente en Las Cruces, con un valor aproximado de 1.4 camarones/nasa, mientras que el curso medio-alto y bajo del San Juan presentan abundancias alrededor de 1 camarón/nasa, los afluentes del San Juan presentan abundancias de 0.2-0.6 camarones/nasa y el río Indio y las lagunas del delta del San Juan presentan abundancias muy bajas, de 0-0.2 camarones/nasa.



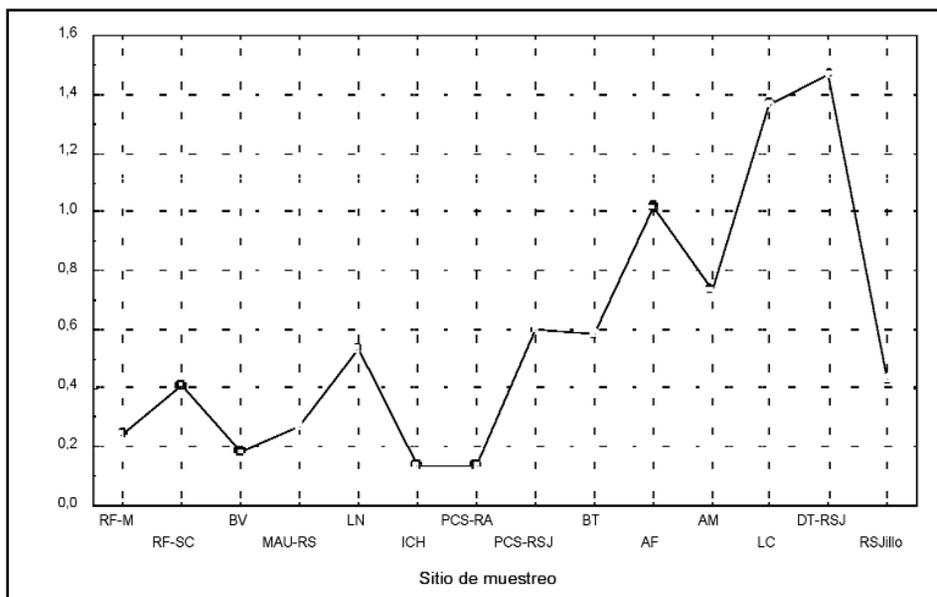
(ANOVA Kruskal-Wallis test: $H(9, N=141) = 66,67529$ $p < 0,0001$)

Figura 35. Abundancia relativa de *M. carcinus* en los distintos sitios de muestreo de la cuenca del Río San Juan y del río Indio.



(ANOVA Kruskal-Wallis test: $H(9, N=77) = 36,66339$ $p < 0,0001$)

Figura 36. Abundancia relativa de *M. carcinus* considerando únicamente los meses de la estación lluviosa y los sitios habituales de muestreo de la cuenca del Río San Juan.



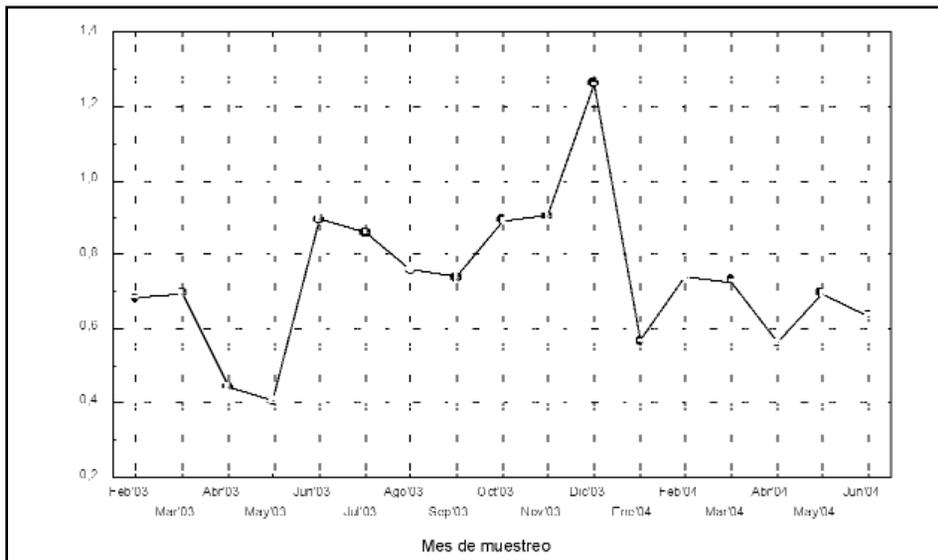
(ANOVA Kruskal-Wallis test: $H(9, N=85) = 36,66313$ $p < 0,0001$)

Figura 37. Abundancia relativa de *M. carcinus* considerando únicamente los meses de la estación seca y los sitios habituales de muestreo de la cuenca del Río San Juan.

Como se puede observar en las figuras 36 y 37, mientras en el curso medio y alto-medio del Río San Juan la abundancia de camarones se mantiene estable en las dos estaciones, en los ríos Sábalo y Pocosol las abundancias son mucho mayores en invierno que en verano. En río Frío no se observa esta variación, pero esto se debe al efecto de la pesca, que es muy fuerte en invierno y neutraliza el efecto del incremento de la abundancia. En el caso del curso bajo del San Juan, observamos una diferencia entre Delta y río San Juanillo: mientras que en el primer caso la abundancia es algo mayor en verano, en el segundo caso la abundancia es mucho mayor en invierno que en verano. En el caso del río Indio, siempre las abundancias son muy bajas.

Abundancia relativa por mes de muestreo:

No existen diferencias significativas entre meses de muestreo en la abundancia relativa de *M. carcinus* (ANOVA Kruskal-Wallis test: $H(9, N=97) = 9,187373$ $p=0,42$). Es posible que la no significancia de las diferencias se deba a que para cada mes de muestreo la N tiene valores bajos (de 6 a 12 noches de muestreo). En la Figura 38 podemos ver cómo varía la abundancia a lo largo de la cuenca del Río San Juan y el río Indio.

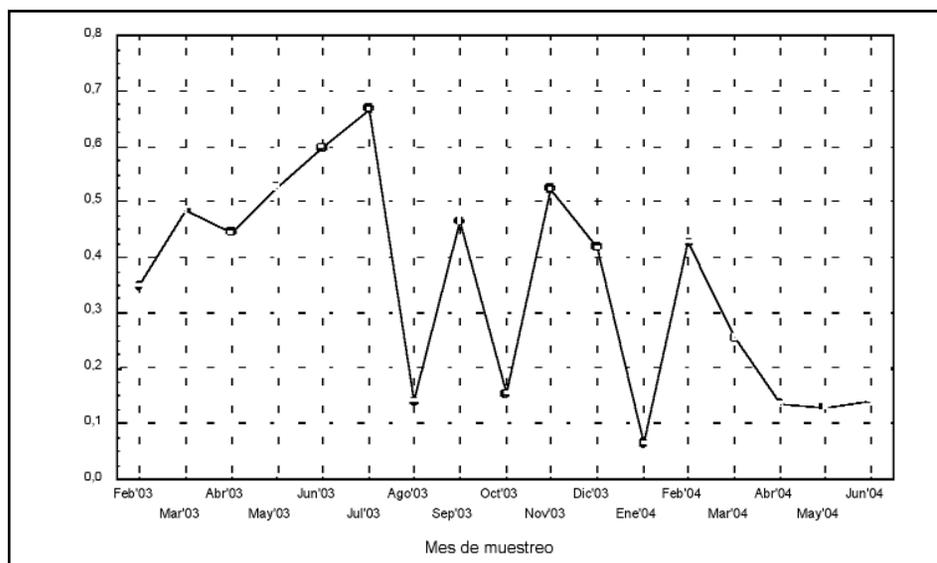


(ANOVA Kruskal-Wallis test: $H(9, N=97) = 9,187373$ $p = ,4202$)

Figura 38. Abundancia relativa de *M. carcinus* en los distintos meses de muestreo considerando únicamente los sitios de muestreo de la cuenca alta y media del Río San Juan (de Las Cruces para arriba).

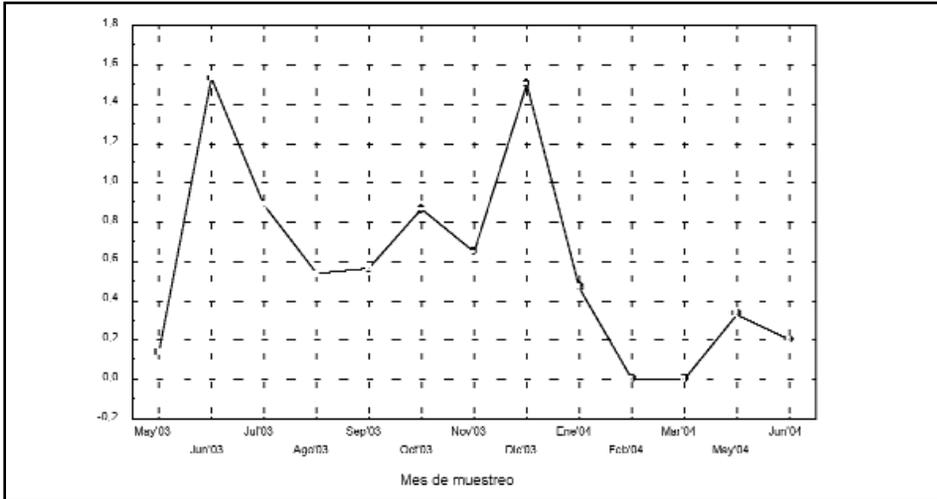
Se puede observar que las abundancias son mayores en los meses de la estación lluviosa que durante la estación seca, con valores mínimos en los meses de Abril y Mayo, y que las mayores abundancias se dan al inicio y al final de la estación de lluvias (Junio-Julio y Diciembre). Esto coincide mucho con lo que dicen los pescadores (ver 'Encuesta socioeconómica).

En el caso de río Frío (ver Fig.39) se puede observar como la abundancia va aumentando durante la estación seca hasta el inicio del invierno, con un máximo en el mes de Julio, pero a partir de entonces las capturas varían mucho de un mes a otro durante todo el resto del invierno, hasta que en verano la abundancia disminuye de un modo muy significativo.



(ANOVA Kruskal-Wallis test: $H(9, N=35) = 8,333508$ $p=0,50$)

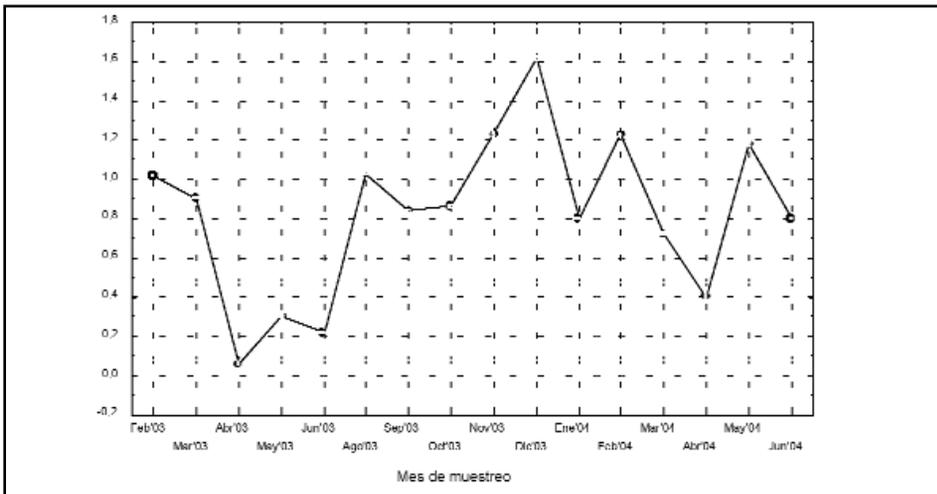
Figura 39. Abundancia relativa de *M. carcinus* en los distintos meses de muestreo considerando únicamente el río Frío.



(ANOVA Kruskal-Wallis test: $H(9, N=15) = 10,45000$ $p=0,32$)

Figura 40. Abundancia relativa de *M. carcinus* en los distintos meses de muestreo considerando únicamente el río Pocosol.

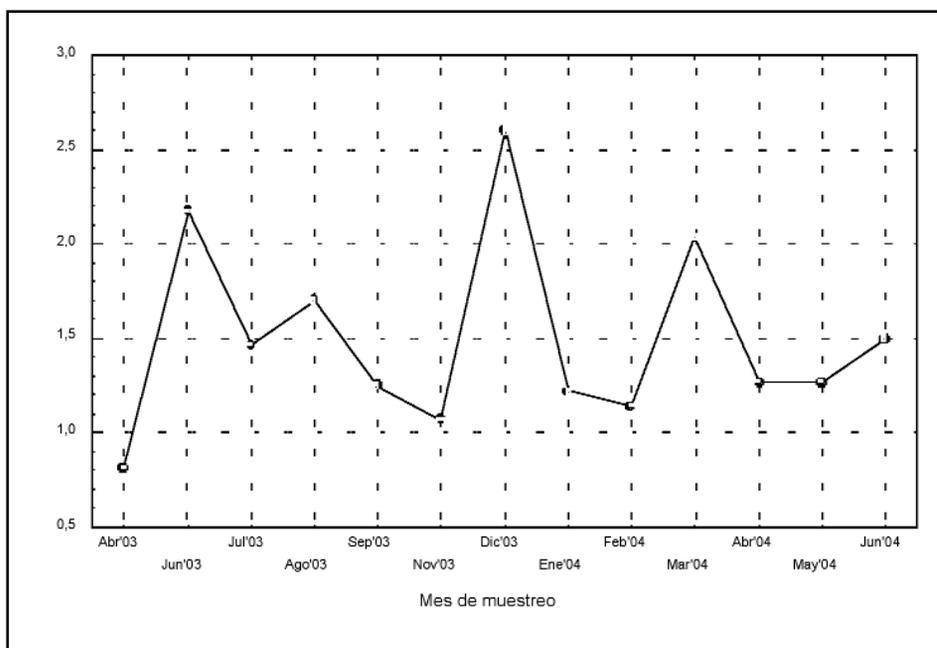
En el caso del río Pocosol, la abundancia de *M. carcinus* es muy baja en la estación seca (de hecho no se capturó ningún camarón), mientras que en la estación lluviosa es bastante alta, con picos muy marcados en el primer y último mes de invierno (Junio y Diciembre).



(ANOVA Kruskal-Wallis test: $H(9, N=29) = 14,40657$ $p=0,1086$)

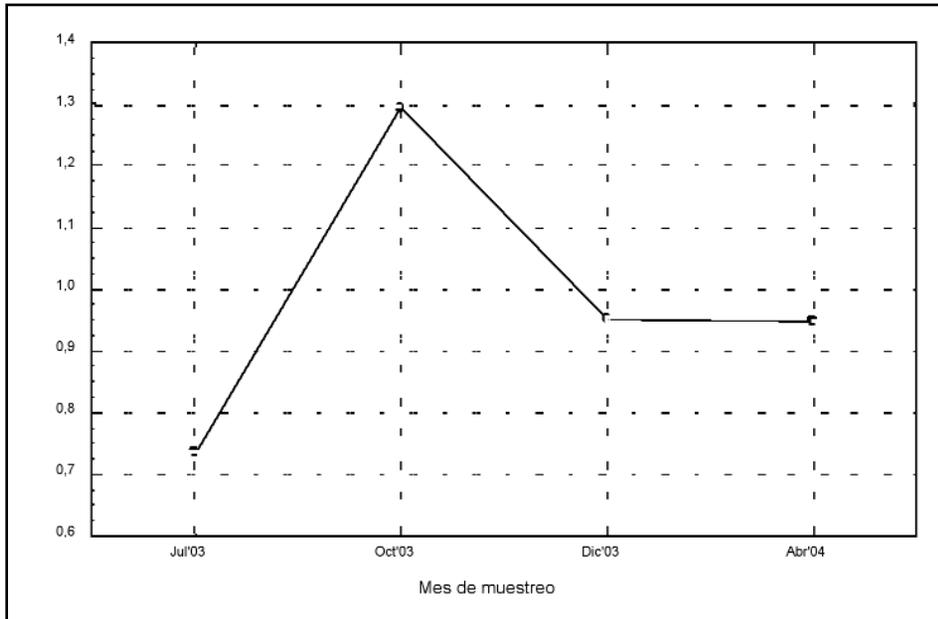
Figura 41. Abundancia relativa de *M. carcinus* en los distintos meses de muestreo considerando únicamente Aguas Frescas y Bartola.

En Aguas Frescas y Bartola (Fig.41) se observa que la abundancia de camarones bajó mucho en Abril del 2003, se recuperó en el mes de Agosto del mismo año y tuvo un máximo en Diciembre, bajando durante la época seca con un mínimo en Abril y aumentando nuevamente con el inicio de la época de lluvias.



(ANOVA Kruskal-Wallis test: $H(9, N=15) = 12,02500$ $p=0,212$)

Figura 42. Abundancia relativa de *M. carcinus* en los distintos meses de muestreo considerando únicamente Las Cruces.



(ANOVA Kruskal-Wallis test: $H(3, N=8) = 2,166667$ $p = ,539$)

Figura 43. Abundancia relativa de *M. carcinus* en los distintos meses de muestreo considerando únicamente Delta y Río Sanjuanillo.

En el sitio de Las Cruces (ver Fig.42) se observa que la abundancia era muy baja en Abril, aumentó mucho en el mes de Junio, bajó desde entonces hasta en Noviembre, tuvo un pico muy marcado en Diciembre, cayó en Enero y Febrero, tuvo otro pico en Marzo y volvió a valores más bajos de Abril a Junio.

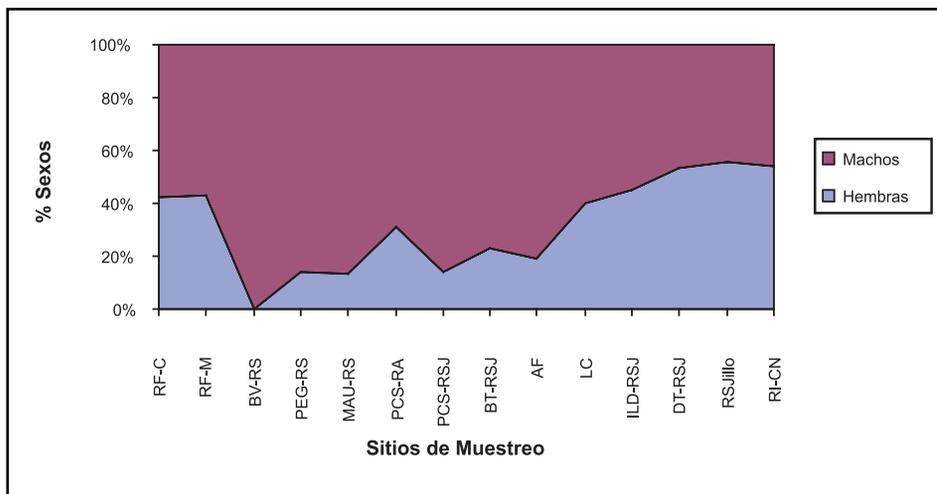
En el caso del curso bajo del San Juan, se puede ver (Fig.43) que la abundancia de camarones fue mínima en Julio del 2003, máxima en octubre del mismo año y volvió a valores más bajos en Diciembre y Abril.

Proporción de machos y hembras de *M. carcinus* en los muestreos:

La proporción de machos y hembras en los muestreos fue de 1.89:1, es decir, casi dos machos por cada hembra capturada. Esta relación de sexos es muy diferente a la encontrada en otros estudios (ver discusión). A continuación analizamos las variaciones en esta proporción según sitios de muestreo y meses del año.

Proporción de sexos por sitio de muestreo:

Existen diferencias significativas entre sitios de muestreo en la proporción de sexos (Chi-cuadrado de Pearson: $p < 0.0001$). En la Figura 7 podemos ver cómo varía esta proporción a lo largo de la cuenca del Río San Juan y sus afluentes.

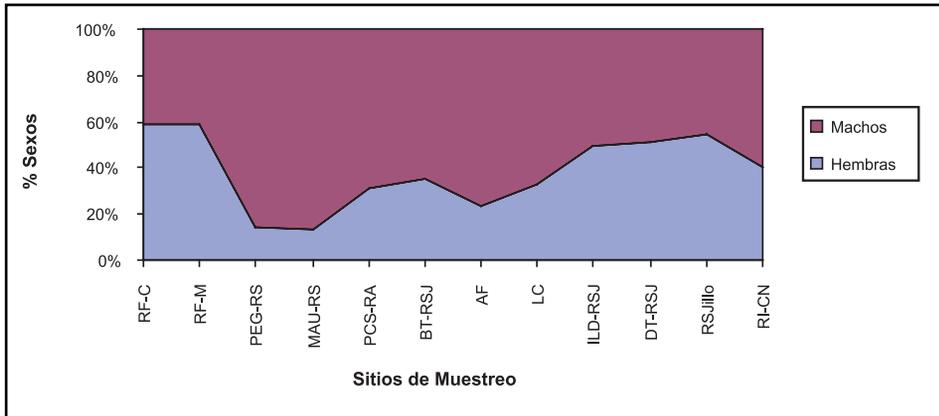


(Chi-cuadrado de Pearson: $p < 0.0001$)

Figura 44. Porcentaje de machos y hembras en los distintos sitios de muestreo a lo largo del Río San Juan, además del porcentaje en los ríos Indio y Caño Negro (RI-CN).

Cómo se puede observar, los mayores porcentajes de machos se dan en el río Sábalos y en el Río San Juan de Pocosol hasta Aguas Frescas, mientras que en río Frío, en río Pocosol y sobretodo en el curso bajo del Río San Juan y río Indio se dan los mayores porcentajes de hembras.

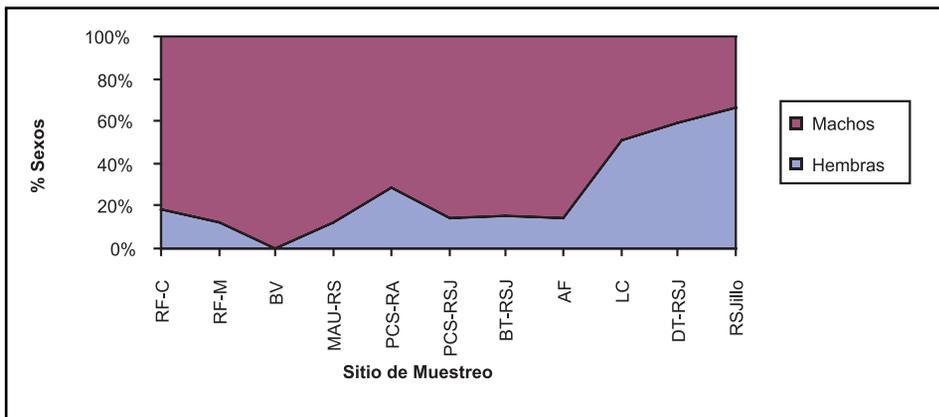
Sin embargo, este patrón tiene un marcado carácter estacional. Así, en la Figura 45 podemos ver cómo en la estación lluviosa río Frío presenta los mayores porcentajes de hembras seguido del curso bajo del Río San Juan, mientras que el río Sábalos presenta los mayores porcentajes de machos seguido del sitio de Aguas Frescas.



(Chi-cuadrado de Pearson: $p < 0.0001$)

Figura 45. Porcentaje de machos en la estación lluviosa en los distintos sitios de muestreo a lo largo del Río San Juan, además del porcentaje en los ríos Indio y Caño Negro (RI-CN)(en el caso de Machado el valor de %Machos se basa únicamente en un día de muestreo).

En cambio, en la Figura 46 podemos observar cómo en la estación seca los porcentajes de machos son muy altos en el curso alto del Río San Juan y en sus afluentes, mientras que de las hembras se concentran de Las Cruces hasta el mar.

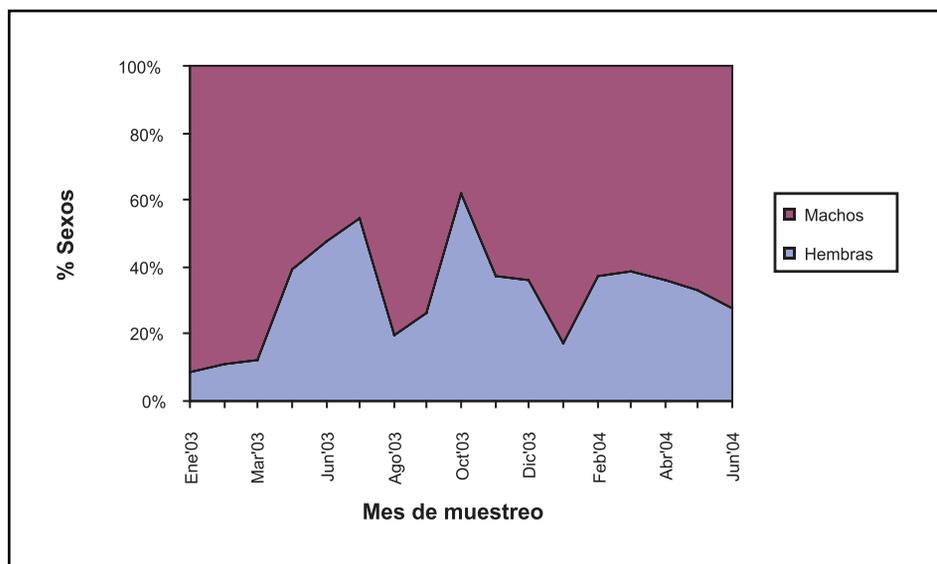


(Chi-cuadrado de Pearson: $p < 0.0001$)

Figura 46. Porcentaje de machos en la estación seca en los distintos sitios de muestreo a lo largo del Río San Juan.

Proporción de sexos por mes de muestreo:

Existen diferencias significativas entre meses de muestreo en la proporción de sexos (Chi-cuadrado de Pearson: $p < 0.0001$). En la Figura 47 podemos ver cómo varía esta proporción de Febrero del 2003 a Junio del 2004.



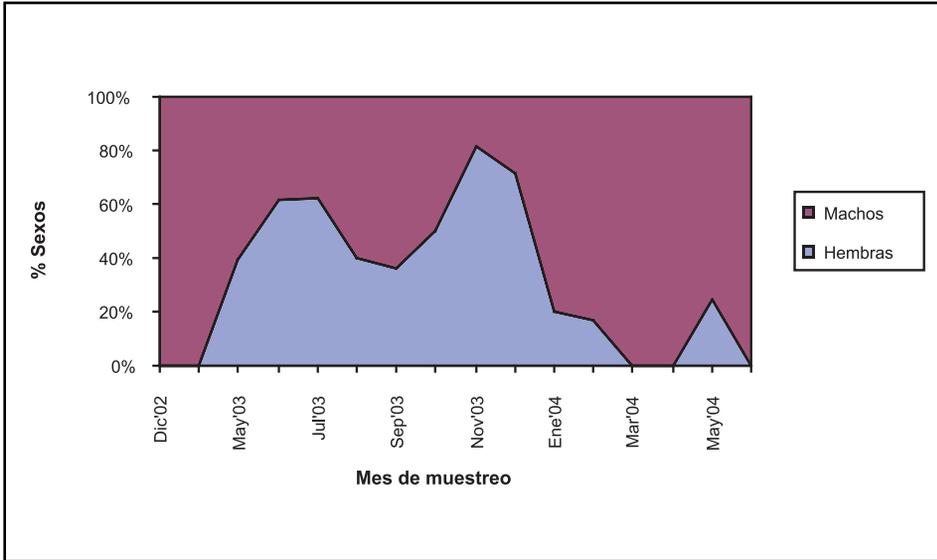
(Chi-cuadrado de Pearson: $p < 0.0001$)

Figura 47. Proporción de machos y hembras a lo largo de los distintos meses de muestreo en los sitios habituales de muestreo de la cuenca del Río San Juan (RF-M, RF-SC, PCS-RA, PCS-RSJ, BT, AF y LC.)

La variación fenológica en la proporción de sexos depende del sitio de muestreo. A continuación veremos cómo varía este patrón según diferentes sitios fijos de muestreo:

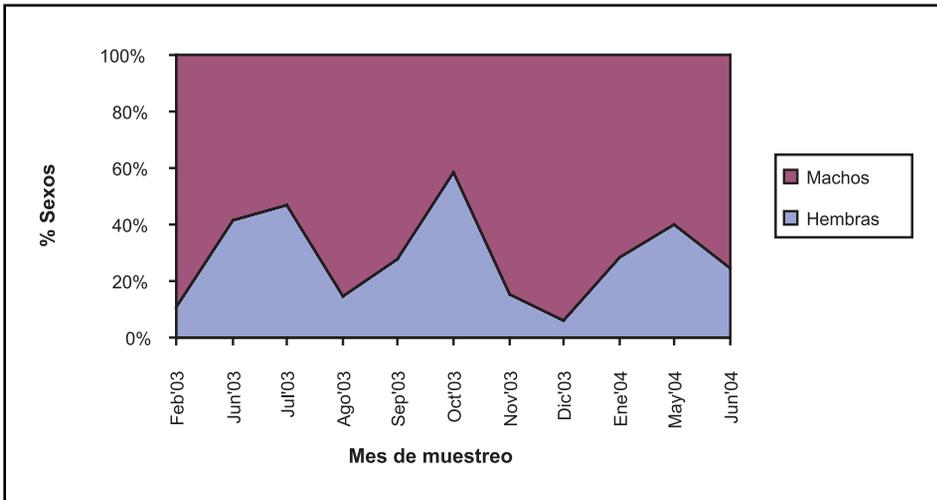
-Río Frío (ver Fig.48): en la estación seca prácticamente no hay hembras en este río. En cambio, en la estación lluviosa las hembras constituyen entre el 40 y el 80% de la población. Las dos épocas de mayores abundancias de hembras son el inicio (Junio-Julio) y el final (Noviembre-Diciembre) del invierno, tal y como señalaron los pescadores en la encuesta (ver 'Encuesta socioeconómica').

-Río Pocosol (ver Fig.49): este río presenta un patrón muy similar al de río Frío, con porcentajes muy bajos de hembras en la estación seca (de hecho, en este río en verano casi no se agarran camarones) y porcentajes máximos al inicio (Mayo-Julio) y a finales (Octubre) de la estación de lluvias.



(Chi-cuadrado de Pearson: $p < 0.0001$)

Figura 48. Patrón fenológico de porcentaje de machos y hembras en Río Frío.

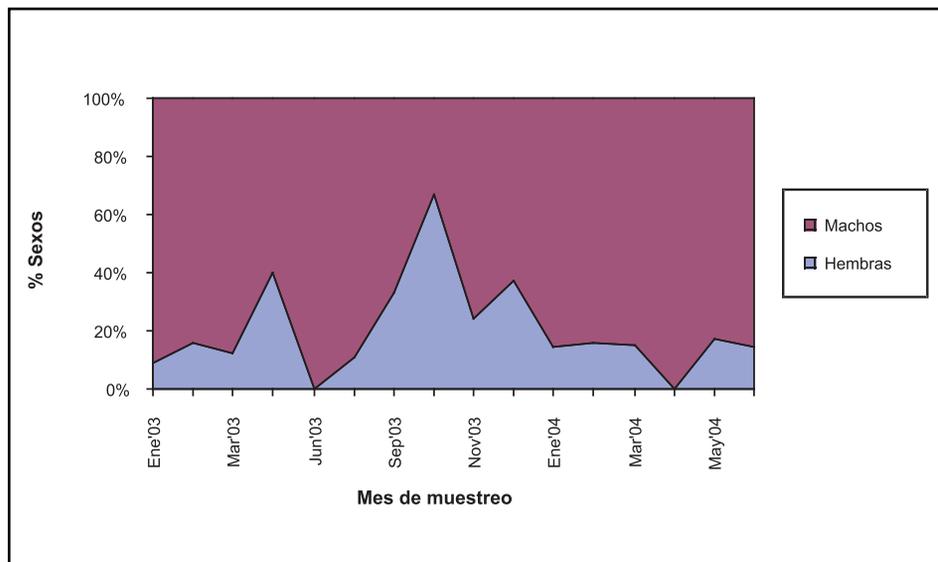


(Chi-cuadrado de Pearson: $p < 0.001$)

Figura 49. Patrón fenológico de porcentaje de machos y hembras en el río Pocosol.

-Río San Juan: este río presenta importantes diferencias según el tramo objeto de estudio.

-Aguas Frescas-Bartola: en este tramo hay un gran predominio de los machos en las capturas, sobretodo en la estación seca. En la estación lluviosa se observan entradas de hembras a la población en los meses de mayo, octubre y diciembre, aunque parece que estas no permanecen en la misma sino que están en migración.

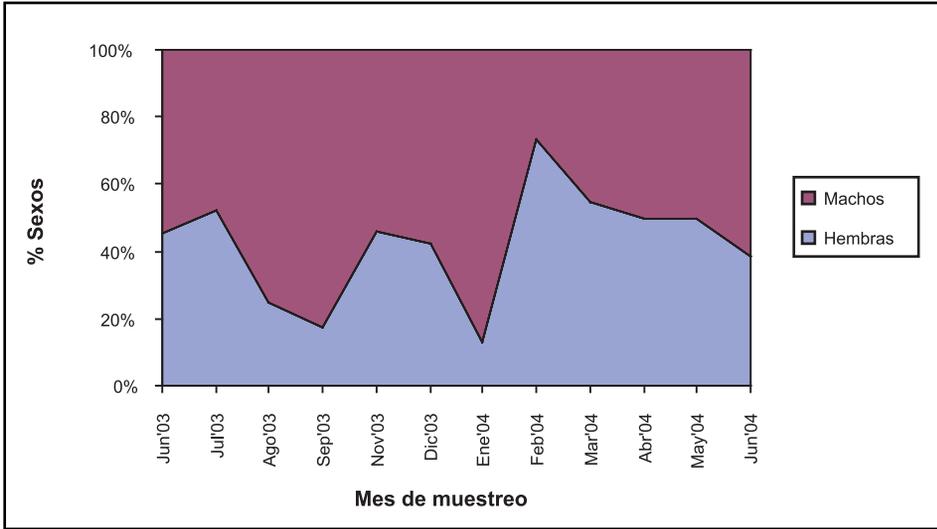


(Chi-cuadrado de Pearson: $p < 0.0001$)

Figura 50. Patrón fenológico de porcentaje de machos y hembras en Aguas Frescas y Bartola.

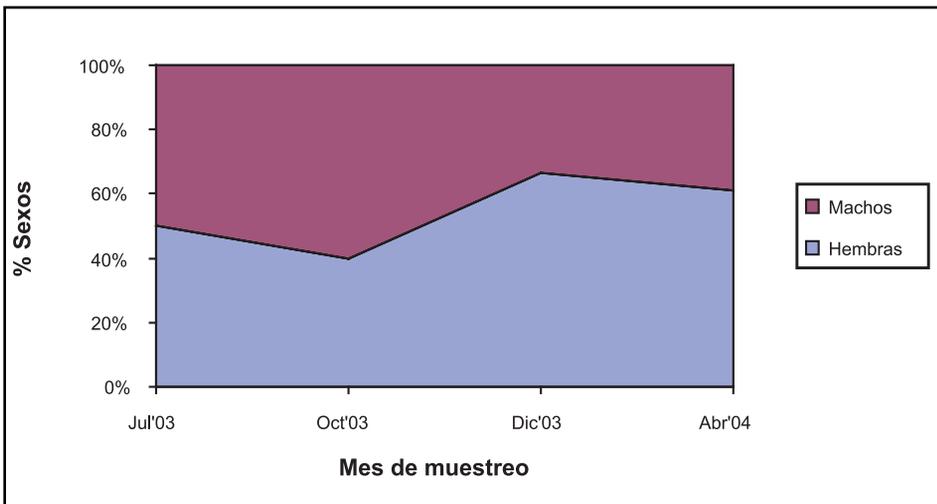
-Las Cruces: en este sitio de muestreo también se observa un pico en los porcentajes de hembras al inicio y al final del invierno, pero en este caso los porcentajes de hembras son muy altos durante todos los meses de verano (este patrón, que se observa para el 2004, también se observó en el verano del 2003, cuando en un muestreo realizado en Abril se encontró un gran porcentaje de hembras, aunque no disponemos de las cifras exactas por razón de la pérdida de hojas de datos en esos meses).

-Delta-Río Sanjuanillo: en estos puntos de muestreo cercanos al mar los porcentajes se mantienen muy estables a lo largo de todo el año alrededor del 40-60% de hembras. Sin embargo, se observan valores algo superiores en verano que en invierno.



(Chi-cuadrado de Pearson: $p < 0.0001$)

Figura 51. Patrón fenológico de porcentaje de machos y hembras en Las Cruces.



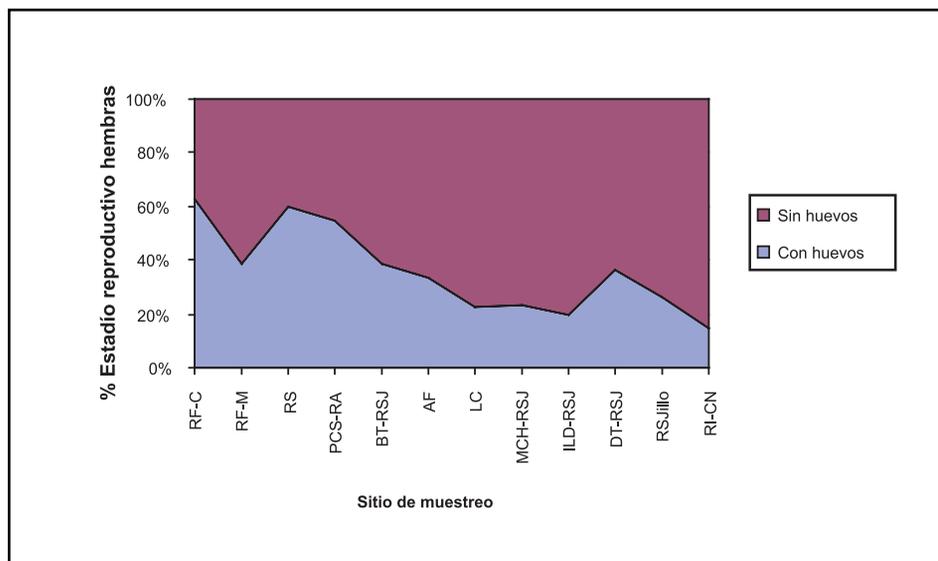
(Chi-cuadrado de Pearson: $p = 0.08$)

Figura 52. Patrón fenológico de porcentaje de machos y hembras en Delta y Río Sanjuanillo.

Proporción de hembras con y sin huevos de *M. carcinus* en los muestreos:

Proporción de hembras con y sin huevos por sitio de muestreo:

Existen diferencias significativas entre sitios de muestreo en la proporción de hembras con y sin huevos (Chi-cuadrado de Pearson: $p < 0.01$). En la Figura 53 podemos ver cómo varía esta proporción a lo largo de la cuenca del Río San Juan y sus afluentes.



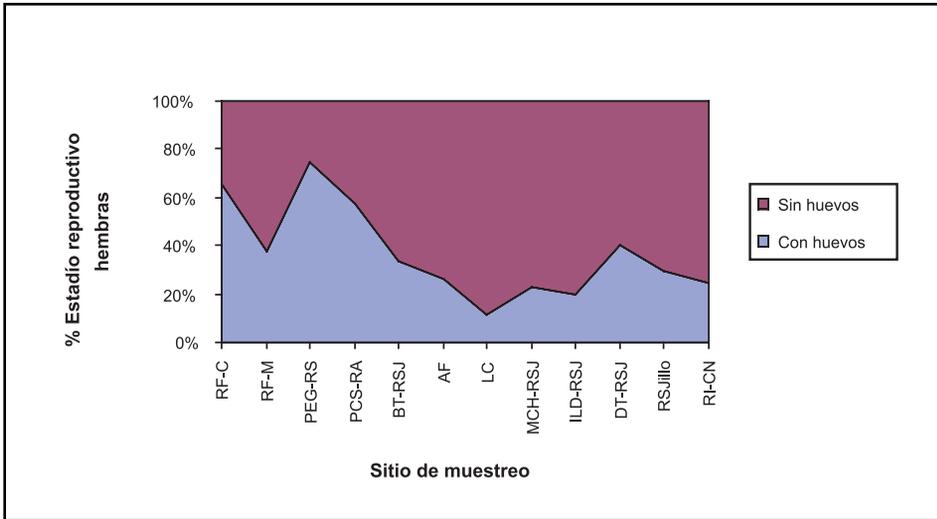
(Chi-cuadrado de Pearson: $p < 0.01$)

Figura 53. Proporción de hembras con y sin huevos a lo largo de los distintos meses de muestreo en la cuenca del Río San Juan y en el río Indio y Caño Negro (RI-CN)(RS: Río Sábalo, suma de BV, MRC-RS y PEG-RS).

Cómo se puede observar, los mayores porcentajes de hembras con huevos se dan en los ríos afluentes del San Juan, con valores alrededor del 50%, mientras que en el Río San Juan estos se encuentran alrededor del 40% en el curso medio-alto (Bartola-Aguas Frescas) y bajo (Delta-Río Sanjuanillo), mientras que bajan al 20% en el curso medio (Las Cruces-Isla La Danta).

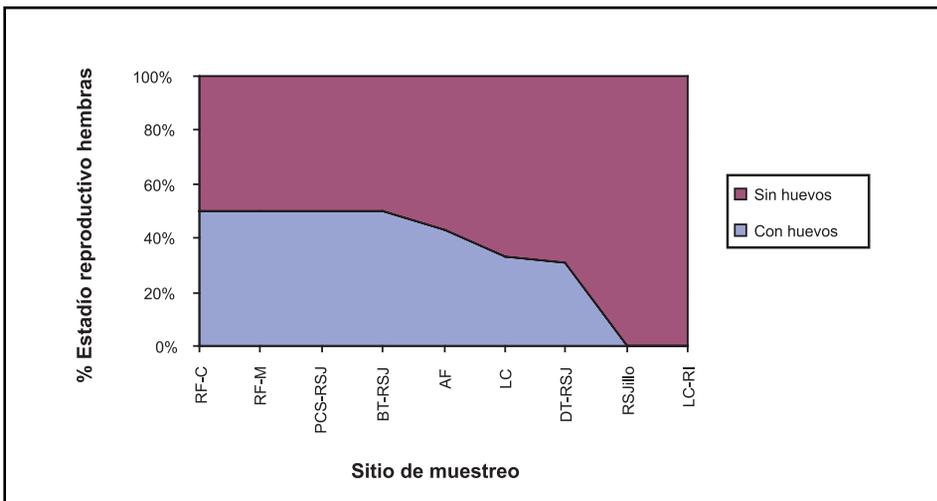
Sin embargo, este patrón general se debe básicamente a las proporciones encontradas en la estación lluviosa (ver Figura 54), mientras

que en la estación seca no se observan diferencias significativas entre sitios (ver Figura 55; el bajo porcentaje observado en RSJillo y en LC-RI



(Chi-cuadrado de Pearson: $p < 0.001$)

Figura 54. Proporción de hembras con y sin huevos en la estación lluviosa en la cuenca del Río San Juan y en el río Indio y Caño Negro (RI-CN).)

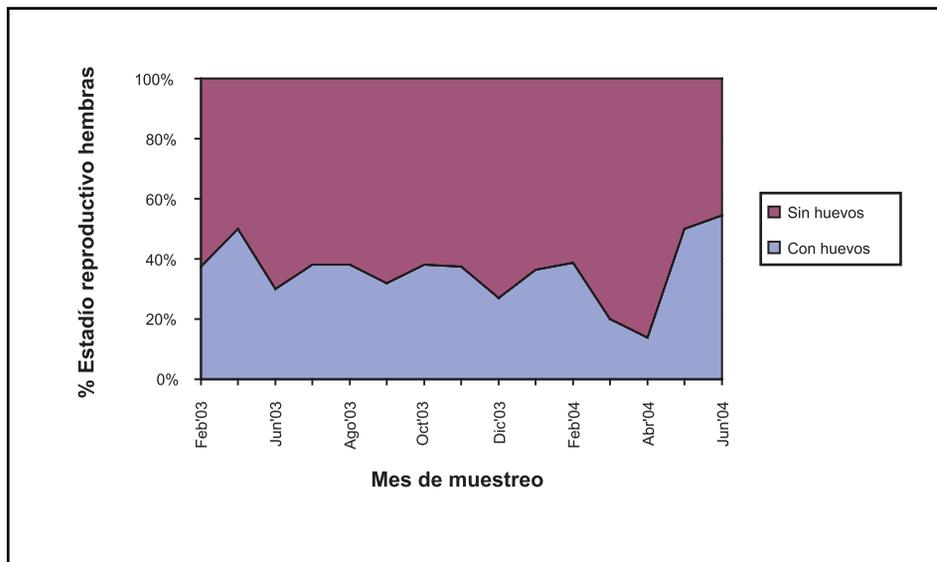


(Chi-cuadrado de Pearson: $p = 0.84$)

Figura 55. Proporción de hembras con y sin huevos en la estación seca en la cuenca del Río San Juan y en el río Indio.

Proporción de hembras con y sin huevos por mes de muestreo:

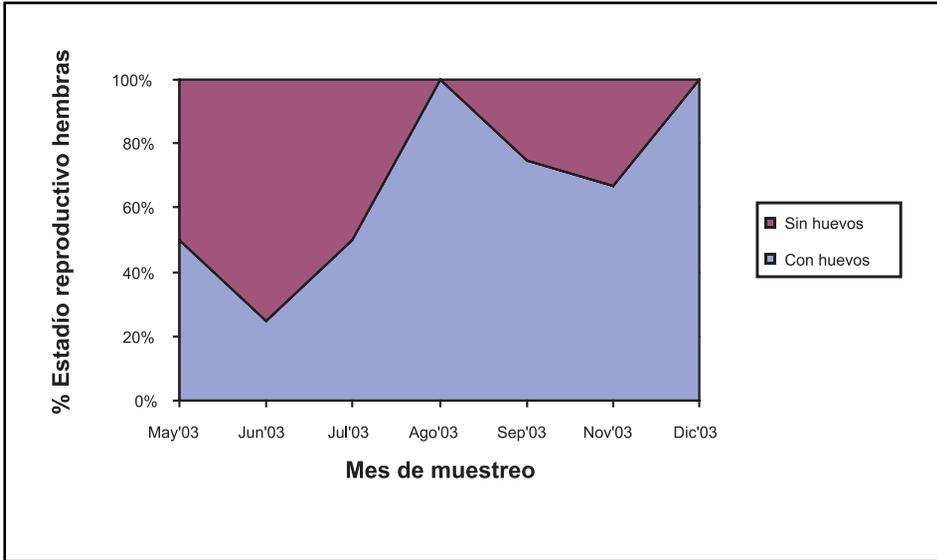
No existen diferencias significativas entre meses de muestreo en la proporción de hembras con y sin huevos (Chi-cuadrado de Pearson: $p=0.23$). En la Figura 56 podemos ver cómo varía esta proporción de Febrero del 2003 a Junio del 2004.



(Chi-cuadrado de Pearson: $p=0.23$)

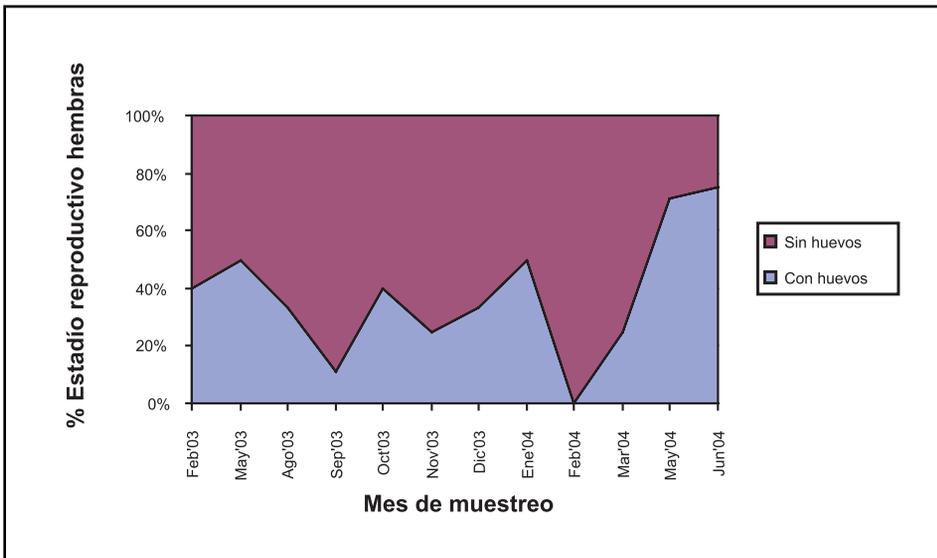
Figura 56. Proporción de hembras con y sin huevos a lo largo de los distintos meses de muestreo en la cuenca del Río San Juan y del río Indio.

Cómo se puede observar, el porcentaje de hembras con huevos se mantiene muy estable durante toda la estación de lluvias, con valores alrededor del 30-40%, aunque con valores especialmente altos a inicios de la estación (Mayo del 2003 y Mayo-Junio del 2004). En cambio, a finales de la estación seca estos porcentajes alcanzan su mínimo, con valores inferiores al 20% (meses de Marzo y Abril del 2004, no hay datos para el 2003). Esta variación fenológica, sin embargo, presenta patrones específicos para cada tramo de río.



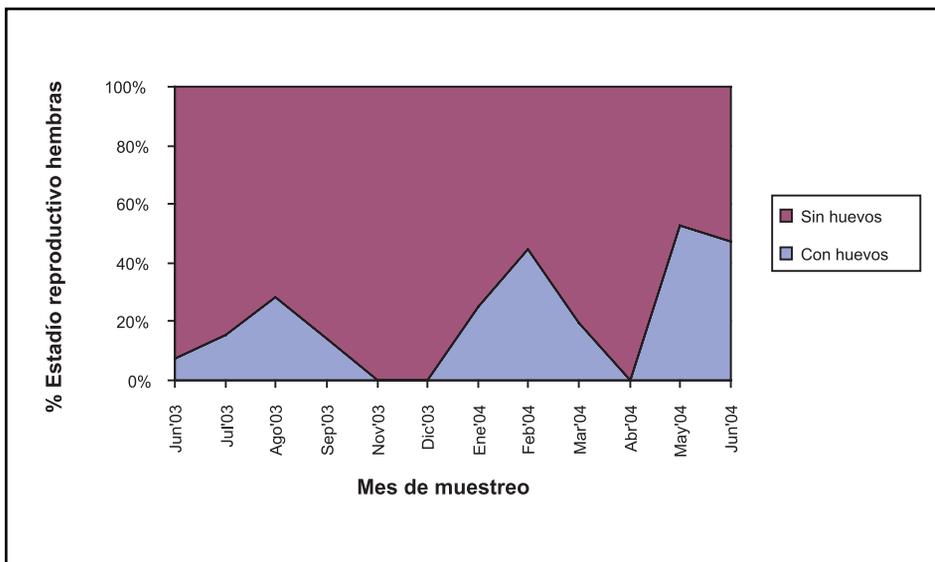
(Chi-cuadrado de Pearson: $p=0.23$)

Figura 57. Proporción de hembras con y sin huevos a lo largo de los distintos meses de muestreo en Río Frío.



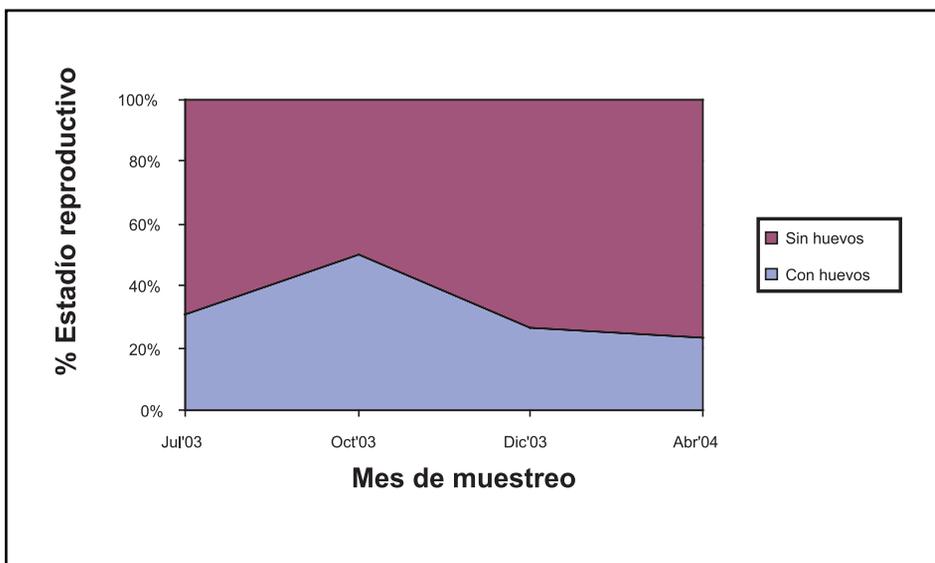
(Chi-cuadrado de Pearson: $p=0.61$)

Figura 58. Proporción de hembras con y sin huevos a lo largo de los distintos meses de muestreo en Aguas Frescas y Bartola.



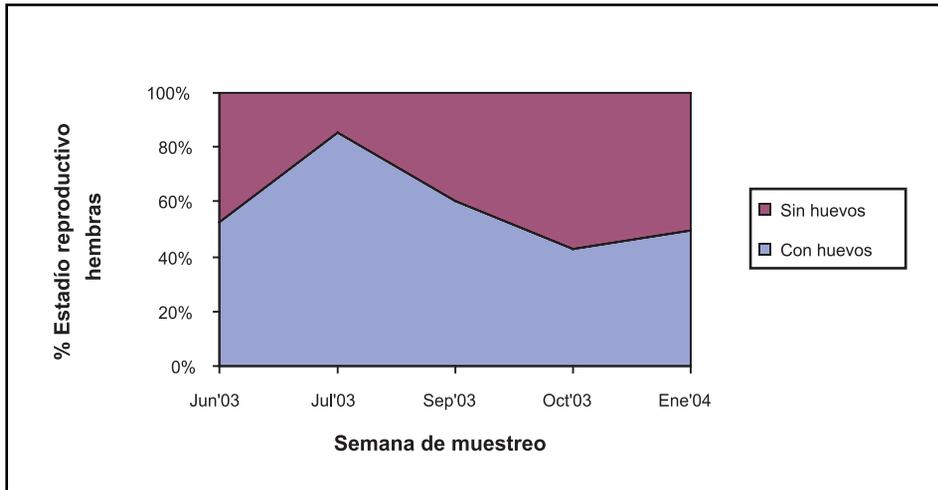
(Chi-cuadrado de Pearson: $p < 0.01$)

Figura 59. Proporción de hembras con y sin huevos a lo largo de los distintos meses de muestreo en Las Cruces.



(Chi-cuadrado de Pearson: $p < 0.34$)

Figura 60. Proporción de hembras con y sin huevos a lo largo de los distintos meses de muestreo en Delta y Río Sanjuanillo.



(Chi-cuadrado de Pearson: $p < 0.69$)

Figura 61. Proporción de hembras con y sin huevos a lo largo de los distintos meses de muestreo en el río Pocosol.

Cómo se puede observar, en río Frío se dieron dos picos de gravidez en Agosto y Diciembre (este último coincide con lo que comentaron los pescadores, ver 'Encuesta socioeconómica'), en río Pocosol se dio un pico en Julio, en Aguas Frescas se dieron picos en Mayo-Junio y en Octubre-Enero, en Las Cruces en Mayo-Junio y en Agosto y Febrero y en Delta-Sanjuanillo se dio un pico en Octubre. Únicamente las diferencias observadas en Las Cruces fueron significativas.

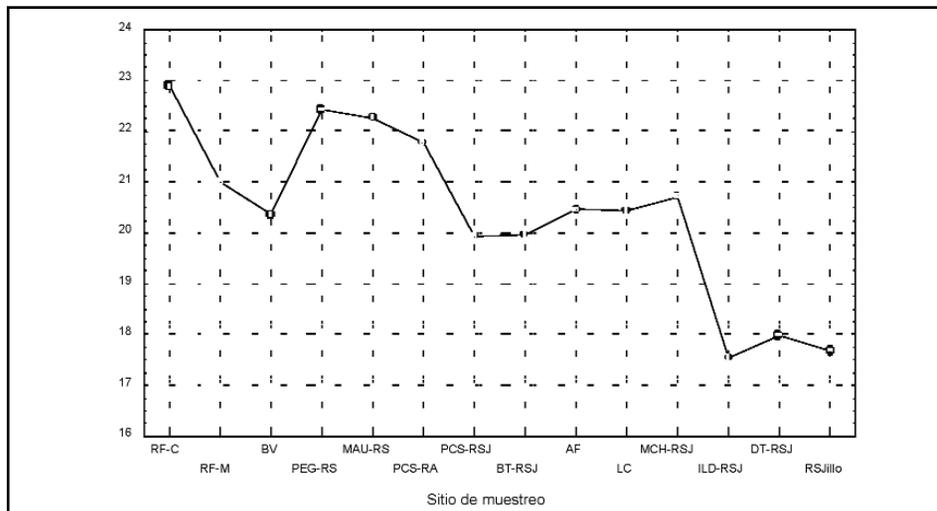
Tamaño de los machos de *M. carcinus* en los muestreos:

Tamaño de los machos por sitio de muestreo:

Existen diferencias significativas entre sitios de muestreo en el tamaño de los machos (ANOVA Kruskal-Wallis test: $H(9, N=1130) = 82,84206$ $p < 0,0001$). En la Figura 62 podemos ver cómo varía el tamaño medio de los machos a lo largo de la cuenca del Río San Juan y sus afluentes.

Se puede observar que el tamaño de los machos es mayor en los ríos afluentes del San Juan que en el curso principal de este río, y que en el curso medio del San Juan el tamaño es mayor que en el curso bajo. Por lo tanto, parece que los machos presentan mayor tamaño cuanto más lejos del

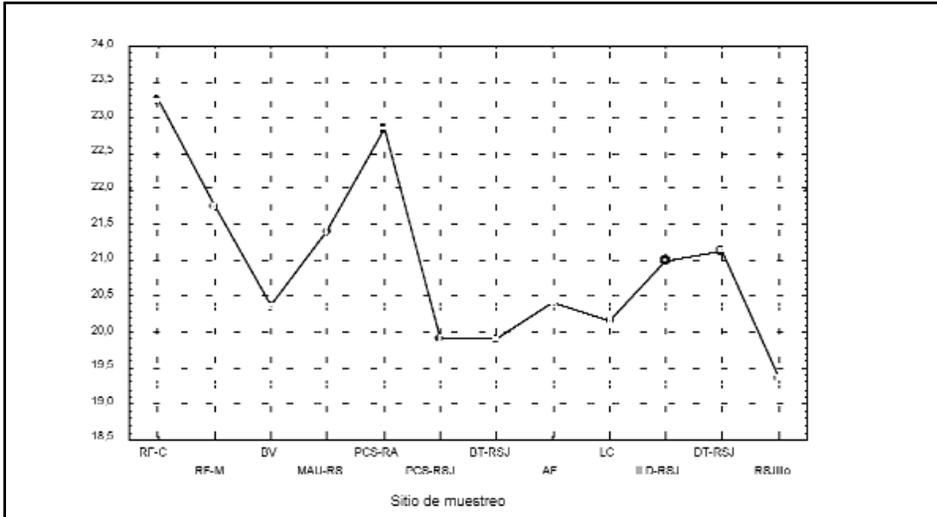
mar. Sin embargo, en el caso de los río Frío y Sábalos, el tamaño medio de los machos es mayor cerca de su desembocadura al Río San Juan que lejos



(ANOVA Kruskal-Wallis test: $H(9, N=1130) = 82,84206$ $p < 0,0001$)

Figura 62. Tamaño medio de los machos de *M. carcinus* a lo largo de los distintos sitios de muestreo en la cuenca del Río San Juan.

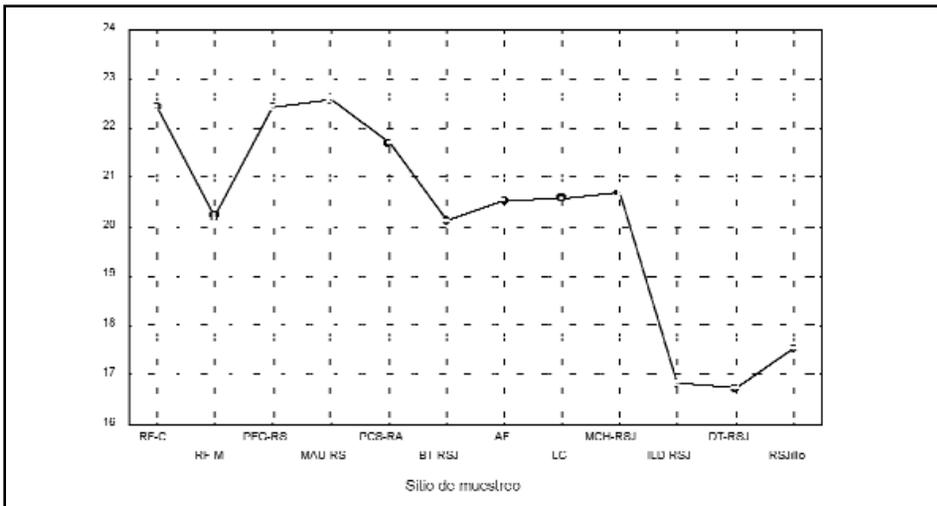
En la estación seca también existen diferencias significativas entre sitios de muestreo en el tamaño de los machos (ANOVA Kruskal-Wallis test:



(ANOVA Kruskal-Wallis test: $H(9, N=334) = 27,90535 p=0,001$)

Figura 63. Tamaño medio de los machos de *M. carcinus* a lo largo de los distintos sitios de muestreo en la cuenca del Río San Juan en los meses de la estación seca.

En la estación lluviosa también existen diferencias significativas entre sitios de muestreo en el tamaño de los machos (ANOVA Kruskal-Wallis test: $H(8, N=460) = 78,00903 p<0.0001$) (ver Fig. 64).



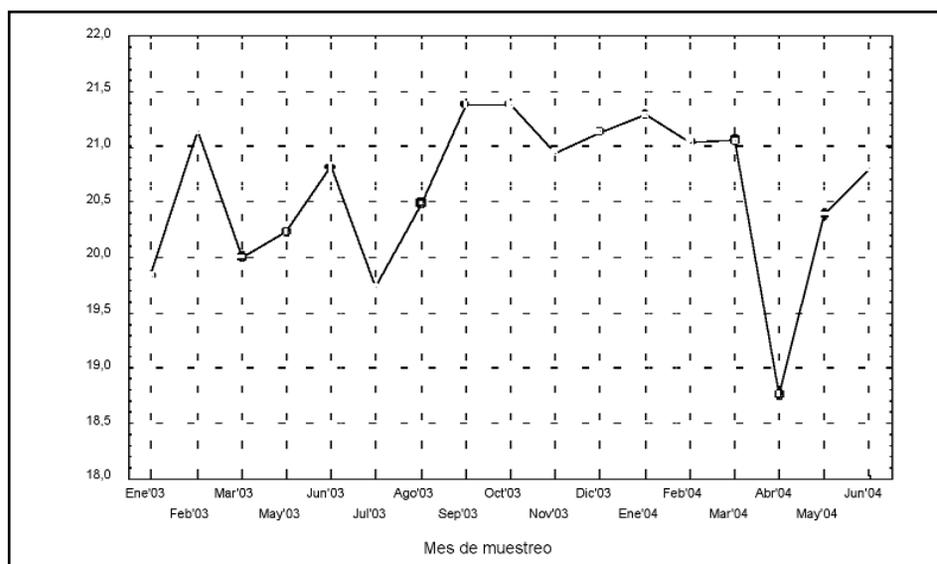
(ANOVA Kruskal-Wallis test: $H(8, N=460) = 78,00903 p<0.0001$)

Figura 64. Tamaño medio de los machos de *M. carcinus* a lo largo de los distintos sitios de muestreo en la cuenca del Río San Juan en los meses de la estación lluviosa.

Cómo se puede ver en las dos figuras anteriores, tanto en verano como en invierno los machos son de mayor tamaño en río Frío, río Pocosol y río Sábalos (excepto BV, dónde se capturaron únicamente machos pequeños) que en el Río San Juan, pero mientras en invierno los machos son mayores en el curso medio que en el curso bajo de este último río, en verano son del mismo tamaño.

Tamaño de los machos por mes de muestreo:

Existen diferencias significativas entre meses de muestreo en el tamaño de los machos (ANOVA Kruskal-Wallis test: $H(9, N=389) = 17,03234$ $p=0,048$). En la Figura 65 podemos ver cómo varía el tamaño medio de los machos en los sitios habituales de muestreo. Se observa que el tamaño de los machos osciló en verano y la 1ª mitad del invierno del 2003, se mantuvo con valores muy constantes en la 2ª mitad del invierno e inicio del verano del 2004, cayó en picado en el mes de Abril y volvió a los valores normales al inicio del invierno de ese mismo año.

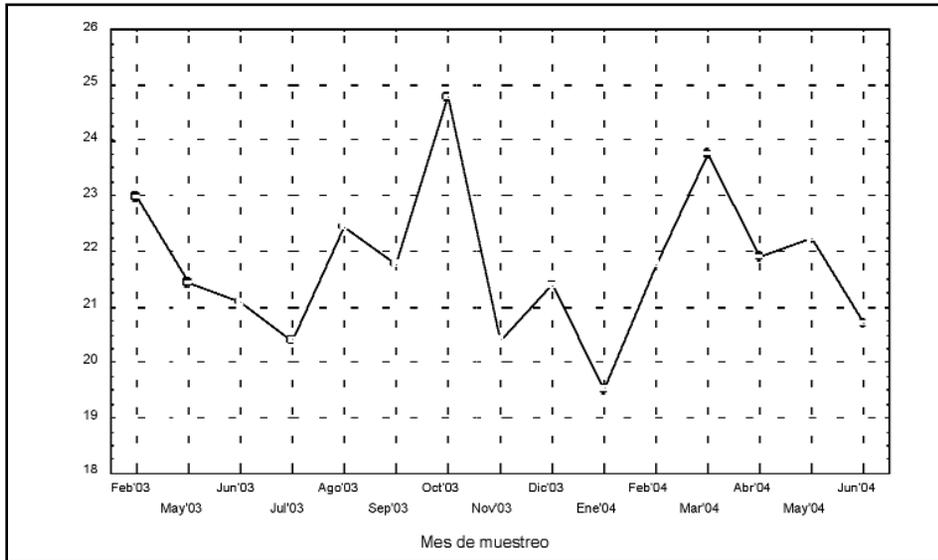


(ANOVA Kruskal-Wallis test: $H(9, N=389) = 17,03234$ $p=0,048$)

Figura 65. Tamaño medio de los machos de *M. carcinus* en los distintos meses de muestreo en los sitios habituales de muestreo (RF-M, RF-C, BT, AF, LC).

El patrón general, sin embargo, varía según los sitios de muestreo. En el caso de río Frío (ver Fig.66) el tamaño medio de los machos tiene sus

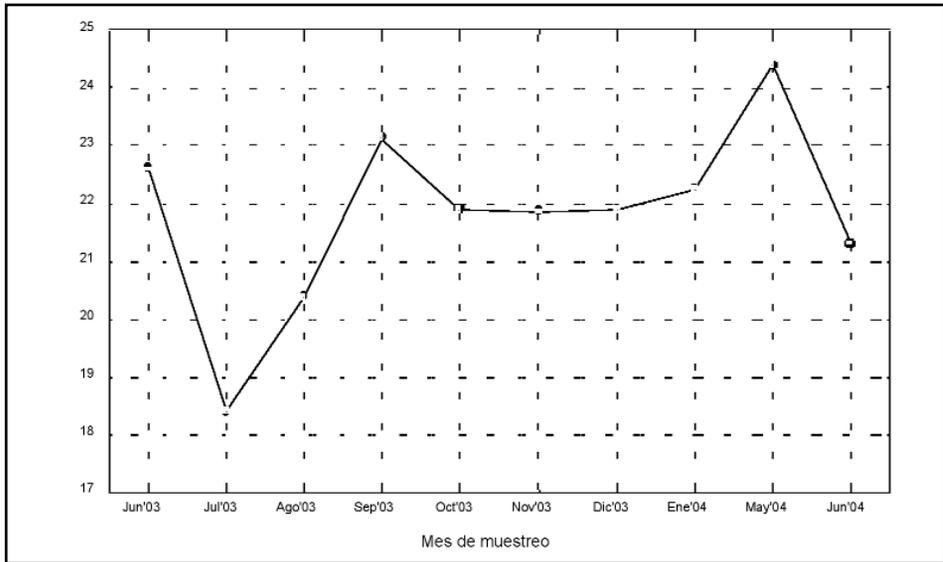
valores mayores en los meses de verano y a mediados de invierno, con mínimos a inicios y finales de la estación lluviosa (justo cuando hay mayores abundancias de hembras y mayores capturas en general).



(ANOVA Kruskal-Wallis test: $H(9, N=66) = 8,886485$ $p=0,45$)

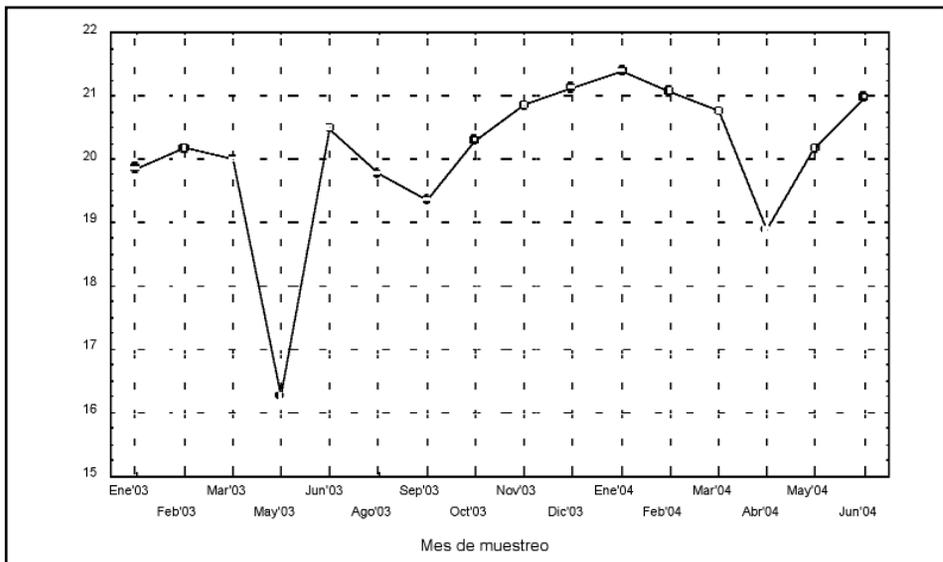
Figura 66. Tamaño medio de los machos de *M. carcinus* en los distintos meses de muestreo en Río Frío.

En el caso de Pocosol (ver Fig.67) el tamaño medio de los machos (no hay valores para los meses de verano, cuando no hay capturas en ese lugar) presentó valores bastante estables pero con un pico en Septiembre y Mayo y con valores muy bajos en los meses de Julio y Agosto. Especialmente extraño resulta el patrón en Junio y Julio del 2003, cuando se pasó de capturar machos de gran tamaño a capturar, en el mes siguiente, machos muy pequeños.



(ANOVA Kruskal-Wallis test: $H(9, N=66) = 8,886485$ $p=0,45$)

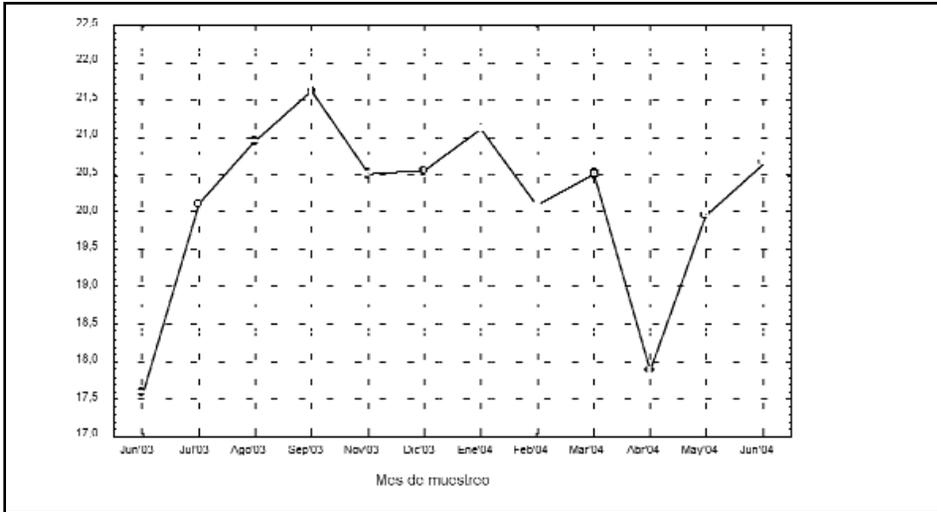
Figura 67. Tamaño medio de los machos de *M. carcinus* en los distintos meses de muestreo en Pocosol.



(ANOVA Kruskal-Wallis test: $H(9, N=151) = 16,01843$ $p=0,066$)

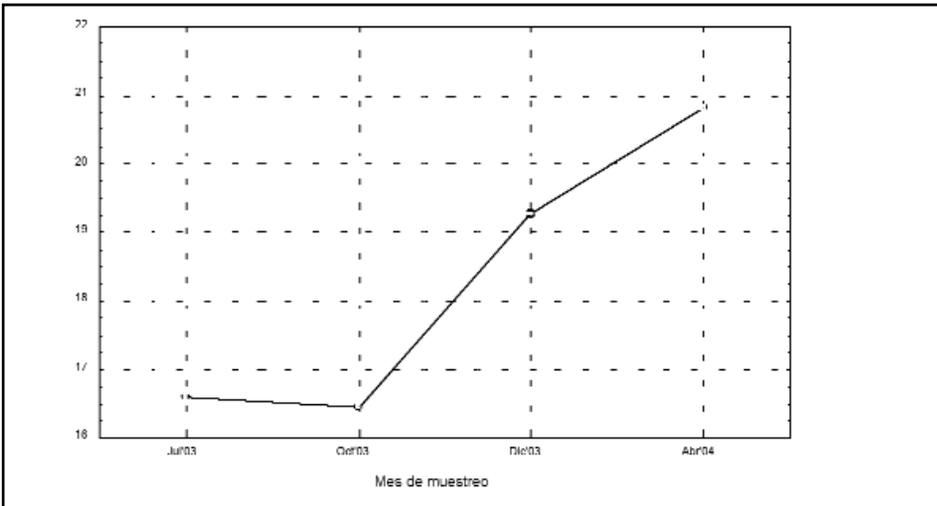
Figura 68. Tamaño medio de los machos de *M. carcinus* en los distintos meses de muestreo en Bartola y Aguas Frescas.

En el caso de Bartola y Aguas Frescas (ver Fig.68) el tamaño de los machos se mantuvo bastante constante con un mínimo muy marcado en Mayo del 2003 (que no es muy fiable, puesto que se basa en únicamente 3 machos capturados) y otro en el mes de Abril del 2004, y con valores máximos de Noviembre'03 a Marzo'04 y en el mes de Junio'04.



(ANOVA Kruskal-Wallis test: $H(9, N=190) = 30,05335$ $p=0,001$)

Figura 69. Tamaño medio de los machos de *M. carcinus* en los distintos meses de muestreo en Las Cruces



(ANOVA Kruskal-Wallis test: $H(3, N=58) = 15,70976$ $p=0,0013$)

Figura 70. Tamaño medio de los machos de *M. carcinus* en los distintos meses de muestreo en Delta y Río Sanjuanillo.

En el caso de Las Cruces (ver Fig.69) se puede observar como el tamaño de los machos es muy estable a lo largo de todo el año con dos mínimos muy marcados en Junio del 2003 y Abril del 2004.

Finalmente, en el caso del curso bajo del Río San Juan se observa que los machos presentan tamaños muy pequeños en los meses de invierno y tamaños medios más parecidos a los del resto del río en los meses de Diciembre y Abril (ver Fig.70).

Discusión

Distribución y abundancia comparada de las especies de crustáceos capturadas en los muestreos:

En el curso del Río San Juan des del Lago Cocibolca hasta su desembocadura, incluyendo la parte media y baja de sus afluentes directos, se encuentran las siguientes especies del género *Macrobrachium* por orden de abundancia: *M. carcinus*, *M. olfersi*, *M. acanthurus*, y *M. heterochirus*. Estas son todas las especies citadas por Holthuis (1980) para la vertiente atlántica de Costa Rica.

M. carcinus, la especie focal de este estudio, es sin duda la especie más abundante y con mayor importancia económica en la región. Se capturó en todos los tramos de río estudiados, con una abundancia máxima en el curso medio del Río San Juan y con una abundancia mínima en la laguna de San Juan del Norte, justo en la desembocadura del río. En cuanto a los afluentes estudiados, todos presentaron esta especie aunque en abundancias variables. El río Índio presentó abundancias muy bajas de esta especie, aunque las causas de esta escasez serán discutidas más adelante. En todos los tramos de río se capturaron machos adultos y hembras adultas con y sin huevos, pero en ningún sitio de muestreo se pudieron capturar individuos juveniles menores de 10 cm. de longitud total, aunque los pescadores comentan que a veces se capturan algunos individuos de 5-10 cm. en sus nasas y cajillas.

M. olfersi se capturó principalmente des del curso medio-bajo hasta la desembocadura del Río San Juan (excepto justo en la laguna salobre de San Juan del Norte). Sin embargo, es una especie que se encuentra presente en densidades bajas en el curso alto del río así como en sus afluentes, aunque en estas áreas de su distribución únicamente capturamos

machos adultos, mientras que en el curso bajo del río se encontraron grandes abundancias de juveniles y hembras.

M. acanthurus se capturó en el curso bajo del río casi exclusivamente (únicamente hubo alguna captura de machos adultos en el curso medio, ninguno en el curso alto donde esta especie es desconocida), con una gran abundancia en los manglares de la laguna de San Juan del Norte. Se capturaron gran número de juveniles y hembras con y sin huevos en estos tramos bajos y especialmente en la laguna.

M. heterochirus se capturó en Delta (1 solo individuo) y se recogió un animal capturado por un pescador en Río Frío. Esta especie es conocida por los pescadores de Río Frío y Pocosol, mientras que es desconocida por los pescadores del Río San Juan.

Mejía-Ortíz *et al.* (2001) encontraron en el río Huitzilapan (Veracruz, Mexico) que los adultos de *M. Acanthurus* y *M. carcinus* ocupaban las partes bajas del río en la zona estuarina, mientras que los adultos de *M. heterochirus* se distribuían de los 105 a los 535 m de altitud. Puesto que todos los tramos de río muestreados en nuestro estudio se encontraban por debajo de los 100m. de altitud, resulta comprensible la escasez de capturas de *M. heterochirus* en nuestros muestreos. Además, se entiende que esta especie sea conocida en los afluentes que reciben aguas de las tierras altas de Costa Rica y no en el mismo curso del Río San Juan. En este se supone que la presencia de *M. heterochirus* se debe relacionar con aspectos reproductivos, lo cual podría explicar la captura de un individuo adulto en Delta.

En cuanto a la distribución de las otras tres especies, el patrón encontrado resulta muy interesante y revelador. Mientras que *M. carcinus* presenta hembras con y sin huevos en todos los tramos de río, *M. offersi* y *M. acanthurus* únicamente las presentan en el curso bajo del mismo, muy cerca de su desembocadura, en aguas salobres. En el caso de *M. acanthurus* es destacable la gran abundancia de hembras con huevos y juveniles en los manglares de la laguna de San Juan del Norte, que parece ser un sitio preferencial de reproducción para esta especie (cosa que no ocurre para *M. offersi*). Los pescadores comentan que se capturan a veces hembras de chacalín (es decir, *M. offersi*) con huevos en el tramo alto del río y en sus afluentes, aunque si esto es cierto (nosotros no encontramos ninguna) se dará muy raramente. En el caso de *M. acanthurus* ni nosotros ni los pescadores hemos visto nunca hembras en los tramos medio y alto del Río San Juan ni en los afluentes, y de hecho esta especie es desconocida por encima de Boca de Sábalos. Estas diferencias tan notables en la

distribución de *M. carcinus* en comparación con *M. acanthurus* y *M. olfersi*, especialmente por lo que se refiere a las hembras, reflejan sin duda diferencias esenciales en su biología reproductiva que comentaremos más adelante.

Un caso curioso es el de los juveniles menores de 10 cm. de *M. carcinus*. En todo el estudio capturamos un total de 1381 individuos de esta especie, y ninguno de ellos medía menos de esa longitud total. Los camarones pequeños no pueden ser capturados con las nasas normales que tienen un ojo de malla de 1", pero sí con las nasas llamadas 'forradas' que fueron recubiertas con malla mosquitera plástica de un ojo de malla de 1mm. Con estas nasas capturamos gran cantidad de juveniles de *M. olfersi* y *M. acanthurus*, muchos de ellos con longitudes totales inferiores a los 3 cm. El porqué de la ausencia de juveniles de *M. carcinus* en los muestreos es todavía una incógnita para nosotros. Podría estar relacionada con uno de estos dos factores: a) que los alevines y juveniles de esta especie no se vean atraídos por la carnada de pescado; o b) que no se desplacen por el fondo del río sino por entre la vegetación acuática flotante y por lo tanto no se encuentren con las nasas. En cuanto a la primera hipótesis, la verdad es que resulta extraña. Si bien las larvas son planctófagas, los juveniles de esta especie ya son detritívoros y deberían verse atraídos por la carnada igual que los de las otras dos especies. En cuanto a la segunda hipótesis, si bien las larvas son planctónicas los alevines ya se desplazan por el fondo de los ríos a contracorriente. Por lo tanto, ninguna de las dos explicaciones resulta convincente, lo cual obliga a realizar posteriores estudios para aclarar esta incógnita.

En el caso de las otras capturas de crustáceos, es destacable observar la distribución de los cangrejos y las jaibas. Mientras los primeros presentan abundancias medianas y altas en todos los tramos del río y sus afluentes excepto en el curso bajo, las jaibas se encuentran exclusivamente en el curso bajo (justo donde los cangrejos desaparecen). Sin duda la concentración salina determina la distribución de estas especies, siendo los cangrejos halófilos y las jaibas halófilas.

Relación entre la abundancia relativa de *M. carcinus* y los parámetros ambientales:

La abundancia de *M. carcinus* en las capturas con nasas aumenta cuanto más turbia es el agua, mayor es la nubosidad, menores son la corriente y la profundidad del río y la luna está en fase llena o nueva. Esto coincide bastante con lo que señalaron los pescadores, que comentaron que

las mayores capturas de camarón de río se dan 2-3 días después de una llena, cuando el río todavía se encuentra revuelto (turbio) pero con poca corriente y no demasiado lleno (es decir, poco profundo). La explicación que ellos le dan a estas observaciones es que el tramo de río donde pescan se llena con camarones que son arrastrados corriente abajo por el río. Según Montesinos *et al.* (1977; citado en Alvarez-Ruiz *et al.*) los camarones migran en la estación lluviosa hacia los estuarios aprovechando las llenas de los ríos. Sin embargo, nosotros no apoyamos esta explicación, puesto que con el marcaje de los camarones hemos visto que en días con estas condiciones ambientales se capturan muchos animales ya marcados previamente en el mismo lugar. Además, el patrón anual de migración y reproducción que encontramos (ver abajo) no coincide para nada con la explicación de Montesinos *et al.* Nosotros pensamos que es en estas condiciones ambientales que los camarones salen de sus cuevas a alimentarse, puesto que el río está lleno de comida y con poca corriente. El factor de la nubosidad probablemente refleje las mayores capturas que se dan en la estación lluviosa con relación a la estación seca, mientras que el factor lunar cuesta un poco de entender y se opone a lo que dicen los pescadores (es decir, mayores capturas cuanto más oscuridad en la noche). Es posible que esto se deba a que hay noches de luna llena en que hay mucha nubosidad o en que la luna sale ya bien entrada la noche, de modo que las capturas se pueden producir igualmente en condiciones de oscuridad. En opinión de los pescadores los camarones caen más en las nasas en las noches oscuras porque no las pueden ver.

Efecto de las alteraciones del río en Marzo-Mayo en Río San Juan sobre la población de *M. carcinus*:

En los meses de Marzo-Mayo del año 2003 se dieron unas condiciones de anoxia en el Río San Juan que provocaron una gran mortandad de peces y crustáceos. Nuestros datos demuestran claramente que fue la anoxia, y no la intoxicación por agroquímicos, lo que provocó la mortandad de esos animales (lo cual no significa que las fumigaciones que se hicieron en las márgenes del Río San Juan no pudieran matar también a muchos camarones y peces, pero en ningún caso sería la causa principal de la mortandad observada). La anoxia estuvo estrechamente asociada a la presencia masiva de chayules en el río, la cual tiene un carácter de total excepcionalidad en el curso medio del Río San Juan (los viejos de El Castillo no recordaban haber visto nunca algo parecido en el pueblo). Esa presencia masiva se debió, probablemente, a un nivel extraordinariamente bajo del río en el verano de ese año combinado con las altas temperaturas y la alta concentración de materia orgánica en el agua. Según lo que pudimos

averiguar, parece ser que los chayules capturaron las algas del agua con la gelatina que recubre sus huevos y las depositaron en el fondo y los costados del río, y sería la desaparición de estas algas junto con el gran consumo de oxígeno de las larvas de estos quironómidos y de la descomposición de la materia orgánica acumulada los factores que habrían provocado la caída de los niveles de oxígeno. De todos modos, en caso que este fenómeno se repita en años subsiguientes sería muy importante que se llevaran a cabo estudios específicos para dilucidar exactamente la cadena causal que une la presencia de los chayules, la anoxia y la muerte de los peces y crustáceos.

Análisis morfométricos de *M. carcinus*:

En el estudio encontramos una regresión lineal entre la longitud total y la longitud del cefalotórax que se describe por la siguiente ecuación lineal:

$$Lc \text{ (mm)} = -12.286 + 3.77 * Lt \text{ (cm)}$$

La relación entre la longitud total y el peso se describe según la siguiente ecuación exponencial:

$$P(g) = 3.095 * \exp (0.194 * Lt \text{ (cm)})$$

La relación entre la longitud total y la longitud de la pinza varía según el sexo:

$$\text{Machos (exponencial): } Lp \text{ (mm)} = 11.854 * \exp (0.107 * Lt \text{ (cm)})$$

$$\text{Hembras (lineal): } Lp \text{ (mm)} = -23.211 + 5.042 * Lt \text{ (cm)}$$

La diferencia entre machos y hembras en la relación longitud total-longitud pinza refleja que esta última es un carácter sometido a presión selectiva únicamente en los machos (selección sexual), para quienes probablemente determina dominancia en los enfrentamientos.

La longitud total promedio de *M. carcinus* en el estudio fue de 19.65 ± 2.87 cm, siendo de 20.59 ± 2.89 cm en los machos y de 17.79 ± 1.68 cm en las hembras. La mayor longitud total encontrada fue de 27.8 cm y la menor fue de 10.5 cm. El peso promedio de *M. carcinus* en el estudio fue de 162.08 ± 91.02 g, siendo de 196.07 ± 94.35 en los machos y de 98.2 ± 29.58 en las hembras. El mayor peso encontrado fue de 537.4 g y el menor fue de 17.7 g.

No se encontraron diferencias en longitud total entre hembras grávidas y no grávidas. La hembra grávida más pequeña encontrada medía 12.9 cm de longitud total, siendo únicamente 2mm más larga que la hembra más pequeña capturada, de modo que se puede considerar que todas las hembras capturadas eran adultas. En el caso de los machos, puesto que no se realizaron análisis gonadales no podemos saber su estado de madurez sexual.

Chávez-Alarcón & Chávez (1976; citado en Román-Contreras & Campos-Lince) estudiaron una población de *M. carcinus* en Veracruz (México) y calcularon para ella una Loo de 260 mm. Nuestro estudio demuestra que esta especie puede llegar, por lo menos, a los 27.8 cm de longitud total.

No disponemos de datos sobre longitudes y pesos de *M. carcinus* en otros estudios. Por lo tanto, nos es imposible comparar los valores morfométricos de los camarones del Río San Juan con los de otros ríos de su área de distribución.

Estimación del crecimiento del camarón de río *M. carcinus* :

La ecuación de crecimiento de la población de *M. carcinus* del Río San Juan, aplicando la ecuación de von Bertalanffy, es la siguiente:

$$Lt = 27.7477 * (1 - \exp(-0.1132 * (\text{Edad} + 0.7276)))$$

Sin embargo, aplicando el método de Shepherd del programa FISAT obtuvimos esta otra ecuación de crecimiento:

$$Lt = 28.35 * (1 - \exp(-0.140 * (\text{Edad} + 0.6593)))$$

En la siguiente tabla se muestra el crecimiento comparado de *M. carcinus* según las dos ecuaciones:

Edad (meses)	Lt (cm) recapt.	Lt (cm) FISAT
6	14.79	17.19
12	21.18	23.53
18	24.42	26.27
24	26.06	27.45
30	26.89	27.96

Como se puede observar, el camarón de río tiene un fuerte crecimiento en los primeros 6 meses de edad, alcanzando su madurez sexual en aproximadamente 4-5 meses (contados desde que el animal ya es un juvenil, es decir, desde que tiene unos 3 meses de eclosionado). En los siguientes 6 meses el crecimiento se reduce aumentando muy poco de longitud total después del primer año de edad, hasta alcanzar los aproximadamente 28 cm que constituyen su longitud máxima.

Sin embargo, si nos miramos los datos de incremento de peso tenemos que el máximo incremento se da de los 9 a los 30 meses de edad, y si nos miramos los datos de ganancia diaria de peso vemos que el pico se encuentra a los 15 meses de edad (con casi 0.93 g. de ganancia diaria), con valores muy altos de los 10 a los 20 meses de edad. En términos de rendimiento pesquero deberíamos cosechar el camarón a partir del año y medio de edad (aprox. 25 cm. de longitud total). Sin embargo, en nuestro estudio el número de camarones mayores de 24 cm. constituye únicamente el 7.03% de las capturas totales (10.5% de los machos), lo cual obliga a cosechar tamaños menores.

Lewis *et al.* (1966; citado en Román-Contreras & Campos-Lince) calcularon un incremento en longitud de 20 a 110 mm en 13 ó 14 meses para *M. carcinus*. Los datos de nuestro estudio muestran que esta especie (por lo menos en el Río San Juan) crece mucho más rápido, alcanzando más de 14 cm en medio año. La longitud total máxima se alcanza aproximadamente en año y medio - dos años, y de ahí en adelante el animal casi no crece nada. El mayor animal capturado en nuestro estudio tendría más de dos años y medio de edad.

Análisis de las recapturas de *M. carcinus*:

En el estudio se obtuvieron un 7.4% de recapturas, con diferencias muy marcadas de una comunidad a otra en la tasa de recaptura. La mayor de ellas se dio en Aguas Frescas, donde fue del 17.7%, seguida de Las Cruces con el 6.1%. El resto de puntos de muestreo presentó tasas muy bajas, siempre inferiores al 5%. La tasa de recaptura se demostró como un indicador muy válido para estimar la presión de pesca, puesto que en Aguas Frescas nunca vimos a nadie pescar camarones, en Las Cruces había un único pescador y en el resto de sitios de muestreo había varios pescadores. Si nos basamos únicamente en estos datos, el río Pocosol es el sitio con mayor presión pesquera seguido de Bartola y río Frío. Las Cruces, a pesar de encontrarse en un tramo de río donde está prohibida la pesca comercial,

presenta una presión pesquera considerable por parte de un pescador costarricense, patrón que se repite en todo el tramo de río protegido desde Machuca hasta Delta. Puesto que el tramo Machuca-Boca San Carlos es el tramo de río con mayor abundancia de camarón de río en toda la región, es muy importante garantizar que este tramo no sea sometido a una pesca intensiva por parte de los furtivos costarricenses. En este sentido, la construcción de un puesto de control del MARENA en este tramo sería de gran importancia.

Durante el estudio recapturamos a 5 camarones más allá de los 100 días después de marcados. Esto demuestra que el sistema de marcaje utilizado, basado en el corte de los márgenes inferiores de las pleuras, dura mucho antes de perderse, unas tres o cuatro mudas según nuestras observaciones de campo y en las pilas de cría y cultivo (obs. pers.). Es, por tanto, un sistema de marcaje individual muy recomendable para estudios de migración, aunque no tanto para estudios de crecimiento puesto que para ello se requiere de sistemas de marcaje permanente.

El 71.1% de las recapturas fueron machos y el 28.9% hembras. El tamaño promedio de los machos recapturados en la primera captura fue de 20.82 cm y el de las hembras recapturadas fue de 18.04 cm. Puesto que los datos poblacionales son de 65.4% machos y 34.6% hembras y el tamaño promedio en machos es de 20.6 cm y en hembras es de 17.8 cm, se puede observar que en las recapturas se capturó preferentemente a los machos, aunque en cuestión de tamaños no se encontraron diferencias significativas entre la población total y la subpoblación recapturada. Estos datos son interesantes, puesto que por cuestión de presión pesquera deberíamos esperar que se recapturaran preferentemente animales pequeños y de sexo femenino (los cuales están protegidos por la ley y son menos apetecidos por los pescadores). Por lo tanto, si no hubiera actividad pesquera probablemente las recapturas mostrarían una tendencia más marcada a que las recapturas fueran de machos y de animales grandes. Este patrón probablemente tiene que ver con la territorialidad, que es una característica específica de los machos adultos y de tamaño considerable. Así, probablemente las hembras y los animales pequeños se mueven mucho más al no disponer de un territorio fijo, de modo que la probabilidad de que sean recapturados es menor.

Encontramos que los camarones se recapturan más rápido cuanto más grandes son. Una posible interpretación de este resultado sería que los camarones de mayor tamaño son sometidos a mayores tasas de mortalidad por pesca y por lo tanto la probabilidad de recaptura disminuye rápidamente a medida que pasan los días desde su marcaje.

De los datos directos de crecimiento obtenidos en base a las recapturas, podemos afirmar que los machos tienen una ganancia de peso superior que las hembras, aunque no hay diferencias en el crecimiento en longitudes, excepto en el caso de la pinza que tiende a crecer más rápido en machos.

La recaptura más lejana que se efectuó fue a 5 km. del lugar de primera captura, el 92% de las recapturas se efectuaron a menos de 1 km. del lugar de primera captura y el 85% a menos de 150 m del lugar de primera captura. Ningún animal fue recapturado en un sitio de muestreo diferente al de su marcaje (los 7 movimientos de más de 1 km corresponden a animales marcados en río Frío y recapturados por los pescadores en el mismo río Frío). Puesto que el número medio de días entre capturas es de 40.56 (36.5 machos, 50.5 hembras), estos datos demuestran que los camarones (sobre todo los machos) se mueven muy poco en general.

No se puede descartar que la falta de recuperaciones de animales entre puntos de muestreo más o menos alejados se deba a la baja probabilidad de que se recapture un mismo animal en dos sitios alejados siendo únicamente dos los días de muestreo por mes y 6 los sitios de muestreo habituales (en más de 100 km de curso de ríos). Sin embargo, no deja de resultar extraño que no haya habido ninguna recuperación entre sitios de muestreo en el río Frío, donde la separación entre puntos de muestreo no excede los 5 km. o entre Bartola y Aguas Frescas, que distan igualmente unos 6 km. Pensamos, por lo tanto, que los adultos de *M. carcinus* en general se mueven poco y que únicamente realizan desplazamientos en momentos muy puntuales del año (especialmente las hembras, como se discutirá más adelante).

El camarón de río, una vez capturado, marcado y liberado, se desplaza según un patrón fijo de comportamiento. En general el camarón una vez liberado en un lugar distinto al de su captura tiene tendencia a caminar en dirección al lugar donde fue capturado. Sin embargo, existe una tendencia natural en estos animales de caminar a contracorriente. Así, los animales que fueron capturados en el mismo sitio de liberación tienden a caminar a contracorriente, los que fueron capturados por encima del sitio de liberación igual (y regresan en un 44% de los casos al mismo sitio de su primera captura) y los que fueron capturados por debajo del sitio de liberación responden según dos tendencias opuestas (una que se impone en el 43% de los casos que los lleva a regresar a favor de corriente a la zona donde estaban previamente, otra que se impone en el mismo porcentaje de casos que les empuja a caminar a contracorriente).

Abundancias relativas de *M. carcinus* en los muestreos:

La abundancia de *M. carcinus* en el curso del Río San Juan y sus afluentes presenta grandes variaciones de un sitio de muestreo a otro. Las mayores abundancias se dan en la zona central del curso del San Juan, concretamente entre el pie del raudal de Machuca y Boca San Carlos. Esta es una zona que se caracteriza por presentar aguas muy encalmadas y bastante profundas, y hay muy poca población humana en sus orillas (ninguna en la de Nicaragua, escasa en la de Costa Rica). Además, esta zona se encuentra justo por debajo del último raudal del río, de manera que desde aquí hasta la desembocadura no hay ningún obstáculo importante para el tránsito de los camarones.

Por encima del raudal de Machuca la abundancia de camarones baja bastante pero se mantiene alta hasta la zona de Bartola. De ahí para arriba la presencia de muchos pescadores reduce muy considerablemente las poblaciones de camarón de río. De Boca de Sábalo para arriba, donde el río se vuelve nuevamente calmo, las abundancias en general son muy bajas, aunque en un muestreo encontramos abundancias altas en La Ñoca. En este tramo de río hay pocos pescadores de camarón, de manera que no creemos que aquí el factor determinante para la escasez de camarones sea la sobrepesca.

Por debajo de Boca San Carlos la abundancia de camarón de río se mantiene alta hasta Río San Juanillo, aunque no tanto como de ahí a Machuca. Eso probablemente se debe a la mayor corriente que presenta el río y en menor medida a la presencia de muchos pescadores costarricenses. Ya en la zona de las lagunas de San Juan del Norte la abundancia de camarón de río cae en picado, probablemente porque no le gustan las aguas salobres a los adultos de esta especie.

En cuanto a los afluentes, el río Frío presenta abundancias muy bajas pero esto se debe muy probablemente a la sobrepesca, puesto que hay gran cantidad de pescadores en los escasos 15 km. de río desde la frontera con Costa Rica hasta la desembocadura en el Río San Juan. En lo que se refiere al río Pocosol, este río presenta abundancias muy altas al inicio de la estación lluviosa, pero estas disminuyen paulatinamente a medida que pasan los meses por la intensa actividad pesquera. En el caso del río Sábalo, este en general presenta pocos camarones excepto en las llenas de invierno. Probablemente lo mismo sucede con el río Indio, en el cual nosotros siempre capturamos muy pocos animales pero sabemos por los pescadores que durante las llenas se dan abundancias altas. Este río,

igual que el río Sábalos, presenta aguas muy transparentes excepto durante las llenas, y pensamos que es ese factor el que determina que habitualmente se capturen muy pocos camarones. Probablemente estos se encuentran encuevados esperando que las aguas se revuelvan para salir a alimentarse. En cambio, en ríos como el San Juan y el Frío donde durante toda la estación lluviosa (e incluso durante muchas semanas de la estación seca) las aguas son bastante o muy turbias, los camarones se alimentan con mucha más frecuencia. El caso del río Pocosol representa un intermedio, puesto que sus aguas en la estación lluviosa presentan una turbidez muy variable pero nunca son tan transparentes como las de río Indio y río Sábalos.

La abundancia de camarones en un sitio concreto viene muy influenciada por la época del año en la cuenca alta del Río San Juan. Así, mientras en la cuenca media y baja las abundancias permanecen altas en la estación seca (excepto en Río San Juanillo, donde bajan considerablemente tal vez por efecto de la salinidad), en la cuenca alta bajan mucho, especialmente en los ríos Sábalos y Pocosol, para subir de repente con la entrada de las lluvias. En el río Frío se observa un incremento de abundancia en el inicio de las lluvias, pero este es rápidamente compensado por la fuerte actividad pesquera que mantiene las abundancias muy bajas durante toda la estación lluviosa. Cuando llega nuevamente la estación seca los pescadores cesan su actividad de modo que la abundancia, que debería disminuir, se mantiene.

Las mayores abundancias de camarón de río se dan al inicio y al final de la estación de lluvias, y se mantienen en valores mayores durante esta estación que durante la estación seca. Es destacable el pico de abundancia que se da en el mes de diciembre, que fue señalado por todos los pescadores como el de mayor abundancia anual de camarón de río. Las abundancias más bajas se dan al final de la estación seca, en Abril y Mayo. Esta tendencia general, como comentamos anteriormente, se ve alterada por algunos factores específicos de cada lugar. Así, en río Frío la sobrepesca altera las abundancias en la estación lluviosa, y la mortandad de peces y crustáceos ocurrida en el verano del 2003 provocó una caída de las abundancias en Abril y Mayo de ese año en todo el curso del Río San Juan a medida que la plaga de chayules iba trepando el río. De hecho, las poblaciones de Bartola y Aguas Frescas tardaron unos tres meses en recuperarse de esa mortandad, mientras que las poblaciones de La Ñoca y de la zona de Pocosolito (en el Río San Juan) al cabo de un año todavía no se habían recuperado (en cambio, en Las Cruces se recuperaron en tan solo dos meses). Por lo tanto, parece que cuanto más cerca del mar, más rápido se recuperan las poblaciones de una mortandad masiva, lo cual parece

lógico puesto que los camarones juveniles van caminando a contracorriente desde las lagunas salobres hasta el curso alto del río a lo largo de sus vidas, buscando (en el caso de los machos) un lugar adecuado y desocupado donde poder establecer su territorio.

Proporción de machos y hembras de *M. carcinus* en los muestreos:

La proporción de sexos encontrada para la población de *M. carcinus* en Río San Juan fue de 1.89:1, casi dos machos para cada hembra. Las capturas obtenidas tanto de *M. carcinus* por Montesinos *et al.* (1977) en Venezuela como de *M. americanum* por Alvarez-Ruiz *et al.* (ver referencias de páginas web) en Costa Rica presentaban predominancia de hembras, lo cual atribuyen al arte de pesca empleado (una red de nylon con abertura de 2 mm de entretendido, muy efectiva para individuos pequeños). La diferencia entre estos resultados y los nuestros se podría explicar por este motivo: nuestras nasas tenían un ojo de malla de 1". Sin embargo, en las nasas forradas con malla mosquitera (de 1 mm de ojo de malla) encontramos menor frecuencia de hembras (30.0%) que en las nasas normales (35.1%). Por lo tanto, esta hipótesis se puede descartar. Es posible que la predominancia de machos encontrada en nuestro estudio se deba a que la mayor parte de las capturas se realizaron a bastante distancia del mar (en el curso medio y alto del río), mientras que en los estudios citados anteriormente se realizaron cerca de la desembocadura de los ríos (donde también en nuestro estudio se encontró predominancia de hembras; ver abajo).

El porcentaje de hembras varió de forma significativa a lo largo del curso del Río San Juan y sus afluentes. Así, los mayores porcentajes se dieron cerca de la desembocadura del río, mientras que los menores porcentajes se dieron en el curso medio del Río San Juan y el río Sábalo. Río Frío presentó un porcentaje alto de hembras.

Este patrón mostró un marcado carácter estacional. Así, en la estación lluviosa encontramos los mayores porcentajes de hembras en el río Frío (59%), con porcentajes de hembras entre el 15 y el 30% en el resto de puntos de muestreo del curso alto del Río San Juan y sus afluentes, mientras que en la estación seca las hembras prácticamente desaparecen de estos lugares (con porcentajes entre el 0 y el 25%), concentrándose en el curso medio-bajo del Río San Juan, del raudal de Machuca para abajo (con porcentajes entre el 55 y el 65%, superiores a los de la estación lluviosa, que se encuentran entre el 35 y el 50%). Estos datos demuestran que las hembras de *M. carcinus* presentan migraciones estacionales en el Río San Juan, migrando hacia las cabeceras al inicio de la estación lluviosa y bajando hacia el curso medio-bajo del río al inicio de la estación seca.

Si consideramos todos los sitios de muestreo en su conjunto, encontramos que los mayores porcentajes de hembras se dan al inicio y al final de la estación lluviosa. En general los porcentajes de hembras son mayores en la estación lluviosa que en la estación seca. Este patrón es muy marcado en río Frío y río Pocosol (en este último, de hecho, casi no hay capturas de camarones en la estación seca), mientras que en Aguas Frescas y Bartola los porcentajes de hembras son siempre muy bajos excepto a finales de la estación lluviosa. En el caso de Las Cruces (curso medio) los porcentajes de hembras son superiores en la estación seca que en la lluviosa, mientras que en Delta y río San Ruanillo (curso bajo) los porcentajes varían poco a lo largo del año.

Alvarez-Ruiz *et al.* (ver referencias de páginas web) encontraron para *M. americanum* un predominio de las hembras en la estación de lluvias y de los machos en la estación seca. Este patrón coincide con el que encontramos nosotros en el curso alto del Río San Juan.

Proporción de hembras con y sin huevos de *M. carcinus* en los muestreos:

En la estación lluviosa los mayores porcentajes de hembras con huevos se dan en los afluentes del Río San Juan, con valores alrededor del 50%, mientras que en el Río San Juan estos se encuentran alrededor del 40% en el curso medio-alto (Bartola-Aguas Frescas) y bajo (Delta-Río Sanjuanillo), bajando al 20% en el curso medio (Las Cruces-Isla La Danta). En cambio, en la estación seca no se observan diferencias entre sitios de muestreo. No se encontraron diferencias significativas en las comparaciones entre meses de muestreo. Sin embargo, sí se observan algunos patrones dignos de comentar. El porcentaje de hembras con huevos se mantiene alrededor del 30-40% durante casi todo el año, alcanzando los valores máximos a inicios de la estación lluviosa y los valores mínimos a finales de la estación seca. En el río Frío se observa un patrón muy claro de mayores proporciones de hembras grávidas en la estación lluviosa con picos en Agosto y Diciembre (este último coincide con lo que comentaron los pescadores de este río), mientras que en los otros sitios de muestreo los porcentajes son muy variables y presentan picos en diferentes meses del año, casi todos entre Mayo-Junio y Octubre-Enero.

Este patrón nos muestra por un lado que todo el año hay hembras grávidas, aunque parece que hay máximos de reproducción al inicio y al final de la estación lluviosa y mínimos al final de la estación seca. La reproducción de *M. carcinus* no se concentra en el curso bajo del Río San Juan, como

sería de esperar por el requerimiento de condiciones salobres para las larvas de esta especie (ver por ejemplo Graziani *et al.* (1993, 1995; extraído de Chung)), sino que tiene lugar en todos los tramos del río, aunque preferentemente en los afluentes del curso alto del río en la estación lluviosa.

Si combinamos estos datos de frecuencia de hembras grávidas con los anteriores de frecuencia de hembras, encontramos que las hembras todo el año se reproducen y que se mueven a los afluentes del curso alto al inicio de la estación lluviosa, pasan ahí toda la época de lluvias y después bajan el río hacia el curso medio-bajo al inicio de la estación seca para pasar ahí toda la época de sequía. Así, la mayor parte de las larvas eclosionan en los afluentes del curso alto del Río San Juan en la estación lluviosa y en el curso bajo del río en la estación seca. Esto último es lo que señalan todos los autores, es decir, que las hembras se acercan a la desembocadura de los ríos para liberar sus larvas en aguas salobres. Sin embargo, ¿cómo se explica que las hembras se alejen hasta a 200 Km. del mar para liberar sus larvas en la estación lluviosa?

Nosotros desarrollamos una teoría para explicar estas observaciones. El Río San Juan y sus afluentes tienen una corriente de unos 0.4 m/s en la estación de lluvias. Esto significa que para alcanzar las aguas salobres de la desembocadura del San Juan partiendo de Río Frío (unos 200 km) las larvas (que son planctónicas y por lo tanto se dejan llevar por la corriente) necesitarían aproximadamente 6 días. Este es el tiempo aproximado que las larvas soportan aguas dulces según nuestras observaciones en los acuarios del CIDEA (Nelvia Hernández, obs.pers.). Si después de estos días la larva no alcanza aguas salobres se muere, pero en caso contrario puede sobrevivir sin problemas. Así, pensamos que las hembras aprovechan los abundantes recursos tróficos de las aguas de los afluentes de la cuenca alta del Río San Juan para alimentarse, desarrollar sus gónadas, aparearse con los machos e incubar sus huevos, sabiendo que las larvas podrán llegar a tiempo a las aguas salobres del delta del San Juan. Cuando la corriente amaina a inicios de la estación seca, las hembras se desplazan hacia el curso medio-bajo del Río San Juan, donde el agua presenta todavía suficientes recursos tróficos provenientes de los ríos San Carlos y Sarapiquí (que arrastran aguas ricas en nutrientes durante todo el año) y donde la corriente de estos mismos ríos puede arrastrar sus larvas (además, en la estación seca el agua salobre penetra río adentro cuando este no presenta corriente).

Esta hipótesis coincide no solamente con las observaciones del comportamiento de las hembras sino también con la distribución de *M.*

carcinus en el departamento. Así, esta especie se encuentra únicamente en los ríos que desembocan directamente al Atlántico, pero no en aquellos que desembocan sus aguas al lago Cocibolca (a pesar que en el lago los camarones pueden sobrevivir, como demuestra la captura esporádica de algunos machos adultos por parte de los pescadores en las islas de Solentiname; nosotros no pudimos capturar ningún animal en 3 noches de muestreo que llevamos a cabo en estas islas). En estos ríos la presencia de hembras grávidas implicaría que las larvas se perderían en el lago sin poder alcanzar nunca las aguas salobres de la desembocadura del San Juan.

Tamaño de los machos de *M. carcinus* en los muestreos:

El tamaño de los machos difiere según el sitio de muestreo, siendo mayor en los afluentes del San Juan que en el curso principal de este río, y mayor en el curso medio que en el curso bajo del San Juan. Por lo tanto, los machos presentan mayor tamaño cuanto más lejos del mar, lo cual se puede explicar porque los individuos de esta especie nacen en las lagunas costeras y a lo largo de su vida van caminando a contracorriente remontando los ríos.

Este patrón se observa muy claramente en la estación lluviosa, mientras que en la estación seca los camarones son más grandes en el curso bajo del río que en el curso medio (siendo siempre mayores en los afluentes que en el San Juan). Si nos fijamos en la variación del tamaño de los machos a lo largo del año, podemos ver que ésta varía mucho de un sitio de muestreo a otro. En río Frío claramente los tamaños menores se dan a inicios y finales de la estación lluviosa, coincidiendo con los períodos de mayor abundancia de hembras. En el curso bajo del Río San Juan los tamaños de los machos son claramente inferiores en la estación lluviosa que en la estación seca, mientras que en Pocosol y el curso medio del Río San Juan los tamaños se mantienen más o menos estables con algunos mínimos muy marcados en los meses de Abril, Mayo, Junio y Julio según el sitio de muestreo. Parece ser, por lo tanto, que a inicios de la estación lluviosa se concentra el reclutamiento de machos pequeños en todo el curso del Río San Juan y sus afluentes (probablemente con las hembras suceda lo mismo, aunque estos datos no fueron analizados). Este reclutamiento coincide con la migración a contracorriente de las hembras hacia los cursos medio y alto del río.

Distribución de Longitud total en *M. carcinus*:

Los camarones de río presentan un marcado dimorfismo sexual en cuanto al tamaño, siendo mayores los machos que las hembras. Así,

mientras que en las hembras la clase más abundante es la de 16-19 cm. (con el 61.9% de los individuos), en los machos son la de 19-22 (con el 39%) y la de 22-25 cm. (con el 30.6%). En los machos el 61.7% de los individuos son mayores de 20 cm. (dentro del total de capturas, el 41.3% de ellas fueron machos mayores de 20 cm.) y el 10.5% son mayores de 24 cm. (el 7.03% del total de capturas). Por lo tanto, una regulación pesquera basada en los machos podría establecer el tamaño de 20 cm. como tamaño mínimo de captura, pero no el de 24 cm. (que sería demasiado restrictivo, aunque así lo recomiendan los datos de ganancia diaria de peso (ver arriba)).

Evolución fenológica de las clases de edad en Las Cruces:

El sitio de Las Cruces, después de sufrir la mortandad de peces y crustáceos en el mes de Abril del 2003, fue rápidamente colonizado por camarones pequeños en el mes de Junio, los cuales fueron creciendo y se fueron incorporando progresivamente a las clases mayores de edad a medida que pasaron los meses. La evolución de la distribución por clases de edad en los meses sucesivos a la mortandad demuestra claramente que los camarones colonizan rápidamente los vacíos que encuentran en el río (en el curso medio, cosa que no sucede con tanta rapidez por encima de los raudales) y que durante toda la estación de lluvias no se mueven de un mismo lugar mientras van creciendo.

Conclusiones

En el curso del Río San Juan desde del Lago Cocibolca hasta su desembocadura, incluyendo el curso bajo de sus afluentes directos, se encuentran las siguientes especies del género *Macrobrachium* por orden de abundancia: *M. carcinus*, *M. olfersi*, *M. acanthurus*, y *M. heterochirus*.

M. carcinus se encuentra por todo el curso del Río San Juan y sus afluentes, mientras *M. olfersi* y *M. acanthurus* se concentran en el curso bajo del San Juan y *M. heterochirus* (suponemos) en el curso medio y alto de los afluentes.

M. olfersi y *M. acanthurus* presentan gran abundancia de hembras (con y sin huevos) y juveniles en el curso bajo del San Juan, mientras que los pocos individuos capturados en el curso medio (Ma y Mo) y alto (Mo) fueron todos machos adultos. Esto demuestra el requerimiento de aguas salobres para la reproducción de estas dos especies.

La abundancia de *M. carcinus* en las capturas con nasas aumenta cuanto más turbia es el agua, mayor es la nubosidad, menores son la corriente y la profundidad del río y la luna está en fase llena o nueva. Estas condiciones (excepto el tema de la luna) coinciden con el estado de los ríos justo después de las llenas. Probablemente es entonces que los camarones salen de sus cuevas a alimentarse, puesto que el río está lleno de comida pero con poca corriente.

En los meses de Marzo-Mayo del año 2003 se dieron unas condiciones de anoxia en el Río San Juan que provocaron una gran mortandad de peces y crustáceos. Según lo que pudimos averiguar, parece ser que los chayules capturaron las algas del agua con la gelatina que recubre sus huevos y las depositaron en el fondo y los costados del río, y

sería la desaparición de estas algas junto con el gran consumo de oxígeno de las larvas de estos quironómidos y de la descomposición de la materia orgánica acumulada los factores que habrían provocado la caída de los niveles de oxígeno.

La longitud total promedio de *M. carcinus* en el estudio fue de 19.65 ± 2.87 cm, siendo de 20.59 ± 2.89 cm en los machos y de 17.79 ± 1.68 cm en las hembras. La mayor longitud total encontrada fue de 27.8 cm y la menor fue de 10.5 cm. El peso promedio de *M. carcinus* en el estudio fue de 162.08 ± 91.02 g, siendo de 196.07 ± 94.35 en los machos y de 98.2 ± 29.58 en las hembras. El mayor peso encontrado fue de 537.4 g y el menor fue de 17.7 g. No sabemos por qué no se capturaron individuos menores de 10 cm. en el estudio, puesto que se utilizaron 5 nasas con un ojo de malla de 1 mm que se mostraron muy efectivas para la captura de individuos <5 cm. de *M. olfersi* y *M. acanthurus*.

La hembra grávida más pequeña encontrada medía 12.9 cm de longitud total, siendo únicamente 2 mm más larga que la hembra más pequeña capturada, de modo que se puede considerar que todas las hembras capturadas eran adultas. En el caso de los machos, puesto que no se realizaron análisis gonadales no podemos saber su estado de madurez sexual.

M. carcinus tiene un fuerte crecimiento en los primeros 6 meses de edad, alcanzando su madurez sexual en aproximadamente 4-5 meses (contados desde que el animal ya es un juvenil, es decir, desde que tiene unos 3 meses de eclosionado). En los siguientes 6 meses el crecimiento se reduce aumentando muy poco de longitud total después del primer año de edad, hasta alcanzar los aproximadamente 28 cm que constituyen su longitud máxima.

En el estudio se obtuvieron un 7.4% de recapturas en los sitios habituales de muestreo, con la mayor tasa de recapturas en Aguas Frescas (17.7%) seguida de Las Cruces (6.1%). El resto de puntos de muestreo presentó tasas muy bajas, siempre inferiores al 5%. La tasa de recaptura se demostró como un indicador muy válido para estimar la presión de pesca, puesto que en Aguas Frescas nunca vimos a nadie pescar camarones, en Las Cruces había un único pescador y en el resto de sitios de muestreo había varios pescadores. Si nos basamos únicamente en estos datos, el río Pocosol es el sitio con mayor presión pesquera seguido de Bartola y río Frío. Las Cruces, a pesar de encontrarse en un tramo de río donde está prohibida la pesca comercial, presenta una presión pesquera considerable por parte de

un pescador costarricense, patrón que se repite en todo el tramo de río protegido desde Machuca hasta Delta.

Durante el estudio recapturamos 5 camarones más allá de los 100 días después de marcados. El sistema de marcaje utilizado, basado en el corte de los márgenes de las pleuras, dura unas 3-4 mudas antes de perderse, siendo muy útil para estudios de migración.

Se recapturó preferentemente a los machos, cosa que probablemente tiene que ver con la territorialidad de estos individuos. Pensamos que las hembras se mueven mucho más al no disponer de un territorio fijo y por ello son menos recapturadas.

Los camarones se recapturan más rápido cuánto más grandes son, y los machos tienen una ganancia de peso superior a las hembras. Los camarones se mueven muy poco, puesto que de 89 recapturas la máxima distancia del lugar de marcaje al de recaptura fue de 5 km y ningún animal se recapturó en un sitio de muestreo diferente al de su marcaje. Pensamos que los adultos de *M. carcinus* en general se mueven poco y que únicamente realizan desplazamientos estacionales en momentos muy puntuales del año (especialmente las hembras).

El camarón una vez es soltado en un lugar diferente al de su captura tiene tendencia a caminar en dirección al lugar donde fue capturado. Sin embargo, existe una tendencia natural a caminar a contracorriente.

Las mayores abundancias de *M. carcinus* se dan en la zona central del curso del San Juan, concretamente entre el pie del raudal de Machuca y Boca San Carlos. Esta es una zona que se caracteriza por presentar aguas muy encalmadas, bastante profundas y con poca población humana en sus orillas. Por encima del raudal de Machuca la abundancia de camarones baja bastante pero se mantiene alta hasta la zona de Bartola. De ahí para arriba la presencia de muchos pescadores reduce muy considerablemente las poblaciones de camarón de río.

Por debajo de Boca San Carlos la abundancia de camarón baja pero se mantiene alta hasta Río San Juanillo. Eso probablemente se debe a la mayor corriente que presenta el río y en menor medida a la presencia de muchos pescadores costarricenses. Ya en la zona de las lagunas de San Juan del Norte la abundancia de camarón de río cae en picado, probablemente porque no le gustan las aguas salobres a los adultos de esta especie.

Las mayores abundancias de *M. carcinus* se dan al inicio y sobretodo al final de la estación de lluvias (Diciembre), y se mantienen en valores mayores durante esta estación lluviosa que durante la estación seca, con un mínimo marcado en Abril-Mayo. En la cuenca media y baja las abundancias permanecen altas en la estación seca, mientras que en la cuenca alta bajan mucho, especialmente en los ríos Sábalo y Pocosol, para subir de repente con la entrada de las lluvias. Estos patrones generales se ven alterados por efecto de la sobrepesca (concentrada en la estación lluviosa) y por mortalidades puntuales (como la del verano del 2003, de la cual los tramos de río más alejados del mar todavía no se han recuperado).

La proporción de sexos encontrada para la población de *M. carcinus* en Río San Juan fue de 1.89:1 (casi dos machos para cada hembra). Según la variación estacional de la proporción de sexos en los distintos sitios de muestreo, parece claro que las hembras de *M. carcinus* migran hacia las cabeceras (curso alto y afluentes) al inicio de la estación lluviosa y bajan hacia el curso medio-bajo del río al inicio de la estación seca.

Todo el año hay hembras grávidas, aunque parece que hay máximos de reproducción al inicio y al final de la estación lluviosa y mínimos al final de la estación seca. En la estación lluviosa los mayores porcentajes de hembras con huevos se dan en los afluentes del Río San Juan, mientras que en la estación seca no se observan diferencias entre sitios de muestreo.

Resumiendo, las hembras de *M. carcinus* todo el año se reproducen y se mueven a los afluentes del curso alto al inicio de la estación lluviosa, pasan ahí toda la época de lluvias y después bajan el río hacia el curso medio-bajo al inicio de la estación seca para pasar ahí toda la época seca. De este modo, la mayor parte de las larvas eclosionan en los afluentes del curso alto del Río San Juan en la estación lluviosa y en el curso bajo del río en la estación seca.

Pensamos que la explicación que las hembras liberen sus larvas (que requieren aguas salobres) hasta a 200 km. de distancia del mar es que las hembras aprovechan los abundantes recursos tróficos de las aguas de los afluentes del curso alto del Río San Juan para alimentarse, desarrollar sus gónadas, aparearse con los machos e incubar sus huevos, sabiendo que las larvas podrán llegar a tiempo a las aguas salobres del delta del San Juan arrastradas por la corriente que tiene el río en la estación lluviosa. Cuando a inicios de la estación seca la corriente amaina, las hembras se desplazan hacia el curso medio-bajo del Río San Juan, donde el agua presenta todavía suficientes recursos tróficos provenientes de los ríos San Carlos y Sarapiquí y donde la corriente de estos mismos ríos puede arrastrar sus larvas.

Los machos de *M. carcinus* presentan mayor tamaño cuanto más lejos del mar, lo cual se puede explicar porque los individuos de esta especie nacen en las lagunas costeras y a lo largo de su vida van caminando contracorriente remontando los ríos. Este patrón se observa muy claramente en la estación lluviosa, mientras que en la estación seca los camarones son más grandes en el curso bajo del río que en el curso medio (siendo siempre mayores en los afluentes que en el San Juan).

Los tamaños mínimos de los machos de *M. carcinus* se dan al inicio (y en río Frío también al final) de la estación lluviosa. Así, parece ser que es en esta época en que se concentra el reclutamiento de machos pequeños en todo el curso del Río San Juan y sus afluentes (probablemente con las hembras suceda lo mismo, aunque estos datos no fueron analizados). Este reclutamiento coincide con la migración a contracorriente de las hembras hacia los cursos medio y alto del río.

Estudio de la biología y ecología del Camarón de Río en Río San Juan (*Macrobrachium carinus*)

Recomendaciones

1. Prohibir la captura de hembras con o sin huevos de *M. carcinus* en toda la cuenca del Río San Juan.
2. Prohibir la captura de machos menores de 20 cm. de longitud total (aprox. 10 meses de edad, unos 150 g. de peso) en toda la cuenca del Río San Juan. Esto supone permitirles por lo menos una reproducción y poder comercializar una parte importante de sus capturas (aproximadamente el 40% del total, el 60% de los machos).
3. Colocar un puesto de vigilancia del MARENA entre Machuca y Boca San Carlos para controlar la pesca ilegal por parte de los pescadores costarricenses en este tramo, que es el más rico en *M. carcinus* de todo el curso del Río San Juan.
4. Reforzar fuertemente la vigilancia y control de la pesca de *M. carcinus* por parte de los pescadores costarricenses desde Machuca hasta Delta.
5. Reforzar fuertemente la vigilancia y control de la pesca de *M. carcinus* en los ríos Índio y Caño Negro, donde se lleva a cabo mucha pesca comercial ilegal.
6. Regular y controlar la pesca de *M. carcinus* de San Carlos hasta Bartola y en los ríos afluentes del San Juan (Frío, Pocosol, Sábalo y restantes):
 - a) entregando un número limitado de permisos de pesca por cada tramo de río (recomendamos un máximo de 1 pescador por cada dos kilómetros de río).

- b) estableciendo un límite de 10 artes de pesca por pescador.
 - c) revisando periódicamente las jabas de los pescadores, los termos de los acopiadores y los congeladores de los restaurantes para comprobar que no tengan ni hembras ni machos <20 cm. (para ello, entregar primero una guía que les permita distinguir el sexo de los camarones y un camarómetro que les permita medir de modo estándar la longitud total de los machos).
 - d) llevando a cabo reuniones periódicas con los pescadores para revisar las regulaciones y ajustarlas a la abundancia de camarones.
 - e) estableciendo fuertes sanciones y mecanismos de control para evitar el uso de venenos en la pesca de camarones y peces.
 - f) evitando la contaminación del Río San Juan y sus afluentes por el uso indiscriminado de pesticidas (hay que poner una atención especial al caso de los Frutales del San Juan, que pueden ser una fuente de contaminación muy importante en los próximos años).
 - g) estableciendo acuerdos bilaterales con Costa Rica para evitar la contaminación de los ríos Frío y Pocosol en su cuenca media y alta y, en caso de mortandades causadas por envenenamiento, contemplar compensaciones económicas para los pescadores afectados.
 - h) en caso de darse nuevas plagas de chayul en el Río San Juan (fuera de su área de distribución habitual de San Carlos a Santa Fe), establecer mecanismos de control inmediato que permitan sofocarlas desde su inicio y, en caso de que no se puedan controlar, evitar la fumigación de los márgenes del río con productos tóxicos para peces y crustáceos.
7. Llevar estadísticas de volúmenes de acopio de camarón por cada tramo de río para así poder monitorear la evolución de la abundancia de este recurso a lo largo de los años y poder actualizar las regulaciones en función de estos datos.
8. Fomentar la realización de futuras investigaciones dirigidas específicamente al estudio de la reproducción de *M. carcinus* para

comprobar la teoría del arrastre de las larvas por la corriente hasta las aguas salobres de la desembocadura del Río San Juan y para conocer la biología y ecología de los juveniles de esta especie (que en el presente estudio no pudimos encontrar en ningún tramo del Río San Juan ni sus afluentes).

9. Fomentar estudios dirigidos a la crianza en cautiverio de *M. carcinus* y *M. acanthurus*.
10. En caso de éxito en la reproducción y engorde en cautiverio de estas especies, realizar estudios de mercado y en caso de que se detecte un potencial importante, fomentar esta actividad acuícola como una alternativa económica para el Departamento de Río San Juan.

Estudio de la biología y ecología del Camarón de Río en Río San Juan (*Macrobrachium carinus*)

Referencias

1. Lewis, J.B., J. Ward y A. McIver, Crustaceana, The breeding cycle, growth and food of the fresh water shrimp *Macrobrachium carcinus* (Linnaeus). 1966. 48-5210(1):
2. <http://www.ceniap.gov.ve/bdigital/fdivul/fd50/camaron.htm> El cultivo del camarón de río *Macrobrachium carcinus*, un potencial desestimado en Venezuela Francisco Mago-Leccia
3. <http://rbt.ots.ac.cr/revistas/49-1/chung.html>
4. Graziani, C. A., K. S. Chung & M. De Donato. 1993. Comportamiento reproductivo y fertilidad de *Macrobrachium carcinus* (Decapoda: Palaemonidea) en Venezuela. Rev. Biol. Trop. 41: 657-665.
5. Graziani, C. A., M. De Donato & K. S. Chung. 1995. Salinidades óptimas en larvas y postlarvas de *Macrobrachium carcinus* (L.) (Decapoda: Palaemonidae). Bol. Inst. Oceanogr. Venezuela 34: 33-40.
6. <http://www.ots.duke.edu/tropibiojnl/claris/44-1/alvarez.html> Morfometría, época reproductiva y talla comercial de *Macrobrachium americanum* (Crustacea: Palaemonidae) en Guanacaste, Costa Rica Mac Donald Alvarez Ruiz, Jorge Cabrera Peña y Yanaide Solano López.
7. Montesinos, H., J. Marcana, L. Rojas & A. Vallejos. 1977. Sobre el cultivo del camarón de río *Macrobrachium carcinus* en Venezuela. I Simposio Asociación Latinoamericana de Acuicultura 14 p.

8. Gillet, C. 1984. Population of the prawn and fish in the Guadalupe River (West Indies), some dates on the their distribution on biology. *Rev. Hydrobiol. Trop.* 16: 327-340.
9. <http://www.benthos.org/database/allabstracts.cfm/db/Athens2003abstracts/id/108>
Presented at the NABS Annual meeting, Athens, Georgia, 2003 in Tropical Stream Ecology II Ecological factors determining the distribution of the omnivorous river shrimp, *Macrobrachium carcinus*, in Puerto Rico. A.P. Covich, T.A. Crowl, B.B. Yoshioka, and M.S. Wright. (Covich *et al.* 1)
10. <http://abstracts.co.allenpress.com/pweb/esa2003/document/?ID=25324>
Symposium 7: When the Rivers Run Dry: Cross-Disciplinary Perspectives on Societal Responses to Drought and Ecosystem Impacts Fragmentation of river networks, freshwater shrimp distributions and Caribbean climate change. Covich, Alan, Crow, Todd (Covich *et al.* 2)
11. http://www.kluweronline.com/article.asp?PIPS=brill_0011216x_v74n1_s6&PDF=1
12. <http://biblioweb.dgsca.unam.mx/cienciasdelmar/instituto/1993-1/articulo428.html>
Anales del instituto de ciencias del mar y limnología
Aspectos reproductivos y aproximación a un modelo de crecimiento para una población de *Macrobrachium Acanthurus* (Wiegmann, 1836) en el río Palizada, Campeche, Mexico
Ramiro Román-Contreras y Luis S. Campos-Lince.
13. L. M. Mejía-Ortíz, F. Alvarez, R. Román & J.A. Viccon-Pale. 2001. Fecundity and distribution of freshwater prawns of the genus *Macrobrachium* in the Huitzilapan river, Veracruz, Mexico. *Crustaceana* 74 (1): 69-77.
14. Holthuis, L. B. 1980. Species Catalogue. I. Shrimps and Prawns of the World. An annotated catalogue of species of interest to fisheries. *FAO Fish. Synop.* 125 : 261 p.
15. A.O.Debrot. 2003. The freshwater shrimps of Curaçao, West Indies (Decapoda, Caridea). *Crustaceana* 76(1): 65-76.
16. Chace, F.A. & H.H. Hobbs, 1969. The freshwater and terrestrial decapod crustaceans of the West Indies with special reference to Dominica. *U.S.natn.Mus.Bull.*, 292: 1-258.

17. New, M. B. & S. Singholka. 1984. Cultivo del camarón de agua Dulce. Manual para el cultivo de *Macrobrachium rosenbergii*. FAO. Doc. Téc. Pesca. 225 : 118 p.
18. Choudhury, P.C. 1971. Responses of larval *Macrobrachium carcinus* (L.) to variations in salinity and diet (Decapoda, Palaemonidae). *Crustaceana*, 20: 113-120.
19. Herman, F., E. Fièvet & P. Boucher. 1999. Potentialités et intérêts de l'élevage larvaire de la crevette d'eau douce indigène *Macrobrachium carcinus* (L.) (Palaemonidae) aux Antilles Françaises. *Bulletin Française de la Pêche et de la Pisciculture*, 352: 81-90.
20. Chávez Alarcón, Z. y E.A. Chávez, In: Mem. Simp. Biol. y Dinám. Pobl. de Camarones. Introducción al conocimiento de la biología del langostino (*Macrobrachium carcinus* L.) en el estado de Veracruz. Guaymas, Son., México, 1976. pp. 12.

Para una descripción general de la especie hay las siguientes referencias en internet:

1. <http://www.aquabase.org/crustacea/view.php3?id=36>
2. http://www.itis.usda.gov/servlet/SingleRpt/SingleRpt?search_topic=TSN&search_value=96227
3. <http://www.guadeloupe-fr.com/fauneFloreUneEspece/20ib61/>
4. http://www.southernregion.fs.fed.us/caribbean/resources/fauna_of_the_month/2003/fauna_big-claw_river_shrimp.htm

ARAUCARIA XXI

PROGRAMA DE LA COOPERACIÓN ESPAÑOLA PARA LA CONSERVACIÓN
DE LA BIODIVERSIDAD Y EL DESARROLLO SOSTENIBLE EN
IBEROAMÉRICA

