

UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN

Escuela de Graduados

Magíster en Ciencias

Mención Pesquerías



EFFECTO DE LA PRECIPITACIÓN, EL CAUDAL DE LOS RÍOS Y LOS CICLOS EL NIÑO-
OSCILACIÓN DEL SUR SOBRE LA ABUNDANCIA DEL CAMARÓN BLANCO
(*Litopenaeus occidentalis*) EN EL PACÍFICO COLOMBIANO

JAVIER A. DÍAZ OCHOA

Concepción (Chile), agosto de 2003

EFFECTO DE LA PRECIPITACIÓN, EL CAUDAL DE LOS RÍOS Y LOS CICLOS EL NIÑO-
OSCILACIÓN DEL SUR SOBRE LA ABUNDANCIA DEL CAMARÓN BLANCO
(*Litopenaeus occidentalis*) EN EL PACÍFICO COLOMBIANO

Por

JAVIER A. DÍAZ OCHOA



Para optar al grado de
MAGISTER EN CIENCIAS CON MENCIÓN EN PESQUERÍAS

CONCEPCIÓN, CHILE

2003

UNIVERSIDAD DE CONCEPCION

Escuela de Graduados

Esta tesis ha sido realizada en el Departamento de Oceanografía de la Facultad de Ciencias Naturales y Oceanográficas.

Profesor Guía: Dr. Renato A. Quiñones Bergeret

Ha sido aprobada por la siguiente Comisión Evaluadora:

Dr. Álvaro Palma

Dr. Leonardo Castro

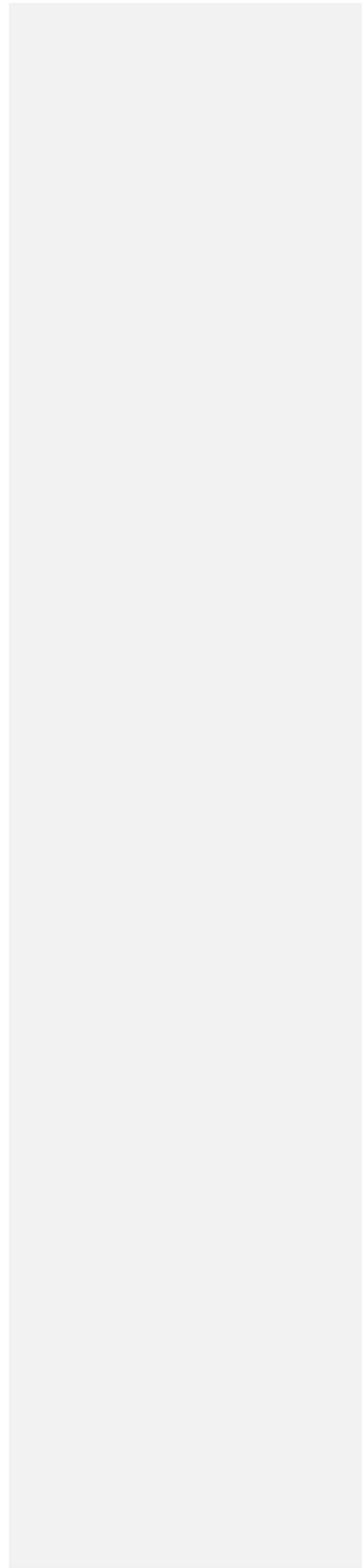
Dr. Renato Quiñones



Director del Programa:

Dr. Leonardo Castro

*A Gloria luz de luna e inspiración,
Raúl y Sonia por compartir sueños y realidades
y
Raúl F. y su capacidad de asombro.*



AGRADECIMIENTOS

Las siguientes instituciones y personas hicieron posible la realización de esta tesis:

El Consorcio para la Investigación del Cambio Global en el Pacífico Oriental (IAI) mediante el otorgamiento de la beca CIPO/IAI. La Escuela de Graduados de la Universidad de Concepción concedió becas de matrícula y auxilio económico entre 1998 y 2003. El Instituto Nacional de Pesca y Acuicultura de Colombia (INPA) financió al autor entre agosto de 1998 y diciembre de 1999.

Mauricio Valderrama B., Argiro Ramírez, Rodrigo Baos L., Julio Casquete y Nelson Angulo del INPA, hicieron contribuciones importantes en diferentes fases del proceso de recolección de las series de tiempo de la pesquería del camarón blanco. Carlos Barreto R. del INPA facilitó estadísticas de desembarque y esfuerzo de pesca no publicados correspondientes al período 1992-93. Edgar Montealegre B. del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) hizo más eficiente el proceso de adquisición de las series ambientales, en particular la correspondiente al caudal del río San Juan de la estación "Peñitas".

Los miembros de la comisión evaluadora de esta tesis, Drs. Leonardo Castro y Álvaro Palma, realizaron sugerencias importantes que permitieron mejorar varios aspectos abordados en este estudio. El Dr. Glenn Hoffman, quien participó inicialmente como miembro de la comisión de tesis, hizo valiosas observaciones para una mejor aplicación de los métodos estadísticos utilizados.

El autor agradece en forma especial al Dr. Renato Quiñones B., por sus cruciales contribuciones e inversión de tiempo en este proyecto. Sus ideas han servido de inspiración al autor y éste espera haber expresado una parte importante de ellas en este trabajo.

Muchas otras personas que no se mencionan explícitamente aquí contribuyeron de una u otra forma con la realización de este trabajo, el autor manifiesta para ellos su más sincero reconocimiento.

RESUMEN

En el Pacífico colombiano las características climáticas determinadas por las migraciones de la Zona de Convergencia Intertropical (ITCZ) están asociadas con precipitaciones altas las cuales se intensifican durante el segundo semestre del año. Los desplazamientos de la ITCZ están asociados con cambios estacionales de los vientos Alisios, los cuales tienen dirección predominante sur-este en el periodo junio-noviembre y fuerzan las corrientes superficiales hacia la costa. La climatología en el área de estudio es afectada fuertemente por la ocurrencia de las fases extremas del ciclo El Niño-Oscilación del Sur (ENSO), las cuales modifican los patrones de precipitación y el flujo de los ríos hacia el mar costero. El camarón blanco (*Litopenaeus occidentalis*) es un crustáceo decápodo de vida corta y crecimiento rápido, que se reproduce durante todo el año (el principal periodo de desove se presenta entre septiembre y octubre) y cuyo reclutamiento dentro de las áreas de pesca industrial se da por lo menos dos veces al año, con pulsos más intensos entre enero y mayo. Las características del ciclo vital de esta especie, sobre la cual se basa una importante pesquería en el área de estudio, sugieren que su abundancia anual depende fuertemente del éxito del reclutamiento biológico, el cual se hipotetiza está relacionado con la precipitación y el caudal de los ríos. Con el objetivo de evaluar la influencia de las variables ambientales relacionadas con el ciclo hidrológico anual y los ciclos ENSO sobre la abundancia del camarón *L. occidentalis* en el Pacífico colombiano, aquí se realiza un análisis de series de tiempo que utiliza como variables predictoras de la abundancia (captura por unidad de esfuerzo o CPUE) un índice de precipitación total en las áreas de pesca industrial y el caudal del río San Juan, para el periodo enero de 1974-agosto de 1989. En escala mensual los resultados indican que las correlaciones cruzadas entre caudal/precipitación y CPUE previa remoción del comportamiento autorregresivo con filtros lineales autorregresivos y de media móvil (ARIMA), es significativa con desfases temporales de 11 y 13 meses ($P < 0.05$, $0.16 \leq R \leq 0.19$). Un análisis de correlación cruzada con otra metodología basada en la corrección de los grados de libertad, permite detectar correlaciones significativas entre el caudal/precipitación y la CPUE en desfases de 9 a 11 meses ($0.24 \leq R \leq 0.33$, $0.01 \leq P \leq 0.05$), pero además detecta correlaciones en frecuencias más bajas, en desfases de 21 a 23 meses ($0.24 \leq R \leq 0.31$, $0.01 \leq P \leq 0.05$). El análisis ARIMA en escala anual indica que durante los eventos El Niño las anomalías de precipitación y de caudal se correlacionan significativamente ($P < 0.05$) con los niveles máximos de CPUE del año siguiente ($R = 0.62$ y 0.73 , respectivamente).

En conclusión se postula que en el Pacífico colombiano la precipitación y el caudal de los ríos son *proxies* de los mecanismos de transporte hacia las áreas de crianza, los cuales determinan la supervivencia y el asentamiento de los estadios de desarrollo temprano de *L. occidentalis*. Alternativamente, el aporte de los ríos implicaría una secuencia de fertilización con nutrientes, regulación de la productividad primaria y secundaria y disponibilidad de alimento, a través de la cual se determinaría la fortaleza de las clases reclutadas del camarón *L. occidentalis* en el área costera del Pacífico colombiano.

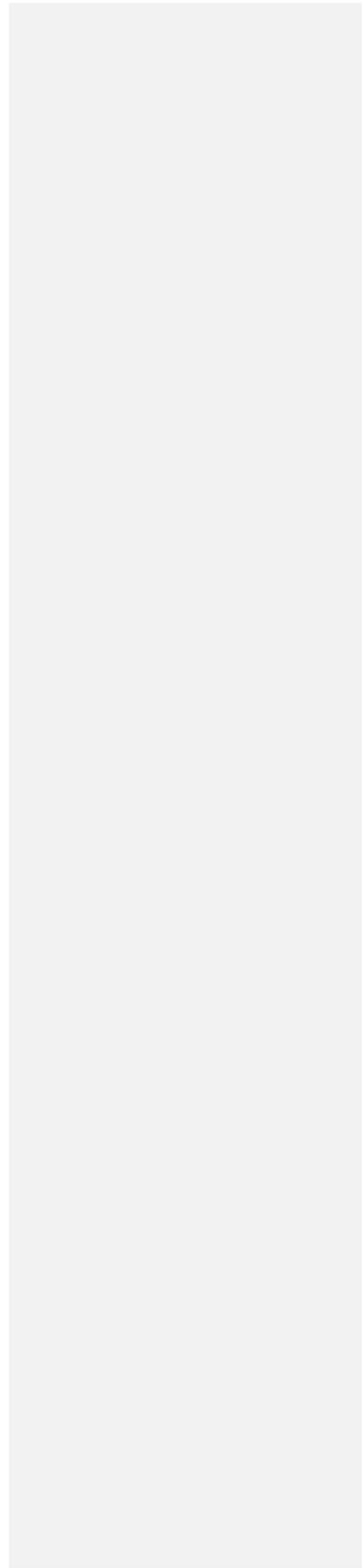


ABSTRACT

In the Colombian Pacific the climate properties are determined by seasonal migrations of the Intertropical Convergence Zone (ITCZ) which are associated to high precipitation and are more intense during the second half of the year. The ITCZ movements are also associated with seasonal changes in Trade Winds direction so between June and November they have south-east direction and force surface currents to the shore. The climate in the study area is strongly affected by extreme phases of El Niño-Southern Oscillation (ENSO) cycle because of modification in rainfall and rivers outflow patterns in the coastal area. White shrimp (*Litopenaeus occidentalis*) is a short lived decapod crustacean which grows fast, reproduces all year round (the main spawning period is between September and October), and that recruits into the industrial fleet fishing grounds at least twice a year (pulses are more intense between January and May). Life history characteristics of the white shrimp, a species which sustains an important fishery in the area, suggest that its annual abundance depends strongly on biological recruitment. Here I hypothesize that white shrimp abundance is related to rainfall and rivers runoff. With the aim of evaluating the influence of the annual hydrology and ENSO cycles on the abundance of *L. occidentalis* in the Colombian Pacific I conduct a time series analysis that includes as abundance (catch per unit of effort or CPUE) predictors a total rainfall index over fishing areas and the San Juan river runoff between January 1974 and August 1989. In scale of months the results show that cross correlations between rainfall/runoff and CPUE after removing autocorrelation with autoregressive moving average (ARIMA) linear filters are significant in time lags of 11 and 13 months ($P < 0.05$, $0.16 \leq R \leq 0.19$). On the other hand, cross correlation with a correction of the degrees of freedom is significant in lags 9 to 11 months ($0.24 \leq R \leq 0.33$, $0.01 \leq P \leq 0.05$) but also in lags 21 to 23 ($0.24 \leq R \leq 0.31$, $0.01 \leq P \leq 0.05$). Moreover, the ARIMA analysis in annual scale shows that during El Niño rainfall and runoff anomalies are significantly correlated with maximum CPUE attained during the next year ($R = 0.62$ y 0.73 , respectively).

As conclusion I postulate that in the Colombian Pacific rainfall and rivers runoff are proxies of the mechanisms of transport to nursery areas that determine early stages survivorship and settlement of the shrimp *L. occidentalis*. Alternatively, input of the rivers would imply a sequence of nutrients enrichment, primary and secondary production regulation and food availability for

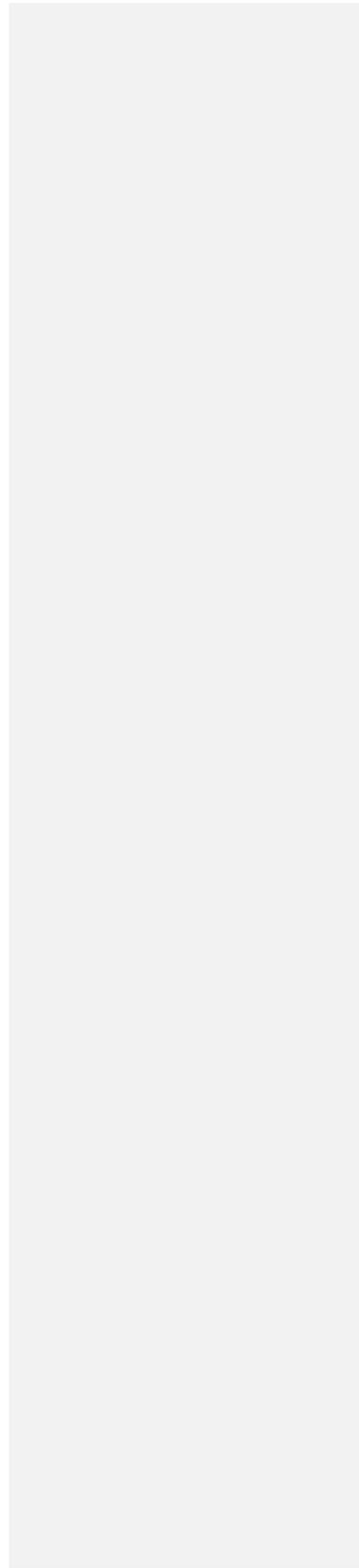
early stages that would determine the strength of *L. occidentalis* recruitment in the coastal area of the Colombian Pacific.



CONTENIDO

1.	INTRODUCCIÓN	1
2.	ANTECEDENTES.....	4
2.1	El régimen de vientos y la precipitación en el Pacífico colombiano	4
2.2	Corrientes oceánicas.....	5
2.3	Las mareas.....	6
2.4	El aporte de los ríos.....	6
2.5	La producción primaria en el Pacífico oriental tropical y en el Pacífico colombiano	7
2.6	Efectos de El Niño sobre el comportamiento de la ITCZ	8
2.7	Ciclo vital de los camarones peneidos	10
3.	FORMULACIÓN DE HIPÓTESIS	17
3.1	Causas de mortalidad natural durante la metamorfosis del camarón blanco	17
3.2	Puntos críticos del desarrollo larvario de los peneidos	18
3.3	Modelo conceptual propuesto a priori para la formulación de hipótesis	19
3.4	Hipótesis propuestas.....	21
4.	MÉTODOS.....	24
4.1	Serie de desembarque y esfuerzo de la pesca industrial entre 1968 y1989.....	24
4.2	Serie de desembarque y esfuerzo para el período 1990-1997	27
4.3	Cobertura espacial de las series de tiempo de desembarque y esfuerzo	29
4.4	Cálculo del índice de abundancia (CPUE).....	30
4.5	Variables ambientales utilizadas	31
4.6	Análisis de series de tiempo	33
5.	RESULTADOS.....	41
5.1	Desembarque y esfuerzo de la pesquería industrial del camarón blanco.....	41
5.2	Esfuerzo de pesca de la flota de arrastre de Buenaventura	49
5.3	Índice relativo de abundancia del camarón blanco (CPUE)	51
5.4	Variables ambientales	53
5.5	Funciones de correlación cruzada con el método ARIMA (Box y Jenkins, 1976).....	67
5.6	Correlación cruzada con el método Pyper –Peterman (1998).....	70
5.7	Desembarque y esfuerzo en los 1990's.....	70

5.8	Relación entre la CPUE del camarón blanco y los ciclos ENSO.....	73
6	DISCUSIÓN DE RESULTADOS	79
6.1	Comportamiento de las series de tiempo pesqueras y ambientales.....	80
6.2	Evaluación de las hipótesis a priori propuestas para la relación entre precipitación / caudal y abundancia del camarón	81
6.3	Hipótesis propuestas a posteriori para los mecanismos que determinan la correlación entre la precipitación / caudal y la abundancia del camarón blanco en el Pacífico colombiano	83
6.4	Efectos del ciclo ENSO sobre la relación de la precipitación /caudal con la abundancia del camarón blanco	84
6.5	Las relaciones de la precipitación / caudal con la abundancia del camarón blanco en el contexto de las hipótesis generales ambiente-reclutamiento.....	89
7	CONCLUSIONES	94
8.	REFERENCIAS	95



1. INTRODUCCIÓN

Desde el comienzo de la pesca industrial en Colombia en los años 1950, la explotación industrial del camarón blanco (*Litopenaeus occidentalis*), en el Pacífico se destaca como una de las pesquerías con mayor importancia socioeconómica del país. En 1998 la exportación de camarones producidos en la zona alcanzó los 22 millones de dólares (INPA, 1998).

Las áreas de captura del camarón blanco se extienden a lo largo de la costa pacífica colombiana, desde Cabo Corrientes hasta los límites de la Ensenada de Tumaco, al sur de las bocas del río Patía (Fig. 1). Los fondos arrastrables están constituidos por lodos oscuros y sílice orgánica, tienen profundidades de 5 a 50 metros y área aproximada de 7550 km² (FAO, 1973; Herazo, 1981). El Pacífico colombiano se encuentra en el Pacífico Oriental Tropical y su variabilidad climática está determinada principalmente por las migraciones estacionales de la Zona de Convergencia Intertropical (ITCZ). En el área de estudio existe una extensa cobertura de nubes, predomina la presión atmosférica baja, hay un intenso régimen de precipitación y dentro de la cuenca desembocan numerosos ríos cortos y caudalosos que nacen en la Cordillera de los Andes (Restrepo y Kjerfve, 2000). También es importante agregar que los eventos El Niño-Oscilación del Sur (ENSO) afectan en forma muy importante la climatología local (e.g. Waylen y Poveda, 2002).

La flota dedicada a la extracción del camarón blanco comenzó en 1957 con tan sólo dos embarcaciones de arrastre de fondo, las cuales obtenían rendimientos muy elevados (> 18.2 toneladas-cola·barco⁻¹·año⁻¹) y ejercían su efecto principalmente sobre los miembros adultos más grandes de las poblaciones (Mora, 1988a.). Debido a las facilidades de infraestructura y comercialización, la flota industrial desde el principio se estableció mayormente en Buenaventura, puerto ubicado en el sur occidente de Colombia (Fig. 1). En los años 1960's existían importantes expectativas económicas para la pesquería del camarón blanco lo cual se evidenció en un rápido crecimiento de la flota arrastrera, llegándose al máximo histórico de desembarque en 1967 con 1.0×10^3 toneladas-cola extraídas en promedio por 55 barcos activos (Mora, 1988a.). Desde 1967 los niveles del desembarque industrial del camarón muestran los primeros indicios de descenso, los cuales se hacen más claros entre 1977 y el comienzo de los

años 1980's. Al final de los años 1970's el camarón blanco deja de ser la especie con el mayor volumen de producción dentro de la pesquería industrial y es reemplazada por el camarón títí (*Xiphopenaeus riveti*) cuyo valor comercial es mucho menor (Herazo, 1981; Mora, 1988a.). De acuerdo con la estimación del rendimiento máximo sostenible (MSY) de 900 toneladas-cola, se piensa que la pesquería industrial comenzó a sobre explotar el camarón *L. occidentalis* a finales de los 1980's (Mora, 1988a.; Pineda, 1992). Aproximadamente desde 1984, el desembarque artesanal creció considerablemente (Mora, 1988a.). La pesca artesanal del camarón se concentra muy cerca o incluso dentro de las áreas de crianza, las cuales están ubicadas en las desembocaduras de los ríos y en los bosques de manglar ribereño. Por consiguiente, la pesca artesanal ha aumentado la presión sobre los estados juveniles del camarón blanco, posiblemente ha limitado la disponibilidad del recurso en las áreas de arrastre de la flota industrial y probablemente también ha contribuido a que el nivel de esfuerzo correspondiente al MSY se haya sobrepasado.

La tendencia descendente que se observa desde 1977 en la serie histórica de desembarque del camarón blanco en Buenaventura suscita serias dudas sobre la sustentabilidad futura de esta importante pesquería. Sumado al efecto de la pesquería misma sobre la abundancia del camarón, cabe la posibilidad de que los factores ambientales también hagan una contribución importante en la determinación de los niveles de abundancia de esta especie. En la mayoría de especies de camarones peneidos se ha descrito un ciclo vital corto de 1 ó 2 años (e.g. Pérez-Farfante, 1969; García y Le Reste, 1986). Para *L. occidentalis* en particular, se sugiere en el ámbito hipotético que esta especie es afectada significativamente por factores ambientales cuya influencia mayor se da en las fases tempranas del desarrollo (i.e. desde huevo hasta postlarva). La alta dependencia del reclutamiento que caracteriza a la pesquería del camarón blanco y su ciclo vital corto aseguran una probabilidad alta de detección de los cambios de abundancia de los estadíos tempranos de la especie en el corto plazo, a partir de las observaciones del desembarque. No obstante, los mecanismos que gobiernan estos cambios de abundancia asociados con la variabilidad del ambiente en el presente se desconocen para la especie en el Pacífico colombiano.

El objetivo general de esta tesis es determinar la existencia de relaciones entre las fluctuaciones históricas del índice de abundancia del camarón *Litopenaeus occidentalis* y la variabilidad

ambiental en el Pacífico colombiano. Para alcanzar este objetivo se analizan series de tiempo de desembarques, esfuerzo de pesca de la flota industrial, precipitación y caudal de algunos ríos en las zonas de distribución del camarón alrededor de Buenaventura, en el periodo 1968-1998. Como parte del análisis se procede a (i) establecer la influencia de la precipitación y el caudal sobre la captura y la captura por unidad de esfuerzo y (ii) estudiar mediante las variaciones extremas de las variables de precipitación y caudal de los ríos, la influencia de los eventos El Niño-Oscilación del Sur sobre el índice de abundancia de camarón.

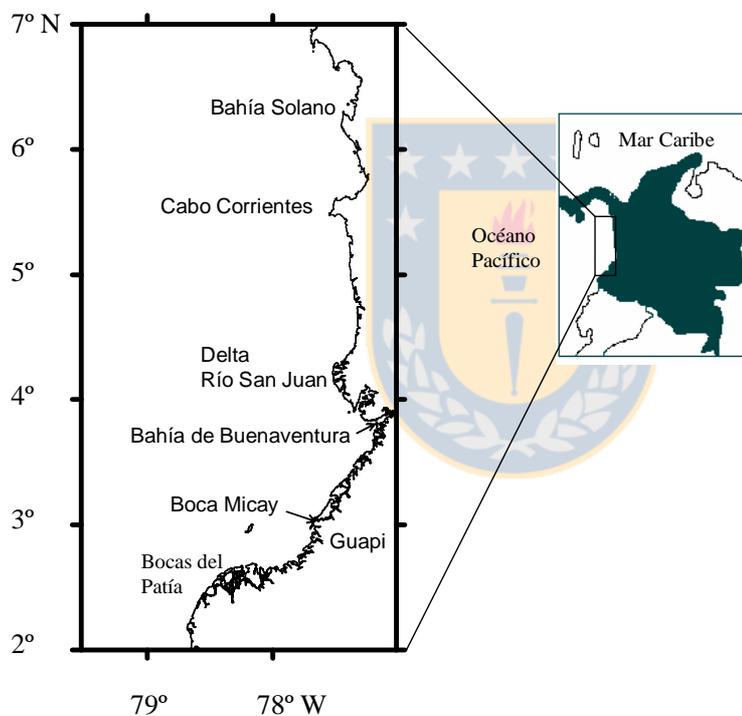


Figura 1. Rango latitudinal de la pesquería industrial del camarón blanco (*Litopenaeus occidentalis*) con centro de desembarque en el puerto de Buenaventura: bocas del Río Patía hasta Cabo Corrientes (Pacífico Colombiano).

2. ANTECEDENTES

2.1 El régimen de vientos y la precipitación en el Pacífico colombiano

El movimiento en gran escala de la atmósfera tropical, en el orden de semanas o mayor, corresponde a la circulación termal en la cual el aire cargado de humedad converge hacia las regiones más cálidas de la superficie terrestre, asciende y se condensa conformando una nubosidad muy extendida y altas precipitaciones (Philander, 1990). El encuentro entre los vientos Alisios del Noreste y del Sureste, que ocurre al norte de la línea ecuatorial, da origen a la Zona de Convergencia Intertropical (ITCZ) la cual se desplaza anualmente entre los 2° N en marzo y los 13° N en septiembre (Philander, 1990; Tchantsev y Cabrera, 1998). La variabilidad en el régimen de vientos en el Pacífico Oriental, en particular al norte de la línea ecuatorial, se encuentra estrechamente relacionada con las oscilaciones de la ITCZ; los vientos Alisios del Noreste tienen su mayor actividad entre noviembre y mayo, pero después su fuerza disminuye entre junio y octubre, teniéndose valores mínimos en septiembre. A la inversa, los Alisios del Sureste son más intensos entre junio y noviembre cuando soplan con dirección a la costa (Tchantsev y Cabrera, 1998).

Sobre la costa pacífica colombiana se presentan vientos superficiales del oeste con un ciclo anual bien marcado (Poveda *et al.* 1998). Existe en el área una corriente de chorro (*Jet*) de bajo nivel del oeste proveniente del Océano Pacífico a los 5°N que penetra al interior de Colombia, la cual es casi imperceptible en enero-febrero, pero alcanza actividad máxima en agosto-noviembre (hasta 6 m·seg⁻¹). La corriente de chorro contribuye a la advección de humedad por parte de vientos fríos que interactúan con los Alisios del Este, produciendo inestabilidad, fuerte convección profunda y precipitación muy alta sobre la costa pacífica colombiana (Poveda y Mesa, 2000; Poveda *et al.* 1998).

En las zonas de pesca del camarón blanco, en la parte sur del Pacífico colombiano y cerca de Tumaco, la época de lluvias suele presentarse entre marzo y abril, cuando de acuerdo con

Philander (1990) la ITCZ se encuentra en su posición más al sur. A medida que la ITCZ se desplaza al norte las mayores precipitaciones ocurren entre abril y septiembre, en las cercanías de Buenaventura (INPA-VECEP, EAFIT e IGAC, 1991). En el Pacífico colombiano el patrón de precipitaciones se encuentra muy relacionado con los desplazamientos de la ITCZ, además estos movimientos también determinan en gran medida el aporte de los ríos (Tchantsev y Cabrera, 1998).

2.2 Corrientes oceánicas

El transporte de las larvas de los camarones peneidos hacia las zonas de crianza, una vez se ha presentado el desove en el mar, está ligado con la acción de las corrientes que se dirigen hacia el continente (Pérez –Farfante, 1969). En la costa Pacífica de Colombia, en gran escala, se destaca la influencia de dos corrientes principales, la Corriente Colombia con dirección noreste y la Contracorriente Ecuatorial (Andrade, 1992; Molina y Mirmand, 1992; Tchantsev y Cabrera, 1998). La intensidad y dirección de las corrientes en la cuenca del Pacífico colombiano fueron analizadas cualitativamente mediante la distribución de temperatura y salinidad por Tchantsev y Cabrera (1998). Los cambios en las corrientes en la cuenca están estrechamente relacionados con el régimen de vientos, los cuales a su vez alteran la distribución de la temperatura en la columna de agua (Tchantsev y Cabrera, 1998). Durante el predominio de los Alisios del Noreste la Contracorriente Ecuatorial se amplía con lo cual ocurre un aumento de la Temperatura Superficial del Mar (TSM) al principio del año. Por el contrario, con el predominio de los Alisios del Sureste, la Corriente Colombia amplía su área de influencia, permitiendo el avance más al norte de aguas relativamente frías en el segundo trimestre del año (Tchantsev y Cabrera 1998). Este patrón general presenta variaciones locales de importancia. Al principio del año en el extremo norte del Pacífico colombiano existen informes sobre la ocurrencia de eventos de afloramiento, principalmente al frente de Cabo Corrientes (Wooster, 1959), los cuales están asociados con el fortalecimiento de los vientos Alisios del Noreste procedentes de Panamá (Rodríguez y Stuardo, 2002).

2.3 Las mareas

En el área de estudio las mareas lunares son de tipo semidiurno con un período de 12h 25' y el rango de las mareas puede superar los 4 metros de altura (Martínez *et al.*, 1995). La actividad de las corrientes de marea puede ser determinante para el transporte de larvas hacia o fuera de las áreas de crianza dependiendo de la creación de corrientes residuales de marea, la formación de flujos rotatorios debidos a la presencia de islas y bancos y la formación de ondas internas con dirección hacia la costa (Shanks, 1995). Dentro de los estuarios las corrientes adquieren mayor velocidad que en la plataforma y la formación de zonas frontales debidas al encuentro de los ríos con el mar permitiría la entrada de los juveniles a las áreas de crianza, en la medida que los individuos cambian su hábito planctónico por el bentónico (Shanks, 1995). Esta posibilidad es consistente con las observaciones realizadas por Rogers *et al.* (1993) en el Golfo de México, quienes informan que las postlarvas del camarón *Farfantepenaeus aztecus* tienden a concentrarse cerca de la boca de los ríos o en la entrada de las bahías.

2.4 El aporte de los ríos

Las variaciones de la abundancia del camarón blanco pueden tener alguna relación con la dinámica del aporte de los ríos en las áreas de crianza; las zonas frontales formadas por los ríos pueden favorecer la retención de los estadíos tempranos. En varias partes del mundo, algunas investigaciones han encontrado relaciones significativas entre el aporte de los ríos y la captura de camarones u otros crustáceos decápodos (Wilber, 1994; Evans *et al.* 1997; Lee, 1999).

Una idea de la magnitud e importancia del aporte de agua dulce en la zona nerítica del Pacífico colombiano la proporciona el río San Juan, uno de los principales ríos en el área. Los caudales anuales de este río entre 1965 y 1995, medidos en la estación Peñitas, tuvieron valores mínimos cercanos a los $1450 \text{ m}^3 \cdot \text{seg}^{-1}$ en 1976 y máximos de más de $2500 \text{ m}^3 \cdot \text{seg}^{-1}$ en 1973 (Tchantsev y Cabrera, 1998). Los promedios mensuales multianuales sugieren que durante el año el río San Juan presenta dos máximos bien definidos, uno principal entre octubre–diciembre ($2500 \text{ m}^3 \cdot \text{seg}^{-1}$) y otro secundario en abril–junio ($2100 \text{ m}^3 \cdot \text{seg}^{-1}$). Por otra parte los caudales mínimos del río San

Juan se presentan entre enero y marzo con $1600-1700 \text{ m}^3 \cdot \text{seg}^{-1}$ (Tchantsev y Cabrera, 1998). De acuerdo con Tchantsev y Cabrera (1998) en la zona nerítica del Pacífico colombiano la distribución de la salinidad depende de las fluctuaciones de intensidad de las precipitaciones y del aporte de los ríos. En enero se presenta un aumento de la salinidad en todo el Pacífico colombiano, el cual se atribuye a la entrada de agua desde el océano, a la disminución de la precipitación y del aporte de los ríos (Tchantsev y Cabrera, 1998). Poveda *et al.* (1998) consideran que el desfase entre el comienzo de los máximos de precipitación y el aumento en el caudal de los ríos es más bien instantáneo o a lo sumo de un mes (Poveda Com. Pers.). La reducción de la salinidad y el aporte de agua dulce cambian la distribución vertical de la densidad en la columna de agua, lo cual introduce cambios en la estructura dinámica cerca de la costa afectando de forma importante las corrientes costeras (Tchantsev y Cabrera, 1998).

2.5 La producción primaria en el Pacífico oriental tropical y en el Pacífico colombiano

La siguiente revisión se basa en un trabajo de Fielder (1994), quien analizó datos recolectados con un detector de color del océano (Coastal Zone Scanner) instalado en el satélite Nimbus 7 para el período 1979 a 1986 en el Pacífico Centro Oriental.

El patrón general de pigmentos en el Pacífico Oriental se tipifica con un florecimiento en el otoño y un mínimo en la primavera del hemisferio norte, aunque este patrón es muy variable en los diferentes sectores del Pacífico Centro-Oriental. En 1979–1980 el aumento gradual de la concentración de pigmentos fotosintéticos llegó al máximo durante 1981, más adelante hubo un descenso hasta el mínimo coincidente con El Niño de 1982–1983. En el eje norte-sur la concentración mínima de pigmentos se alcanzó en el invierno, cerca a la línea ecuatorial y progresivamente se extendió hasta los 10° al norte y al sur, con un desfase aproximado de un año. La disminución promedio de los pigmentos durante El Niño 1982–1983 fue del 39 % (rango 5-69 %) usando como referencia la serie de tiempo suavizada; dicho porcentaje aumentó en el sentido oeste-este y del ecuador hacia el norte y el sur. Después del evento El Niño de 1982–1983 se observó una recuperación en la concentración de los pigmentos fotosintéticos, para 1984 se habían alcanzado niveles similares o superiores a los presentes antes del evento; no

obstante, a mediados de 1986 los pigmentos de nuevo tenían una tendencia decreciente (Fielder, 1994).

En el Pacífico Oriental la concentración media de los pigmentos fotosintéticos de la zona eufótica, entre noviembre de 1978 y junio de 1986, varió entre 0.04 y 25.6 mg·m⁻³, teniéndose los valores más altos en el Golfo de Tehuantepec, costa central de México, golfo de Papagayo en Nicaragua y en el golfo de Panamá; mientras que alrededor de la línea ecuatorial la concentración de pigmentos aumentó en sentido oeste-este, a excepción de un máximo local en las islas Galápagos. En el sentido norte- sur se observó que las concentraciones más altas de pigmentos estuvieron alrededor de los 15 °N, cerca de Tehuantepec, más al sur se encontraron máximos en los 9° N y en los 1° S, en la frontera entre Ecuador y Colombia; adicionalmente para el mar costero de Colombia se observaron concentraciones bajas de pigmentos entre 0.2 y 0.5 mg·m⁻³ (Fielder, 1994), mientras que Thomas (1979) había medido valores entre 0.1 y 0.2 µg-clorofila·L⁻¹ para la misma zona.

2.6 Efectos de El Niño sobre el comportamiento de la ITCZ

De acuerdo con Sharp (1992) los efectos que tienen en el corto y largo plazo los movimientos de la ITCZ entre el norte y el sur se hacen evidentes en las series de tiempo de los escalares del viento y de la TSM en la ensenada de Panamá (0°-10° N y 90°-100° W). La ensenada de Panamá es el área de máxima incursión de la ITCZ en el Pacífico Oriental y allí los eventos cálidos El Niño tienden a producir las mayores precipitaciones (Philander, 1990; Sharp, 1992). Durante El Niño la costa pacífica centroamericana tiene los valores mínimos de precipitación mientras que desde el norte del Ecuador hasta el norte del Perú con frecuencia se presentan fuertes anomalías positivas (Sharp, 1992). En las fases cálidas del ciclo ENSO la corriente de bajo nivel del oeste (responsable de la surgencia en el área de la ensenada de Panamá) se debilita, en tanto que lo contrario ocurre durante la fase fría (Poveda *et al.* 1998). En las fases frías del ENSO se observan precipitaciones altas, en especial en septiembre-febrero y en menor cantidad durante julio-agosto (Poveda *et al.* 1998).

Poveda *et al.* (2001) calcularon correlaciones cruzadas entre el Índice de Oscilación del Sur y variables hidrológicas, con series sin estandarizar y agrupando por intervalos trimestrales. Estos autores encontraron correlaciones positivas entre el Índice de Oscilación del Sur (SOI) y los caudales de 50 ríos colombianos, encontrando además que esta relación también es válida para el caso de las series de precipitación (Poveda *et al.* 2001; Poveda *et al.* 1998; Tabla 1). Adicionalmente, Poveda *et al.* (2001) demuestran que las asociaciones entre el SOI y el caudal o la precipitación son más fuertes en las estaciones cercanas al Océano Pacífico, en particular en los departamentos del Valle del Cauca y Cauca (Poveda *et al.* 1998), coincidiendo con las áreas donde se desarrolla la pesquería del camarón *L. occidentalis*.

Tabla 1. Correlaciones entre el Índice de Oscilación del Sur (SOI), el caudal de 50 ríos y la precipitación durante la ocurrencia de ciclos ENSO en diferentes lugares de Colombia (1959-1995) (Poveda *et al.* 2001).

	CC(Sep-Nov)	CC(Dic-Feb)	CC(Mar-May)	PP(Jul-Ago)	PP(Dic-Ene)
SOI (Sep-Nov)	+	+	NS	NS	+
SOI (Mar-May)	NS	NS	+	---	---
SOI (Jul-Ago)	---	---	---	Ocasional	NS
SOI (Dic-Ene)	---	---	---	NS	+

CC = caudal, PP = precipitación, SOI = índice de oscilación del sur, NS = correlación no significativa ($P \leq 0.10$), “---” = relación no informada. Los niveles de significancia de las correlaciones varían en el intervalo $0.01 < P < 0.1$.

2.6.1 El Niño 1997-1998

Chunzai y Weisberg (2000) han propuesto que el evento cálido de 1997-1998 se desarrolló en seis etapas, esto es una etapa adicional a la propuesta por Rasmusson y Carpenter: (1) antecedente, (2) inicio, (3) desarrollo, (4) transición, (5) madurez y (6) decadencia. Estas etapas se caracterizan por mostrar una evolución en el sentido oeste-este del Pacífico Tropical y Subtropical. De entre las varias indicaciones de la ocurrencia del evento cálido, cabe destacar que las anomalías de temperatura y el cambio de la dirección de los vientos del este por los del oeste traspasaron los 120° W, hacia el Pacífico Oriental, desde la fase (4) y los efectos fueron más

intensos en el extremo más oriental del Pacífico Ecuatorial hacia la fase (5) (Chunzai y Weisberg, 2000).

2.7 Ciclo vital de los camarones peneidos

La mayoría de los camarones peneidos se desplazan hacia el mar para liberar sus huevos demersales; los estadíos larvarios y los primeros de postlarva entran a formar parte del plancton (García y Le Reste, 1986; Hendrickx, 1995). En una etapa más avanzada del ciclo vital, las postlarvas se dirigen hacia la costa y con frecuencia se internan en los estuarios y lagunas costeras; los camarones regresarán al mar al alcanzar alrededor de 10 cm de longitud total (LT) con lo que cierran el ciclo (García y Le Reste, 1986). Entre los peneidos pueden presentarse diferencias importantes con respecto a su relación con las aguas salobres y a la distribución de los adultos en el gradiente aguas costeras-aguas oceánicas (García y Le Reste, 1986; Hendrickx, 1995). En las especies del Atlántico Occidental se ha determinado que el desove se realiza en profundidades de 4 a 110 m, aunque la mayoría desova típicamente alrededor de los 27 m, la excepción la constituye *Farfantepenaeus aztecus* que se ha informado desova hasta 110 m (Pérez-Farfante, 1969). La periodicidad del desove en las latitudes más altas tiende a presentar un solo máximo en la primavera o al principio del otoño del hemisferio norte (mayo-junio), pero en latitudes más bajas como al sur de Estados Unidos, Golfo de México o el Caribe, es frecuente tener dos o más picos de desove (marzo-abril, mayo-septiembre, septiembre-noviembre); incluso en el caso de *Farfantepenaeus duorarum* se ha descrito que el desove ocurre prácticamente todo el año (Pérez-Farfante, 1969). En consecuencia en las poblaciones de camarones peneidos es posible que haya 2 o más reclutamientos a lo largo del año. Para *L. occidentalis* en el Golfo de Nicoya (Costa Rica) Tabash y Palacios (1996) establecieron que el primer máximo de desove ocurre en agosto-octubre, aunque además informan de un segundo máximo en marzo-junio. En el Pacífico colombiano se ha podido establecer que el período dentro del cual se observa la mayor proporción de hembras con huevos en las áreas de pesca se ubica entre octubre y diciembre (Pineda, 1992; Ramírez, 1994).

Otros aspectos de la biología del camarón blanco en el Pacífico colombiano no han sido todavía abordados y requieren un mayor esfuerzo de investigación. Sin embargo, aquí se considera útil revisar algunos aspectos de la biología reproductiva de otras especies de camarones peneidos, en otras áreas geográficas, con el fin de contribuir al marco conceptual que sirve de base para la formulación de hipótesis sobre las relaciones ambiente-reclutamiento (ver Tyler, 1992 y sección 3). Con respecto a la frecuencia del desove, en *Litopenaeus setiferus*, se ha encontrado que las hembras pueden desovar más de una vez durante su ciclo vital. Después de su primer desove las hembras de esta especie presentan una rápida recuperación de los ovarios, de manera que los individuos que desovan tempranamente en la estación reproductiva pueden hacer un nuevo aporte de huevos; algunos autores han llegado a proponer hasta 4 desoves en una misma estación (referencias en Pérez–Farfante, 1969). El proceso del desarrollo embrionario es similar en la mayor parte de las especies anteriormente clasificadas dentro del género *Penaeus* (García y Le Reste, 1986). Los huevos eclosionan unas pocas horas después de la postura, emergiendo los nauplios, el número total de estadios larvarios suele ser de once, representados por 5 fases de nauplio, 3 protozoas y 3 mysis; después de la última mysis viene la primera mastigopa o postlarva (Pérez–Farfante, 1969; Jones *et al.* 1970; García y Le Reste, 1986). En *L. setiferus* se ha determinado que el ciclo larvario puede durar entre 10 y 12 días (Pérez–Farfante, 1969), mientras que en *Farfantepenaeus duorarum* en la Florida, Estados Unidos, este período se extendería por 20 días a 26° C (Criales y Lee, 1995). Sin embargo, la duración del período de metamorfosis no es fija sino que depende de las condiciones locales de alimentación y del hábitat (Pérez–Farfante, 1969). Al final de la metamorfosis las primeras postlarvas permanecen en el plancton y viven en mar abierto, en la medida que éstas crecen se desplazan hacia la costa y finalmente penetran las aguas costeras (Pérez–Farfante, 1969). La postlarva que apenas tiene unos pocos milímetros (<6 mm LT) ya tiene el aspecto del adulto, pero el número de dientes en el *rostrum* todavía no está completo, la postlarva pasa por otros estadios que están definidos por la fórmula rostral, siendo los más tempranos típicamente planctónicos pero los más avanzados semibentónicos (García y Le Reste, 1986). Debido a la dinámica de su ciclo vital, las especies de camarones peneidos efectúan desplazamientos entre las aguas oceánicas y los estuarios; a este respecto varias investigaciones concuerdan en que las larvas y postlarvas son transportadas hacia la costa gracias a la acción de las corrientes (Pérez–Farfante, 1969; Jones *et al.* 1970; Rogers *et al.* 1993). Por su parte, Criales y Lee (1995) han descrito otros mecanismos de transporte como el giro

ciclónico de Tortugas en la Florida, el cual en 1991 fue el medio que permitió la llegada de postlarvas a las zonas de crianza de las especies de camarones *L. duorarum* y *Solenocera spp.*

Las larvas y juveniles de los camarones peneidos son capaces de desplazarse muchos kilómetros antes de encontrar un área de crianza apropiada, incluso pueden avanzar mucho dentro de los ríos. En el golfo de México el período de llegada a los estuarios se presenta en el verano desde mayo hasta noviembre, mientras que en Carolina del norte y del sur (Estados Unidos) el período puede ir desde junio hasta mediados de agosto o septiembre (Pérez-Farfante, 1969). Los camarones crecen rápidamente y durante el proceso regresan a las aguas más cercanas al mar para internarse en él cuando alcanzan un tamaño entre 100 y 120 mm LT; la migración hacia el mar desde las áreas de crianza se presenta desde la primavera, se prolonga durante el verano y llega hasta el principio del invierno (Pérez-Farfante, 1969). En algunas áreas se presentan dos migraciones, una de primavera y otra al inicio del invierno; la primera migración corresponde a los individuos eclosionados al final de la anterior estación de desove y la segunda a los desoves ocurridos al principio de la primavera (Pérez-Farfante, 1969).

Se tiene evidencias de que la temperatura ejerce un efecto importante en la actividad reproductora de los peneidos. En la especie *Litopenaeus setiferus* la estación de desove se adelanta dependiendo de la tasa de cambio de la temperatura ambiental, un calentamiento súbito puede inducir la liberación de los huevos. Las larvas de *L. setiferus* se encuentran en las áreas de crianza de Texas (Estados Unidos) desde mayo hasta septiembre y podría existir una relación estrecha entre la temperatura y el patrón de abundancia de las mismas (Pérez-Farfante, 1969). Otra prueba de la influencia de una variable ambiental sobre *L. setiferus* se ha obtenido a partir de experimentos de laboratorio que indican que entre 18-32°C y con salinidad de 25 la frecuencia de las mudas y el crecimiento de las postlarvas aumenta con la temperatura; además hay evidencia de que *L. setiferus* se desplaza hacia aguas más profundas durante los períodos fríos del invierno y que los individuos más pequeños regresan al agua somera cuando la temperatura invernal vuelve a aumentar (Pérez-Farfante, 1969). Con respecto a la influencia de la salinidad, las altas concentraciones de juveniles en aguas de baja salinidad (< 10) ha sido una observación realizada frecuentemente, es posible que la baja salinidad en las áreas de crianza sea una condición necesaria para el desarrollo de los juveniles de los peneidos (Pérez-Farfante, 1969). Sin embargo,

la tolerancia a la salinidad por si misma no juega un papel directo en el crecimiento de los juveniles en los ambientes estuarinos (Pérez-Farfante 1969); algunos experimentos han mostrado que más bien la combinación entre salinidad y temperatura podría relacionarse con la distribución de los camarones en las aguas costeras, pues los camarones permanecen alejados de las áreas con baja salinidad durante los períodos fríos (Pérez-Farfante, 1969).

2.7.1 Alimentación

Los sistemas de estuario se constituyen en la principal fuente de alimento y refugio para los estadíos tempranos de los camarones (Lee, 1999; Loneragan y Bunn, 1999). Las especies de *Litopenaeus*, *Farfantepenaeus* y *Fanneropenaeus* han sido consideradas omnívoras porque en los contenidos del tracto digestivo se encuentra detrito orgánico e inorgánico y fragmentos de otros animales como crustáceos, moluscos, poliquetos, foraminíferos, larvas de peces, nemátodos, entre otros (Pérez-Farfante, 1969). El contenido estomacal de los peneidos presenta dificultades para ser evaluado debido a las peculiaridades de su proceso digestivo (McTigue y Zimmerman, 1991). En el sistema digestivo de los camarones peneidos lo más frecuente es encontrar material irreconocible, parcialmente digerido y partes duras aisladas de los animales ingeridos, razón por la cual frecuentemente se les ha definido como omnívoros oportunistas, bajo la suposición de que consumen cualquier planta y animal disponibles, incluido el detrito orgánico (McTigue y Zimmerman, 1991). Sin embargo, análisis inmunológicos han permitido determinar que en la dieta de los peneidos pueden hallarse representantes de la macrofauna y la meiofauna (anfípodos gamáridos, poliquetos, foraminíferos, braquiuros, palaemónidos) lo mismo que variedad de microalgas, por lo cual se podrían clasificar como consumidores generalistas, con alto grado de dieta carnívora o herbívora dependiendo de la oferta del entorno (Hunter y Feller 1987; Stoner y Zimmerman, 1988; McTigue y Zimmerman, 1991). Es común atribuir a las zonas de manglar un papel muy importante para la alimentación de los peneidos, sin embargo esa conclusión se ha fundamentado en observaciones indirectas, a través de métodos estadísticos (Lee, 1999). En los análisis en que se utilizan modelos de regresión, normalmente hay cantidades grandes de varianza no explicada que llevan a considerar la existencia de otros factores importantes además del área de los manglares como fuente de alimento (Lee, 1999). Es posible, por ejemplo, que la

resuspensión del detrito del manglar depositado en el fondo, le sirva de refugio a los camarones de sus depredadores, como áreas de crianza para las larvas y como sitio de cacería de presas más pequeñas, ya que el consumo directo del detrito se dificulta debido a que las hojas y restos de los árboles de mangle están conformados por material refractario rico en taninos y con una relación C:N pobre (Lee, 1999). Adicionalmente, evidencias recientes sugieren que la exportación de materia orgánica desde los manglares podría ser muy baja debido a la alta eficiencia de reciclaje del carbono orgánico por parte de las comunidades microbianas presentes en el agua intersticial de estos bosques (Howes y Goehring, 1994; Lee, 1999).

2.7.2 Mecanismos relacionados con la influencia de los ríos y la precipitación sobre la abundancia de los camarones peneidos

El aporte de agua dulce por parte de los ríos puede tener efectos importantes sobre las poblaciones de invertebrados costeros. Por un lado los ríos arrastran desde el continente nutrientes que enriquecen los sistemas de estuario, de otro lado las fluctuaciones en el caudal producen variaciones en el entorno físico que afectan la disponibilidad de hábitat apropiados para el asentamiento y la crianza de los estados juveniles de diferentes especies que habitan los estuarios (Loneragan y Bunn, 1999). Las exportaciones estacionales del nitrógeno y fósforo estimulan la producción de fitoplancton y de microalgas bentónicas, los cuales son fuentes primarias importantes en las redes tróficas costeras (Loneragan y Bunn, 1999). El aumento de la captura de las pesquerías costeras y en los estuarios puede darse como resultado indirecto del incremento de nutrientes que estimulan la producción primaria y secundaria. Sin embargo, también es posible que el aumento de la captura de los peneidos se deba a cambios en la vulnerabilidad asociados con el desplazamiento de los individuos hacia áreas más accesibles para las pesquerías (Loneragan y Bunn, 1999). Una correlación positiva entre la precipitación y la captura de los camarones peneidos, encontrada por Loneragan y Bunn (1999) para el camarón *Fenneropenaeus merguensis* de Queensland (Australia), puede deberse a efectos secundarios de las lluvias. Las precipitaciones pueden alterar la distribución de la salinidad superficial en las áreas costeras y provocar desplazamientos asociados con la preferencia de los organismos por cierto tipo de condiciones físico-químicas (e.g. temperatura, salinidad, turbidez). También es posible que el aumento de las precipitaciones, usualmente asociado con el incremento de las

descargas de agua dulce por parte de los ríos, se relacione con cambios de la circulación en el área costera favoreciendo la emigración de los camarones juveniles desde las áreas de crianza hacia el mar abierto (Loneragan y Bunn, 1999). Sin embargo, el signo de la correlación entre caudal/precipitación y la captura muestra un componente importante de sincronización, entre las variaciones hidrológicas y los puntos críticos (*sensu* Hjort, 1914) del ciclo vital de los peneidos, como por ejemplo la temporada de reclutamiento (Loneragan y Bunn, 1999). De esta manera, si por ejemplo, la temporada de reclutamiento coincide con períodos con caudales y precipitaciones intensas, puede darse una barrera física para la entrada hacia las áreas de crianza de los individuos (e.g. advección) o limitaciones de la productividad primaria (e.g. turbidez que limita la disponibilidad de luz). Con base en la argumentación anterior, se podrían interpretar los resultados obtenidos por Evans *et al.* (1997) quienes para el camarón *F. merguensis* establecieron una relación estadística con forma parabólica entre la CPUE y la precipitación en Papúa (Nueva Guinea).



2.7.3 Tiempo de desove y reclutamiento del camarón blanco en el Pacífico colombiano

En el área de estudio las investigaciones sobre la duración y ubicación en el tiempo de los diferentes eventos del ciclo vital del camarón blanco son muy escasas. Los trabajos de Squires *et al.* (1971), Herazo (1981), Pineda (1992) o Ramírez (1994) solamente describen parcialmente la ubicación espacio-temporal del desove o el ingreso de nuevos individuos en las áreas de pesca. Herazo (1981) informa de la existencia de: “2 épocas bien definidas para el reclutamiento (en) las áreas de pesca. La primera en enero a mayo, presenta un alto reclutamiento y la segunda de julio a noviembre, con bajo reclutamiento”. Posteriormente Mora (1988b.) restringe más estos rangos considerando que los camarones más grandes se encuentran en la pesquería entre septiembre y octubre (*sensu* Barona, 1972), mientras que el reclutamiento en las áreas de pesca se daría alrededor de abril a mayo (Squires, 1971 *fide* Mora, 1988b.). Díaz (2001) para el período 1995-1999 utiliza información tomada de las pesquerías y establece que el patrón de reclutamiento en las áreas de pesca artesanal se presenta en pulsos trimestrales (en coincidencia con la hipótesis de Squires *fide* Herazo, 1981, quien sugirió la existencia de cuatro desoves por año para esta especie en el Pacífico colombiano). La estructura de tallas del desembarque industrial y artesanal del camarón permite identificar a través de métodos de separación de mezclas de distribuciones de talla, dos o tres “clases período” cuyas edades suponiendo los pulsos trimestrales de reclutamiento en la pesquería corresponderían a 3, 6 y 9 meses, respectivamente (Díaz, 2001). En la pesquería artesanal, cuya actividad se centra en o cerca de las áreas de crianza, los grupos de edad predominantes corresponderían a camarones de 3 a 6 meses de edad, admitiendo el patrón de reclutamiento trimestral. Por su parte la migración reproductiva de los ejemplares que entran en la madurez sexual hacia las áreas de arrastre de la flota industrial determina que ésta última ejerza su efecto solamente sobre las clases con edades promedio de 6 y 9 meses (Díaz, 2001; Fig. 2). Las ecuaciones de crecimiento promedio estimadas para *L. occidentalis* en el área de estudio para el período 1995-1999 indican que los machos crecen más rápidamente que las hembras y que éstos permanecerían dentro de la pesquería industrial hasta edades próximas a los nueve meses, en tanto que las hembras lo harían hasta edades alrededor de un año (Díaz, 2001).

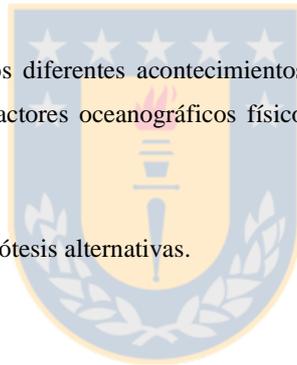
3. FORMULACIÓN DE HIPÓTESIS

Se plantea un marco conceptual para la construcción de hipótesis, el cual está fundamentado en el método propuesto por Tyler (1992), para asegurar una formulación rigurosa y disminuir la posibilidad de encontrar correlaciones espúreas entre abundancia/reclutamiento y condiciones ambientales. El “método de los eventos” de Tyler (1992) consiste en tres pasos principales:

(1) Averiguar lo máximo posible acerca de la geografía que es ocupada por la especie en la mayor cantidad de estadios de su ciclo vital que sea posible; ubicación espacio-temporal de eventos como el desove y la maduración sexual, distribución de los huevos y las larvas, áreas de alimentación de los adultos, ubicación espacio-temporal de las agregaciones de los adultos que se aprestan a desovar,

(2) Poner en perspectiva espacio-temporal los diferentes acontecimientos del ciclo vital de la especie con respecto a la influencia de los factores oceanográficos físicos más destacados del hábitat,

(3) Escribir en forma explícita una serie de hipótesis alternativas.



3.1 Causas de mortalidad natural durante la metamorfosis del camarón blanco

Existen varias hipótesis que buscan establecer una conexión entre la mortalidad de las etapas tempranas del desarrollo y la variabilidad de los factores ambientales. Hjort (1914) propone que la fuerza de las clases anuales está determinada por la cantidad de alimento en el medio y por el transporte fuera de las zonas donde éste está disponible para las larvas, durante el período crítico de la primera alimentación. Las hipótesis más recientes han agregado como factores importantes para la determinación de la fortaleza de las clases anuales, la mortalidad por depredación, la agregación del alimento y la vulnerabilidad a los depredadores (ambos determinados por la turbulencia), el tamaño de las partículas del alimento y el canibalismo (Lasker *et al.*, 1970; Lasker, 1981; Hunter, 1984). La hipótesis del *Match-mismatch*, propuesta para especies del mar

del norte, atribuye la definición de la fortaleza de las clases anuales a la sincronización entre el desove y la ocurrencia de los períodos con productividad máxima (Cushing, 1975). Sinclair y Tremblay (1984) admiten la importancia de la disponibilidad del alimento para la supervivencia de las larvas, pero consideran que la fuerza de las clases anuales está determinada más que todo por el tamaño y el número de áreas de retención (*sensu* Iles y Sinclair, 1982), por lo cual la hipótesis del *Match-mismatch* solamente tendría posibilidades de cumplirse en circunstancias donde hay una clara estacionalidad en los ciclos de producción primaria (e.g. períodos con estratificación de la columna de agua en las áreas de surgencia) y no tanto en sistemas donde predominan condiciones de mezcla o en zonas frontales (Sinclair y Tremblay, 1984). Aunque las hipótesis que relacionan reclutamiento y variables ambientales están formuladas para especies de peces pelágicos de latitudes medias, como el arenque del Mar del Norte (*Clupea harengus*) o la anchoa de California (*Engraulis mordax*), los principios teóricos que se derivan de estas hipótesis resultan aplicables en principio a cualquier especie que pase una parte importante de su ciclo vital en el sistema pelágico (Lasker, 1981). En consecuencia, en este trabajo se adopta el marco teórico presentado en las líneas anteriores. Dadas las características del ciclo vital de los camarones peneidos y los aspectos del régimen oceanográfico que se conocen para la zona nerítica del Pacífico colombiano, en este trabajo se formulan hipótesis que dan preeminencia a los factores ambientales físicos (*sensu* Sinclair y Tremblay, 1984) que se encuentran asociados con el caudal de los ríos y las precipitaciones, como principales reguladores de la abundancia del camarón *L. occidentalis*, en el área de estudio.

3.2 Puntos críticos del desarrollo larvario de los peneidos

1^{er} Período crítico: el desove (Fig. 2)

En los peneidos la estrategia de desovar en aguas alejadas de los estuarios puede traer como ventaja el evitar los depredadores (Loneragan y Bunn, 1999), sin embargo esto produce limitaciones a los estadios larvarios pelágicos para acceder al alimento en aguas más bien poco productivas, como es el caso del Pacífico colombiano en su parte oceánica. Quizá por esta razón el desarrollo larvario es muy rápido, con lo cual se lograría una disminución de la tasa de

mortalidad acumulada en el tiempo. Dicha disminución de la tasa de mortalidad acumulada será posible únicamente si existen los mecanismos de transporte favorables hacia las áreas de crianza dentro de los manglares y estuarios.

2º Período crítico: el asentamiento (Fig. 2)

Se ha demostrado que los invertebrados son capaces de demorar su metamorfosis mientras seleccionan el sitio más apropiado para asentarse (Young, 1995). No obstante, si las condiciones apropiadas no se encuentran relativamente rápido, por ejemplo debido a corrientes desfavorables, el reclutamiento podría verse afectado manifestándose en menor fortaleza de las clases reclutadas, mayores tasas de mortalidad acumulada y menor tasa de crecimiento (Loneragan y Bunn, 1999). Aunque se ha observado que algunos individuos del camarón *Litopenaeus duorarum* han pasado todo su ciclo vital en el agua marina (Pérez-Farfante, 1969), en el Pacífico colombiano las probabilidades de cerrar todo el ciclo vital en el océano abierto serían muy bajas, debido a la baja biomasa fitoplanctónica soportada por esta agua (Thomas, 1979; Fielder, 1994) y la consecuente baja oferta alimenticia para las fases avanzadas del ciclo vital del camarón blanco.

3.3 Modelo conceptual propuesto *a priori* para la formulación de hipótesis

En el Pacífico colombiano los vientos Alisios del sureste por lo general soplan con dirección hacia la costa, con mayor intensidad entre junio y noviembre, generando corrientes que pueden transportar las larvas recién eclosionadas hacia las áreas de crianza. Cuando la ITCZ se encuentra migrando de sur a norte, en abril-mayo, se presentan normalmente las mayores precipitaciones, las cuales modifican de forma importante la distribución de la salinidad en las zonas estuarinas.

Normalmente se presentan dos máximos de precipitación y de caudal en el Pacífico colombiano, uno alrededor de mayo y otro más intenso entre septiembre y octubre. El influjo de agua dulce genera cambios importantes en la circulación dentro del área costera; por ejemplo propicia la modificación de la densidad del agua y con ello de los patrones de circulación, permitiendo la

formación de zonas frontales con corrientes que pueden ser utilizadas como mecanismo de transporte hacia las áreas de crianza por las postlarvas del camarón. Los aportes de agua dulce en el mar costero también tienen el potencial de regular la extensión del hábitat apropiado para el desarrollo de los estadios tempranos del camarón blanco, debido a su efecto sobre la distribución de la salinidad. Por su parte, las variaciones en los caudales además de modificar la distribución de la salinidad, regulan el enriquecimiento con nutrientes en las áreas de crianza. Este enriquecimiento de nutrientes por los ríos modula los procesos de producción primaria y secundaria pudiendo afectar en últimas, la disponibilidad del alimento para las postlarvas que se desarrollan en los estuarios y manglares. Con base en las consideraciones que se acaban de exponer se pueden formular algunas hipótesis sobre la relación entre precipitación/caudal y la abundancia del camarón blanco en el Pacífico colombiano. En este contexto es importante considerar que el camarón blanco es una especie de vida relativamente corta (~1 año) y que se espera que su pesquería en un año determinado dependa principalmente del éxito del reclutamiento ocurrido en las áreas de crianza en el mismo período. En este trabajo se acepta que es apropiado utilizar la captura por unidad de esfuerzo de la pesquería industrial, como una variable indicadora (*proxy*) de la abundancia de los reclutas del camarón blanco en las áreas de asentamiento. Las hipótesis que se pondrán a prueba en este trabajo se presentan en la sección 3.4.

3.3.1 Supuestos básicos del modelo conceptual

Previo a la presentación formal de las hipótesis se considera importante enunciar explícitamente los principales supuestos en los cuales éstas se basan:

1. En la plataforma continental del Pacífico colombiano la dirección predominante de los vientos determina la dirección de las corrientes (Tchantsev y Cabrera, 1998),
2. La abundancia de postlarvas asentadas en las áreas de crianza está relacionada directamente con la abundancia de individuos reclutados en las áreas de pesca (*sensu*. Haas *et al.* 2001). Aunque efectivamente ocurre una mortalidad natural entre el asentamiento de las postlarvas y el

reclutamiento en las áreas de pesca, esta mortalidad se ejerce durante un lapso relativamente corto (e.g. un mes), no siendo suficiente para distorsionar la naturaleza de la relación que se supone. A su vez la abundancia de reclutas en las zonas de pesca está relacionada positivamente con el índice de abundancia,

3. El desarrollo de un evento El Niño en el área de estudio se manifiesta con un debilitamiento de la intensidad de los vientos Alisios del sureste, el fortalecimiento de los Alisios del noreste, el desplazamiento de la ITCZ muy al sur y en consecuencia, una disminución pronunciada de la precipitación. Las condiciones inversas son validas cuando se presentan eventos La Niña (Philander, 1990; Poveda *et al.* 1998; Tchantsev y Cabrera, 1998).

3.4 Hipótesis propuestas

Según el modelo conceptual *a priori* delineado en la sección 3.3.3, el cual se representa gráficamente en la Fig. 2, se proponen cinco hipótesis sobre la influencia del caudal y la precipitación en la abundancia del camarón blanco del Pacífico colombiano:

Hipótesis 1a.

Las precipitaciones y caudales altos se encuentran correlacionadas negativamente con un desfase de 6 a 9 meses con el índice de abundancia de *L. occidentalis*, en las zonas de extracción industrial del camarón blanco de la flota de Buenaventura,

Hipótesis 1b.

Las precipitaciones y caudales moderados no se encuentran correlacionadas, con ningún desfase temporal, con el índice de abundancia de *L. occidentalis*, en las zonas de extracción industrial del camarón blanco de la flota de Buenaventura,

Hipótesis 1c.

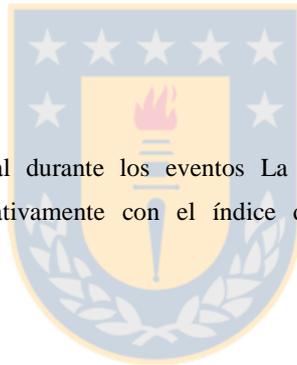
Las precipitaciones y caudales bajos se encuentran correlacionados positivamente con un desfase de 6 a 9 meses con el índice de abundancia de *L. occidentalis*, en las zonas en la zona de extracción industrial del camarón blanco de la flota de Buenaventura,

Hipótesis 2a.

Los valores bajos de precipitación y caudal durante los eventos El Niño en la zona de Buenaventura, estarán correlacionados positivamente con el índice de abundancia del *L. occidentalis*, con un desfase de 6 a 9 meses.

Hipótesis 2b.

Los valores altos de precipitación y caudal durante los eventos La Niña en la zona de Buenaventura, estarán correlacionados negativamente con el índice de abundancia de *L. occidentalis*, con un desfase de 6 a 9 meses.



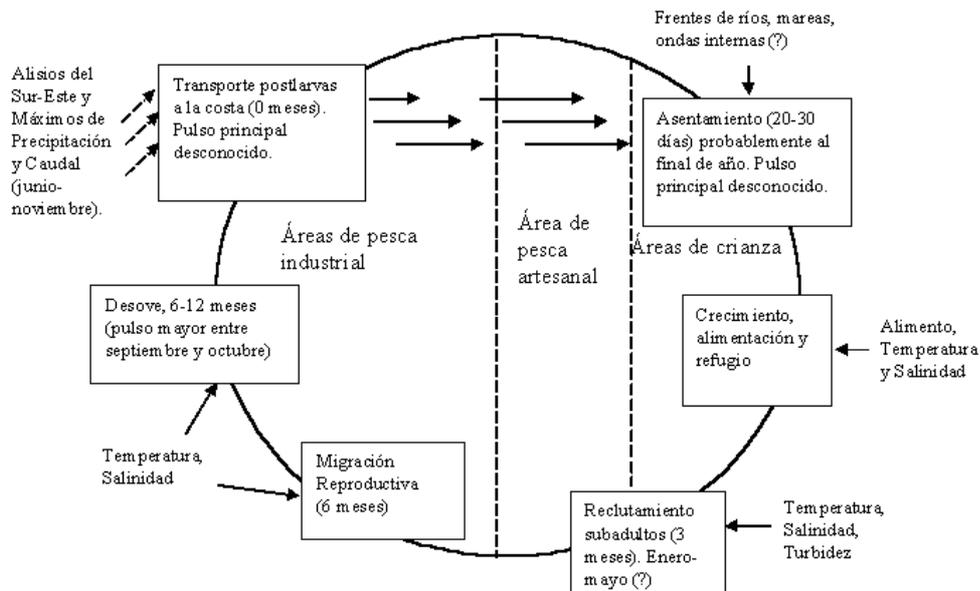


Figura 2. Idealización de los eventos del ciclo vital de los camarones peneidos y su asociación con algunas variables ambientales (basado en Pérez-Farfante, 1969 y García y Le Reste, 1986). Esta idealización se utiliza como marco conceptual para la formulación de hipótesis sobre la influencia del caudal y la precipitación sobre la abundancia del camarón blanco (*Litopenaeus occidentalis*) en el Pacífico colombiano. En el gráfico se agregan tiempos tentativos para los eventos del ciclo vital de esta especie en el área, de acuerdo con Squires *et al.* (1971), Herazo (1981), Mora (1988b.), Pineda (1992).

4. MÉTODOS

En este estudio se utilizaron las siguientes fuentes de información para construir las series de tiempo de variables biológico –pesqueras y ambientales:

4.1 Serie de desembarque y esfuerzo de la pesca industrial entre 1968 y 1989

Contiene datos de desembarque total de camarón blanco en el Puerto de Buenaventura y del esfuerzo de pesca ejercido por la flota de arrastre en este período. El esfuerzo está expresado en número de barcos activos (BAM) y en viajes con pesca por mes (VPM), ambos en escala mensual (Tablas 2 y 3). El desembarque originalmente se registró en libras-cola (lb-cola), unidad que fue convertida a kilogramos-cola dividiendo por el factor 2.2 correspondiente a la libra americana. Esta serie de tiempo se recopiló a partir de registros directos en las empresas dedicadas a la explotación del camarón, por parte de personal del Instituto Nacional de los Recursos Naturales y del Ambiente (INDERENA) en el marco del Proyecto de Desarrollo de Pesca Marítima INDERENA-FAO (Squires *et al.*, 1971; Barona, 1972; Mora, 1988a.). Se tuvo acceso a esta información a partir de archivos impresos conservados por el Instituto Nacional de Pesca y Acuicultura (INPA) sede Buenaventura (A. Ramírez, INPA, Com. Pers.).

La base de datos utilizada en este trabajo para la pesquería industrial de *L. occidentalis* en Buenaventura en el período 1968-1989 es la misma empleada por Mora (1988a.) para calcular el rendimiento máximo sostenible de esta pesquería.

Tabla 2. Desembarque de la flota industrial del camarón blanco (*Litopenaeus occidentalis*) en Buenaventura (Pacífico colombiano) entre 1968 y 1989 (miles de kg-cola). Los valores con asteriscos son observaciones extremas. Fuentes: Archivos INDERENA-FAO conservados por el INPA, y Mora (1988a.). Nota: en el período septiembre-octubre de 1989 se realizó una veda de pesca.

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1968	58.8	70.2	68.2	75.0	108.3	120.8	120.2	115.6	102.3	61.5	61.2	63.4
1969	62.5	69.2	77.7	76.8	85.6	112.3	86.5	82.4	67.1	55.5	61.5	77.4
1970	73.4	69.2	83.9	97.8	96.9	105.4	121.8	101.7	70.0	58.5	79.2	50.8
1971	47.2	67.0	69.7	73.1	73.9	102.3	119.9	120.3	128.0	77.7	44.7	51.2
1972	50.6	58.7	56.1	72.7	125.8	119.2	114.0	104.8	90.7	70.0	63.0	67.5
1973	61.5	76.2	81.7	68.2	88.2	77.8	67.7	60.0	41.1	35.6	28.3	5.0*
1974	43.7	62.4	70.9	69.9	83.0	119.4	119.3	95.0	66.2	56.5	55.5	67.2
1975	1.9*	56.9	60.6	80.3	80.6	91.0	90.1	82.5	73.8	66.6	29.9	45.2
1976	44.7	54.2	63.7	86.8	114.3	122.4	127.6	106.4	89.5	78.0	67.4	70.5
1977	61.7	62.9	70.0	66.7	79.0	78.6	77.1	62.8	52.5	46.8	34.4	59.0
1978	36.1	45.5	54.3	69.8	70.1	16.0*	81.0	86.9	64.2	48.4	48.5	53.5
1979	35.7	39.1	41.7	52.0	77.0	70.6	83.5	83.9	68.6	65.5	54.1	53.4
1980	60.7	55.8	66.4	74.5	105.0	96.7	107.4	99.1	83.3	61.5	42.6	54.7
1981	16.9	43.4	52.2	59.0	57.4	49.8	68.9	71.7	68.2	72.5	57.5	62.5
1982	34.0	59.4	63.7	67.0	88.5	96.6	94.7	88.5	66.6	65.8	67.3	61.8
1983	33.0	31.7	43.3	40.3	59.4	71.9	72.3	85.8	70.0	55.1	51.5	76.6
1984	41.6	54.0	51.6	48.8	77.6	90.7	98.6	97.3	65.2	50.7	33.5	38.4
1985	28.3	45.8	30.5	20.8	26.9	34.0	54.0	56.5	40.4	37.6	33.1	34.4
1986	22.4	36.4	30.2	45.3	48.3	46.8	60.3	49.4	38.0	25.8	15.7	24.5
1987	20.0	28.8	26.0	38.3	43.3	50.4	63.5	35.0	20.3	19.4	15.8	26.2
1988	23.9	34.8	29.4	26.0	24.8	26.7	29.1	23.9	18.4	23.1	22.0	44.0
1989	38.2	31.5	25.9	20.7	42.7	45.4	48.1	73.6	--	--	60.7	51.3

En la serie de desembarque existen tres valores extremos, uno de ellos en diciembre de 1973, el cual es ~13 veces inferior al promedio histórico de ese mes, pero no corresponde a una disminución proporcional del esfuerzo de pesca (Tablas 2 y 3). En cambio, los otros dos valores extremos correspondientes a enero de 1975 y junio de 1978 coinciden con reducciones drásticas del esfuerzo de pesca y según información de personas relacionadas con la pesquería se deben a la realización de paros de la flota de arrastre (J. Casquete, Com. Pers.). Por otro lado, el esfuerzo de pesca de la flota industrial de enero de 1975 es en promedio diez veces mayor que el promedio histórico y el esfuerzo de junio de 1978 está 4.5 veces por debajo del respectivo promedio histórico (Tabla 3). Cuando se construye la serie de CPUE con las observaciones de desembarque y esfuerzo con la información de las tablas 2 y 3, el carácter extremo de los datos se disminuye

haciendo posible la obtención de valores razonables de CPUE con órdenes de magnitud similares a los promedios históricos de la serie de tiempo. Específicamente la serie de CPUE que se utilizará para ajustar los modelos de series de tiempo autorregresivos y de media móvil (ARIMA) comprende el intervalo enero de 1974-agosto de 1989.

Tabla 3. Viajes con pesca por mes de la flota industrial del camarón blanco (*Litopenaeus occidentalis*) de Buenaventura (Colombia) en el período 1968-1989. Fuente: Datos INDERENA-FAO conservados por el INPA y Mora (1988a.). (*)Valores extremos, (a) valores estimados a partir del número de barcos activos por mes (ver Tabla 4 y Fig. 3).

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1968	90	90	101	98	112	120	127	127	121	124	120	117
1969	109	107	135	119	130	159	144	149	143	116	141	182
1970	141	129	137	129	137	146	159	139	92	146	127	145
1971	96	129	136	126	139	153	167	162	160	158	148	166
1972	119	157	168	182	179	185	174	164	185	176	167	179
1973	133	147	156	163	163	153	144	161	142	163	142	186
1974	143	160	168	174	174	172	173	159	133	126	129	161
1975	9*	109	137	151	143	116	152	150	162	145	135	151
1976	99	125	151	144	155	163	174	158	150	148	149	160
1977	110	117	150	147	154	158	163	162	151	165	157	184
1978	109	128	135	143	178	25*	130	148	143	118	117	153
1979	102	118	113	109	122	113	120	121	105	130	127	129
1980	88	117	129	126	124	118	117	131	113	94	78	104
1981	46	82	95	94	101	97	101	107	94	120	101	131
1982	43	75	71	73	68	89	105	99	92	90	111	114
1983	94	122	150	104	88	108	113	135	130	140	119	168
1984	93	124	136	126	127	155	133	152	120	127	103	101
1985	70	91	94	109	136	110	138	114	103	108	101	109
1986	77	95	101	113	118	101	124	119	118	117	91	95
1987	93	126	112	142	121	139	150	133	126	112 ^a	80 ^a	120 ^a
1988	90 ^a	122 ^a	116 ^a	112 ^a	133 ^a	133 ^a	109 ^a	107 ^a	109 ^a	91 ^a	105 ^a	127 ^a
1989	92	71	76	125	165	164	134	169	--	--	122	124

En el período octubre de 1987 a diciembre de 1988 la serie de esfuerzo de pesca sólo fue registrada como BAM. El esfuerzo en unidades VPM se estimó para este período gracias al establecimiento de una relación predictiva de tipo exponencial entre los VPM y los BAM (Tabla 4; Fig.3). En la estimación de los VPM a partir de los BAM, se combinaron los pares de observaciones entre 1984 y 1992 porque esta relación permaneció sin cambios antes y después

del vacío de información (prueba t para coeficientes de correlación: Zar, 1996 p. 362: $P > 0.05$). La relación VPM vs. BAM solamente se estimó de 1984 en adelante, porque a partir de ese año la participación de la pesca artesanal se volvió importante dentro del desembarque total (Mora, 1988a.; Pineda *et al.* 1992), introduciendo condiciones de explotación diferentes de las reinantes antes de ese año.

Tabla 4. Modelo exponencial para la relación entre viajes mensuales con pesca (VPM) vs. número de barcos activos·mes⁻¹ (BAM) de la pesca industrial del camarón blanco (*Litopenaeus occidentalis*) de Buenaventura (Colombia), en el período enero 1984-noviembre 1992. **VPM = 31.08433 *exp (0.01714*BAM)**, R=0.87.

	A	BAM
Estimador (parámetro)	31.08433	0.01714
Error estándar	2.61946	0.00109
t (n=66)	11.86667	15.65752
Nivel-p	0.00000	0.00000

4.2 Serie de desembarque y esfuerzo para el período 1990-1997

La recolección de información de desembarque y actividad de la flota de arrastre del camarón en Buenaventura se realizó rutinariamente hasta 1990, pero en 1991 solamente se registró el desembarque (C. Barreto, INPA, Com. Pers.), por lo cual fue necesario reconstruir la actividad de la flota, tal como se explicará en el siguiente párrafo. El último año en el cual se registró el desembarque y la actividad de la flota de arrastre en forma simultánea fue 1992.

La información del desembarque de camarón blanco entre 1992 y 1997 se tomó directamente de los boletines estadísticos publicados por el INPA. De los libros de zarpe de la Capitanía de Puerto de Buenaventura, se obtuvo el nombre de la embarcación, las fechas de salida y de llegada al puerto y se estimó el esfuerzo en días de pesca por mes para toda la flota (DPM) mediante la ecuación (1).

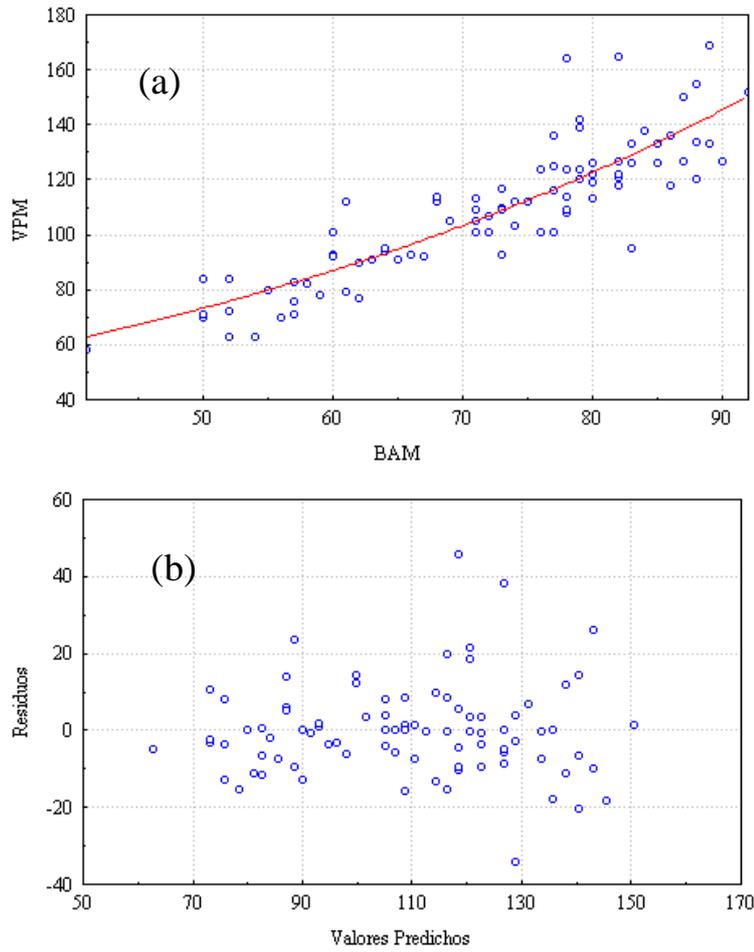


Figura 3. Relación entre el número de viajes con pesca·mes⁻¹ (VPM) y el número de barcos activos·mes⁻¹ (BAM) correspondientes a la pesca industrial del camarón blanco (*Litopenaeus occidentalis*) de Buenaventura (Pacífico colombiano) durante el período enero 1984 -noviembre 1992. (a) Modelo exponencial ajustado, (b) residuos valores predichos con el modelo.

$$DPM = \sum_{i=1}^m E_i - S_i - \tau \quad (1)$$

donde E_i es la fecha de entrada al puerto, S_i la fecha de salida y τ es el tiempo de crucero, estimado por Pineda *et al.* (1992) en cinco días. El subíndice $i = 1, \dots, m$, se asignó a los m barcos activos por mes, mientras que la pertenencia de cada observación de DPM a un mes determinado se calculó mediante $\frac{S_i + E_i - \tau}{2}$, que es un punto medio del tiempo de faena.

La serie de desembarque y esfuerzo presentó la primera interrupción debido a una veda del camarón realizada entre el 15 de septiembre y el 15 de octubre de 1989, otras vedas se establecieron en los siguientes períodos:

- a) 20 de diciembre de 1991 / 20 de febrero de 1992,
- a)b) 20 de diciembre de 1992 / 20 de febrero de 1993,
- a)c) 20 de diciembre de 1993 / 20 de febrero de 1994,
- a)d) 15 de marzo-15 de junio de 1995 y
- a)e) 1-30 de noviembre de 1996.



Con formato: Numeración y viñetas

Las vedas del camarón en un comienzo fueron impuestas con el fin de proteger la estación de desove (hasta 1994) y en años posteriores obedecieron a la intención de proteger el período de reclutamiento de la especie. Sin embargo, en los años recientes, la implantación de estas vedas también dependió de consideraciones socio-económicas ajenas a la biología de la especie en sí misma.

4.3 Cobertura espacial de las series de tiempo de desembarque y esfuerzo

La mayoría de la flota de arrastre del camarón blanco tradicionalmente ha descargado su captura en el puerto de Buenaventura, ello debido a las características de infraestructura del litoral Pacífico colombiano, el cual presenta un escaso desarrollo de las vías de comunicación como

carreteras o aeropuertos. Por consiguiente, los únicos centros urbanos con importancia para el comercio de productos de la pesca son Buenaventura, Tumaco (al sur del río Patía) y Guapi (Fig. 1).

4.4 Cálculo del índice de abundancia (CPUE)

Se utilizó la captura por unidad de esfuerzo (CPUE) como variable indicadora (*proxy*) de la abundancia del camarón blanco. Para el cálculo de la CPUE se tuvo en cuenta que una medida apropiada del esfuerzo de pesca suele presentar una relación lineal positiva con la tasa de captura (Sparre *et al.* 1989); el esfuerzo medido como VPM cumplió mejor con ese requerimiento, tanto en el período de acción exclusiva de la flota industrial 1968-1983 ($R=0.39$; $P<0.01$), como durante el período de explotación compartida con los pescadores artesanales 1984-1989 ($R=0.56$; $P<0.01$). Ambos coeficientes de correlación no fueron estadísticamente distintos (prueba t de Zar, 1996; $P>0.05$). En consecuencia la CPUE mensual, para el intervalo 1968-1992, se calculó mediante la expresión:

$$CPUE = \frac{\text{desembarque}}{VPM} \quad 2)$$

donde el desembarque está expresado en kilogramos-cola por mes y VPM en número de viajes con pesca por mes para toda la flota de arrastre, la CPUE tiene unidades de $\text{kg-cola} \cdot \text{viaje}^{-1}$. Para el período 1992-1997. Entre 1992 y 1997 el cálculo de la CPUE de la ecuación 2 se hace reemplazando los VPM por los DPM, con lo que ahora las unidades de la CPUE son $\text{kg-cola} \cdot \text{día}^{-1}$. Esta serie, a pesar de tener unidades diferentes a las anteriores a 1992 puede utilizarse para el análisis cualitativo de la influencia de los ciclos ENSO sobre la abundancia del camarón durante los 1990's.

4.5 Variables ambientales utilizadas

Con el fin de someter a contrastación las hipótesis planteadas con respecto a la influencia del ambiente sobre la abundancia del camarón blanco alrededor de Buenaventura, se adquirieron series de tiempo de algunas variables ambientales para el lapso 1968-1997. Específicamente, se recolectaron series de precipitación y caudal tomadas en las estaciones meteorológicas del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). La información de caudales utilizada corresponde a los ríos San Juan y Micay, en tanto que las series de precipitación consisten en mediciones sobre los ríos San Juan, Micay, Saija y el Puerto de Buenaventura (Tabla 5; Fig. 4).

Tabla 5. Ubicación geográfica de algunas estaciones meteorológicas y períodos que presentan disponibilidad de registros de precipitación y caudales en el Pacífico colombiano (Fuente: IDEAM, Colombia).

Río/Región	Estación	Latitud	Longitud	Variable	Período
Río San Juan	Malaguita (MAL)	4.15°N	77.22°W	Caudal	1968-1977
	Peñitas (PEÑ)	4.30°N	77.22°W	Caudal	1968 en adelante
	La Misión (MIS)	4.18°N	77.28°W	Precipitación	Sep/1968 en adelante
Buenaventura	Colpuertos (COL)	3.88°N	77.07°W	Precipitación	Abr/1969-en adelante
Río Micay	Noanamito (NOA)	3.08°N	77.52°W	Precipitación	Mar/1981 en adelante
	Guayabal (GUA)	2.98°N	77.48°W	Caudal	1990-en adelante
Río Saija	Saija (SAI)	2.81°N	77.65°W	Precipitación	1968-en adelante

De acuerdo con el Centro de Predicciones del Clima (CPC, Internet), existen varios índices que están relacionados con la ocurrencia de los eventos El Niño. Para el estudio de la evolución de estos eventos, en particular para analizar las fluctuaciones de la TSM en el Pacífico y poder medir de forma más completa su evolución, se definieron convencionalmente cuatro zonas o índices al principio de los 1980's: Niño 1, 2, 3 y 4, la primera zona cubre de 5°-10° S y 80-90° W, la segunda las coordenadas 5°S-0° y 80-90° W, la tercera 5° N-5° S y 150° W-90° W, mientras que la última zona abarca los 5°N-5°S y 160° E-150° W (CPC; Allan *et al.* 1996). Si se considera la

ubicación latitudinal del área de pesca de camarones frecuentada por la flota del camarón de Buenaventura, el índice más apropiado desde el punto de vista geográfico es el índice Niño 3, adicionalmente este índice es considerado como el mejor indicador individual de un episodio ENSO que pudiera afectar el clima global (Glantz, 1996). El índice Niño 3 se expresa como una anomalía del promedio de temperatura superficial del mar en el Pacífico Ecuatorial Central y se obtuvo en Internet (Glantz, 1996; IRI: International Research Institute for Climate Prediction; <http://iri.columbia.edu>). Además se utilizó al índice de oscilación del sur con fines comparativos (CSIRO: <http://www.dar.csiro.au>).

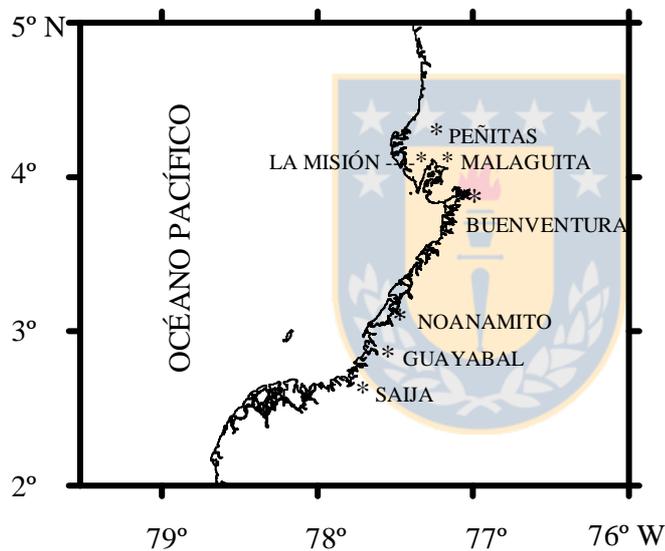


Figura 4. Ubicación geográfica de siete estaciones meteorológicas e hidrológicas del IDEAM en el Pacífico colombiano que poseen registros de precipitación o caudal con longitud variable para el período 1968-1998.

4.6 Análisis de series de tiempo

Para cada serie de tiempo se hizo un análisis visual con el fin de definir algunas características importantes como tendencia y variabilidad de las observaciones con el paso del tiempo. Cuando las series analizadas presentaron tendencia, estacionalidad o inestabilidad de la varianza, éstas se corrigieron por estacionaridad siguiendo metodologías estadísticas apropiadas (e.g. Makridakis *et al.* 1983; Vandaele, 1983). La estacionaridad de las series de tiempo es requerimiento necesario para utilizar los modelos Autorregresivos y de Media Móvil (ARIMA) propuestos originalmente por Box y Jenkins (1976). Los modelos ARIMA suponen relaciones de tipo lineal entre las variables que se analizan y sólo se pueden aplicar en tales circunstancias (Makridakis *et al.* 1983). En consecuencia, se llevaron a cabo transformaciones de las series de tiempo originales cuando éstas presentaron patrones de crecimiento o descenso a lo largo del eje del tiempo. El método de Box y Jenkins (1976) se utilizó con el fin de remover de las series la falta de independencia o autocorrelación. La autocorrelación tiene el efecto de distorsionar la varianza de los parámetros que se desea estimar para la asociación entre un conjunto de variables (Makridakis *et al.* 1983).

4.6.1 Análisis con el método ARIMA (Box y Jenkins, 1976)

Al definirse la escala temporal mensual, la cantidad de observaciones fue suficiente para utilizar el procedimiento ARIMA de Box y Jenkins (1976) en el período 1969-1989. Esta metodología consiste en tres fases: identificación, estimación y predicción (Figura 5). Se analizaron los gráficos de las funciones de autocorrelación simple (AC) y autocorrelación parcial (PAC) para determinar parámetros tentativos del ARIMA mediante la comparación con patrones teóricos (Makridakis *et al.* 1983); con esos valores se hizo un ajuste no lineal del modelo en forma iterativa hasta obtener una estimación final de parámetros que cumplieran los requerimientos de estacionaridad e invertibilidad (Vandaele, 1983). Los parámetros del modelo ARIMA incluyeron p términos autorregresivos, q términos de media móvil y d grados de diferenciación (ARIMA (p, d, q)). La diferenciación fue necesaria cuando la serie de tiempo original presentó tendencia o

cambio de nivel y se aseguró que la varianza fuera estable transformando la variable, por ejemplo, mediante la obtención del logaritmo (Box y Jenkins, 1976; Makridakis *et al.* 1983). El análisis ARIMA se realizó con el programa SAS 7.00 (The SAS Institute, 1998) mediante la minimización de la función de cuadrados condicionales no lineales, haciendo varios ensayos hasta obtener residuos no autocorrelacionados (criterio Chi^2) y verificación de que los parámetros estimados no estuvieran correlacionados entre sí. Se consideró que el grado de correlación entre los parámetros era alto si el coeficiente de correlación estaba próximo a 0.7; cuando se encontró correlación entre dos parámetros uno de ellos se eliminó por ser redundante (Makridakis *et al.* 1983). Para seleccionar entre varios modelos ARIMA ajustados para cada variable, se utilizó el criterio de información de Akaike (AIC), prefiriéndose los modelos con el valor más bajo (The SAS Institute, 1998).



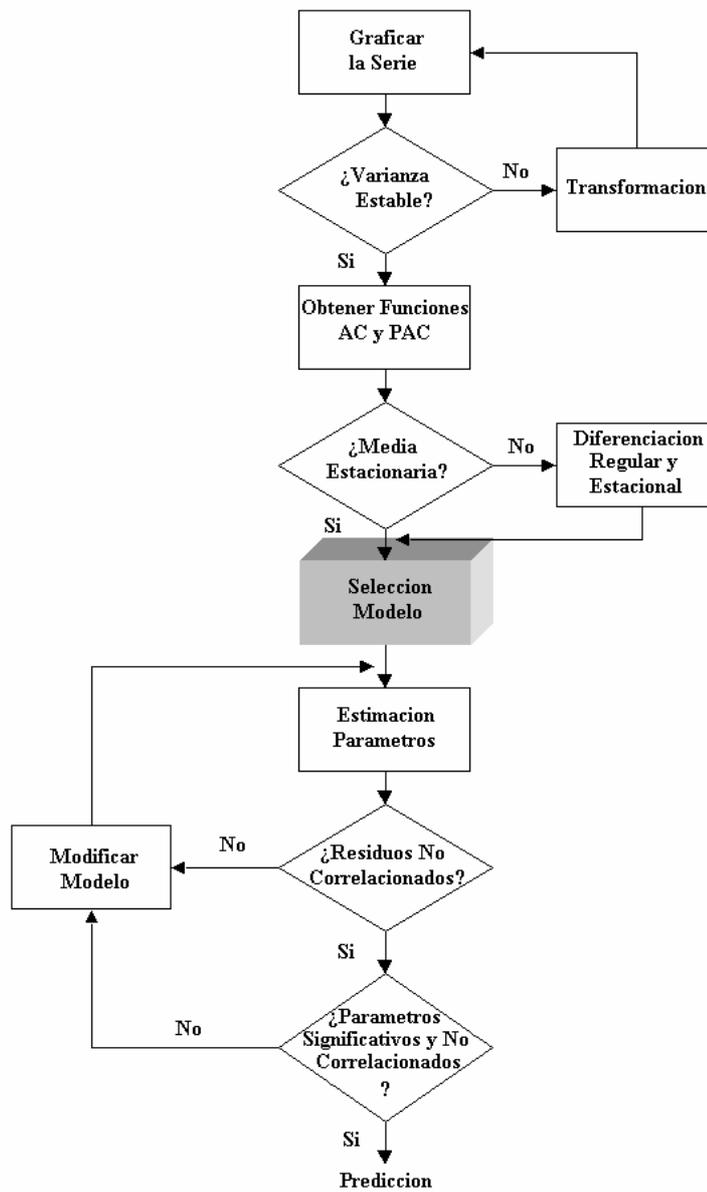


Figura 5. Diagrama de flujo explicativo del método ARIMA de Box y Jenkins (1976). Modificado de Arsham (en Internet).

La fórmula utilizada para calcular el coeficiente de autocorrelación (r_k) para el desfase k fue la siguiente:

$$r_k = \frac{\sum_{t=1}^{n-k} (X_t - \bar{X})(X_{t+k} - \bar{X})}{\sum_{t=1}^n (X_t - \bar{X})^2} \quad (3)$$

donde X_t es una observación actual de la serie en el tiempo t , X_{t+k} una observación de la misma serie pero en un período posterior $t+k$ y \bar{X} es el promedio de la serie. El error estándar del coeficiente de autocorrelación se calculó mediante:

$$\text{Error estándar } (r_k) = \sqrt{\frac{1}{n} * \left(1 + 2 * \sum_{i=1}^{k-1} r_i^2 \right)} \quad (4)$$

Conceptualmente, el coeficiente PAC mide el grado de asociación entre la variable original y ella misma pero con un desfase k , manteniendo constante el efecto de los demás desfases (Makridakis *et al.* 1983).

La representación general de la forma de los modelos ARIMA que se estimaron fue (Fogarty, 1989; Rothschild *et al.* 1996):

$$x_t = \phi_1 x_{t-1} + \phi_2 x_{t-2} + \dots + \phi_p x_{t-p} + a_t - \theta_1 a_{t-1} - \theta_2 a_{t-2} - \dots - \theta_q a_{t-q} \quad (5),$$

donde los ϕ son los parámetros autorregresivos, θ los parámetros de media móvil y a los términos del error aleatorio con distribución normal, media cero y varianza σ^2 . La variable se expresa en minúscula para dar a entender que puede tratarse de la serie original transformada para obtener la estacionaridad.

Los modelos ARIMA incluyeron componentes estacionales y no estacionales, que les confirieron naturaleza multiplicativa (Vandaele, 1983; Makridakis *et al.* 1983).

4.6.1.1 Suma de las series de tiempo de variables ambientales físicas

Teniendo en cuenta que las series de tiempo de captura y esfuerzo de la pesquería del camarón blanco desembarcado en el área de Buenaventura, son el producto acumulado de la actividad de la flota de arrastre en un área geográfica extensa, es razonable suponer que las variables ambientales disponibles pueden ser utilizadas para construir un índice de sus efectos sobre la variabilidad de la CPUE, siempre que las mismas se encuentren correlacionadas entre sí. Este índice se calcula obteniendo la suma (*SUM*) de las observaciones tomadas simultáneamente de una misma variable ambiental, en diferentes estaciones meteorológicas o hidrológicas, de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$SUM(VA) = VA_1 + VA_2 + \dots + VA_j \quad (6)$$

donde *VA* es una variable ambiental medida en las estaciones meteorológicas $j = 1, 2, \dots, L$. Cuando en alguna de las estaciones meteorológicas hubo una observación faltante, el valor correspondiente del índice se calculó simplemente sumando las observaciones disponibles.

4.6.1.2 Análisis de correlación cruzada mediante “preblanqueo” (*prewhitening*)

El preblanqueo es una técnica que se prefiere utilizar cuando no hay retroalimentaciones entre las series de tiempo utilizadas (Vandaele, 1983). Una vez las series de tiempo de variables ambientales son modeladas y reducidas hasta residuo aleatorio, ellas se utilizan como variables de entrada (*x*). El mismo modelo ARIMA utilizado para (*x*) posteriormente se aplica a la variable de salida (*y*) y se calculan correlaciones cruzadas entre los residuos de las series en diferentes desfases (Makridakis *et al.* 1983; Fogarty, 1989):

$$r_{xy}(k) = \frac{C_{xy}(k)}{S_x S_y} \quad (7)$$

donde $C_{xy}(k) = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^{n-k} (x_t - \bar{x})(y_{t+k} - \bar{y})$ es la covarianza cruzada, S_x y S_y son las desviaciones estándar de las series de tiempo x e y . El error estándar de la correlación cruzada se calcula mediante la ecuación (8):

$$\text{error estándar } r_{xy}(k) = \sqrt{\frac{1}{n-k}} \quad (8)$$

Con este análisis se establecen los desfases con los cuales el índice de abundancia responde a la influencia de las variables ambientales sobre la abundancia del camarón blanco.

4.6.2 Análisis de correlación cruzada con corrección de grados de libertad

Para detectar más eficientemente la variabilidad de baja frecuencia en la serie de CPUE de la pesquería industrial del camarón blanco y con fines comparativos, en paralelo a la modelación de series de tiempo con el método de Box y Jenkins (1976), se utilizó la metodología propuesta por Pyper y Peterman (1998). El método de Pyper y Peterman (1998) se utiliza para series que presentan un alto grado de autocorrelación y con él se busca estimar el número efectivo de observaciones independientes (n^*) de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$\frac{1}{n^*} = \frac{1}{n} + \frac{2}{n} \sum_{i=1}^{n/5} r_{xx}(i)r_{yy}(i) \quad (9)$$

donde n es el número de datos en la serie de tiempo, n^* es el número de observaciones independientes, $r_{xx}(i)$ y $r_{yy}(i)$ son los coeficientes de autocorrelación para el desfase (i) de las series de tiempo X e Y . Los coeficientes de autocorrelación se calcularon de acuerdo con la ecuación (3) ponderada para cada desfase mediante el factor $\frac{n}{n-i}$. La significancia de los coeficientes de correlación cruzada entre las variables hidrológicas (precipitación y caudal) y la

CPUE se evaluó con el valor crítico que se presenta en la ecuación (10) (Pyper y Peterman, 1998):

$$r_{\text{crít}} = \sqrt{\frac{t_{\alpha,n}^2}{t_{\alpha,n}^2 + n}} \quad (10)$$

utilizando el nivel de confiabilidad de $\alpha = 0.05$.

4.6.3 Correlaciones cruzadas en escala anual de la CPUE con el caudal y la precipitación en relación con el ciclo ENSO

Después de estudiar correlaciones entre la abundancia del camarón blanco y las series de caudal y precipitación en escala mensual, se llevó a cabo un cambio de escala desde intervalos mensuales a intervalos anuales. Este cambio de escala concuerda con el orden de magnitud típico del ciclo ENOS (~2 a 7 años). Debido a que los ciclos de abundancia del camarón blanco dentro de la pesquería industrial en el área de Buenaventura, siempre presentan un comportamiento estacional (ver sección 5.3) en el cual para cada año la CPUE presenta un valor máximo bien definido, se supone que este máximo es representativo de la abundancia del camarón durante cada año en particular. Es decir, entre mayor sea el valor de la máxima CPUE mensual de cada año, mayor se considera que es la abundancia de la especie en ese lapso.

En consecuencia, con lo planteado en el párrafo anterior, se plantea la relación entre CPUE y las variables hidrológicas (caudal y precipitación) en una escala anual. La serie de caudal corresponde al promedio anual del caudal del río San Juan en la estación "Peñitas", la precipitación a la suma de la serie SUMPRES acumulada para cada año y la serie de CPUE está constituida exclusivamente por el valor máximo mensual alcanzado en ese mismo período. También se inspecciona la relación entre la CPUE y el esfuerzo de pesca (VPM), teniendo en cuenta que se ha observado que esta variable puede afectar en forma importante el reclutamiento

del próximo ciclo de producción de los camarones peneidos (e.g. Garcia y Le Reste, 1986; Gracia, 1996; Ye, 2000; Haas *et al.* 2001).

Considerando las características de las hipótesis propuestas con respecto a la influencia del ciclo ENSO sobre la abundancia del camarón blanco en el Pacífico colombiano, para este análisis se utilizan las series de tiempo expresadas como anomalías con respecto al promedio multianual, divididas por su correspondiente desviación estándar. Las series de tiempo son corregidas por autocorrelación con filtros ARIMA y los residuos obtenidos se utilizan en el cálculo de correlaciones cruzadas (para simplificar el análisis en esta etapa no se utilizó el preblanqueo o *prewhitening*).

4.6.4 Cambios de vulnerabilidad del camarón en asociación con el ciclo ENSO

Finalmente, se considera la utilización de las “anomalías inter-semestrales” de la CPUE, las cuales corresponden a la serie de diferencias entre la CPUE de la pesquería industrial durante el primer semestre y la del segundo semestre. Estas anomalías se calculan con respecto al promedio de toda la serie entre 1968 y 1992, normalizando con su respectiva desviación estándar. Las anomalías inter-semestrales se utilizan para evaluar los cambios en la CPUE durante los años con eventos extremos del ciclo ENSO, posiblemente asociados con cambios en la distribución espacio-temporal del camarón dentro de las áreas de pesca. Debido a la diferencia de unidades de medida entre la serie de CPUE antes de los 1990's y la serie de CPUE de los años más recientes, no se pueden hacer comparaciones cuantitativas entre ambos períodos. Sin embargo, en forma cualitativa se propone la razón entre la CPUE del primer semestre y la CPUE del segundo semestre como un indicador de los cambios de disponibilidad (vulnerabilidad) del camarón durante las fases extremas del ciclo ENSO a partir de 1992.

5. RESULTADOS

5.1 Desembarque y esfuerzo de la pesquería industrial del camarón blanco

La serie de desembarque exhibe un claro comportamiento estacional, en él los valores más altos se presentan al final del primer semestre y los mínimos al final del segundo (Fig. 6-9). También se observan algunos patrones que se pueden agrupar en tres períodos:

(i) 1968-1976: Máximos mensuales >100 mil kg-cola y variabilidad alta comparada con el resto de la serie. Valores extremos haciendo parte del comportamiento estacional del final del año (i.e. diciembre 1973 y enero 1975; Fig. 7),

(ii) 1977-1984: Tendencia descendente sostenida y superpuesta al comportamiento estacional, máximos de mitad de año <100 mil kg-cola-mes⁻¹ hasta mayo-julio/1980, después el desembarque vuelve a niveles similares a los de 1968-76, este último comportamiento se mantiene con máximos > 100 mil kg-cola-mes⁻¹, hasta el final del período (Fig. 8),

(iii) 1984 -1998: Explotación compartida entre pescadores industriales y artesanales. El desembarque industrial máximo de mitad de año frecuentemente < 60 mil kg-cola-mes⁻¹, excepto septiembre de 1989, un mes antes de la primera veda del camarón (Figs.8-9). Durante los 1990's el desembarque industrial disminuye de nivel, a veces <20 mil kg-cola-mes⁻¹. Previamente, en 1984-1986, el desembarque artesanal había crecido en promedio >200 % año⁻¹, esta tasa de crecimiento posiblemente llegó al máximo en 1986-1992, pero en 1998 la misma descendió alrededor del 50 % (Figs. 8-10). Entre 1992 y 1994 el desembarque total máximo se desplaza hacia marzo debido a la acción de la pesca artesanal. En 1996 el desembarque total mensual alcanza valores similares o superiores a los observados mensualmente durante los 1960-1970's, existiendo un máximo principal en septiembre (>160 mil kg-cola) y otro secundario en junio. En 1997 y 1998 el desembarque regresa a su comportamiento "normal" con máximos mensuales en junio, pero en 1998 nuevamente se observa un máximo secundario en marzo asociado con la actividad de la pesca artesanal (Figs. 8-9). Entre 1996 y 1998 los componentes industrial y

artesanal del camarón blanco en Buenaventura generaron en conjunto desembarques similares a los obtenidos por la flota industrial al comienzo de los 1980's (Fig. 10).

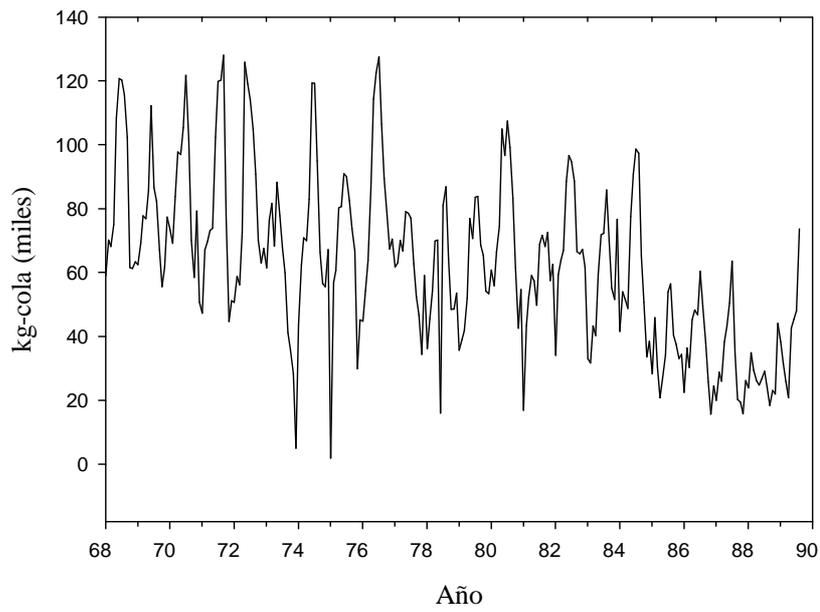


Figura 6. Serie de tiempo del desembarque (registrado mensualmente) de la flota industrial del camarón blanco (*Litopenaeus occidentalis*) en Buenaventura, Colombia, en el período 1968-1989.

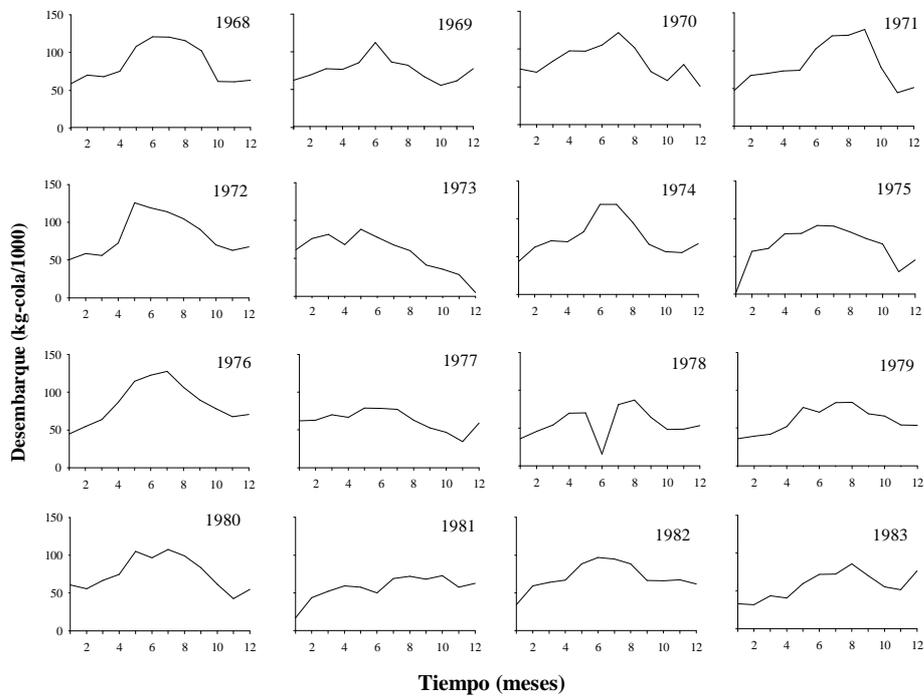


Figura 7. Trayectorias de los desembarques mensuales del camarón blanco *Litopenaeus occidentalis* en Buenaventura, Colombia, durante el período de explotación exclusiva por parte de la flota industrial (1968-1983).

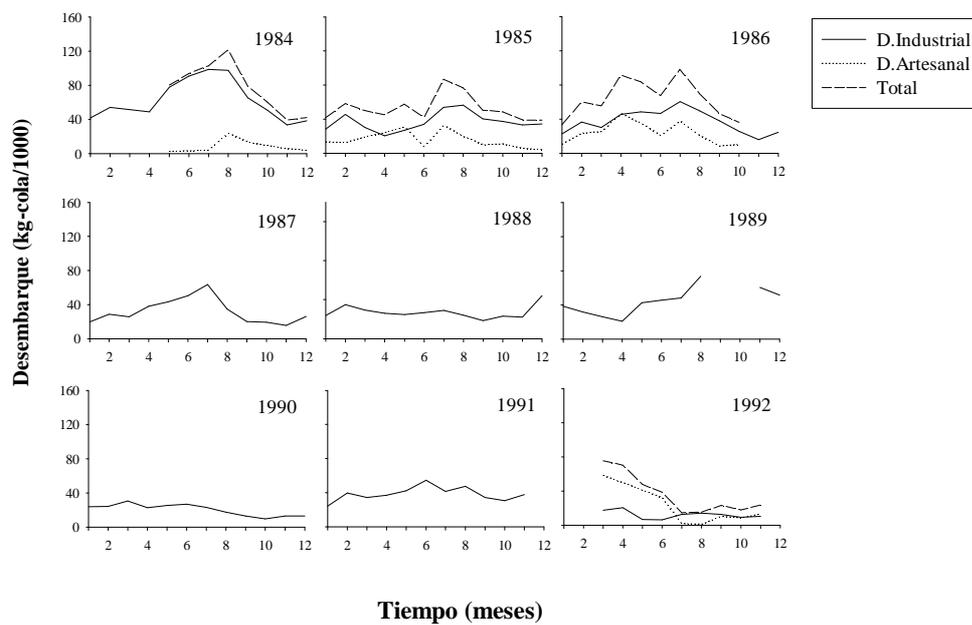


Figura 8. Desembarque mensual de las pesquerías industrial y artesanal del camarón blanco (*Litopenaeus occidentalis*) en Buenaventura, Colombia, durante 1984-1992. Hubo vedas de captura del camarón en los períodos 15 septiembre-15 octubre/1989 y 20 de diciembre/1991- 20 de febrero/1992. No existen datos de desembarque para la pesquería artesanal entre 1987 y 1991.

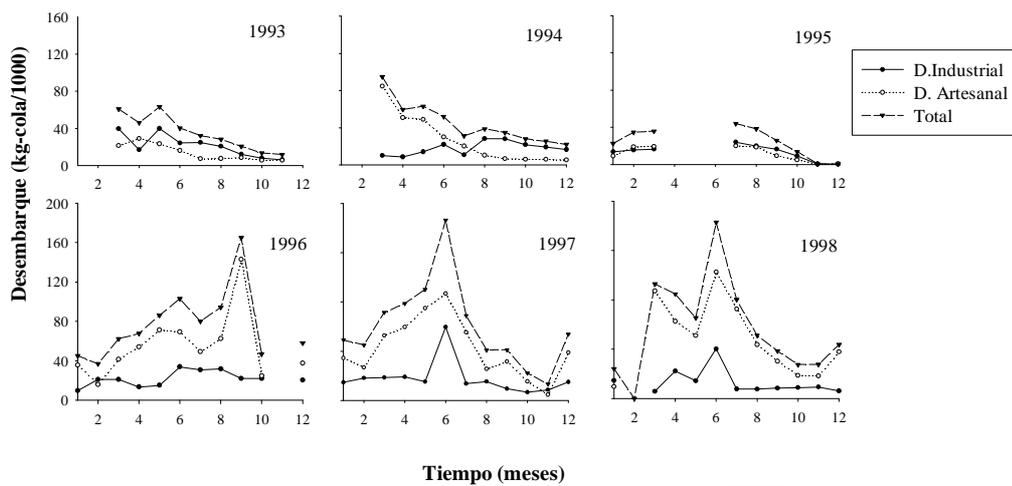


Figura 9. Desembarque mensual de las pesquerías industrial (DPM. Industrial), artesanal (DPM. Artesanal) y acumulado (Total) del camarón blanco (*Litopenaeus occidentalis*) en Buenaventura, Colombia en el período 1993-1998. Los datos faltantes de las series corresponden a vedas de extracción en los períodos 20 diciembre/1992-20 febrero/1993, 20 diciembre/1993-20 febrero/1994, 15 abril-15 junio/1995, 1-30 noviembre/1996 y 1-25 febrero/1998.

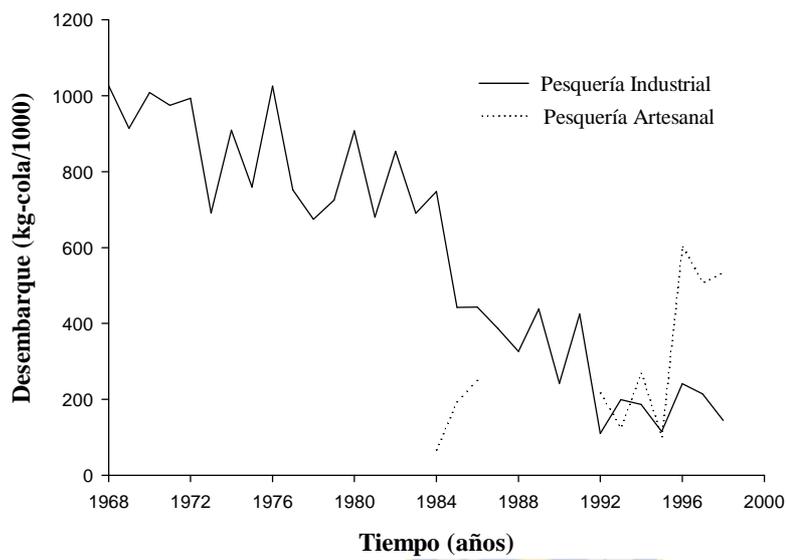


Figura 10. Desembarque total anual correspondiente a las pesquerías industrial y artesanal del camarón blanco *Litopenaeus occidentalis* en Buenaventura, Colombia en el período 1968-1998.

5.1.1 Modelo ARIMA para la serie de desembarque

La serie de desembarque presenta inestabilidad de la varianza, existiendo mayor variabilidad en los períodos con desembarques altos, especialmente en los 1970's. Esta no estacionaridad de la varianza se elimina con una transformación logarítmica de la serie original. Cuando se utiliza la parte de la serie de desembarque libre de valores extremos (1978-1989), la función AR decae lentamente y tiene fluctuaciones periódicas con ciclos de 12 meses. Estas tendencias en el nivel medio de la serie se evitan con diferenciación de orden uno y doce (Fig.11). En la fase de identificación se obtiene como mejor alternativa de modelación un proceso de media móvil (Ec.12; Tabla 6):

$$(1 - B)(1 - B^{12}) \ln(DESEMBARQUE)_t = (1 - 0.81B^{12}) a_t \quad (12)$$

Tabla 6. Parámetros estimados para un modelo ARIMA (0,1,0)(0,0,1) del logaritmo del desembarque mensual del camarón *Litopenaeus occidentalis* en Buenaventura (Pacífico colombiano) entre 1978 y 1989. y prueba Chi cuadrado para la autocorrelación de los residuos del modelo (MA=parámetro de media móvil).

Parámetro	Estimación	Error Estándar	t	P	Desfase
MA1,1	0.81346	0.06416	12.68	<0.0001	12

Desfases	Chi-2	GL	P	Autocorrelaciones					
1-6	7.31	5	0.1988	-0.101	-0.075	-0.125	-0.160	0.005	-0.032
7-12	9.77	11	0.5515	-0.006	0.046	0.051	-0.046	0.060	0.088
13-18	20.75	17	0.2375	-0.039	-0.008	-0.141	-0.177	-0.052	0.148
19-24	27.66	23	0.2290	0.044	0.139	0.018	-0.071	0.097	-0.100

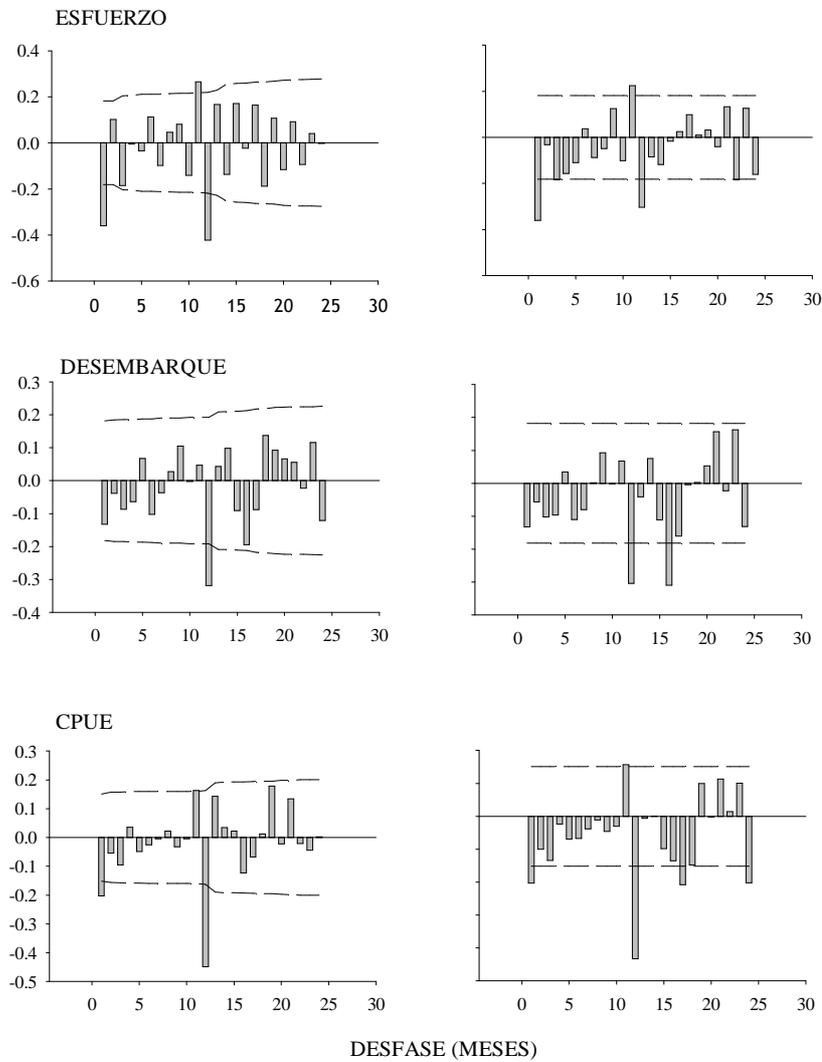


Figura 11. Funciones de autocorrelación (gráficas a la izquierda) y de autocorrelación parcial (derecha) del desembarque, esfuerzo y CPUE, correspondientes a la flota industrial del camarón blanco (*Litopenaeus occidentalis*) de Buenaventura (Pacífico colombiano) en el período 1974-1989. Las líneas punteadas corresponden a los límites de confianza del 95 % de un coeficiente de autocorrelación nulo.

5.2 Esfuerzo de pesca de la flota de arrastre de Buenaventura

En la escala interanual, los VPM tienen tendencia ascendente en 1968-1974 y alcanzan >160 viajes·mes⁻¹ al final del período. Entre 1974 y 1982 es evidente la tendencia al descenso, aun si no se tienen en cuenta las observaciones de enero de 1975 y junio de 1978, que corresponden a huelgas de las tripulaciones. En 1974-1982 la reducción del esfuerzo de pesca es muy importante si se tiene en cuenta que esta variable pasa de ≥ 160 VPM al comienzo del período a ≤ 60 VPM al final del mismo (Fig. 12a.).

La actividad de la flota de arrastre en 1968-1989 muestra un comportamiento estacional, con una disminución importante en enero-febrero. Durante el segundo trimestre del año el esfuerzo de la flota se mantiene aproximadamente constante (Fig. 12b.). Como excepciones notables se destacan 1973, 1980, 1983 y 1984, cuando la actividad fue particularmente alta durante enero-marzo, en coincidencia con la ocurrencia de eventos cálidos.

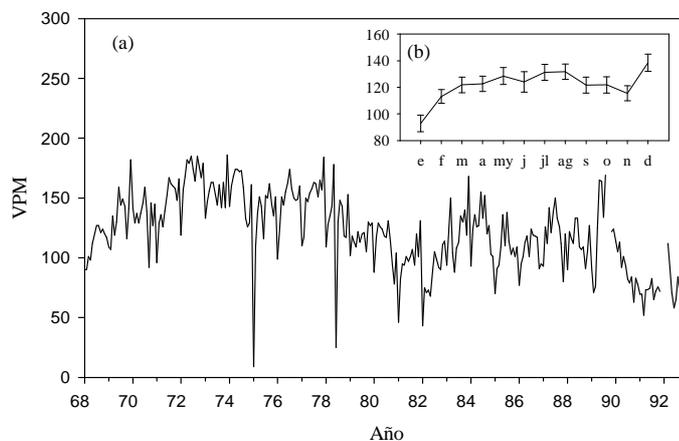


Figura 12. Esfuerzo de pesca de la flota de arrastre del camarón blanco (*Litopenaeus occidentalis*) con centro de desembarque en Buenaventura (Colombia) en el período 1968-1989. (a) Serie de tiempo en escala mensual y (b) promedios mensuales-multianuales ± 2 errores estándar. VPM=Viajes con Pesca por Mes de toda la flota. Los datos faltantes corresponden a las vedas realizadas en 1989 y 1991-92. Nótese los valores extremos debidos a los paros de la flota en enero de 1975 y junio de 1978.

5.2.1 ARIMA serie de esfuerzo de pesca de la flota industrial

La serie de esfuerzo de pesca (VPM) en 1968-1989, no presenta inestabilidades apreciables en la varianza con el paso del tiempo (Fig. 12a.). La parte de la serie sin valores extremos (1978-1989) muestra una función AR con claros signos de no estacionaridad en la media y fluctuaciones cíclicas que sugieren estacionalidad. En consecuencia, para la modelación ARIMA son necesarias las diferenciaciones de orden uno y doce. El comportamiento de las funciones AR y PAC de la serie estacionaria permite identificar y estimar un proceso de media móvil (Fig. 11; Ec. 13; Tabla 7).

$$(1 - B)(1 - B^{12})ESFUERZO_t = (1 - 0.27B)(1 - 0.78B^{12})a_t \quad (13)$$

Tabla 7. Parámetros estimados de un modelo ARIMA (0,1,1)(0,1,1) correspondiente al esfuerzo de pesca (viajes con pesca por mes) de la flota industrial del camarón *Litopenaeus occidentalis* en Buenaventura (Colombia) en el período 1978-1989. La autocorrelación de los residuos del modelo se evalúa mediante el estadístico chi cuadrado (MA= parámetro de media móvil).

Parámetro	Estimación	Error Estándar	t	P	Desfase
MA1,1	0.49217	0.08081	6.09	<0.0001	1
MA2,1	0.78036	0.06856	11.38	<0.0001	12

Desfases	Chi-2	GL	P	Autocorrelaciones					
1-6	5.13	4	0.2746	0.091	-0.103	-0.136	-0.022	-0.050	-0.023
7-12	11.48	10	0.3213	-0.074	0.024	0.026	-0.170	0.108	0.003
13-18	24.07	6	0.0881	-0.077	-0.080	0.161	0.137	0.061	-0.167
19-24	26.24	22	0.2415	-0.022	0.007	0.019	-0.103	0.037	-0.040

5.3 Índice relativo de abundancia del camarón blanco (CPUE)

La serie presenta comportamiento no estacionario, con tendencia y estacionalidad, las cuales se reflejan en valores máximos a mediados del año y mínimos al comienzo del año siguiente (Fig. 13). El patrón estacional se intensifica especialmente en 1969, 1973, 1977 y 1982, cuando la CPUE es mucho más alta en el primer semestre que en el segundo. No obstante la fuerte regularidad en el patrón estacional de la CPUE, en 1979, 1983 y 1989 el comportamiento se invierte y se observan valores inusualmente bajos en el primer semestre (Fig. 14). Los años con grandes diferencias semestrales de la CPUE coinciden en algunos casos con eventos El Niño o La Niña en el océano Pacífico (ver sección 5.8).

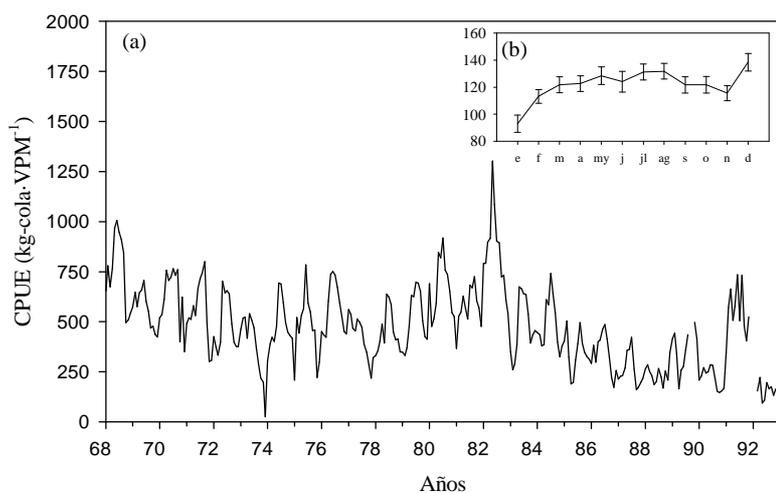


Figura 13. Captura por unidad de esfuerzo (CPUE) de la flota industrial del camarón blanco (*Litopenaeus occidentalis*) de Buenaventura (Colombia) para el período 1968-1992. (a) Serie de tiempo en escala mensual y (b) promedios multianuales mensuales ± 2 errores estándar.

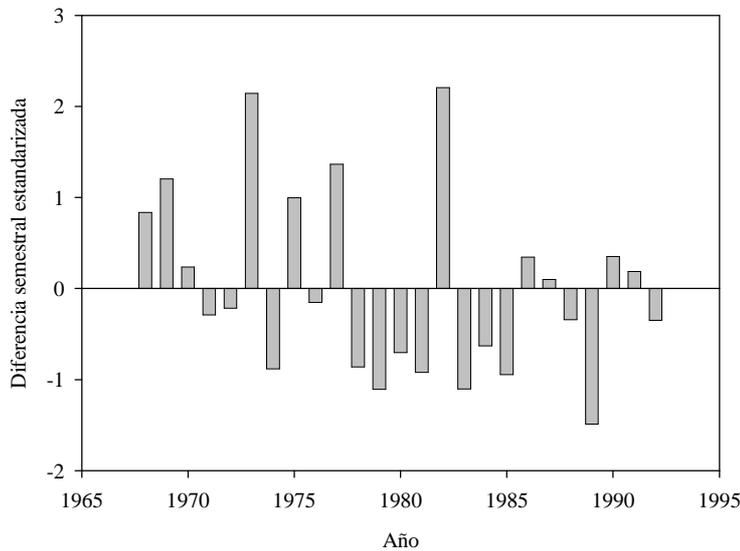


Figura 14. Anomalías estandarizadas de las diferencias entre la CPUE del primer semestre y la del segundo semestre (“anomalía intra-estacional”) de la pesquería industrial del camarón blanco (*Litopenaeus occidentalis*) en Buenaventura (Colombia) en el período 1968-1992. Las diferencias se normalizaron con respecto al promedio y desviación estándar de toda la serie.

5.3.1 ARIMA serie de tiempo de la CPUE

La CPUE presentó características no estacionarias en la varianza, por lo que fue necesario utilizar la transformación logarítmica, en tanto que los componentes de tendencia hicieron necesaria la utilización de diferenciaciones de período uno y doce para satisfacer el requerimiento de estacionaridad de la media (Fig. 11). Las funciones AC y PAC de la CPUE, entre 1974 y 1989, sugirieron un proceso ARIMA mezclado y estacional (Ec. 14; Tabla 8).

$$(1-B)(1-B^{12})\ln(CPUE)_t = \frac{(1-0.71B^{12})}{(1+0.15B)} a_t \quad (14)$$

Tabla 8. Parámetros estimados de un modelo ARIMA (1,1,0)(0,1,1) para el logaritmo de la CPUE en escala mensual, de la flota industrial del camarón blanco (*Litopenaeus occidentalis*) con centro de desembarque en Buenaventura, para el período 1974-1989. La autocorrelación de los residuos del modelo se evalúa con el estadístico chi cuadrado. AR = parámetro autorregresivo; MA = parámetro de media móvil.

Parámetro	Estimación	Error Estándar	t	P	Desfase
AR1,1	-0.15047	0.07570	-1.99	0.048	1
MA2,1	0.71340	0.05883	12.13	<0.0001	12

Desfases	Chi-2	GL	P		Autocorrelaciones				
1-6	9.10	4	0.0587	-0.017	-0.128	-0.123	-0.037	-0.128	-0.028
7-12	11.40	10	0.3272	0.006	0.059	-0.041	-0.037	0.076	-0.005
13-18	18.34	16	0.3043	0.028	-0.010	-0.004	-0.114	-0.144	0.031
19-24	26.79	22	0.2193	0.146	0.082	0.093	0.003	-0.069	-0.029
25-30	32.17	28	0.2678	-0.093	0.005	0.122	0.046	0.005	-0.009

5.4 Variables ambientales

5.4.1 Precipitación

La precipitación en las estaciones meteorológicas estudiadas muestra un comportamiento estacional bien marcado. Un histograma de frecuencias de los meses más lluviosos en 1968-1998, revela que las frecuencias más altas se concentran alrededor de mayo y septiembre (Fig.15). Este patrón es notablemente regular y determina que en octubre-abril se presenten precipitaciones más bajas que el resto del año. La distribución de la precipitación observada coincide en parte con el desplazamiento latitudinal descrito para la ITCZ en el Pacífico Oriental Tropical. Adicionalmente, para los dos máximos de precipitación detectados en todas las estaciones del IDEAM, se determina que éstos tienen aproximadamente la misma importancia cuantitativa en las estaciones sobre los ríos Saija y Micay, en tanto que en las estaciones sobre el río San Juan y en Buenaventura, el máximo de septiembre en promedio es más importante que el de mayo (Fig. 15).

En todas las estaciones estudiadas el patrón estacional de las precipitaciones se vio afectado por la ocurrencia de los ciclos ENSO, tal como éstos han sido establecidos a partir del índice Niño 3 y el IOS (ver sección 5.8). Se puede decir que la ocurrencia de los ciclos ENSO altera fuertemente el patrón de precipitaciones, en la serie SUMPRES es claro que el año anterior al comienzo de un evento El Niño es particularmente lluvioso mientras que durante el evento propiamente tal la precipitación es especialmente baja. Lo inverso ocurre en los eventos La Niña, cuando la precipitación previa al evento es más bien baja, en tanto que durante el evento mismo ésta es más alta de lo usual (Fig. 22).

Las mediciones de la precipitación y caudal en las diferentes estaciones meteorológicas presentan correlaciones con significancia estadística alta ($P < 0.01$) en todas las combinaciones. A partir de este resultado, se infiere que estas variables ambientales tienen comportamientos similares en dichas localidades. Aún así también debe resaltarse que existen variaciones importantes de tipo local, lo cual se evidencia en que los valores del coeficiente de correlación de Pearson no son demasiado elevados y en que la asociación estadística es más fuerte entre las estaciones geográficamente más próximas entre sí (Tabla 9; Fig. 4).

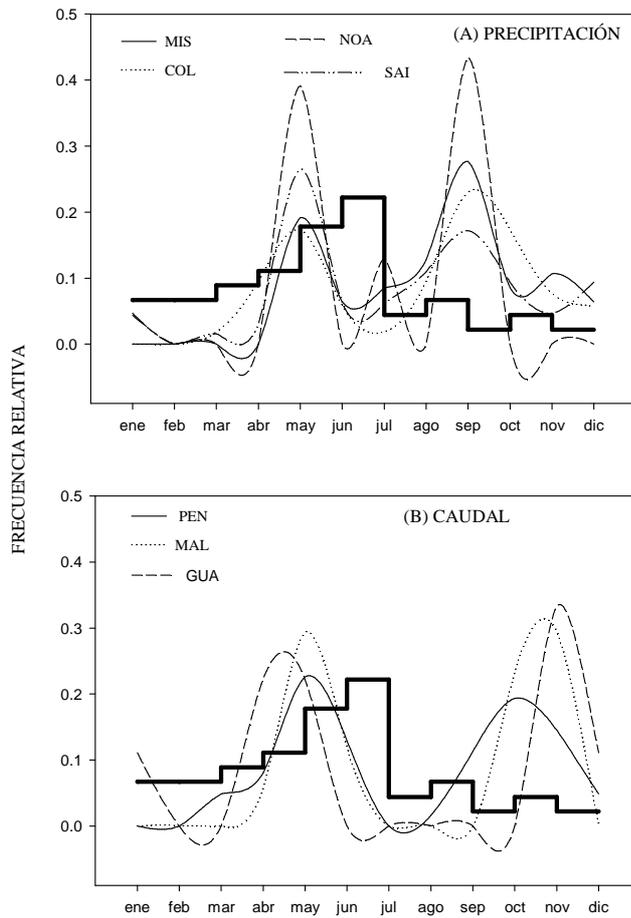


Figura 15. Distribución de frecuencias de los meses con máximos de precipitación y caudal en varias estaciones meteorológicas ubicadas en las áreas de captura del camarón blanco (*Litopenaeus occidentalis*) del Pacífico colombiano en el período 1968-1998 (datos: IDEAM, Colombia). Se ha superpuesto el histograma de frecuencias de los valores máximos de la CPUE de la pesquería industrial dentro de cada año dentro del período 1968-1997 (línea gruesa y quebrada). Para el significado de las abreviaturas revisar la tabla 5.

Tabla 9. Coeficientes de correlación de Pearson entre variables hidrológicas medidas en las estaciones meteorológicas del IDEAM (Pacífico colombiano) en el período 1968-1999. Todas las correlaciones son significativas ($P < 0.01$), excepto la señalada como “ns”. En paréntesis el número de observaciones válidas. P=precipitación, C=caudal, las iniciales corresponden al nombre de las estaciones (ver tabla 5). Las series de tiempo utilizadas para las estimaciones fueron compradas al IDEAM (Colombia).

	P-MIS	P-NOA	P-COL	P-SAI	C-PEÑ	C-MAL	C-GUA
P-MIS	1	0.38 (206)	0.71 (353)	0.31 (350)	0.60 (360)	0.73 (109)	0.26 (108)
P-NOA	-	1	0.35 (206)	0.51 (199)	0.40 (206)	-	0.26 (106)
P-COL	-	-	1	0.23 (347)	0.62 (357)	0.73 (105)	0.28 (108)
P-SAI	-	-	-	1	0.30 (362)	0.35 (118)	0.11 ^{ns} (102)
C-PEÑ	-	-	-	-	1	0.94 (120)	0.64 (108)
C-MAL	-	-	-	-	-	1	-
C-GUA	-	-	-	-	-	-	1

Para hacer estacionaria la serie de precipitación en la estación Noanamito (PRENOA) solamente se requirió la diferenciación de orden doce. Los gráficos de AC y PAC de la variable transformada (Fig. 16), sugirieron un proceso tipo media móvil estacional y autorregresivo en escala no estacional (Ec. 15; Tabla 10).

$$(1 - B^{12})PRENOA_t = \frac{(1 - 0.86B^{12})}{(1 - 0.44B)} a_t \quad (15)$$

La serie de precipitación en el área del río Saija (estación Saija = PRESAI) presenta tendencia y estacionalidad que requieren diferenciaciones de orden uno y doce para alcanzar la estacionaridad. Las funciones AC y PAC sugieren un modelo estacional tipo media móvil (Fig. 16); sin embargo, en la fase de estimación el mejor modelo que se obtiene presenta características de inestabilidad debido a la violación del supuesto de invertibilidad (Ec. 16; Tabla 11).

$$(1-B)(1-B^{12})PRESAI = \frac{(1-0.72B)(1-1.03B^{12})}{(1+0.18B)}a_t \quad (16)$$

Tabla 10. Parámetros estimados para un modelo ARIMA (1,0,0)(0,1,1) de la precipitación mensual en el río Micay (estación Noanamito=PRENOA) en el Pacífico colombiano entre 1968 y 1997. La prueba estadística chi cuadrado evalúa la autocorrelación de los residuos. La serie de tiempo utilizada para la estimación fue comprada al IDEAM (Colombia). MA= parámetro de media móvil; AR= parámetro autorregresivo.

Parámetro	Estimación	Error Estándar	t	P	Desfase
MA1,1	0.86179	0.03829	22.51	<0.0001	1
AR1,1	0.44302	0.06427	6.89	<0.0001	12

Desfases	Chi-2	GL	P	Autocorrelaciones					
1-6	8.44	4	0.0766	0.006	-0.024	-0.057	0.168	0.065	-0.065
7-12	12.32	10	0.2641	-0.021	0.024	0.023	0.083	0.049	-0.085
13-18	16.95	16	0.3891	0.022	0.130	0.002	-0.040	-0.034	0.028
19-24	24.80	22	0.3066	0.055	-0.023	0.115	0.073	0.110	-0.005
25-30	25.90	28	0.5784	-0.012	0.025	0.045	-0.004	0.002	0.042

Tabla 11. Parámetros estimados de un modelo ARIMA (1,1,1)(0,1,1) para la precipitación en el río Saija (estación Saija=PRESAI) en el Pacífico colombiano, en el período 1968-1997 y prueba chi cuadrado para la autocorrelación de los residuos del modelo. La serie de tiempo utilizada para las estimaciones fue comprada al IDEAM (Colombia). MA= parámetro de media móvil; AR= parámetro autorregresivo.

Parámetro	Estimación	Error Estándar	t	P	Desfase
MA1,1	0.85268	0.03528	24.17	<0.0001	1
MA2,1	1.02591	0.01348	76.09	<0.0001	12
AR1,1	0.14977	0.06705	2.23	0.0262	2

Tabla 11 (continuación).

Desfases	Chi-2	GL	P		Autocorrelaciones				
1-6	6.49	3	0.0902	0.014	-0.102	0.042	0.057	0.050	-0.029
7-12	10.30	9	0.3267	0.004	-0.026	0.095	-0.012	-0.025	-0.021
13-18	11.27	15	0.7335	0.002	0.037	-0.035	-0.012	-0.002	0.001
19-24	21.45	21	0.4317	0.013	-0.067	-0.085	-0.038	0.049	-0.111
25-30	28.84	27	0.3685	-0.076	-0.065	0.009	-0.028	-0.094	-0.019

Por su parte, en el área de Buenaventura la precipitación en la estación Colpuertos (PRECOL) tiene un fuerte comportamiento estacional típico con dos máximos durante el segundo semestre. La función de autocorrelación de la serie original muestra un comportamiento no estacionario en la media, el cual requiere la transformación de la variable mediante diferenciaciones. La diferenciación de primer orden reduce ostensiblemente el número de autocorrelaciones significativas, pero aún permanecen patrones autorregresivos relacionados con la estacionalidad que hacen necesaria la diferenciación de orden doce. Las funciones AC y PAC sugieren un proceso de media móvil en escala no estacional y posiblemente mezclado en escala estacional (Fig. 16). No obstante, en la fase de estimación se establece como más apropiado un modelo multiplicativo con parámetros de media móvil (Ec. 17; Tabla 12).

$$(1 - B)(1 - B^{12})PRECOL_t = (1 - 0.80B)(1 - 0.87B^{12})a_t \quad (17)$$

La precipitación sobre el río San Juan, en la estación La Misión (PREMIS) requiere diferenciaciones de órdenes uno y doce para satisfacer el requerimiento de estacionaridad. El modelo sugerido por las funciones AC y PAC es de tipo media móvil (Fig. 14) con parámetros significativos en los desfases 1, 3 y 12 (Ec. 18; Tabla 13).

$$(1 - B)(1 - B^{12})PREMIS_t = (1 - 0.68B - 0.12B^3)(1 - 0.76B^{12})a_t \quad (18)$$

Tabla 12. Parámetros estimados de un modelo ARIMA (0,1,1)(0,1,1) para la precipitación en Buenaventura (estación Colpuertos=PRECOL), Pacífico colombiano, en el período 1968-1998 y prueba chi cuadrado para la autocorrelación de los residuos del modelo. La serie de tiempo utilizada en las estimaciones fue comprada al IDEAM (Colombia). MA= parámetro de media móvil; AR= parámetro autorregresivo.

Parámetro	Estimación	Error Estándar	t	P	Desfase
MA1,1	0.79576	0.03345	23.79	<0.0001	1
MA2,1	0.86554	0.02752	31.46	<0.0001	12

Desfases	Chi-2	GL	P		Autocorrelaciones				
1-6	6.87	4	0.1427	0.082	-0.002	-0.107	-0.037	-0.008	0.001
7-12	13.69	10	0.1874	0.106	0.043	-0.031	-0.056	-0.046	0.000
13-18	18.47	16	0.2971	-0.090	-0.029	0.016	-0.009	-0.023	-0.058
19-24	22.91	22	0.4066	0.009	-0.071	-0.026	-0.020	-0.070	-0.030
25-30	33.27	28	0.2260	-0.103	0.039	0.074	0.093	-0.036	-0.010

Tabla 13. Parámetros estimados de un modelo ARIMA (0,1,2)(0,1,1) para la precipitación en el río San Juan (estación La Misión=PREMIS), Pacífico colombiano, en el período 1968-1998 y prueba chi cuadrado para la autocorrelación de los residuos del modelo. La serie de tiempo utilizada para las estimaciones fue comprada al IDEAM (Colombia). MA= parámetro de media móvil.

Parámetro	Estimación	Error Estándar	t	P	Desfase
MA1,1	0.68236	0.04380	15.58	<0.0001	1
MA1,2	0.11975	0.04385	2.73	0.0066	3
MA2,1	0.76471	0.03537	21.62	<0.0001	12

Desfases	Chi-2	GL	P		Autocorrelaciones				
1-6	6.53	3	0.0884	0.013	-0.010	-0.001	0.061	-0.055	-0.106
7-12	9.81	9	0.3664	0.076	0.018	-0.013	0.053	-0.005	0.007
13-18	14.02	15	0.5239	0.002	-0.003	-0.043	-0.043	-0.021	0.085
19-24	26.91	21	0.1737	-0.072	0.000	-0.034	-0.002	0.166	-0.013
25-30	36.31	27	0.1086	0.106	-0.027	0.085	-0.061	0.042	0.011

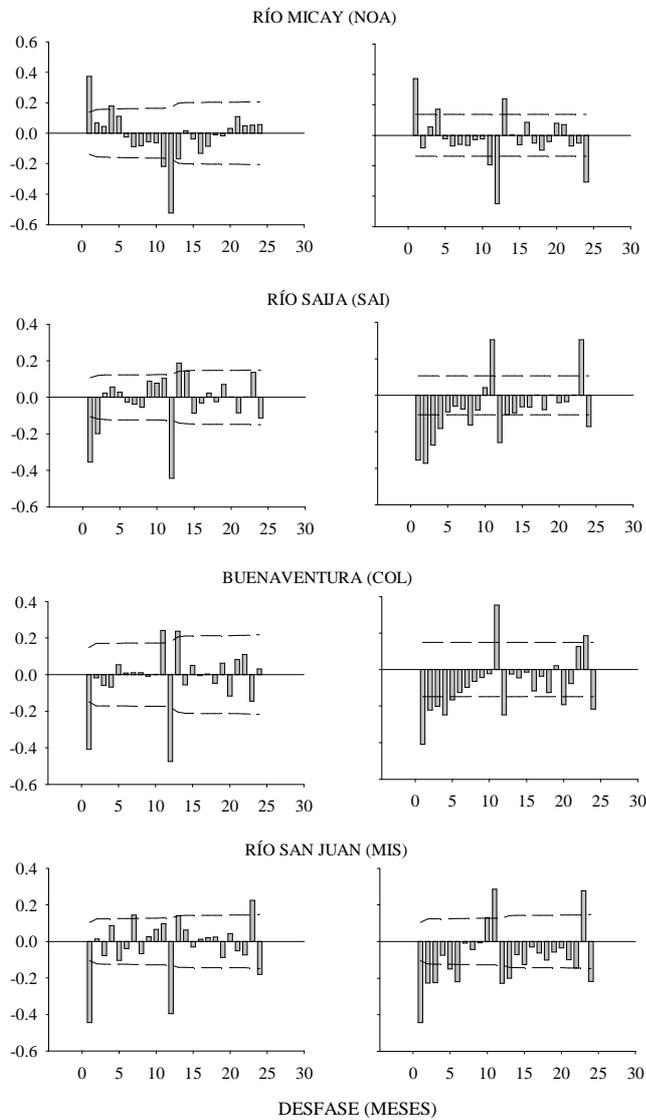


Figura 16. Funciones de autocorrelación (izquierda) y autocorrelación parcial (derecha), correspondientes a series de tiempo de precipitación mensual en varias estaciones meteorológicas del IDEAM dentro de las áreas de pesca del camarón blanco (*Litopenaeus occidentalis*) en el área de Buenaventura (Pacífico colombiano), entre 1968 y 1998. Para la extensión temporal de cada serie en particular y el significado de las abreviaturas ver la tabla 5.

5.4.2 Caudal

El caudal del río San Juan en las dos estaciones analizadas presenta un comportamiento similar al caudal medido en la estación del río Micay y en todas las estaciones se presenta una correspondencia estrecha entre el caudal y la precipitación (ver tabla 9). La estacionalidad se evidencia con dos máximos anuales en la distribución de meses con caudales altos, uno en abril-mayo y otro en octubre-noviembre (Fig. 15). No obstante las similitudes entre las series de caudal, también es posible observar un ligero desfase, próximo a un mes, entre los máximos de los dos ríos analizados (Fig.15).

En la estación Guayabal la serie de tiempo del caudal del río Micay (CAUGUA) para ser estacionaria necesita diferenciaciones simultáneas de grado uno y doce. Las funciones de AC y PAC sugieren un comportamiento de media móvil en escala no estacional y mezclado en escala estacional (Fig.18). No obstante, en la fase de estimación se llega finalmente a un modelo puro de media móvil (Ec.19; Tabla 14).

$$(1-B)(1-B^{12})CAUGUA_t = (1-0.64B)(1-0.86B^{12})a_t \quad (19)$$

El caudal del río San Juan medido en la estación Malagueta (CAUMAL) hasta finales de 1977 necesita para alcanzar la estacionaridad diferenciaciones de orden uno y doce. Las funciones AC y PAC sugieren un proceso de media móvil (Fig. 16), pero en la fase de estimación se llega a un modelo mezclado (Ec. 20; Tabla 15).

$$(1-B)(1-B^{12})CAUMAL_t = \frac{(1-0.75B^{12})}{(1+0.35B)}a_t \quad (20)$$

Tabla 14. Parámetros estimados de un modelo ARIMA (0,1,1)(0,1,1) para el caudal mensual del río Micay (estación Guayabal=CAUGUA, Pacífico colombiano) en el período 1990-1998, y prueba de autocorrelación de los residuos del modelo. La serie de tiempo utilizada para las estimaciones fue comprada al IDEAM (Colombia). MA= parámetro de media móvil.

Parámetro	Estimación	Error Estándar	t	P	Desfase
MA1,1	0.63814	0.08080	7.90	<0.0001	1
MA1,2	0.86007	0.06376	13.49	<0.0001	12

Desfases	Chi-2	GL	P	Autocorrelaciones					
1-6	2.61	4	0.6248	0.070	-0.106	-0.017	-0.039	0.083	0.037
7-12	10.49	10	0.3988	-0.025	0.090	0.017	-0.219	-0.126	0.005
13-18	13.69	16	0.6219	0.026	-0.029	-0.009	-0.159	-0.008	-0.022
19-24	16.28	22	0.8019	-0.034	-0.008	-0.020	-0.063	0.061	-0.104

Tabla 15. Parámetros estimados de un modelo ARIMA (1,1,0)(0,1,1) para el caudal mensual del río San Juan (estación Malagueta = CAUMAL) en el Pacífico colombiano, correspondiente al período 1968-1977 y prueba de autocorrelación de los residuos del modelo. La serie de tiempo utilizada para las estimaciones fue comprada al IDEAM (Colombia). MA = parámetro de media móvil; AR = parámetro autorregresivo.

Parámetro	Estimación	Error estándar	t	P	Desfase
MA1,1	0.74600	0.07405	10.07	<0.0001	12
AR1,1	-0.34818	0.09165	-3.80	0.0002	1

Desfases	Chi-2	GL	P	Autocorrelaciones					
1-6	4.42	4	0.3527	-0.058	-0.167	0.026	0.061	-0.063	-0.006
7-12	8.71	10	0.5602	-0.120	0.006	-0.088	0.054	-0.063	-0.084
13-18	9.96	16	0.8686	0.003	0.024	-0.032	-0.059	0.025	0.063
19-24	23.56	22	0.3706	-0.163	-0.092	0.246	0.043	-0.057	0.003

La serie con mayor extensión temporal es la correspondiente al caudal del río San Juan en la estación Peñitas (CAUPEN). Para lograr la estacionaridad la serie CAUPEN requiere diferenciaciones de orden uno y de orden doce. La función AC tiene valores significativamente

altos en los desfases de 1 y 12 meses, en tanto que la función PAC presenta decaimiento exponencial en escalas no estacional y estacional (Fig. 17). En la fase de estimación se confirma la interpretación anterior llegándose a un modelo de media móvil estacional (Ec. 21; Tabla 16).

$$(1-B)(1-B^{12})CAUPEN_t = (1-0.53B-0.12B^3)(1-0.89B^{12})a_t \quad (21)$$

Tabla 16. Parámetros estimados de un modelo ARIMA (0,1,2)(0,1,1) para la serie de tiempo mensual del caudal del río San Juan (estación Peñitas = CAUPEN, Pacífico colombiano) en el período 1968-1998, y prueba de autocorrelación de los residuos del modelo. La serie de tiempo utilizada para las estimaciones fue comprada al IDEAM (Colombia). MA = parámetro de media móvil.

Parámetro	Estimación	Error Estándar	t	P	Desfase
MA1,1	0.53268	0.04529	11.76	<0.0001	1
MA1,2	0.12190	0.04546	2.68	0.0077	3
MA2,1	0.89143	0.02462	36.20	<0.0001	12

Desfases	Chi-2	GL	P	Autocorrelaciones					
1-6	5.50	3	0.1384	0.060	-0.096	0.026	0.011	-0.024	0.033
7-12	11.45	9	0.2459	-0.048	-0.016	-0.045	-0.078	-0.072	-0.014
13-18	15.74	15	0.3993	-0.024	-0.010	-0.045	-0.059	-0.072	0.000
19-24	27.88	21	0.1436	-0.152	0.008	0.081	-0.028	0.005	0.037

A manera de resumen general, en la tabla 17 se presentan los resultados obtenidos en la modelación ARIMA de todas las variables pesqueras y ambientales consideradas hasta el momento.

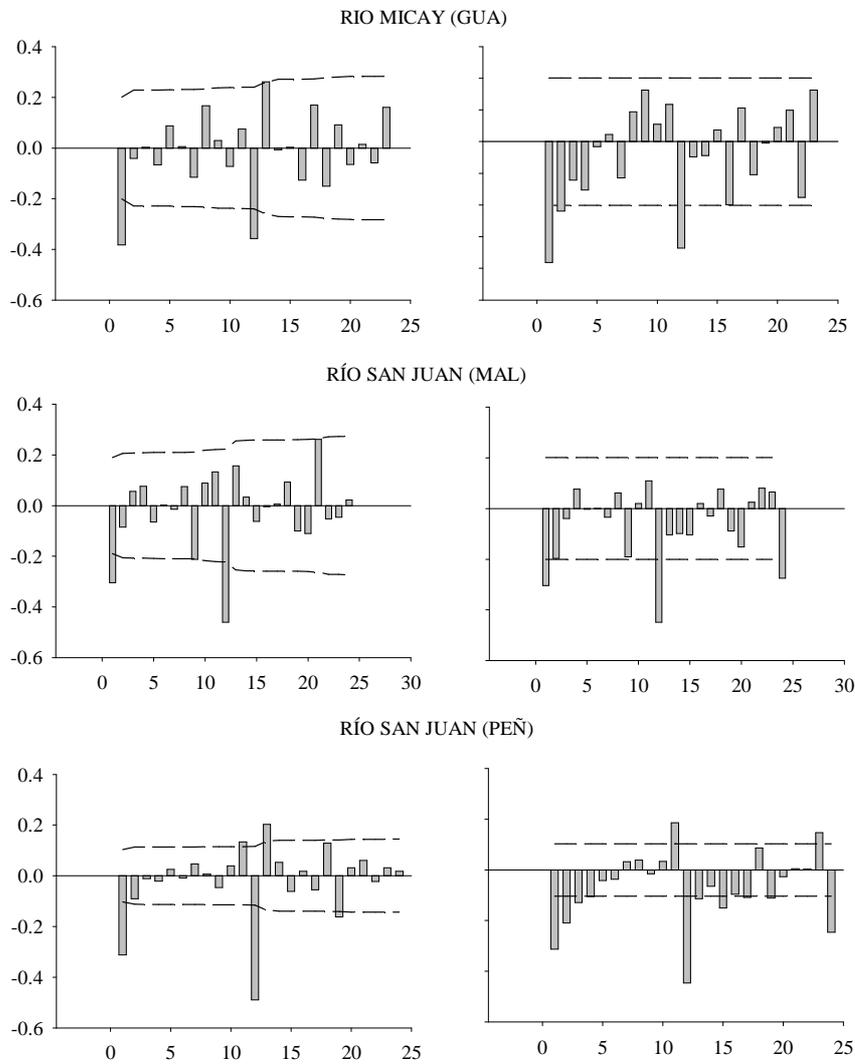


Figura 17. Funciones de autocorrelación (izquierda) y de autocorrelación parcial (derecha) de tres series de tiempo mensuales de caudal en el Pacífico colombiano. Las series originales fueron diferenciadas con ordenes uno y doce y corresponden al período 1968-1998 (para la extensión temporal de cada serie, el significado de las abreviaturas y la fuente de la información ver la tabla 5).

Tabla 17. Modelos ARIMA univariados estimados para series de tiempo de variables biológico-pesqueras y ambientales en áreas próximas a las zonas de captura del camarón blanco (*Litopenaeus occidentalis*) desembarcado por la flota industrial de Buenaventura (Pacífico colombiano). R^2 = proporción de la varianza total explicada, a_t = término de error aleatorio y AIC= Criterio de Información de Akaike. Las series de variables hidrológicas utilizadas para las estimaciones fueron compradas al IDEAM y las de desembarque y esfuerzo de pesca se obtuvieron de los archivos del INPA.

Variable(x)	Modelo	n	R^2	AIC
Desembarque (1978-1989)	$(1-B)(1-B^{12})\ln(x)_t = (1-0.81B^{12})a_t$	134	0.72	10.810
Esfuerzo (VPM: 1978-1989)	$(1-B)(1-B^{12})x_t = (1-0.49B)(1-0.78B^{12})a_t$	134	0.35	1055.240
CPUE (1974-1989)	$(1-B)(1-B^{12})\ln(x)_t = \frac{(1-0.71B^{12})}{(1+0.15B)}a_t$	188	0.65	19.031
Precipitación Río Micay (Est. Noanamito: 1981-1998)	$(1-B^{12})x_t = \frac{(1-0.86B^{12})}{(1-0.44B)}a_t$	214	0.23	2796.742
Precipitación Río Saija (Est. Saija: 1968-1997)	$(1-B)(1-B^{12})x_t = \frac{(1-0.85B)(1-1.03B^{12})}{(1+0.15B)}a_t$	345	0.42	4763.525

Tabla 17 (continuación).

Variable(x)	Modelo	N	R ²	AIC
Precipitación Buenaventura (Est. Colpuertos: 1969-1998)	$(1-B)(1-B^{12})x_t = (1-0.80B)(1-0.87B^{12})a_t$	357	0.41	4649,961
Precipitación Río San Juan (Est. La Misión: 1968-1998)	$(1-B)(1-B^{12})x_t = (1-0.68B-0.12B^3)(1-0.76B^{12})a_t$	364	0.36	4720,132
Caudal Río Micay (Est. Guayabal: 1990-1998)	$(1-B)(1-B^{12})x_t = (1-0.64B)(1-0.86B^{12})a_t$	108	0.59	1217,145
Caudal Río San Juan (Est. Malaguita: 1968-1977)	$(1-B)(1-B^{12})x_t = \frac{(1-0.75B^{12})}{(1+0.35B)}a_t$	120	0.67	1622,167
Caudal Río San Juan (Est. Peñitas: 1968-1998)	$(1-B)(1-B^{12})x_t = (1-0.53B-0.12B^3)(1-0.89B^{12})a_t$	372	0.52	5277,132

5.5 Funciones de correlación cruzada con el método ARIMA (Box y Jenkins, 1976)

La similitud encontrada entre las series de precipitación, permite la utilización de la serie nueva SUMPRES (suma de las precipitaciones en las estaciones La Misión, Colpuertos y Saija), como variable explicativa del índice de abundancia del camarón blanco en las áreas de extracción. En SUMPRES no se incluye la serie de precipitación de la estación Noanamito en el río Micay, porque ésta sólo contiene observaciones desde 1981. Un índice de caudal semejante al utilizado con la precipitación no es aplicable, debido a la extensión relativamente corta de la serie de caudal del río San Juan en Malagueta y a que la serie de caudal del río Micay solamente está disponible para el período 1990-1998, intervalo donde la CPUE presenta interrupciones debidas a las vedas del camarón.

En el análisis ARIMA de las variables SUMPRES y caudal del río San Juan en la estación Peñitas, se utiliza solamente el intervalo 1974-1989, determinado por la disponibilidad de una serie de observaciones de CPUE no interrumpida y exenta de valores extremos. Por consiguiente, en el procedimiento de “preblanqueo”, el tamaño de las series de tiempo se ve reducido, debiéndose estimar de nuevo los modelos de las variables ambientales y la serie de esfuerzo (VPM). Los modelos obtenidos requieren hacer estacionarias las nuevas series mediante las diferenciaciones de orden uno y doce (Tabla 18).

Las funciones de correlación cruzada de la Fig. 18 indican que la actividad de la flota de arrastre del camarón genera capturas altas con desfase nulo ($R=0.34$ $P<0.05$), lo cual se debe a que cuando se aplica un esfuerzo, la captura se obtiene inmediatamente (e.g. Rothschild *et al.* 1996). No obstante, en la función de correlación cruzada también se observa una correlación significativa y negativa en los desfases 14 ($R=-0.20$; $P<0.05$) y 15 meses ($R=-0.19$; $P<0.05$). Por otra parte, el esfuerzo estuvo correlacionado negativamente con el índice CPUE en los desfases 0 ($R=-0.37$; $P<0.05$) y 15 meses ($R=-0.25$; $P<0.05$).

El caudal del río San Juan en la Estación Peñitas presentó correlación positiva con la CPUE en el desfase 13 ($R=0.18$; $P<0.05$), en tanto que el índice SUMPRES presentó una correlación similar

con el índice de abundancia en los desfases 11 (R=0.19; P<0.05) y 13 meses (R=0.16; P<0.05) (Fig. 20).

Tabla 18 (a). Parámetros estimados para modelos autorregresivos y de media móvil (ARIMA) correspondientes a series de tiempo de un índice de precipitación total (SUMPRES = precipitación estación Saija + precipitación estación Colpuertos + precipitación estación La Misión), el caudal del Río San Juan (estación Peñitas = CAUPEN) y los Viajes con Pesca por Mes (VPM) de la flota industrial del camarón blanco (*Litopenaeus occidentalis*) en el Pacífico colombiano durante el período 1974-1989. Las series de variables hidrológicas utilizadas fueron compradas al IDEAM (Colombia) y la serie de esfuerzo de pesca se obtuvo de los archivos del Instituto Nacional de Pesca y Acuicultura (Buenaventura, Colombia). E.E. = error estándar.

VARIABLE	PARAMETRO	VALOR	E.E.	t	P	DESFASE
SUMPRES	MA1,1	0.577	0.063	9.14	<0.0001	1
	MA2,1	0.196	0.063	3.10	0.0022	3
	AR1,1	0.745	0.057	13.17	<0.0001	12
CAUPEN	MA1,1	0.537	0.064	8.36	<0.0001	1
	MA2,1	0.708	0.055	12.78	<0.0001	12
VPM	MA1,1	0.492	0.081	6.09	<0.0001	1
	MA2,1	0.780	0.069	11.38	<0.0001	12

Tabla 18 (b). Formulación de modelos ARIMA de acuerdo con los parámetros presentados en la tabla 18 (a).

Variable(x)	Modelo	n	R ²
SUMPRES	$(1-B)(1-B^{12})x_t = (1-0.58B-0.20B^3)(1-0.71B^{12})a_t$	188	0.59
CAUPEN	$(1-B)(1-B^{12})x_t = (1-0.54B)(1-0.71B^{12})a_t$	188	0.52
VPM	$(1-B)(1-B^{12})x_t = (1-0.49B)(1-0.78B^{12})a_t$	134	0.35

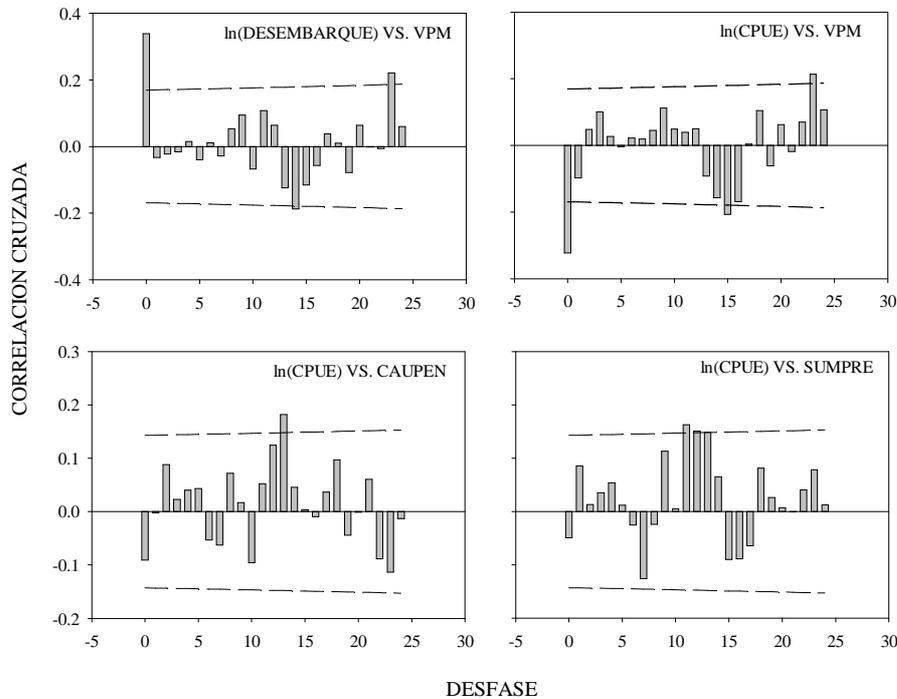


Figura18. Funciones de correlación cruzada de series de tiempo de desembarque y captura por unidad de esfuerzo (CPUE) con series de tiempo de esfuerzo de pesca (VPM=viajes de pesca por mes de toda la flota), el caudal río San Juan en la estación Peñitas (CAUPEN) y la suma de precipitaciones en tres estaciones meteorológicas (precipitación estación Saija + precipitación estación Colpuertos + precipitación estación La Misión = SUMPRES), para la pesquería industrial del camarón blanco (*Litopenaeus occidentalis*) desembarcado en Buenaventura (Pacífico colombiano) en el período 1974-1989. Las variables respuesta fueron filtradas con modelos autorregresivos y de media móvil (ARIMA) estimados para las variables predictoras (caudal, precipitación y esfuerzo). Las líneas punteadas demarcan los límites de confianza del 95%, para un coeficiente de correlación cruzada nulo. Las series de tiempo de variables ambientales fueron compradas al IDEAM (Colombia) y las series de CPUE y VPM se obtuvieron de archivos del INPA (Buenaventura, Colombia).

5.6 Correlación cruzada con el método Pyper –Peterman (1998)

Con el método de corrección de los grados de libertad, la correlación cruzada entre el desembarque y el esfuerzo de pesca no presenta valores significativos en ningún desfase, sin embargo, en el desfase cero este coeficiente alcanza un valor relativamente elevado ($R=0.27$; $P=0.06$; Fig. 21). La relación entre la CPUE y los VPM exhibe dos valores significativos únicamente en los desfases 15 ($R=-0.29$; $P=0.04$) y 16 ($R=-0.31$; $P=0.03$).

Se detectan correlaciones significativas entre la CPUE y el caudal en desfases más tempranos que con la metodología ARIMA, en los desfases de 9 ($R=0.29$; $P=0.01$), 10 ($R=0.32$; $P<0.01$) y 11 meses ($R=0.27$; $P=0.02$). Posteriormente, la correlación entre el caudal y el índice de abundancia decae fuertemente para cobrar importancia otra vez en los desfases 21 ($R=0.31$; $P<0.01$), 22 ($R=0.32$; $P<0.01$) y 23 ($R=0.24$; $P<0.05$; Fig. 21). Un comportamiento similar al de la CPUE vs. caudal se puede describir para la relación CPUE vs. precipitación, donde los valores más significativos se detectan en los desfases 10 ($R=0.32$; $P<0.05$), 22 ($R=0.33$; $P<0.05$) y 23 ($R=0.33$; $P<0.05$) (Fig. 21).

5.7 Desembarque y esfuerzo en los 1990's

En la década de los 1990's el esfuerzo de pesca de la flota de arrastre del camarón blanco sufre cambios en su comportamiento estacional debido a las vedas. Cuando se realizaron las vedas en diciembre-febrero (1992-1994), la actividad mínima de la flota tendió a encontrarse a mediados del año (Fig.22). En 1996 la mayor actividad se concentro al final del primer semestre y descendió al mínimo en septiembre, para volver a ascender en forma importante en octubre y diciembre, alrededor de la veda de un mes (noviembre) que se decretó ese año. En 1997 la no aplicación de la veda coincidió con la mayor actividad de la flota industrial en la primera mitad del año (Fig. 20).

La CPUE de la flota industrial en 1991 presenta valores relativamente altos, pero desde 1992 se presenta una caída de nivel que se mantiene hasta el final de 1997 a pesar de las fluctuaciones

estacionales. Durante el evento El Niño de 1997-1998, la CPUE de la flota industrial mostró un ascenso comparativamente abrupto en mayo de 1997 (Fig. 20).

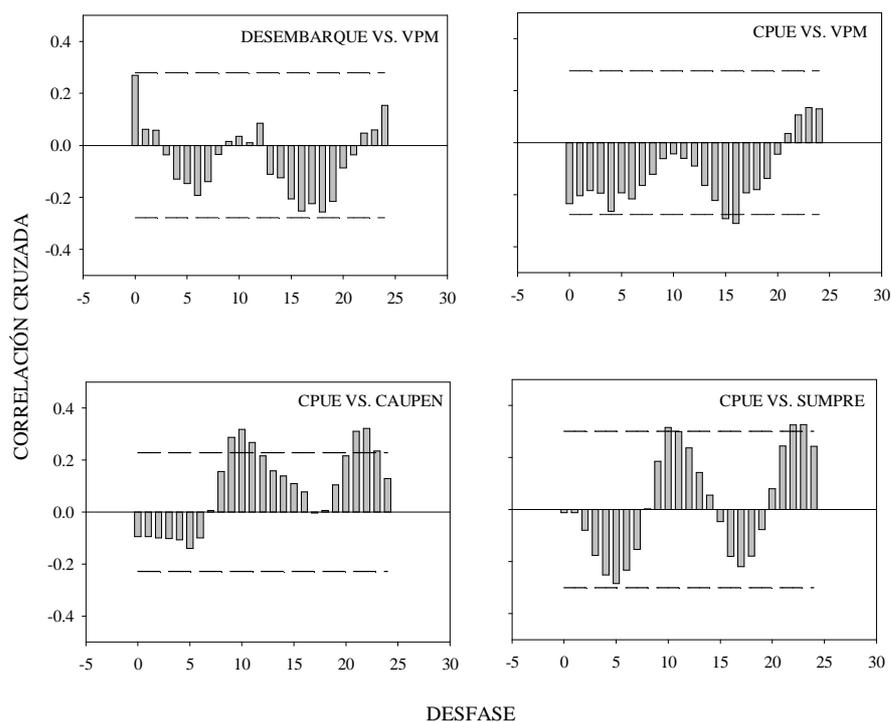


Figura 19. Funciones de correlación cruzada calculadas con el método de Pyper y Peterman (1998), entre el índice abundancia (CPUE) de la pesquería industrial del camarón blanco (*Litopenaeus occidentalis*) en el área de Buenaventura (Pacífico colombiano) durante el período 1974-1989, y el esfuerzo de pesca de la flota (VPM = viajes con pesca por mes), el caudal del río San Juan en la estación Peñitas (CAUPEN) y un índice suma de precipitaciones (precipitación estación Saija + precipitación estación Colpuertos + precipitación estación La Misión = SUMPRES). Las líneas punteadas señalan intervalos de confianza del 95%. Las series de tiempo de variables ambientales fueron compradas al IDEAM (Colombia) y las series de CPUE y VPM se obtuvieron de archivos del INPA (Buenaventura, Colombia).

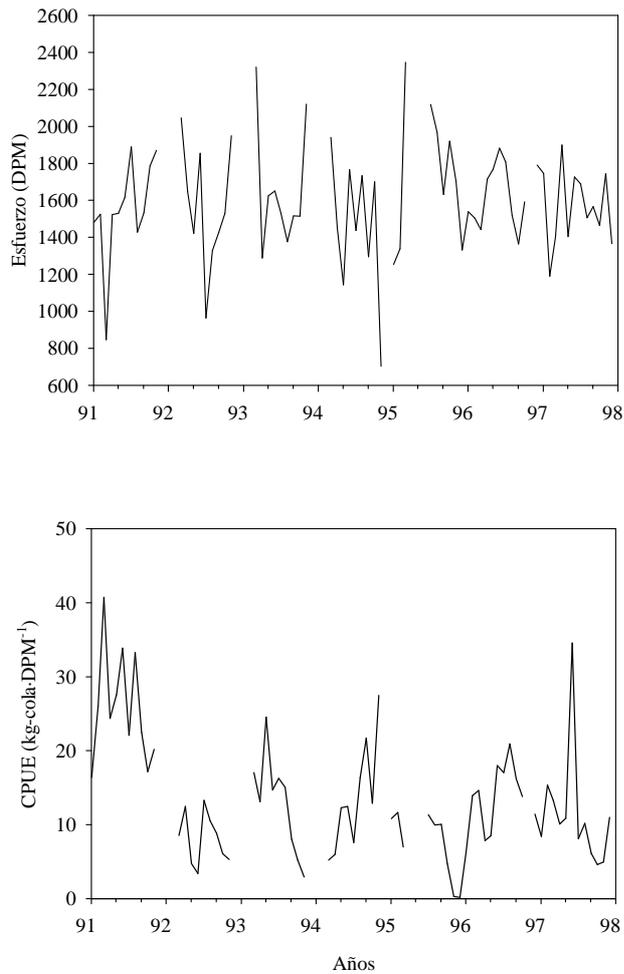


Figura 20. Esfuerzo de pesca (DPM= días de pesca por mes de la flota) y captura por unidad de esfuerzo (CPUE) de la flota industrial del camarón blanco (*Litopenaeus occidentalis*) que desembarca en Buenaventura (Pacífico colombiano), entre 1991 y 1998. Los datos faltantes corresponden a períodos de veda. La serie de tiempo de desembarque se basa en los registros del INPA (1995-1998) y la serie de DPM se reconstruyó a partir de las fechas de salida y entrada de los barcos de acuerdo con los libros de zarpe de la Capitanía del Puerto de Buenaventura.

5.8 Relación entre la CPUE del camarón blanco y los ciclos ENSO

El índice de oscilación del sur (SOI) es una medida indirecta de la ocurrencia de los eventos El Niño, pero su utilización está ampliamente difundida porque: (i) es la serie de tiempo con registros instrumentales más larga disponible, (ii) consiste en mediciones de presión atmosférica, la cual ofrece menos dificultades técnicas e interferencias de medición y (iii) la presión atmosférica tiende a ser similar sobre áreas más extensas que otras variables mejor asociadas con El Niño como la temperatura superficial del mar o los vientos, que además son afectados por variaciones locales que dificultan la interpretación en escalas espaciales extensas (W.S.Kessler en: Internet: <http://www.pmel.noaa.gov/~kessler>). La escala del SOI se puede utilizar como un indicador de la intensidad de los ciclos ENSO, sin embargo durante El Niño 1997-98, este índice tuvo valores similares al evento de 1991-92, a pesar de que los índices de temperatura revelaban que el evento fue similar o más intenso que El Niño de 1982-83 (Fig. 21). En consecuencia, no es sencillo asociar la intensidad de los Eventos El Niño con un solo indicador. Habiendo hecho estas salvedades, existe cierto acuerdo en cuanto a la ocurrencia e intensidad de los eventos del ciclo ENSO en los años más recientes. Según el Servicio Meteorológico de Canadá (Internet: <http://www.msc-smc.ec.gc.ca>) los índices relacionados con las anomalías de temperatura permiten definir una cronología de los eventos El Niño y La Niña para el período que abarca el presente estudio (Tabla 19).

Tabla 19. Clasificación de los eventos El Niño y La Niña entre 1968 y 1998 (Meteorological Service of Canada en Internet: <http://www.msc-smc.ec.gc.ca/education/elniño>).

AÑO	Clasificación del evento	AÑO	Clasificación del evento
1968-1969	El Niño moderado	1983-1984	La Niña débil
1969-1970	El Niño débil	1984-1985	La Niña débil
1970-1971	La Niña moderado	1985-1986	Neutro
1971-1972	Neutro	1986-1987	El Niño moderado
1972-1973	El Niño moderado	1987-1988	El Niño débil
1973-1974	La Niña fuerte	1988-1989	La Niña fuerte
1974-1975	La Niña débil	1989-1990	Neutro
1975-1976	La Niña moderado	1990-1991	El Niño débil
1976-1977	El Niño débil	1991-1992	El Niño fuerte
1977-1978	El Niño débil	1992-1993	El Niño débil
1978-1979	Neutro	1993-1994	Neutro
1979-1980	El Niño débil	1994-1995	El Niño débil
1980-1981	Neutro	1995-1996	La Niña débil
1981-1982	Neutro	1996-1997	Neutro
1982-1983	El Niño fuerte	1997-1998	El Niño fuerte



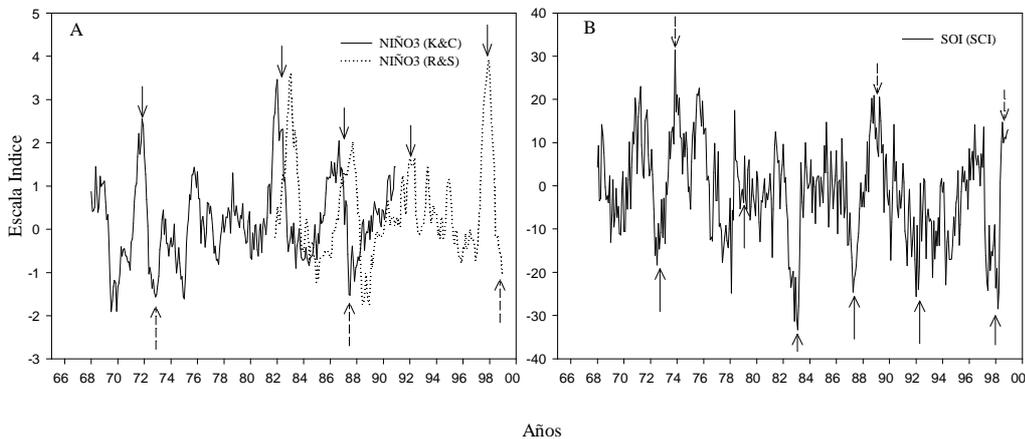


Figura 21. (A) Índices de ocurrencia de eventos El Niño, Niño 3 según Kaplan *et al.* 1998 – Cane *et al.* (1997) (K&C y Reynolds y Smith (1994) (R&S). (B) Índice de Oscilación del Sur, basado en el promedio histórico 1932-1992, de acuerdo con el Csiro de Australia (SCI; en Internet). Las flechas continuas señalan eventos El Niño fuertes y las punteadas eventos La Niña fuertes.

Las anomalías inter-estacionales (anomalías estandarizadas de las diferencias de la CPUE del primer semestre con respecto al segundo semestre) muestran valores altos durante los eventos fuertes La Niña de 1973-1974 y El Niño 1982-1983 (Fig. 14; Tabla 19). La anomalía intra-estacional negativa de CPUE de 1989 corresponde a un período con condiciones neutrales pero que está precedido por el evento fuerte La Niña 1988-1989 (Tabla 19). En los 1990's, la razón entre la CPUE del primer semestre y la CPUE del segundo semestre exhibe valores extremos elevados en 1992, año próximo al evento El Niño fuerte de 1991-1992, lo mismo que en 1997 durante el evento El Niño fuerte de 1997-1998 (Figs. 14 y 22).

5.8.1 Relaciones de la precipitación y el caudal con la CPUE del camarón blanco durante los eventos extremos del ciclo ENSO.

Las funciones de autocorrelación de las anomalías anuales del caudal del río San Juan y del índice SUMPRES no son significativas en ningún desfase ($P < 0.05$), razón por la cual no requieren ser filtradas con los modelos ARIMA (Fig. 23a-b). Al igual que ocurre en la escala mensual, en la

escala anual las series de precipitación y caudal utilizadas (expresadas aquí como anomalías) están muy correlacionadas en el desfase cero ($R = 0.73$; $P < 0.01$; Fig. 23c). Por su parte las anomalías del número de viajes con pesca de la flota de arrastre por año presenta una estructura de autocorrelación que se puede remover utilizando solamente la diferenciación de primer grado (Fig. 23b.). Este último procedimiento es equivalente a utilizar un modelo ARIMA (0,1,0) para filtrar la serie de VPM acumulada por año. Asimismo, en escala anual la CPUE del camarón blanco conserva un carácter autorregresivo que se ajusta en forma parsimoniosa al modelo ARIMA (1,1,0) presentado en la ecuación (22).

$$(1 - B)\ln CPUE_t = -0.486 \cdot \ln CPUE_{t-1} + a_t \quad (22).$$

Otras correlaciones entre las series de tiempo de anomalías de precipitación/caudal y los residuos de las series de esfuerzo y la CPUE, permiten establecer algunas relaciones con niveles de significancia altos (Fig. 23). La CPUE filtrada tiene variaciones más o menos cíclicas que están correlacionadas con desfase de un año con las anomalías de precipitación ($R = 0.62$; $P < 0.05$; Fig.23b) y del caudal del río San Juan ($R = 0.66$; $P < 0.05$; Fig.23b). La CPUE y las anomalías de los viajes con pesca por año diferenciadas, también muestran correlación significativa con desfase de un año (Fig.23d; $R = -0.45$; $P < 0.05$).

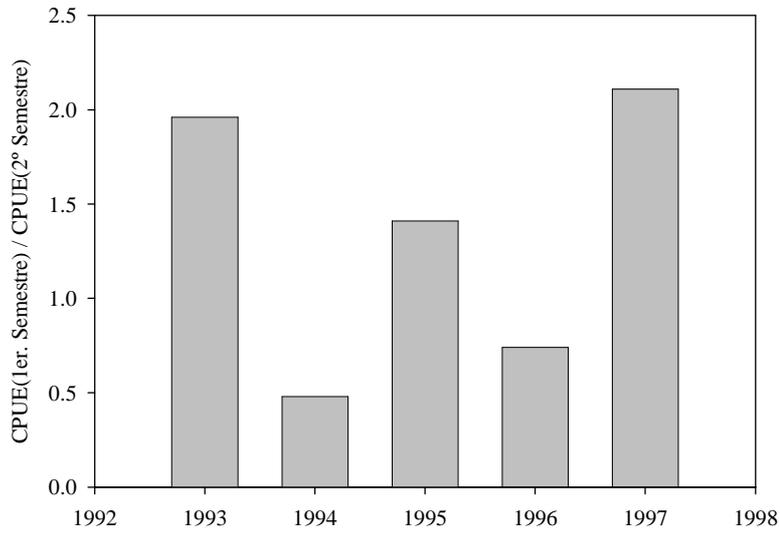


Figura 22. Proporción entre la CPUE correspondiente al primer semestre y la CPUE del segundo semestre en el período 1993-1997, para la pesquería industrial del camarón blanco (*Litopenaeus occidentalis*) con centro de desembarque en Buenaventura, Colombia. Los cálculos de la CPUE se realizaron a partir de datos de desembarque (INPA, 1993-1998) y de esfuerzo reconstruido con base en los días de faena registrados en los libros de zarpes de la Capitanía del Puerto de Buenaventura.

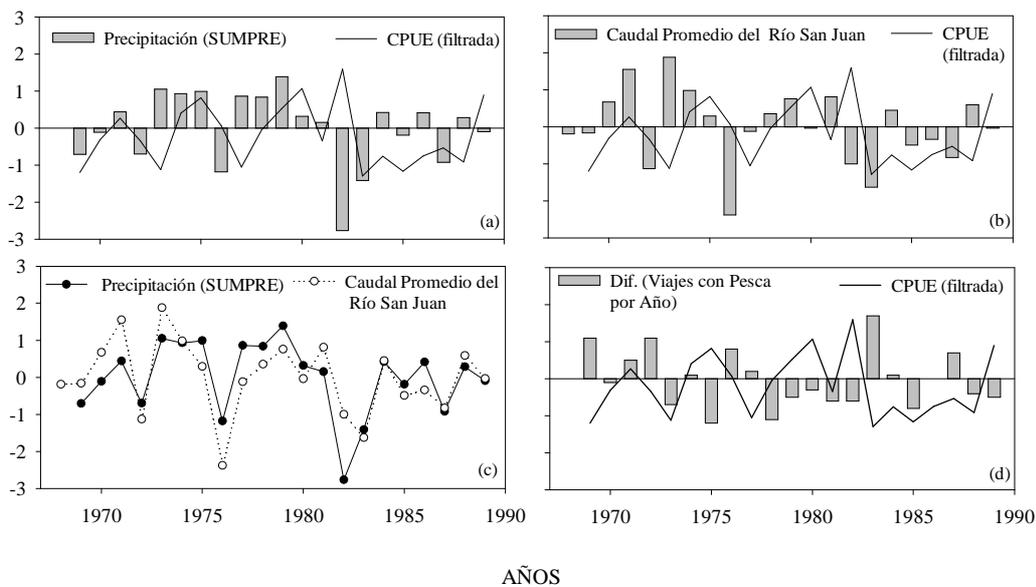


Figura 23. Relaciones entre anomalías de un índice de precipitación total (SUMPRES), del caudal del río San Juan (estación Peñitas) y esfuerzo de pesca de la flota industrial del camarón blanco (*Litopenaeus occidentalis*) de Buenaventura (Pacífico colombiano), en escala anual. Las anomalías fueron previamente filtradas con modelos autorregresivos y de media móvil (ARIMA) para remover la autocorrelación. Dif = serie diferenciada. Fuente de los datos originales: Instituto Nacional de Pesca (INPA) y Acuicultura e Instituto de Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM).

6 DISCUSIÓN DE RESULTADOS

La pesquería industrial del camarón blanco durante los años 1970's alcanzó una asíntota en su desarrollo y niveles de producción. El máximo de viajes con pesca por mes al año con frecuencia superó los 150 VPM en los meses del año con mayor actividad hasta 1978. Posteriormente, la crisis de la pesquería industrial mencionada por Herazo (1981) y Rubio (1994) se refleja con niveles considerablemente bajos del esfuerzo entre 1978 y 1982 que coinciden con importantes reducciones del desembarque anual de la flota (Figs. 10, 12 y 23d.). Desde 1984 el desembarque industrial decae fuertemente y los valores máximos mensuales por año no sobrepasan los 70 mil kg-cola-mes⁻¹ (Figs. 8-9). Aunque no es posible establecer una relación directa entre las CPUE de las dos pesquerías debido a la carencia de registros estadísticos completos de la pesca artesanal, es probable que ésta última haya contribuido en la reducción de las capturas de la pesca industrial desde mediados de los 1980's (Mora, 1988a.; ver también Figs.8-10). Es evidente que los desembarques de la flota industrial del camarón blanco en Buenaventura reflejan además de la abundancia de la especie en el medio natural, la evolución económica de la pesquería y posiblemente, la competencia entre las pesquerías industrial y artesanal debido a la captura de ejemplares inmaduros dentro de las áreas de crianza por esta última (Fig. 10). El efecto negativo de la pesca artesanal sobre las capturas de la flota industrial de camarones peneidos ya ha sido documentado en otras partes del mundo como por ejemplo el Golfo de México (Gracia, 1995) y en algunas pesquerías africanas (ver Garcia y Le Reste, 1986).

A diferencia de la serie de desembarque industrial que presenta una tendencia lineal decreciente desde 1968, la CPUE muestra períodos con cambios de tendencia (Figs. 6, 10 y 13). Estos patrones son cíclicos y también se observan durante los años 1990's a pesar del cambio de unidades de medida de la CPUE (Fig. 20). Los años en los cuales ocurren los cambios de tendencia de la abundancia del camarón son 1977, 1989, 1991 y posiblemente 1997 (no se dispone de observaciones para los años siguientes). Este patrón de ascensos y descensos en la CPUE sugiere una relación con el evento El Niño moderado de 1977-1978, los El Niño fuertes de 1982-1983, 1991-1992 y el evento fuerte La Niña de 1988-1989. Los eventos del ciclo ENSO antes mencionados coinciden con cambios de tendencia de la abundancia del camarón los cuales se mantienen durante aproximadamente cinco años (Fig. 13). Sin embargo, la serie de tiempo

utilizada no permite ser concluyente debido al limitado número de observaciones disponibles ya que entre 1968 y 1998 sólo ocurrieron dos eventos fuertes La Niña y tres eventos fuertes El Niño (ver Tabla 19). A pesar de las posibles deficiencias de la CPUE como variable *proxy* de la abundancia (e.g. ver Herazo, 1981, p.26), esta variable demuestra su utilidad para detectar los cambios de abundancia del camarón blanco en las áreas de pesca industrial en claro contraste con la sola medición del desembarque total.

6.1 Comportamiento de las series de tiempo pesqueras y ambientales

La modelación ARIMA permite detectar en todas la series de tiempo utilizadas, fuertes componentes de tendencia y estacionalidad que fueron removidos antes de aplicar el análisis de correlación cruzada. La precipitación y caudal deben su componente autorregresivo al ciclo estacional y a la autocorrelación en escala temporal pequeña, con parámetros muy significativos en desfases iguales o inferiores a tres meses (Tabla 18). Por su parte, la autocorrelación de la serie temporal de la CPUE se debe a que la pesquería industrial actúa principalmente sobre unas pocas clases de edad durante varios meses (una o dos cohortes sostienen la pesquería), a la estacionalidad propia del ciclo anual de abundancia de la especie y muy probablemente a la influencia de la propia explotación pesquera.

6.1.1 Correlación entre el esfuerzo de pesca industrial y la abundancia del camarón blanco

Con la metodología ARIMA la correlación entre el esfuerzo de pesca de la flota industrial y la CPUE se presenta con un desfase instantáneo (desfase = 0) implicando que cada unidad de esfuerzo aplicada produce una disminución instantánea del nivel de abundancia del camarón blanco (Fig. 18). En contraste, el método de corrección de grados de libertad de Pyper y Peterman (1998) produce resultados menos claros en escala temporal corta para las relaciones desembarque vs. VPM y CPUE vs. VPM (Fig. 19). Aunque estas últimas correlaciones en el desfase cero son altas no resultan significativas ($P > 0.05$; prueba Pyper y Peterman, 1998). En cambio, en los desfases de 15 y 16 meses el método de Pyper y Peterman (1998) presenta mayor coincidencia

con el método ARIMA. Sin embargo, las correlaciones cruzadas alrededor del desfase de 15 meses entre el esfuerzo de pesca aplicado y la captura o CPUE de la pesca industrial del camarón corresponden a un desfase mayor que las edades estimadas para los ejemplares que componen la captura industrial según las estimaciones de crecimiento correspondientes al período 1995-1999 (Díaz, 2001). El análisis en escala mensual no permite dar una explicación clara a este desfase de 15 meses. No obstante, como se verá en la sección 6.4.2 estas dificultades de interpretación pueden ser consecuencia de limitaciones inducidas por la escala de tiempo utilizada.

6.1.2 Correlaciones entre la precipitación / caudal y la abundancia del camarón blanco

Entre 1968 y 1997 el camarón blanco típicamente alcanzó la máxima abundancia alrededor junio de cada año (Figs.13 y 15). Este máximo “intra-anual” ocurre aproximadamente 8-9 meses después del período propuesto por algunos autores como la principal estación de desove (septiembre-octubre, Squires *et al.* 1971 *fide* Mora, 1988b.). Podría especularse que los máximos de CPUE de mitad del año en la pesquería industrial del camarón blanco son la consecuencia de la ubicación en “el lugar correcto y en el momento apropiado” del desove (*sensu* Sinclair y Tremblay, 1984), ya que éste ocurre durante la época del año con mayores aportes de agua dulce en el Pacífico colombiano.

6.2 Evaluación de las hipótesis *a priori* propuestas para la relación entre precipitación / caudal y abundancia del camarón

Las hipótesis presentadas en la sección 3 plantean que el caudal y/o la precipitación en el área costera están correlacionados con la abundancia del camarón blanco con desfases que corresponden al tiempo de reclutamiento de la especie en las áreas de pesca industrial. Por lo tanto, se espera que la influencia del caudal y de la precipitación sobre la abundancia del camarón blanco en el Pacífico colombiano se observe con un desfase de 6 a 9 meses si las estimaciones del patrón de reclutamiento realizadas por Díaz (2001) son aplicables. Las hipótesis que asignaron

correlaciones nulas en el caso de valores moderados o aquellas que plantearon correlaciones negativas para valores altos de caudal o precipitación, no son apoyadas por los resultados obtenidos en este trabajo. De hecho, la información analizada indica que es posible establecer una relación lineal con pendiente positiva como un buen modelo para describir la influencia del caudal o de la precipitación en el área costera del Pacífico colombiano como variables predictoras de la abundancia anual del camarón *L. occidentalis*.

Con los filtros ARIMA se detectaron correlaciones significativas entre la precipitación y la CPUE con desfase de 11 meses y entre el caudal del río San Juan y la CPUE con desfase de 13 meses (Fig.18). Estos desfases tienden a estar por fuera del límite para la duración del ciclo vital de *L. occidentalis* estimado con el modelo de crecimiento de von Bertalanffy (Díaz, 2001). Por su parte, con el método de Pyper y Peterman (1998) se detectan correlaciones cruzadas significativas entre la precipitación y la CPUE (desfase = 11 meses) y entre el caudal y la CPUE (desfases = 9-11 meses) que tienden a coincidir con el límite superior del intervalo de 6 a 9 meses correspondiente a las edades que predominarían en la captura de la flota industrial (Díaz, 2001).

La diferencia entre los desfases con que se observaron las correlaciones entre los aportes de agua dulce y la CPUE con respecto a la duración del ciclo vital propuesta por Díaz (2001), puede deberse a la incertidumbre involucrada en la asignación de las edades a las clases de tamaño identificadas por este autor. Implícita en la estimación de un modelo de crecimiento con base en la distribución de tallas se encuentra la suposición de que las edades son medidas sin error. Además, las estimaciones de Díaz (2001) corresponden solamente al período 1995-1999. Dentro de este lapso es posible que las condiciones ambientales no fueran similares a las predominantes en los años 1970's y 1980's, rango al que pertenecen la mayoría de datos utilizados en el presente análisis de series de tiempo. De hecho, durante los 1990's se presentaron eventos cálidos con más frecuencia que en años anteriores (e.g. Timmermann *et al.* 1999; ver también Fig. 21). En este sentido no se puede descartar la posibilidad de que la edad de reclutamiento pueda disminuir durante años más cálidos, ya que en los camarones peneidos el crecimiento se puede acelerar cuando aumenta la temperatura ambiental (Pérez-Farfante, 1969; García y Le Reste, 1986; Andrade, 1998; Haas *et al.* 2001; López *et al.* 2002).

En resumen las variables relacionadas con el ciclo hidrológico (precipitación y caudales) y la migración de la ZCIT en escala mensual representan una parte significativa de los efectos del ambiente sobre la abundancia del camarón *L. occidentalis* en el Pacífico colombiano. Al menos en períodos normales (sin anomalías de los índices del ciclo ENSO) las variaciones de la precipitación y de los caudales contribuyen a modular la abundancia del camarón blanco con desfases de 9 a 13 meses, a través de una relación de tipo lineal con pendiente positiva. Los desfases en los cuales se observan las correlaciones entre las variables hidrológicas y la CPUE, considerando la alta variabilidad que puede exhibir el crecimiento en los camarones peneidos dependiendo de variables ambientales como la temperatura (no analizada en el presente estudio), permiten sugerir que estos desfases no deben ser considerados como valores absolutos sino por el contrario como promedios cuya varianza asociada puede ser considerable dependiendo de múltiples variables ambientales (e.g. la temperatura superficial del mar, disponibilidad de alimento, entre otras).

6.3 Hipótesis propuestas *a posteriori* para los mecanismos que determinan la correlación entre la precipitación/caudal y la abundancia del camarón blanco en el Pacífico colombiano

Teniendo en cuenta que las entradas de agua dulce representadas en este estudio con el índice de precipitación SUMPRES y el caudal del río San Juan están fuertemente relacionadas con la variabilidad del régimen de los vientos Alisios, factor que su vez es determinante de la dirección de las corrientes superficiales sobre la plataforma continental en el Pacífico colombiano (Poveda *et al.* 1998; Tchantsev *et al.* 1998), se considera fundamental que las siguientes hipótesis sean contrastadas en investigaciones futuras:

1. *El caudal y la precipitación en el Pacífico colombiano actúan como “proxies” de los mecanismos físicos responsables del transporte de las postlarvas del camarón blanco hacia las áreas de asentamiento. Esta acción se evidencia por la correlación del caudal y la precipitación con la abundancia de los camarones adultos en las áreas de pesca industrial.*

2. *El caudal de los ríos en el Pacífico colombiano implica un aporte directo de nutrientes en el área costera que favorece el aumento de la productividad primaria y secundaria en el hábitat y regula la disponibilidad de alimento para las postlarvas del camarón blanco. Esta disponibilidad de alimento para los estadios tempranos se evidencia por la correlación del caudal con la abundancia de los camarones adultos en las áreas de pesca industrial.*

6.4 Efectos del ciclo ENSO sobre la relación de la precipitación/caudal con la abundancia del camarón blanco

Los eventos El Niño o La Niña en el Pacífico colombiano se caracterizan por estar asociados con la ocurrencia de importantes anomalías de precipitación las cuales son negativas durante El Niño y positivas durante La Niña (Fig. 23). Habiendo comprobado que en escala mensual la precipitación y el caudal desempeñan un papel significativo en la determinación de la CPUE con desfases de 9 a 13 meses, resulta evidente la necesidad de investigar si los cambios extremos de estas variables ambientales también son importantes durante la ocurrencia de los eventos El Niño y La Niña (ver hipótesis de la sección 3). A continuación se discute con detalle las posibles relaciones entre los ciclos ENSO y la abundancia del camarón blanco en el Pacífico colombiano.

6.4.1 Anomalías “intra-estacionales” de la CPUE

Estas anomalías sugieren la existencia de una relación de la abundancia del camarón blanco con la ocurrencia de eventos extremos del ciclo ENSO (Figs. 14 y 22). En todos los años con eventos fuertes El Niño o La Niña entre 1968 y 1997 hubo desviaciones importantes con respecto a la ubicación del máximo estacional de la CPUE que en promedio se presenta a mediados del año (Fig. 15). Estas desviaciones se manifiestan por desplazamientos hacia el principio o hacia el final del año del máximo de abundancia. Se sugiere que los eventos El Niño y La Niña fuertes inducen cambios en el comportamiento estacional normal de la CPUE del camarón blanco en el Pacífico colombiano. Estos cambios, teniendo en cuenta que no presentan prácticamente desfase con respecto a la ocurrencia de los eventos fuertes, podrían estar relacionados a su vez con cambios

de la distribución espacial del camarón (los cuales aumentarían su vulnerabilidad). Las anteriores consideraciones concuerdan con algunas investigaciones realizadas en otras partes del mundo para pesquerías de camarones peneidos. Por ejemplo en Louisiana (USA) la abundancia del camarón *Farfantepenaeus aztecus* muestra correlación positiva con la temperatura en todos los estadios de desarrollo (excepto postlarvas) lo cual podría disminuir el tiempo de vulnerabilidad a los depredadores dependiente de la talla de los camarones (Haas *et al.* 2001). Otro ejemplo se informa en el Pacífico mexicano, donde la abundancia de postlarvas del camarón peneido *Litopenaeus vannamei* se encontró correlacionada con la temperatura del agua del fondo cerca de la boca del Río Presidio, Sinaloa (Solís *et al.* 1993).

6.4.2 Correlaciones entre las series de tiempo en escala anual

Al encontrar correlaciones significativas entre la CPUE del camarón blanco y la precipitación/caudal en el área de estudio, se pone en claro que las variables ambientales seleccionadas tienden a ejercer su influencia sobre la abundancia de la especie con un desfase aproximado de un año (Figs. 18 y 19). Con el cambio a la escala anual, el problema de la remoción de la autocorrelación entre las series de tiempo se hace más simple porque se elimina la variabilidad de frecuencia alta del conjunto de datos y se obvian las interferencias asociadas con el ciclo estacional anual. El cambio de escala temporal y la utilización de anomalías en lugar de los valores originales de las series de tiempo permitieron obtener coeficientes de correlación más altos que en escala mensual (ver Figs. 18, 19 y 23). Las correlaciones de la CPUE con la precipitación o el caudal y el esfuerzo de pesca no superaron el valor de $R = 0.3$ en escala mensual, pero con la escala anual las mismas fueron mucho más altas (en el caso de la CPUE vs. caudal/precipitación se pasa de valores < 0.2 a valores > 0.6). La relación entre esfuerzo de pesca y la CPUE en la escala anual muestra también un incremento, aunque no es tan notable como ocurre con las variables ambientales (Fig. 23). El análisis en escala anual también permite concluir que los métodos ARIMA y de Pyper y Peterman (1998) son eficientes para determinar la existencia de correlaciones significativas entre series de tiempo en el ámbito de las frecuencias

altas pero que su utilización puede implicar una “sobre-corrección” de la autocorrelación dentro de las series con una disminución que podría ser más alta de lo necesario.

Utilizando la escala anual en los análisis de series de tiempo, puede establecerse que las entradas de agua dulce representadas por la precipitación y el caudal del río San Juan durante un año determinado se relacionan positivamente con la abundancia del camarón en el año siguiente. Por su parte, el esfuerzo ejercido por la flota de arrastre durante el año actúa en sentido contrario sobre la abundancia del camarón (correlación con signo negativo) y con el mismo desfase de un año (Fig. 23). En este caso se ha logrado una interpretación más simple y flexible de las relaciones encontradas entre las variables ambientales utilizadas y el índice de abundancia, ya que hay una menor dependencia de la suposición de un ciclo vital con duración constante (e.g. 6 u 9 meses). Las variables predictoras en esta escala ocurren en un momento determinado pero su efecto se verifica durante el próximo ciclo de producción del camarón (el tiempo transcurrido entre dos máximos de CPUE de años consecutivos) y no necesariamente con un tiempo fijo, ya que el máximo de CPUE del año siguiente puede desplazarse a lo largo del año. Con este enfoque se da cabida en el análisis a la alta variabilidad del tiempo del reclutamiento del camarón blanco en el Pacífico colombiano. Como desventaja de este enfoque podría argumentarse la disminución en el número de observaciones disponibles, sin embargo el análisis con mayor número de observaciones en escala mensual permite llegar a conclusiones similares (ver sección 6.1.2) que validan el análisis en la escala anual (en ambos casos se llega a correlaciones con desfases que conectan la época de aportes altos de agua dulce con aumentos de la CPUE en el año siguiente).

6.4.2.1 Relaciones entre las anomalías anuales de precipitación y caudal del río San Juan con la abundancia del camarón blanco

Los resultados encontrados en este trabajo sugieren que la relación que normalmente existe entre la precipitación/caudal y la CPUE del camarón blanco en el Pacífico colombiano, se intensifica en los años con anomalías anuales fuertes de estas variables durante los eventos El Niño o La Niña. Esta afirmación es válida para los eventos El Niño de 1969-1970, 1972-1973, 1976-1977,

1982-1983, 1987-1988 y para el período La Niña de 1973-1975 (Fig. 23; ver Tabla 19). Estas observaciones son parcialmente consistentes con la correlación positiva que fue encontrada entre los desembarques del camarón blanco en Tumaco (Pacífico Sur Colombiano) y la precipitación por Mora *et al.* (1984), aunque estos autores determinaron esta relación sin desfases.

Además de las variables hidrológicas (caudal y precipitación), los resultados obtenidos en este trabajo indican que el esfuerzo de pesca ejercido durante el año anterior actúa en dirección opuesta al caudal o la precipitación, ya que el esfuerzo exhibe una correlación lineal negativa con la anomalía de la CPUE (Fig. 23). Es notable que entre 1979 y 1982, la serie diferenciada del esfuerzo de pesca exhibe anomalías negativas sostenidas coincidiendo con la crisis de la pesquería industrial de finales de los 1970's (Herazo, 1981; Rubio, 1994). La disminución de la presión de pesca de la flota de Buenaventura sobre el camarón blanco al comienzo de los 1980's podría estar relacionada con la anomalía de la CPUE observada durante El Niño en 1982, único caso en el cual una anomalía positiva importante de la CPUE no estuvo precedida por una anomalía similar del caudal del río San Juan o del índice de precipitación SUMPRES para el periodo 1974-1989 (Fig. 23). Esta última situación podría considerarse un indicio de que medidas de ordenamiento drásticas en la pesquería (i.e. control del esfuerzo) podrían ayudar mucho a restablecer los rendimientos de la pesquería del camarón blanco hasta niveles similares a los obtenidos durante los años 1970's, si las mismas son aplicadas en periodos con condiciones ambientales favorables (i.e. altas precipitaciones y caudales).

Comparando con estudios realizados en otras partes, en el Golfo de California para el camarón peneido *Farfantepenaeus californiensis*, se ha propuesto la existencia de alteraciones del crecimiento de la especie en relación con los ciclos ENSO. Durante los eventos El Niño fuertes de 1982-1983 y 1997-1998 los parámetros del modelo de von Bertalanffy (k y L_{∞}) disminuyeron mientras que en los El Niño de 1987 y 1991-1992 los mismos aumentaron. En esta misma área se ha observado una reducción de la abundancia del camarón *F. californiensis* entre 1978 y 1980 y oscilaciones hasta valores mínimos en 1990-1991 (López *et al.* 2002), las cuales son semejantes a las observadas en la serie de CPUE del camarón blanco en el Pacífico colombiano (Fig. 13). Las observaciones directas del reclutamiento de *F. californiensis* en el Golfo de California sugieren además que durante los eventos El Niño de 1982-83, 1986, 1991-92

y 1997-98, esta variable aumentó, en tanto que en los períodos La Niña 1988,1995 y 1998-1999, el reclutamiento tuvo valores bajos (López *et al.* 2002). Teniendo en cuenta que en el Pacífico mexicano los eventos El Niño se manifiestan con anomalías positivas de precipitación, comportamiento inverso al que ocurre en el Pacífico colombiano, las observaciones del reclutamiento de López *et al.*(2002) son consistentes con los efectos descritos en el presente trabajo en relación con las variaciones de la precipitación durante los eventos El Niño y La Niña sobre el camarón *L. occidentalis*. También en este sentido, hay coincidencia con las observaciones realizadas para la pesquería del camarón peneido *L. vannamei* en el norte del Perú, donde se ha establecido que durante El Niño el rendimiento máximo sostenible de la especie se duplica utilizando el modelo de Schaefer modificado para incluir la descarga del río Tumbes y la temperatura superficial del mar (Memdo y Tam, 1993). Es de anotar que las anomalías de precipitación durante El Niño o La Niña en el Perú también tienen un comportamiento inverso al que se presenta en el Pacífico colombiano. No obstante, es importante notar que en el estudio de Memdo y Tam (1993) las correlaciones encontradas se establecen sin desfases, lo cual podría implicar cambios en la vulnerabilidad, mientras que en el presente trabajo la existencia de correlaciones significativas desfasadas da más fuerza a las variables ambientales como variables asociadas con los mecanismos que modulan la fortaleza de las clases reclutadas del camarón blanco. También hay que mencionar que no es posible generalizar los efectos de El Niño o La Niña para diferentes especies de camarones peneidos, ya que especies diferentes pueden reaccionar también de formas diferentes frente a los cambios de una variable ambiental. Por ejemplo, *F. aztecus* de Luisiana (USA) es más abundante en asociación con salinidades altas, un caso que resulta completamente opuesto al de *L. occidentalis* en el Pacífico colombiano.

Otros efectos de variables ambientales como la temperatura superficial del mar no fueron abordados en el presente trabajo. A este respecto vale la pena destacar el trabajo de Andrade (1998) con el camarón peneido *Litopenaeus schmitti* en el Golfo de Venezuela (Caribe venezolano) quien encuentra que ésta variable está correlacionada positivamente con la CPUE de la especie a través su inclusión en un modelo de excedentes de producción. Tal como señalan Béné y Moguedet (1998) no existe consenso sobre que factor físico del ambiente puede ser clave para el desarrollo de los ciclos vitales de los camarones peneidos ya que se han identificado como

factores importantes la lluvia, el flujo de los ríos, la temperatura del agua, el nivel del mar, la salinidad, la turbidez, entre otros.

En este estudio se sugiere que las variables ambientales relacionadas con el caudal y la precipitación afectan la abundancia del camarón *L. occidentalis* en el Pacífico colombiano por lo menos en dos escalas de tiempo, la mensual y la interanual asociada con los ciclos ENSO. Estas ideas están de acuerdo con los resultados encontrados para el camarón *Farfantepenaeus subtilis*, en la Guayana Francesa por Béné y Mogueudet (1998) en relación con las variaciones de la precipitación y el flujo del río Amazonas. Estos autores pudieron establecer que la CPUE de esta especie, en escala bianual, obedece al aporte de agua del río Amazonas y al tamaño del *stock* adulto, mientras que en escala mensual estos dos efectos desaparecen y predomina la influencia de los ríos locales. En el caso del camarón *L. occidentalis* en el Pacífico colombiano, la entrada de agua dulce en el área costera constituye una característica importante para la determinación de la abundancia dentro del próximo ciclo de producción anual, la cual trasciende la escala anual durante los eventos El Niño y La Niña. En este último caso sería importante evaluar cómo las anomalías de precipitación en los ciclo ENSO se asocian con otras características del ambiente físico y biológico, las cuales solamente se enuncian en el presente trabajo y constituyen un campo de estudio interesante para futuras investigaciones.

6.5 Las relaciones de la precipitación / caudal con la abundancia del camarón blanco en el contexto de las hipótesis generales ambiente-reclutamiento

Entre los estudios más conocidos que tratan sobre el efecto de los aportes de agua dulce en el mar costero y la abundancia de especies marinas con importancia pesquera, se encuentran los trabajos de Sutcliffe (e.g. Sutcliffe, 1972, 1973; Sutcliffe *et al.*, 1977) en la bahía de San Lorenzo, un sistema estuarino de la zona templada en Canadá. Estos estudios en varios casos demostraron correlaciones estadísticas muy significativas ($P < 0.01$) entre el desembarque de especies de invertebrados como la langosta americana (*Homarus americanus*) y otras especies de peces e invertebrados con el flujo de agua del río San Lorenzo (Sutcliffe, 1972). Sutcliffe (1972) ha

propuesto que el caudal del río San Lorenzo afecta la abundancia de las especies capturadas en el golfo del mismo nombre, mediante la siguiente secuencia: (i) enriquecimiento con nutrientes traídos desde fuera del área costera (por ejemplo, la escorrentía desde el continente) o debidos al ascenso de agua rica en nutrientes desde las capas profundas gracias a la interacción entre el flujo de los ríos y las corrientes marinas (Neu, 1970; 1975; 1976 *fide* Sinclair *et al.* 1986), (ii) en respuesta al aumento de nutrientes, se produce un aumento de la productividad primaria y (iii) aumento de la supervivencia de las larvas (Sutcliffe, 1972). A pesar de que durante varios años las relaciones predictivas de Sutcliffe (1972) funcionaron muy bien con especies como la langosta americana, durante los años 1980's, éstas fallaron al no predecir un gran aumento de la abundancia de esta especie en diferentes partes de América del norte (Drinkwater *et al.* 1991). Esta falla se ha atribuido a causas múltiples (Drinkwater *et al.* 1991) y ha estimulado la formulación de hipótesis alternativas. Sinclair *et al.*(1986) critican la importancia que Sutcliffe (1972) confiere a su hipótesis de la cadena trófica simple. Sinclair *et al.* (1986) admiten que el estado del conocimiento actual no permite rechazar la hipótesis de Sutcliffe (1972) pero mencionan como ejemplo el caso del *stock* del bacalao del Atlántico nor-occidental cuya variabilidad en el reclutamiento puede explicarse mejor en relación con la circulación de gran escala (i.e. la corriente del Labrador), la cual aumentaría la retención de huevos y larvas dentro de un área apropiada para su desarrollo, en lugar de los eventos de escala más local (Sinclair *et al.* 1986). Otros eventos de gran escala que se podrían utilizar para explicar la variabilidad del reclutamiento sugeridos por Sinclair *et al.* (1986), son El Niño y sus efectos sobre las corrientes, como en el caso de la variabilidad interanual del zooplancton en la corriente de California, descrito por Chelton (1982) *fide* Sinclair *et al.* (1986). Sinclair *et al.* (1986) proponen que, al menos en las latitudes templadas del hemisferio norte hay más evidencias en favor de los procesos físicos como reguladores de la variabilidad interanual del reclutamiento que en favor de la hipótesis del control por parte de cadenas tróficas cortas.

Los mecanismos que permiten que los caudales de los ríos o los aportes por escorrentía y precipitación, tengan un efecto sobre la abundancia de especies que habitan la plataforma continental son diversos. Grimes y Kingsford (1996) en una revisión de literatura relacionada con los efectos de las plumas de los ríos sobre el reclutamiento de larvas de peces, afirman que gracias a la dinámica física (convergencia) entre las plumas de los ríos y el mar, es posible la

formación de zonas frontales y una gran actividad de mezcla que propician la producción y acumulación de cantidades grandes de fitoplancton, zooplancton y larvas, además de elevadas tasas de producción primaria y secundaria (Grimes y Kingsford, 1996). En las plumas de los ríos no sólo se acumula y retiene biomasa de las zonas frontales, sino que también se favorece el transporte de organismos desde, hacia y a lo largo del frente. En resumen, se podrían agrupar las hipótesis relativas al efecto de los ríos sobre el reclutamiento de las especies con importancia para las pesquerías en tres: (i) la hipótesis de la cadena trófica corta (e.g. Sutcliffe, 1972), (ii) la hipótesis de la producción total de larvas, que afirma que la abundancia de alimento sostiene una producción de larvas tan alta, que la dinámica del crecimiento y la mortalidad de las especies pierde importancia y (iii) una hipótesis en la cual las plumas de los ríos facilitarían la retención de las larvas en áreas limitadas y por tanto es la retención, más que la producción lo que explicaría la variabilidad en el reclutamiento (*sensu* Sinclair y Tremblay, 1984; Sinclair, 1988).

De acuerdo con Montes y Quiñones (1999) y con respecto a la agrupación de hipótesis acerca del efecto de los ríos sobre el reclutamiento, propuesta por Grimes y Kingsford (1996), los efectos de la variabilidad en la circulación y en la producción biológica, son relativamente bien conocidos, en cambio existe poca información acerca de los mecanismos de producción, supervivencia y crecimiento de las larvas en relación con la influencia de los ríos y por tanto, sus efectos sobre la variabilidad del reclutamiento. La disminución de la producción bajo el efecto de los ríos está asociada con la reducción de la penetración de luz en la columna de agua (turbidez), la limitación de la entrada de nutrientes en la zona fótica debida a la estratificación y la advección del fitoplancton (Sinclair *et al.* 1986; Montes y Quiñones, 1999). Por su parte, los aumentos de la producción asociados con el aporte de los ríos tienen que ver con la formación de plumas con mezcla intensa, mientras que si ya hay concentraciones altas de nutrientes, la estabilidad generada por el caudal contribuye a mantener el fitoplancton en la zona con iluminación alta (Grimes y Kingsford, 1996; Montes y Quiñones, 1999).

Se considera que la descarga de ríos grandes como el Amazonas, el Zaire o el Mississippi, pueden tener un papel importante en el reclutamiento de los peces a nivel local. Ejemplos de los efectos observados son la eliminación de pesquerías importantes como la del pez *Totoaba macdonaldi* del golfo de California debido a la desviación del río Colorado (Estados Unidos) y la

alteración drástica de las áreas de desove y crianza de la especie (Barrera-Guevara, 1990 *fide* Grimes y Kingsford, 1996) o la construcción de la represa de Aswan (Egipto) entre 1965-1969, que conllevó un reducción de la productividad primaria en el delta y de las capturas de camarones peneidos (Bishara, 1989 *fide* Grimes y Kingsford, 1996). En el caso de los camarones peneidos en el río Logan, al sureste de Queensland (Australia) Loneragan y Bunn (1999) han encontrado correlaciones positivas entre el caudal y la captura del camarón *Fenneropenaeus merguensis*, las cuales concuerdan con la idea de que las descargas altas de los ríos pueden tener un efecto fuertemente positivo sobre la producción de ésta y otras especies costeras con importancia comercial. En el caso de los camarones peneidos del área del río Logan (Australia) se propone que la entrada de nutrientes debida a los altos caudales podría estimular la productividad primaria al aumentar la supervivencia y/o el crecimiento de los estadíos juveniles varios meses después de los caudales máximos o también que el flujo del río puede estimular la emigración de juveniles hacia la parte baja del estuario (Loneragan y Bunn, 1999). No obstante, la relación entre caudal y abundancia de los camarones peneidos puede cambiar de signo, por ejemplo debido al tiempo en que ocurre el reclutamiento, el cual puede verse obstruido físicamente cuando los caudales son demasiado elevados (Loneragan y Bunn, 1999). Por ejemplo, Gracia (1989) al estudiar la influencia de variables ambientales sobre el camarón *Litopenaeus setiferus* en la Sonda de Campeche (México) encuentra que la variable más influyente sobre la abundancia de individuos juveniles, reclutas, desovantes y la captura total es la descarga fluvial. La relación entre la descarga del río Palizada (México) y la abundancia mensual de juveniles exhibió una forma de curva de tipo “gaussiano” y se considera que los flujos pueden ser negativos para el camarón en la medida que limitan el área disponible para el asentamiento (Gracia, 1989).

Existen pocos casos en los cuales las correlaciones con variables ambientales han sido utilizadas para predecir el reclutamiento (Myers, 1998). No obstante, entre los casos exitosos está la pesquería del camarón *Fenneropenaeus merguensis* del Golfo de Carpentaria (Australia) en la cual se utiliza la precipitación para predecir el reclutamiento en forma rutinaria (Vance *et al.* 1985; Myers, 1998). Un paso importante para adoptar la utilización de las correlaciones ambiente-reclutamiento es la confirmación (*retest*) de las correlaciones por parte de investigadores independientes para evitar sesgos (Myers, 1998). Es conveniente evaluar las correlaciones significativas en relación con hipótesis generales, por ejemplo aquellas que asignan

mayor efecto del ambiente sobre la abundancia en los límites del rango de distribución de las especies o la hipótesis de la ventana óptima ambiental para las pesquerías de pelágicos pequeños en los sistemas de surgencia (Cury y Roy, 1989) con el fin de poder detectar patrones generales para varias poblaciones (Myers, 1998). “Aunque la experiencia acumulada frecuentemente indica que el reclutamiento predicho a partir de variables ambientales puede ser muy impreciso como para ser útil en el manejo de las pesquerías (e.g. ver Walters y Collie, 1988) existen otras razones que justifican este tipo de estudios: esta información puede ser crucial para el manejo en el contexto multi-específico y para predecir las consecuencias en el largo plazo del cambio climático” (Myers, 1998). Estas últimas consideraciones no resultan triviales en el caso de la pesquería del camarón *L. occidentalis* del Pacífico colombiano, un área con alta biodiversidad y sujeta a la acción periódica y extrema del ciclo El Niño-Oscilación del Sur.



7 CONCLUSIONES

7.1 El camarón blanco explotado por la flota de arrastre de Buenaventura en las últimas tres décadas ha presentado variaciones significativas en su abundancia, las cuales están asociadas en parte con la variabilidad de los aportes de agua dulce dentro del mar costero (correlación positiva) y en parte con el esfuerzo de pesca (correlación negativa).

7.2 En años sin anomalías climáticas, los cambios de abundancia del camarón blanco, *Litopenaeus occidentalis*, están correlacionados positivamente con los caudales y la precipitación en las áreas de distribución de la especie, entre Cabo Corrientes y la Ensenada de Tumaco. El desfase con el cual se detectan estos efectos varía entre 9 y 13 meses para el periodo 1974-1989.

7.3 En el período 1969 a 1989 cuando se presentaron anomalías de precipitación y de caudal de los ríos relacionadas con el ciclo ENSO (excepto en 1982 durante El Niño) las variaciones de abundancia del camarón blanco en las áreas de pesca industrial del Pacífico colombiano se intensificaron, presentándose aumentos durante el año siguiente a la ocurrencia de eventos La Niña o disminuciones durante el año siguiente a la ocurrencia de eventos El Niño.

7.4 Las variables ambientales precipitación y caudal de los ríos, en el intervalo 1968-1989, representaron una parte significativa de los efectos de variables ambientales que inducen cambios en la abundancia del camarón *L. occidentalis* en las áreas de acción de la flota de arrastre de Buenaventura.

7.5 La variabilidad ambiental asociada con el régimen de precipitación y el caudal del río San Juan esta relacionada con los cambios de abundancia del camarón blanco en el Pacífico colombiano al menos en dos escalas espacio-temporales distintas, una de estas escalas es menor o igual a un año y tiene que ver con la dinámica hidrológica regional, mientras que la otra escala es interanual y coincide con los eventos extremos de ciclos como El Niño–Oscilación del Sur.

8. REFERENCIAS

- Andrade, C. 1992. Movimiento geostrófico en el Pacífico colombiano. Boletín científico del centro de investigaciones oceanográficas e hidrográficas de la armada nacional (CIOH). Cartagena, Colombia (12): 23 -38.
- Andrade, G.J. 1998. Influencia del medio ambiente en la evaluación de stock: caso del camarón blanco, *Penaeus schmitti*, en el Lago de Maracaibo, Venezuela. Ciencia 6(3): 173-181. Maracaibo, Venezuela.
- Allan, J., J.Lindesay y D. Parker. 1996. El Niño southern oscillation and climatic variability. SCIRO Publishing, Collingwood, Australia. 405 p.
- Arsham, H. (Internet). Time series analysis and forecasting techniques. Internet: <http://ubmail.ubalt.edu/~harsham/Stat-data/opre330Forecast.htm#boxjenkm>.
- Barona, O. 1972. Valor de la biología de *Penaeus occidentalis* en relación con su pesquería. Divulgación Pesquera, Vol.6. No, 4. (Dirección General de Pesca, INDERENA, Colombia).
- Béné, C. y Ph. Moguedet. 1998. Global and local change: peaneid stocks in French Guyana. En: M.H. Durand, Ph. Cury. R. Mendelsohn, Cl.Roy, A. Bakun y D. Pauly (Eds.). ORSTOM Colloques et Séminaires 1998. Paris: 311-327.
- Box, G. y G. Jenkins 1976. Time series analysis, forecasting and control. Holden-Day, San Francisco. 575 p.

- Cane, M.A. Clement, A.C., Kaplan, A., Kushnir, Y., Pozdnyakov, D., Seager, R., Zebiak, S.E. y Murtugudde, R. 1997. Twentieth-century sea surface temperature trends. *Science* 275: 957-960.
- Chunzai, W. y R. Weisberg. 2000. The 1997-98 El Niño evolution relative to previous El Niño events. *Journal of Climate* 13:488-501
- Criales, M y T. Lee. 1995. Larval distribution and transport of penaeoid shrimps during the presence of the Tortugas gyre in May-June 1991. *Fishery Bulletin* 93:471-482
- CPC (CLIMATE PREDICTION CENTER). National Centers for Environmental Prediction. National Weather Services. En Internet: <http://www.cpc.ncep.noaa.gov/> .
- CSIRO. Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation (Australia). Índice de Oscilación del Sur. Disponible en Internet: <http://www.dar.csiro.au>.
- Cury, P. y C. Roy. 1989. Optimal environmental window and pelagic fish recruitment success in upwelling areas. *Can.J.Fish.Aquat.Sci.* 121: 417-424.
- Cushing, D. 1975. *Marine Ecology and Fisheries*. Cambridge University Press. London. 278 p.
- Díaz, J. 2001. Edad y crecimiento del camarón blanco (*Penaeus occidentalis*): análisis de los sesgos producidos por el patrón de reclutamiento. Unidad de Investigación, Programa Magíster en Ciencias, Mención Pesquerías. Universidad de Concepción. Chile. 23 pp.
- Drinkwater, K., G. Harding, W. Vass y D. Gauthier. 1991. The relationship of Quebec lobster landings to freshwater runoff and wind storms. En: Theriault, J. (ed.). *The gulf of St. Lawrence: small ocean or big estuary*. *Can. Spec. Publ. Fish. Aquat. Sci.* 113: 179-228.

Evans, C., L. Opnai y B. Kare. 1997. Fishery ecology and oceanography of the prawn *Penaeus merguensis* (de Man) in the Gulf of Papua: estimation of maximum sustainable yield and modeling of yield, effort and rainfall. Mar. Freshwater Res. 48: 219 -228.

FAO, 1973. Informe sobre el resultado del Proyecto para el Desarrollo de la Pesca Marítima. Divulgación Pesquera, Vol.8.No,1. (Dirección General de Pesca, INDERENA, Colombia).

Fielder, P.C. 1994. Seasonal and interannual variability of coastal zone color scanner phytoplankton pigments and winds in the eastern tropical Pacific. Journal of geophysical research 99(c9): 18371 - 18384

Fogarty, M. 1989. Forecasting yield and abundance of exploited invertebrates. En: J. Caddy. Marine Invertebrate fisheries: their assessment and management : 701-724. John Wiley & Sons.

Garcia, S. y L, Le Reste. 1986. Ciclos vitales, dinámica, explotación y ordenación de las poblaciones de camarones peneidos costeros. FAO Doc. Téc. Pesca (203): 180 p.

Glantz,M. 1996. Corrientes de cambio: El impacto de El Niño sobre el clima y la sociedad. Cambridge University Press. 1a. Edición en Español (1998). Valparaíso -Chile. 141 pp.

Gracia, A. 1996. White shrimp (*Penaeus setiferus*) recruitment overfishing. Mar. Freshwater Res. 47: 59-65.

_____ 1995. Impacto de la pesca artesanal sobre la producción del camarón rosado *Penaeus Farfantepenaeus duorarum* Burkenroad, 1939. Ciencias Marinas. Vol 21(3): 343-359.

_____ 1989. Relationship between environmental factors and white shrimp abundance in the southwestern Gulf of México. An.Inst.Cienc.del Mar y Limnol. Univ. Nal. Autón. México. Volumen 16. No. 1: 171-182.

- Grimes, C. y M.J. Kingsford. 1996. How do riverine plumes of different sizes influence fish larvae: do they enhance recruitment?. *Mar. Freshwater Res.* 47: 191-208.
- Haas, H., E. Conrad, K. Rose y Shaw, R. 2001. Environmental and biological factors associated with the stage-specific abundance of brown shrimp (*Penaeus aztecus*) in Louisiana: applying a new combination of statistical techniques to long-term monitoring data. *Can.J.Fish.Aquat.Sci.* 58: 2258-2270.
- Hendrickx, M.E. 1995. "Camarones". En: Fischer, E., F. Krupp, W. Schneider, C. Sommer, K. Carpenter y V. Niem (eds.). Guía FAO para la identificación de especies para los fines de la pesca. Pacífico Centro-Oriental. Vol. 1: Plantas e invertebrados: p. 420.
- Herazo, B. 1981. Recursos del Pacífico colombiano y su aprovechamiento. Seminario Regional sobre Recursos Demersales y su Medio Ambiente en el Pacífico Oriental. Comisión Permanente del Pacífico Sur (CPPS), Seminarios y Estudios, 3: 51-67. Lima, Perú.
- Hjort, J. 1914. Fluctuations in the great fisheries of northern Europe. Conseil Permanent International pour l'exploration de la Mer. Rapports et Procès-Verbaux des Réunions. Volume XX. 228 pp.
- Hunter, J. 1984. Predation. En: Lasker, R. Marine fish larvae: morphology, ecology, and relation to fisheries. Washington Sea Grant Prog. Seattle. 79-87 pp.
- Hunter, J. y R. Feller. 1987. Immunological dietary analysis of two penaeid shrimp species from south Carolina tidal creek. *J.Exp.Mar.Biol.Ecol.* 107: 61-70.
- Howes, B. y D. Goehringer. 1994. Porewater drainage and dissolved organic carbon and nutrient loss through the intertidal creek banks of a New England salt marsh. *Mar. Ecol. Prog.Ser.* 114: 289-301.

IDEAM (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales). Datos de precipitación y caudal de la cuenca pacífica colombiana. Bogotá, Colombia.

Iles, T. Y M. Sinclair. 1982. Atlantic herring: stock discreteness and abundance. *Science* 215: 627-633.

INPA (Instituto Nacional de Pesca y Acuicultura). 1993-1998. Boletines Estadísticos de Pesca. División de Estadísticas. Santafé de Bogotá (Colombia).

INPA-VECEP, EAFIT e IGAC. 1991. Atlas sobre la evaluación del potencial para la acuicultura (sector Buenaventura -Río Mataje) por imágenes satélite. INPA-Vecep, Eafit e IGAC, Medellín, Colombia. 15 p +cartografía+ 8 cartas.

IRI (International Research Institute for Climate Prediction). Índices basados en temperatura del El Niño. Internet: <http://iridl.ldeo.columbia.edu/filters/.NINO/SOURCES/.IGOSS/>.

Jones, A., D.Dimitriou, J. Ewald y J. Tweedy. 1970. Distribution of early developmental stages of pink shrimp, *Penaeus duorarum*, in Florida waters. *Bulletin of Marine Science* 20(3): 634 -661.

Kaplan, A., Cane, M.A., Kushnir, Y., Clement, A.C., Blumenthal, M.B. y Rajagopalan, B. 1998. Analyses of global sea surface temperature 1856-1991. *J. Geophys. Res. (C Oceans)*.103(C9): 18567-18589.

Kessler, W. (Internet) El Niño. <http://www.pmel.noaa.gov/~kessler>

Lasker, R. 1981. The role of stable ocean in larval fish survival and subsequent recruitment. En: Lasker, R. *Marine fish larvae: morfology, ecology, and relation to fisheries*. Washington Sea Grant Prog. Seattle. 79-87 pp.

- Lasker, R., Feder, H., Theilacker, G. y May, R. 1970. Feeding, growth and survival of *Engraulis mordax* larvae reared in the laboratory. *Mar.Biol.* 5: 345-353.
- Lee, S. 1999. Tropical mangrove ecology: physical and biotic factors influencing ecosystem structure and function. *Australian Journal of Ecology* 24: 335 – 366.
- Loneragan, N. y S. Bunn. 1999. River flows and estuarine ecosystems: implications for coastal fisheries from a review and a case study of the Logan river, southeast Queensland. *Australian Journal of Ecology* 24: 431 –440.
- López, J, Arreguín, F., Hernández, S., Herrera, E., Nevárez, M., Morales, R., Lluch-Cota, S.,Lluch-Cota, D. 2002. Effects of El Niño Events on the brown shrimp fishery in the Gulf of California, Mexico. *Investigaciones Marinas* 30(1): 192p.
- Martínez, J., J. González, O. Pilkey y W. Neal. 1995. Tropical barrier islands of Colombia's Pacific coast. *Journal of Coastal Research* 11(2): 432–453.
- Makridakis, S., S. Wheelwright y V. McGee. 1983. *Forecasting: Methods and applications*. John Wiley and Sons. New York.
- Memdo, J. y J. Tam. 1993. Multiple environmental status affecting penaeid shrimp production in Peru. *Naga, The Iclarm Quarterly*. April-July: 44-47.
- McTigue, T. y R. Zimmerman. 1991. Carnivory vs. Herbivory in juvenile *Penaeus setiferus* (Linnaeus) and *Penaeus aztecus* (Ives). *J.Exp.Mar.Biol.Ecol.* 151: 1 -16
- Mora, O. 1988a. Análisis de la pesca de langostino (*Penaeus[Litopenaeus] occidentalis* Street) efectuada por la flota camaronera de Buenaventura y el trasmallo "electrónico". *Trianea (Act.Cient.Tecn. INDERENA)* 1: 193-207. [Revista del INDERENA, Colombia].

- _____. 1988b. Hacia la recuperación y manejo del camarón blanco (*Penaeus [Lithopenaeus] occidentalis* Street) en el Pacífico colombiano. Trianea (Act. Cient.Tecn. INDERENA. 2: 529-535.
- Mora, O., C. Barreto, y S. Cuestas. 1984. Cambios en la abundancia del camarón en la costa Pacífica colombiana durante el fenómeno de El Niño 1982-1983. Rev. Com. Perm. Pacífico Sur (15): 247 -257.
- Molina, A. y M. Mirmand. 1992. Estudio sedimentológico de la plataforma continental norpacífica colombiana (Bahía de Buenaventura -frontera con Panamá). Boletín científico CIOH, Cartagena, Colombia. (10): 27-36
- Montes, R. y R. Quiñones, 1999. Efecto del transporte e inanición sobre la sobrevivencia de estadíos tempranos y/o reclutamiento de las poblaciones de peces marinos en ecosistemas templados. Seminario Bibliográfico. Programa Magister en Ciencias, Mención Pesquerías. Universidad de Concepción. 71 p. + figuras.
- Myers, R. 1998. When do environment-recruitment correlations work?. Reviews in Fish Biology and Fisheries 8: 285-305.
- Pérez –Farfante, I. 1969. Western Atlantic shrimps of the genus *Penaeus*. Fishery Bulletin 67(3): 461-590.
- Pineda, F. 1992. Biología y dinámica poblacional del camarón de aguas someras *Penaeus occidentalis* Streets, durante el año 1991, en la costa Pacífica colombiana. Memorias del VIII Seminario Nacional de Ciencias del Mar, Santa Marta (Colombia): 782 –796.
- Pineda, F. G. Torres y O. Ramírez. 1992. Reconstrucción y análisis de las estadísticas de desembarque del camarón de aguas someras del Pacífico colombiano, recolectadas por el Inderena, durante el período 1972 -1984. Memorias del VIII Seminario Nacional de Ciencias del Mar, Santa Marta: 764 –781.

Philander, G. S. 1990. El Niño, La Niña and the southern oscillation. Academic Press, San Diego. 293 p.

Poveda, G., A. Jaramillo, M. Gil, N. Quinceno y R. Mantilla. 2001. Seasonality in ENSO-related precipitation, river discharges, soil moisture, and vegetation index in Colombia. *Water Resources Research*, Vol. 37, No. 8: 2169-2178.

Poveda, G. y O. Mesa, 2000. On the existence of Lloró (the rainiest locality on earth): enhanced ocean-land-atmosphere interaction by a low-level jet. *Geophysical research letters*. Vol 27. No. 11: 1675 –1678.

Poveda, G., M. Gil y N. Quinceno. 1998. Efectos del ENSO y la NAO sobre el ciclo anual de la hidrología de Colombia. En: *Avances de recursos hidráulicos*, No. 5. Medellín, Colombia, Septiembre 1998. pp. 41-53.

Pyper, B. y R. Peterman. 1998. Comparison of methods to account for autocorrelation in correlation analyses of fish data. *Can.J.Fish. Aquat.Sci.* 55:2127 –2140.

Ramírez, A. 1994. Evaluación biológico pesquera del camarón blanco de aguas someras (*Penaeus occidentalis* Streets), durante el período enero de 1993 a febrero de 1994. *Boletín científico INPA* (2): 83-93. Bogotá, Colombia.

Restrepo, J. y Kjerfve, B. 2000. Water discharge and sediment load from western slopes of Colombian Andes with focus on Rio San Juan. *The Journal of Geology* 108: 17 –33.

Reynolds, R. W. y Smith, T. M. 1994. Improved global sea surface temperature analyses. *J. Climate* 7: 929-948.

Rodríguez, E. y J. Stuardo. 2002. A study of the photosynthetic pigments in the Colombian Pacific using ADEOS-I data. *Proc. Indian Acad. Sci (Earth Planet. Sci.)* 111: 227-236.

- Rogers, D., R. Shaw, W. Herke y H. Blanchet. 1993. Recruitment of postlarval and juvenile brown shrimp (*Penaeus aztecus* Ives) from offshore to estuarine waters of the northwestern Gulf of Mexico. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 36: 377 –394.
- Rothschild, B. S, Smith y H. Li. 1996. The application of time series analysis to fisheries population assessment and modeling. En: V. Gallucci, S. Saila, D. Gustaffson y B. Rothschild (Eds.). *Stock Assessment: Quantitative Methods and Applications for Small-Scale Fisheries*. CRC Press, Boca Raton, Florida. Capítulo 7.
- Rubio, C. 1994. Industria de la pesca marítima en Colombia: 25 años. Memorias del IX Seminario Nacional de Ciencias del Mar. Medellín, Colombia.
- Servicio Meteorológico de Canadá (Meteorological Service of Canada). Comparing El Niños's: http://www.msc-smc.ec.gc.ca/education/el_nino/comparing/index_e.cfm
- Shanks, A. 1995. Mechanisms of cross -shelf dispersal of larval invertebrates and fish. En: McEdward(Ed.). *Ecology of Marine Invertebrate Larvae*. CRC Press. Boca Ratón. 464 p.
- Sharp, G. 1992. Fishery catch records, El Niño/ Southern oscillation, and longer –term climate change as inferred from fish remains in marine sediments. En: Diaz, H. y V. Markgraf. *El Niño: Historical and paleoclimatic aspects of the southern oscillation*. Cambridge University Press. 476 p.
- Sinclair, M. 1988. *Marine populations. An assay in population regulation and speciation*. Washington Sea Grant Program. University of Washington Press. 252 p.
- Sinclair, M., Budgen, G., Tang, C., Therriault, J., Yeats, P. 1986. Assessment of effects of freshwater runoff variability on fisheries production in coastal waters. En. Skreslet, S. (ed.). *The role of freshwater outflow in coastal marine ecosystems*. Springer-Verlag. 139-160.

- Sinclair, M. y J. Tremblay. 1984. Timing of spawning of Atlantic herring (*Clupea harengus harengus*) populations and the match-mismatch theory. *Can.J.Fish.Aquat.Sci.* 41:1055-1063.
- Solís, R., J. Calderón y S. Rendón. 1993. Abundancia de postlarvas del camarón *Penaeus vannamei* (Decapoda: Penaeidae) en el litoral del sur de Sinaloa, México, 1984-1985. *Rev.Biol.Trop.* 41(3): 573-578.
- Sparre, P., E. Ursin y S. Venema. 1989. Introduction to tropical fish stock assessment. Part I – Manual. *FAO Fisheries Technical Paper.* (306.1): 337 p.
- Stoner, A. y R. Zimmerman. 1988. Food pathways associated with penaeid shrimps in a mangrove-fringed estuary. *Fishery Bulletin* 86(3): 543 -551
- Squires, H., O. Mora, O. Barona y O. Arroyo. 1971. Resultados de los cruceros 6907-6911-7001 del buque camaronero fletado “Cacique”. Proyecto para el Desarrollo de la Pesca Marítima en Colombia. *Estud. e Investigac. No. 5.* INDERENA, Colombia.
- Sutcliffe, W. 1973. Correlations between seasonal river discharge and local landings of American lobster (*Homarus americanus*) and Atlantic halibut (*Hippoglossus hippoglossus*) in the Gulf of St. Lawrence. *J.Fish.Res.Bd.Canada* 30:856-859.
- _____ 1972. Some relations of land drainage, nutrients, particulate material and, fish catch in two eastern Canadian bays. *J.Fish.Res.Bd.Canada* 29:357-362.
- Sutcliffe, W., Drinkwater, K.,Muir,B. 1977. Correlations of fish catch and environmental factors in the Gulf of Main. *J.Fish.Res.Bd.Canada* 34:19-30.

- Tabash, F. y J. Palacios. 1996. Stock assessment of two penaeid prawn species, *Penaeus occidentalis* and *Penaeus stylirostris* (decapoda: Penaeidae), in Golfo de Nicoya, Costa Rica. *Rev. Biol. Trop.*, 44(2): 595-602.
- Tchantsev, V. y E. Cabrera. 1998. Algunos aspectos de investigación de la formación del régimen oceanográfico en el Pacífico colombiano. *Boletín Centro de Control de Contaminación del Pacífico*. Tumaco, Colombia. (7): 7-19
- The SAS Institute, 1998. SAS, Software Version 7. North Carolina State University. Un manual en la red sobre el procedimiento ARIMA con el programa SAS se puede encontrar en Internet en: <http://www.uwm.edu/IMT/Computing/sasdoc8/sashtml/ets/chap7/index.htm>.
- Thomas, W. 1979. Anomalous nutrient -chlorophyll interrelationships in the offshore eastern tropical Pacific ocean. *Journal of marine research* 37 (2): 327 –335.
- Timmermann, A, J. Oberhuber, A. Bacher, M. Esch, M. Latif y E. Roeckner. 1999. Increased El Niño frequency in a climate model forced by future greenhouse warming. *Nature* 398: 694-697.
- Tyler, A. 1992. A context for recruitment correlations: why marine fisheries biologist should still look for them. *Fisheries oceanography* 1(1): 97 –107.
- Vance, D., D. Staples, y J. Kerr. 1985. Factors affecting year-to-year variation in the catch of banana prawns *Penaeus merguensis* in the Gulf of Carpentaria, Australia. *J. Cons. Int. explor. Mer* 42: 83-97.
- Vandaele, W. 1983. *Applied time series and Box-Jenkins models*. Academic Press, Orlando. 416 p.
- Walters, C. y J. Collie. 1988. Is research on environmental factors useful to fisheries management?. *Can.J.Fish.Aquat.Sci.* 44: 882-900.

Waylen, P. y G. Poveda, 2002. El Niño-Southern Oscillation and aspects of western South American hydro-climatology. *Hydrological Processes*, 16 (6): 1247-1260.

Wilber, D. 1994. The influence of Apalachicola river flows on blue crab *Callinectes sapidus*, in north Florida. *Fishery Bulletin* 92(1):180 –188.

Wooster, W. S. 1959. Oceanographic observations in the Panama Bight, "Askoy" expedition, 1941. *Amer. Mus. Nat. Hist., Bull.*, 118 (3): 115-151.

Ye, Y. 2000. Is recruitment related to spawning stock in penaeid shrimp fisheries?. *ICES Journal of Marine Science*, 57: 1103-1109.

Young, C. 1995. Behavior and locomotion during the dispersal phase of larval life. En: McEdward(Ed.). *Ecology of Marine Invertebrate Larvae*. CRC Press. Boca Ratón.464p.

Zar, G. 1996. *Biostatistical analysis*. Prentice-Hall. 2nd Ed. N.J.

