

An. Inst. Invest. Mar. Punta Betín	24	5 - 21	Santa Marta-Colombia, 1995	ISSN 0120-3959
------------------------------------	----	--------	----------------------------	----------------

**REGENERACION DE COLONIAS Y TRANSPLANTE DE FRAGMENTOS DE
ACROPORA PALMATA (CNIDARIA: SCLERACTINIA) EN EL PARQUE
NACIONAL NATURAL CORALES DEL ROSARIO, CARIBE COLOMBIANO**

Rocio del Pilar García U., Elvira María Alvarado Ch. y Alberto Acosta

RESUMEN

El presente trabajo fue realizado con el fin de estudiar la posibilidad de recuperación de la especie de coral *Acropora palmata* en el Parque Nacional Natural Corales del Rosario. Se determinó el porcentaje de regeneración de 42 colonias fragmentadas mecánicamente y la sobrevivencia de 53 fragmentos de esta especie. El tiempo de regeneración del tejido coralino para 25 colonias fragmentadas entre septiembre y diciembre de 1992 (período 1), fue de 3 meses; para las 17 colonias fragmentadas entre marzo y mayo de 1993 fue de 2 meses. Los fragmentos obtenidos de las colonias donantes fueron sometidos a 4 tratamientos. El tratamiento 1 consistió en el amarre con pita del fragmento a coral muerto y el traslado hacia Isla Kalua. Para el tratamiento 2, se colocaron los fragmentos en sustrato arenoso y se sujetaron a estacas en Isla Grande. En el tratamiento 3, se amarraron con pita a coral muerto y se trasladaron hacia Isla Grande. En el tratamiento 4, los fragmentos se cementaron a coral muerto con la masilla epóxica "Rally" en el mismo sitio de la fragmentación. El tratamiento 1 arrojó una sobrevivencia del 30% en 3 meses de muestreo y en el resto de la investigación fue del 0%. En el tratamiento 2 la sobrevivencia fue del 0% en un mes. En el tratamiento 3, la sobrevivencia fue del 40% en tres meses y del 0% en el séptimo mes. En el tratamiento 4, la sobrevivencia fue del 90% en un mes, del 80% en dos meses y del 70% en tres meses. Los resultados obtenidos señalan que las colonias donantes de la especie estudiada se recuperan rápidamente de lesiones físicas y que la técnica de fijación de fragmentos con el cemento epóxico es la más recomendable para la recuperación de la especie.

ABSTRACT

The present study was done in order to study the possibility of recovering the coral species *Acropora palmata* in the Natural Park Corales del Rosario. The percentage of regeneration of 42 mechanically fragmented colonies, as well as the percentage of survival of 53 fragments of this species, was determined. The regeneration of tissue for 25 colonies fragmented between september and december 1992 (period 1) was obtained in three months; for the 17 colonies fragmented between march and may 1993 (period 2) the time was of two months. The fragments obtained from the donor colonies were submitted to 4 treatments. Treatment 1 consisted in tying

the fragments with a cord to dead coral and transported to Kalua Island. For treatment 2 the fragments were put on sandy substrate and were tied to a pole in Grande Island. In treatment 3 the fragments were tied to dead coral by a cord and were transported to Grande Island. For treatment 4, the fragments were cemented to dead coral with the epoxic "Rally" cement. Treatment 1 showed a survival of 30% in 3 months and of 0% for the rest of the research. In treatment 2 the survival was of 0% on the first month. In treatment 3, the survival was of 40% in 3 months and 0% was found in the seventh month. In treatment 4, the survival was of 90% in the first month, 80% in two months and 70% in three months. The results obtained show that the donor colonies of the studied specie recovers rapidly to physical wounds and that the use of the technique with epoxic cement on the fragments for the recovery of the specie is recommended.

INTRODUCCION

El concepto de rehabilitación o restauración de ecosistemas coralinos ha despertado un gran interés en los últimos años (Jordán *et al.*, 1987 y Ravera, 1989 en Yap *et al.*, 1992). Dentro de los mecanismos de restauración se ha dado especial importancia a la fragmentación natural y al uso de trasplantes para ayudar a reabastecer áreas arrecifales deterioradas (Yap y Gómez, 1981; Harriott y Fisk, 1988 en Yap *et al.*, 1992).

Las especies del género *Acropora* son propensas a fragmentarse en períodos de incremento de la acción de las olas (Bak y Criens, 1982; Highsmith, 1982) de ahí que la reproducción asexual por fragmentación natural sea importante por la dispersión local, el mantenimiento y crecimiento de las poblaciones de *Acropora* ya que la especie amplía su distribución a causa del rompimiento colonial y de la nueva redistribución de los fragmentos (Bothwell, 1981). Sin embargo, su sobrevivencia depende de la estabilidad del ambiente, del tamaño de los fragmentos (Highsmith *et al.*, 1980 en Bak y Criens, 1982) y del tiempo de fijación al sustrato duro (Gilmore y Hall, 1976 en Bak y Criens, 1982). Así, el crecimiento de los fragmentos de especies ramificadas se ha asociado con la recuperación de arrecifes luego de tormentas o ciclones, cuando el daño no es tan severo como para matarlos (Stephenson *et al.*, 1958 y Kawaguti, 1937 en Bothwell, 1981), ya que por lo general, se ha observado que las especies que se fragmentan poseen altas tasas de crecimiento (Shinn, 1966; Lewis *et al.*, 1968; Gladfelter *et al.*, 1978) y son capaces de fusionarse al sustrato duro rápidamente (Bothwell, 1981). De hecho, Bak y Criens (1981) encontraron que los fragmentos de *A. palmata* a los 3 o 4 meses se fusionan al sustrato y forman una extraordinaria estructura de cementación. Por esta razón, Highsmith (1982) afirma que la mayoría de corales exitosos están adaptados a la fragmentación, es decir que han incorporado la fragmentación a sus historias de vida.

Kobayashi (1984) después de estudiar la tasa de regeneración del tejido y el crecimiento de colonias fragmentadas artificialmente en las especies *Acropora*

formosa y *A. nasuta* concluye que la fragmentación es un medio de reproducción asexual positiva en estas especies, al menos en ambientes someros artificiales.

En el Parque Nacional Natural Corales del Rosario, en 1989, se registró una cobertura media de coral vivo del 21.5% y de coral muerto del 55.3% y las especies características de las áreas arrecifales del Parque como las *Acropora*, que conformaban en épocas pasadas grandes extensiones, no sobrepasaron el 5% de la cobertura media de coral vivo (Sarmiento *et al.*, 1989). Teniendo en cuenta que *Acropora palmata* es una especie importante en la formación arrecifal, que es de rápido crecimiento y que en el Parque se encuentra muy deteriorada, se efectuó la fragmentación manual, con el fin de comprobar si los fragmentos obtenidos se fijaban al sustrato, si sobrevivían y si crecían, de tal forma que la técnica pudiera ser utilizada para repoblar la especie en el Parque.

DESCRIPCION DEL AREA

El Parque Nacional Natural Corales del Rosario está situado a 28 millas náuticas al suroeste de la ciudad de Cartagena, Colombia, en un área comprendida entre los 10°08' y los 10°15' de latitud norte y entre los 75° 40' y los 75° 48' de longitud oeste (Leble y Cuignon, 1987) (Fig. 1).

El clima se encuentra afectado por la Zona de Convergencia Intertropical. Las épocas climáticas son tres: una seca que corresponde a los meses de diciembre hasta abril dominada por los vientos Alisios; una época intermedia que se presenta en los meses de mayo, junio y julio y, una época de lluvia correspondiente a los meses de agosto hasta noviembre caracterizada por vientos, en su mayoría de dirección suroeste (Leble y Cuignon, 1987). La precipitación anual varía entre 781.1 mm (Aeropuerto) y 817.4 mm (Escuela Naval), la temperatura media anual es de 27.7°C y la nubosidad del área es baja con un promedio anual de 5/8 (Alvarado *et al.*, 1989).

El agua en el sitio y en el mismo período de estudio registró una salinidad promedio de 32.1 y la temperatura promedio fue de 29.5°C. Los nitritos promedio se encontraron en 0.067 ppm; el amonio registró un promedio de 0.193 ppm y los fosfatos un valor promedio de 0.219 ppm. Los nitratos registraron un promedio entre 20 y 30 ppm (Hernandez, C., en :Alvarado *et al.*, 1994).

Este estudio fue realizado en 2 estaciones del Parque así:

Estación 1. Isla Grande e Isla Fiesta. Las poblaciones de *Acropora palmata* se encuentran deterioradas en un 60-70% posiblemente debido a la sedimentación, pesca con dinamita, paso de lanchas, acción humana y altas temperaturas entre otros factores (Celis, 1988; Alvarado *et al.*, 1989). En 1989 la cobertura media de coral vivo en Isla Grande era de 29% y en Isla Fiesta del 18% (Sarmiento *et al.*, 1989).

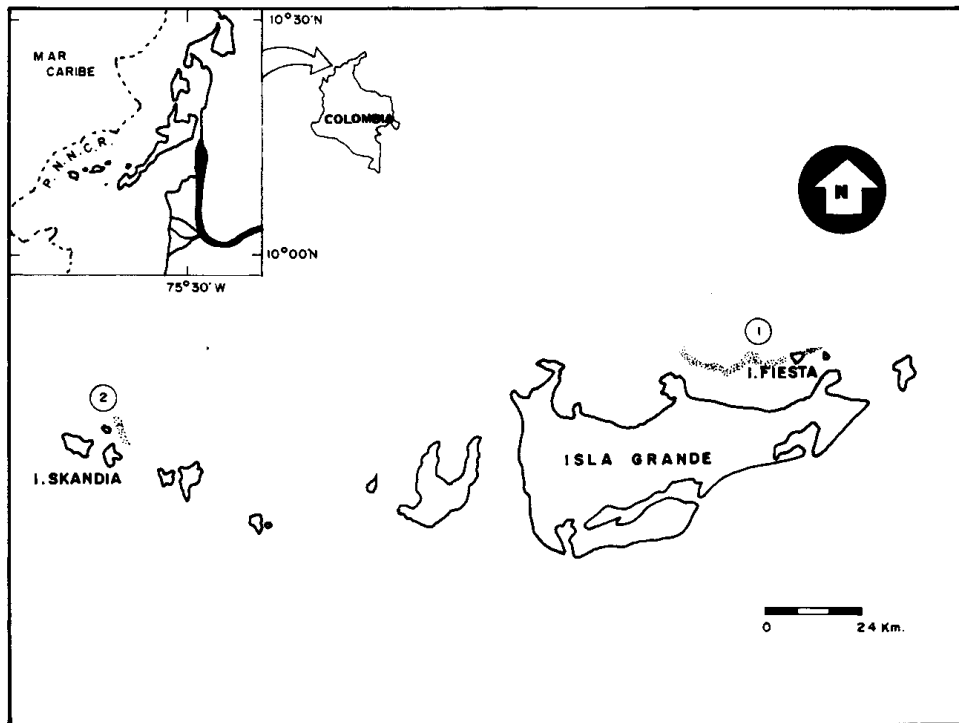


Figura 1. Localización de las zonas de muestreo en el Parque Nacional Natural Corales del Rosario. 1 Estación de Isla Grande . 2. Estación de Isla Skandia.

Las colonias muestreadas en Isla Grande se encontraron aproximadamente a 200 m de la costa, luego de la cresta arrecifal, entre 0.50 y 3.0 m de profundidad, agrupadas y rodeadas de corales como *Agaricia*, *Porites* y *Millepora* y el zoanthideo *Palythoa*. En Isla Fiesta, las colonias se encontraron entre 1 y 3 m de profundidad, a unos pocos metros de la costa, en forma dispersa y rodeadas de colonias muertas de *Millepora* spp y *Agaricia* spp.

Estación 2. Islas Skandia y Kalua. Estas islas pertenecen al complejo de Pajarales. La cobertura media total de coral vivo en Kalua se registró como del 27% y en Skandia del 10% y la cobertura muerta de *Acropora palmata* del 95% (Sarmiento *et al.*, 1989).

La colonias escogidas se encontraron entre 1 y 3 m de profundidad, separadas de la costa entre 50 y 100 m y rodeadas de grandes extensiones de coral muerto con recubrimiento de algas y zoanthideos.

METODOLOGIA

En las dos estaciones se hizo un reconocimiento visual de las colonias y se

escogieron aquellas que presentaran características similares de tamaño (aproximadamente 1.5 x1.5 m) y buen estado (entre 80 y 90% de cobertura de tejido vivo) . Estas fueron marcadas con boyas de icopor y rótulos de acrílico codificados de acuerdo a la estación y número de la colonia. Es necesario aclarar que el bajo número de colonias utilizado para la experimentación se debió a la baja cobertura de colonias vivas dentro del Parque.

Se fragmentaron 42 ramas del mismo número de colonias mediante la utilización de segueta, cincel y martillo. La fragmentación se llevó a cabo en dos períodos diferentes debido a que en el mes de febrero se perdió un gran número de fragmentos y por lo tanto se tuvo que realizar una nueva fragmentación. La primera se efectuó en los meses de septiembre y octubre (período 1) para un total de 25 colonias y la segunda entre los meses de marzo, abril y mayo (período 2) con 17 colonias fragmentadas mecánicamente.

Mensualmente a las colonias donantes se les determinó el porcentaje de regeneración midiendo el cubrimiento de tejido (largo y ancho) sobre la superficie de la lesión (herida). Igualmente, se determinó el porcentaje de blanqueamiento, de colonización (área de la lesión con cubrimiento de algas) y de crecimiento (extensión de tejido luego del cierre de la lesión) a partir de la fractura (Tablas 1 y 2).

A pesar de la propuesta metodológica de establecer un seguimiento secuencial para valoraciones mensuales durante 10 meses, factores externos a la investigación, definidos desde el punto de vista administrativo (cierre de la universidad), técnico (pérdida de boyas) y ambiental (desprendimiento de colonias experimentales por vientos), produjeron períodos muertos de observación. Esto trajo como consecuencia que, para el análisis estadístico de la regeneración de las colonias, tan solo se pudieran analizar los datos de octubre a diciembre de 1992 (período 1) y de marzo a junio de 1993 (período 2).

Se utilizaron pruebas de Chi-cuadrado con un nivel de confianza del 95% para demostrar las hipótesis nulas de igualdad en el tiempo de la regeneración de las heridas (# de colonias con recubrimiento total de tejido en la superficie de la lesión) en las 2 estaciones de muestreo tanto en el período 1 como en el 2, para las dos estaciones y entre los dos períodos.

Los fragmentos (ramas) provenientes de las colonias fracturadas mecánicamente tenían dimensiones aproximadas de 10 cm de largo y diámetro de 10 cm (Bak y Criens, 1981). Estos se sometieron a 4 tratamientos diferentes.

Tratamiento 1: En el mes de septiembre de 1992, se fragmentaron 14 colonias, se etiquetaron y se unieron con pita al sustrato de *A. palmata* muerto en Isla Skandia. 7 provenían de Isla Grande y 7 de Isla Skandia.

Tratamiento 2: En el mismo mes se fracturaron 12 colonias, se amarraron con pita a estacas de madera clavadas previamente en un fondo arenoso en la estación de Isla Grande que también era su sitio de origen.

Tratamiento 3: En el mes de octubre del mismo año, se fragmentaron 11 colonias. El procedimiento fue el mismo utilizado en el tratamiento 1, pero el destino de los fragmentos fue Isla Grande. Seis provenían de Isla Skandia y 5 de Isla Grande.

Para los anteriores 3 tratamientos, con el fin de determinar el crecimiento al final de la investigación, todas las ramas, una vez desprendidas de las colonias donantes, se introdujeron en bolsas individuales con rojo de alizarina en una concentración de 15 mg/l por un tiempo de 8 a 24 horas. Es importante resaltar que la profundidad a la cual se colocaran los fragmentos fue la misma de la cual se extrajeron (entre 2 y 3 m).

Dada la mortalidad de los fragmentos y con la experiencia ganada en los anteriores experimentos se diseñó el cuarto tratamiento en el cual, durante los meses de marzo, abril y mayo de 1993, se fragmentaron 17 colonias y sus ramas se unieron inmediatamente al sustrato existente de *A. palmata* muerto con la masilla epóxica "Rally" para facilitar y mejorar la fijación del fragmento al sustrato. Inicialmente, esta fijación se ayudó con pita, la cual se retiró al cabo de un mes para evitar la colonización de algas. El origen y destino de los fragmentos se dio en el mismo sitio de la fragmentación: 13 en Isla Grande y 4 en Isla Kalua. En este tratamiento, las ramas no se tiñeron con el rojo de Alizarina.

Mensualmente se determinó la sobrevivencia en cada tratamiento (número de fragmentos vivos y muertos) y, con base en el largo y ancho de la herida inicial, se midió la regeneración (porcentaje de recuperación de tejido en la superficie de la lesión), el blanqueamiento (porcentaje de tejido blanco en la superficie del fragmento), la colonización de organismos (sobre el tejido vivo y la lesión) y la fusión al sustrato utilizado (Tablas 3 y 4).

Se utilizaron pruebas de Chi-cuadrado para establecer diferencias significativas entre los tratamientos 1 y 3 en cada una de las estaciones de muestreo (Isla Grande - Isla Kalua) con el fin de probar las hipótesis nulas de igualdad en la sobrevivencia en el período 1 (sep-dic) para el tratamiento 1 y para el período 1 (sep-dic) con el tratamiento 3. Para el tratamiento 2 (período 1) no se realizó ningún análisis debido a la mortalidad total de los fragmentos en el primer mes y, para el tratamiento 4 (período 2), por la discontinuidad del montaje de la experimentación en los meses de marzo, abril y mayo, además del poco tiempo de seguimiento hasta el final del estudio (julio), tampoco se hizo análisis estadístico.

Con el fin de probar si este tipo de implante podía ser viable trasladando fragmentos de otra localidad, simultáneo al tipo de tratamiento, se estudió la fijación y sobrevivencia de las ramas tanto en el sitio de origen como en el sitio de traslado.

RESULTADOS

- a) Regeneración y sobrevivencia de las ramas de las colonias donantes.

La fragmentación de las ramas de las colonias se vio acompañada de una abundante secreción de mucus el cual se difundió rápidamente. A partir de ese momento se inició el cierre gradual (regeneración de tejido) y cicatrización de la herida que se observó en la depositación de carbonato de calcio. El tiempo de regeneración (Tabla 1) dependió de varios factores entre los cuales están el tamaño de la herida (largo y ancho), la competencia por espacio con algas y otros organismos y la rapidez de limpieza de los pólipos terminales (porción blanca en la periferia de la lesión).

Tabla 1. Monitoreo en trimestres de los porcentajes de regeneración (R), blanqueamiento (B) y colonización del tejido (C) de las colonias donantes fragmentadas en los meses de septiembre (s) y octubre (o) de 1992 (período 1) en las estaciones de Isla Grande e Isla Skandia en el Parque Nacional Natural Corales del Rosario.

Ubicación	Mes fragm.	Mes 1			Mes 2			Mes 3		
		%R	%B	%C	%R	%B	%C	%R	%B	%C
Estación 1 I. Grande	s	15	20	65	70	5	25	95	0	5
	s	20	15	60	90	0	10	100	0	0
	s	100	0	0	100	0	0	100	0	0
	s	90	5	5	100	0	0	100	0	0
	s	95	5	0	100	0	0	100	0	0
	s							90	10	0
Estación 2 I. Skandia	s	0	20	80	100	0	0	100	0	0
	s	5	15	80	30	5	65	30	5	65
	s	70	0	30	80	0	20	60	5	35
	s	30	20	50	50	0	50	90	5	5
	s	0	30	70	10	60	30	10	10	80
	s	10	40	50	20	20	60	30	10	60
Estación 1 I. Grande	o	80	10	10	100	0	0	100	0	0
	o	0	5	95	80	10	10	100	0	0
	o	100	0	0	100	0	0	*	*	*
	o	85	10	5	100	0	0	100	0	0
	o	30	15	55	40	10	50	80	20	0
	o									
Estación 2 I. Skandia	o	90	10	0	100	0	0	*		
	o	15	35	50	30	10	60	*		
	o	5	25	70	5	0	95	*		
	o	50	30	20	100	0	0	*		
	o	95	5	0	100	0	0	*		
	o	10	10	80	10	10	80	*		

* Desaparición de la colonia

La regeneración en Isla Grande fue más rápida puesto que en un mes el 33% de las ramas de las colonias se había recuperado, el segundo un 75% y un 92% en el tercero. En Isla Skandia la regeneración fue de solo un 7.7% en el primer mes, un 38.5% en el segundo y un 46.5% en el tercero. Durante los siguientes meses de muestreo (febrero-julio) a las colonias sobrevivientes se les determinó la regeneración de la lesión, la cual fue en su totalidad del 100%.

Como muestra de la recuperación de las colonias donantes luego de la fragmentación, se registró un crecimiento hasta de 4 cm de longitud en 4 colonias de Isla Grande. Esto no ocurrió en Isla Skandia debido posiblemente a la más lenta recuperación de tejido y a la rápida invasión por parte de las algas.

Aunque las fragmentaciones no se realizaron en el mismo mes en el período 2, se observó que en Isla Grande en un mes se recuperó el 23% y en Kalua un 25%, en dos meses se recuperó el 30.8% y el 50% respectivamente y en tres meses sólo se determinó para Isla Grande (54%) ya que en I. Kalua el seguimiento de la fragmentación sólo se pudo hacer durante dos meses (Tabla 2).

Tabla 2. Monitoreo en trimestres de los porcentajes de regeneración (R), blanqueamiento (B) y colonización del tejido (C) de las colonias donantes fragmentadas en los meses de marzo (m), abril (a) y mayo (my) de 1993 (período 2) en las estaciones de Isla Grande e Isla Skandia en el Parque Nacional Natural Corales del Rosario.

Ubicación	Mes fragm.	Mes 1			Mes 2			Mes 3		
		%R	%B	%C	%R	%B	%C	%R	%B	%C
Estación 1 I. Grande	m	10	50	40	90	0	10	100	0	0
	m	100	0	0	100	0	0	100	0	0
	m	30	60	10	100	0	0	100	0	0
	m	30	60	10	90	10	0	95	0	5
	m	10	60	30	80	10	10	80	0	20
	m	30	10	60	90	0	10	95	0	5
	a	20	20	60	40	5	55	100	0	0
	a	10	70	20	20	10	70	100	0	0
	a	80	10	10	80	0	20	80	0	20
	my	30	10	60	30	0	65			
	my	60	10	30	80	5	15			
	my	95	0	5	100	0	0			
my	90	5	5	100	0	0				
Estación 2 I. Skandia	my	70	10	20	90	10	0			
	my	90	10	0	100	0	0			
	my	20	20	60	80	5	15			
	my	100	0	0	100	0	0			

Con un valor $\alpha=0.05$, 2 GL, X^2 crítico=5.99, no se rechazan las hipótesis nulas y por lo tanto se afirma que la regeneración es similar entre las dos estaciones de muestreo en el período 1 ($X^2=0.465$), entre las dos estaciones en el período 2 ($X^2=0.449$), entre los dos períodos de muestreo ($X^2=0.528$) y entre cada una de las estaciones en los dos períodos de muestreo (I. Grande $X^2=0.694$; I. Kalua $X^2=0.104$)

En cuanto se refiere a los porcentajes de sobrevivencia en las colonias fragmentadas durante el período 1, en especial en Isla Skandia (30.8%), se encontró que éstos fueron bajos debido a la fracturación y rompimiento natural de las colonias y la consecuente dispersión de fragmentos que se presentó entre los meses de diciembre a febrero por la presencia de los vientos alisios y “mar de leva”.

Los porcentajes de sobrevivencia de las colonias en el período 2 (marzo-julio), fueron del 100%, a pesar de que en el mes de mayo se observó un aumento en el depósito de sedimento sobre las colonias y una cobertura notable de algas de los géneros *Polysiphonia*, *Dictyota* y *Halimeda*.

b) Sobrevivencia de los fragmentos:

En los tratamientos 1 y 3, durante el primer mes se presentó una alta mortalidad debido a errores tales como un mal amarre al sustrato o el afloje de la pita, lo cual causó que una gran cantidad de fragmentos se desprendiera por la acción del roce y el golpeteo. En los siguientes meses otro factor que contribuyó a la muerte de fragmentos fue la invasión de algas sobre la pita que los sostenía, las cuales compitieron con los fragmentos y produjeron también una alta mortalidad.

Para el tratamiento 1, en el cual todos los fragmentos ($n=14$) se colocaron en la zona de Isla Kalua, se observó que en el primer mes, de los fragmentos provenientes de esta isla, 5 continuaban vivos (71.4%), en el segundo mes 4 (57.1%), en el tercer mes 3 (42.8%) y en el quinto mes sólo un fragmento permanecía vivo (14.2%) pero éste desapareció al sexto mes. De los que tenían como origen Isla Grande, durante el primer mes de muestreo 3 continuaban vivos (42.8%), en el segundo mes 1 (14.3%), en el tercer mes éste mismo continuó vivo pero, en el quinto mes se encontró muerto (Tabla 3).

El tratamiento 2 (fragmentos colocados en arena y sujetos con estacas) presentó una sobrevivencia del 0% al término del primer mes de muestreo y por lo tanto no hubo seguimiento.

Para el tratamiento 3 ($n=11$), de los 5 fragmentos cuyo origen y destino fue Isla Grande, al primer mes se observó que 4 continuaban vivos (80%), al segundo mes se mantenía esta proporción y para el tercer mes 2 (40%), los cuales continuaron en buen estado hasta el sexto mes. Los que tenían como origen Isla Kalua, al primer mes 5 de 6 (83.3%) permanecían vivos, al segundo mes 4 (66.6%), en el

Tabla 3. Supervivencia de los fragmentos provenientes de las colonias donantes fragmentadas en el período I, medida como el incremento en longitud mensual en centímetros (largo x ancho) en las dos estaciones de muestreo en el Parque Nacional Natural Corales del Rosario (Isla Grande e Isla Skandia) y con los tratamientos 1 (T1) y 3 (T3).

Ubicación/ Tratamiento	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun
Estación 1/T1 I. Grande	10.5 x 11	11 x 11	*	*	*	*			
	11 x 9	12 x 9	*	*	*	*			
	9 x 7	*	*	*	*	*			
	15 x 11	*	*	*	*	*			
	11 x 8	*	*	*	*	*			
	10 x 10	*	*	*	*	*			
	75 x 8	8 x 9	8 x 9	8 x 9	*	*			
Estación 2/T1 I. Skandia	9 x 7	9 x 9	9 x 10	9 x 10	*	*			
	10 x 9	10 x 9.5	*	*	*	*			
	11 x 6	*	*	*	*	*			
	6 x 10	*	*	*	*	*			
	6 x 5	7.5 x 6	10 x 7	10 x 7	*	*			
		11 x 8	11 x 8	11 x 8	11 x 8	*	*		
	15 x 9	15 x 10			*	*			
Estación 1/T3 I. Grande		10 x 11.5		10 x 13	10 x 13	10.5 x 13	11.3 x 13	11.3 x 13.3	*
		11 x 13		6.6 x 12	*	*	*	*	*
		8 x 12		10 x 13	*	*	*	*	*
		12 x 10		12.5 x 10	13 x 10.5	13 x 10.5	13 x 10.5	13 x 10.8	*
		18 x 7.5	*	*	*	*	*	*	*
Estación 2/T3 I. Skandia		10 x 5.5		10 x 5.5	11 x 5.5	10 x 5.5	10 x 6	9.4 x 6.5	*
		9 x 7.5		*	*	*	*	*	*
		10 x 10		10 x 11	*	*	*	*	*
		13.5 x 8		14 x 8	14 x 8.5	14 x 8.5	14 x 8.5	14.2 x 9	*
		10 x 9.5		11.5 x 10	*	*	*	*	*
		11 x 9		*	*	*	*	*	*

* Muerte del fragmento

tercer mes 2 (33.3%) y estos continuaron en buen estado hasta el sexto mes. Sin embargo, a partir de este mes se observó el comienzo de un tipo de despigmentación que fue aumentando hasta el octavo mes, en el cual estos se encontraron muertos (Tabla 3), coincidiendo con el blanqueamiento observado por los autores sobre las colonias de *Acropora palmata*, en el mes de mayo. Los 4 fragmentos que sobrevivieron 8 meses, exhibieron al tercer mes, zonas de calcificación a lo largo de la periferia de los bordes vivos, lo cual les permitió fijarse al sustrato.

Las pruebas de Chi-cuadrado con un nivel de significancia de 0.05 no rechazan las hipótesis nulas para los tratamientos 1 y 3 (2 G.L.=0.503 y 5 G.L.=0.087, respectivamente) es decir que se acepta la hipótesis que la sobrevivencia de los fragmentos es similar en las dos zonas de muestreo independientemente de que sean trasladados a otra zona o que la implantación del fragmento se realice en la zona de origen.

En el período 2 (marzo-julio), se observó la sobrevivencia de los fragmentos del tratamiento 4 hasta el mes de julio, independientemente de que el inicio de la fragmentación fuera realizada en cualquier mes (marzo, abril o mayo) (Tabla 4). Para este tratamiento, se observó que en el primer mes 11 (92%) de los 12 fragmentos continuaron vivos en Isla Grande y 2 (50%) de 4 en Isla Kalua. En el segundo mes esta proporción permaneció igual. Para el tercer mes se continuó solamente con las observaciones de los 8 fragmentos en Isla Grande en los cuales el tratamiento se inició en marzo y abril y se encontró que 5 de estos continuaron vivos. Para el cuarto mes 4 permanecían vivos. Los de Kalua fueron observados sólo durante dos meses porque la fragmentación se realizó en mayo y los muestreos sólo se realizaron hasta julio.

DISCUSION

a) Regeneración y sobrevivencia de las ramas de las colonias donantes:

La regeneración fue efectiva en la mayoría de las colonias tanto en Isla Grande como en Isla Skandia. Esta regeneración natural, puede ser debida a que las colonias poseen órganos replicados en cada pólipo los cuales tienen considerables poderes de regeneración de tejido y por lo tanto pueden sobrevivir a pérdidas extensivas de tejido y esqueleto. Así mismo, puede obedecer al hecho de que las colonias viejas dirigen sus recursos hacia la regeneración de tejidos lesionados (Hughes y Connell, 1987). Además, debido a una larga y perdurable vitalidad del tejido, las lesiones son rápidamente reparadas y para impedir un deterioro total, las colonias se estabilizan por un sobrecrecimiento secundario en las partes esqueléticas del tronco, lo cual explica en parte la regeneración exitosa del tejido después de haber sido afectado por la fragmentación (Schumacher y Plewka, 1981).

Tabla 4. Supervivencia de los fragmentos provenientes de las colonias donantes fragmentadas en el período 2 medida como el incremento en longitud mensual en centímetros (largo x ancho) en las dos estaciones de muestreo Parque Nacional Natural Corales del Rosario (Isla Grande e Isla Skandia) y con el tratamiento 4 (T4).

Ubicación/ Tratamiento	Mar.	Abr.	May	Jun.	Jul.
	15 x 11 8.6 x 5	17 x 12 4.5 x 5.8	17 x 12 9.2 x 6.3	17 x 12	18 x 12
	18 x 11.5	18 x 12	19 x 12	19.3 x 12	19.3 x 12.5
	13 x 8	12.6 x 9.5	13 x 9.6	11.6 x 9.5	7 x 5
Estación 1/T4	15 x 12	15 x 12	15 x 12	15 x 12.5	15 x 12.5
I. Grande	12 x 15	12 x 15.5	12 x 16	13 x 16	*
		12 x 5	10 x 6	4 x 5	*
		12 x 9.5	11.6 x 10	10 x 10	*
			10.3 x 6	10.7 x 6	10.9 x 6.3
			10 x 12.6	*	*
			14 x 14	14 x 14.2	14 x 14.2
			12.5 x 9.6	13 x 9.5	13 x 9.6
				11.6 x 10.2	*
Estación 2/T4			9.5 x 13	10.2 x 13.5	10.3 x 14.3
I. Skandia			11 x 14.5	11.6 x 15.5	12.2 x 16.2
			7.6 x 9.5	*	*

* Muerte del fragmento

A las colonias donantes que fueron fragmentadas en los meses de septiembre y octubre (período 1) se les pudo observar una cicatrización del 100% en un tiempo promedio de tres meses. Para las que fueron fragmentadas en los meses de marzo, abril y mayo (período 2) la regeneración se produjo en 2 meses. El hecho que podría explicar las diferencias, aunque mínimas, en la duración del proceso de regeneración en los dos períodos de estudio, es la mayor colonización algal durante el primer período (Tablas 1 y 2). Esto se corrobora con los estudios de Schumacher y Plewka (1981) quienes encontraron que aunque la recuperación de las colonias es efectiva, esta habilidad no las hace inmune a ser deterioradas por organismos perforadores, causando una más lenta recuperación.

A pesar de que el análisis estadístico no manifiesta diferencias en la duración del proceso de regeneración entre las dos estaciones de muestreo (Isla Grande - Isla Skandia), en las observaciones en campo se pudo ver que estas son más marcadas en el primer período que en el segundo. Esto es atribuido a diferentes factores biológicos como la competencia de organismos bioerodadores como algas (*Polysiphonia*), pues

en Isla Skandia estas invadían rápidamente la superficie de la lesión y disminuían el tiempo en el cual se regeneraba el tejido. También, se puede atribuir al tamaño de la herida en la colonia (alteración mecánica), ya que la regeneración depende de la proporción entre el área cubierta por el tejido y aquella con el tejido desnudo y al ambiente, pues este puede influir en que la superficie desnuda sea más susceptible a ser colonizada (Bak, 1976; Bak *et al.*, 1977 y Bak y Stewartuen, 1980 en Bak y Criens, 1981; Schumacher y Plewka, 1981).

La sobrevivencia de las colonias fue mayor en el período 2 (100%) que en el período 1 (50% aproximadamente en promedio para las dos estaciones) lo que sugiere que las colonias pudieron ser afectadas en gran parte por la presencia de los vientos alisios en el mes de diciembre, ya que en los siguientes meses no se presentó alteración física de una magnitud tal que causara el rompimiento de las colonias. Es importante resaltar que aunque estos rompimientos no permitieron continuar determinado el tiempo en el cual se regeneraba el tejido a la alteración causada, si se pudo observar que este efecto natural fue un factor de dispersión para nuevos fragmentos derivados de la fragmentación.

b) Sobrevivencia de los fragmentos:

La sobrevivencia de los fragmentos dependió del tipo de tratamiento. Los fragmentos que se fijaron sobre arena (tratamiento 2) presentaron una tasa de sobrevivencia del 0% en el primer mes lo cual se debió, posiblemente, al pequeño tamaño de los mismos razón por la cual fueron cubiertos por el material del fondo provocando la asfixia de los pólipos. Se cree que este fué el motivo, ya que la experiencia de Crossland (1981) mostró que las grandes ramas fragmentadas de *A. palmata* en fondos arenosos sí desarrollan estructuras de cementación. Esto indicaría, que para esta prueba, el éxito de la sobrevivencia de los fragmentos estaría relacionado con el tamaño de los mismos como mencionan Bak y Criens, (1981), Highsmith (1982) y Hughes (1986 en Hughes, 1987).

Para los fragmentos que se amarraron con pita (tratamiento 1 y 3), la mala manipulación de las ramas pudo ser la causa de la alta mortalidad. Esta manipulación estuvo dada por los siguientes factores: el tiempo de transporte de una zona a otra, el efecto de la tinción con el colorante, el tamaño de la herida, la rapidez de invasión por algas y el desamarre y el afloje de la pita. Se observó además que el sitio del implante del fragmento otorgaba a organismos pequeños como los ofiuros y cangrejos, un sitio de protección y refugio. Estas observaciones concuerdan con lo reportado por Bak y Criens (1982) quienes observaron que los implantes de la especie *A. palmata* murieron parcialmente antes de que se fijaran definitivamente al sustrato e iniciaran su crecimiento, a causa de un insuficiente aseguramiento de la banda plástica de amarre utilizada o a la interferencia de pequeños cangrejos los cuales ocupaban espacio entre la rama recibidora y el implante.

No obstante, los pocos fragmentos sobrevivientes del período 1 formaron una excelente estructura de cementación caracterizada por la fusión de los pólipos terminales con el sustrato duro de coral muerto, lo que concuerda con Jordán (1992) quien registró que las colonias de *A. palmata* colonizan esqueletos de la misma especie y muestran predominantemente formas de láminas vivas que crecen como una respuesta morfológica a un sustrato altamente favorable. Este proceso de fijación por lo tanto, fue favorable con el sustrato de *A. palmata* muerto, produciendo el fragmento gran cantidad de cenenquima con lo que se cementaron ellos mismos (Bak y Criens, 1981; Crossland, 1981; Bothwell, 1981; Yap y Gómez, 1981; Highsmith, 1982; Wallace, 1985). Esta cementación se manifestó por un sobrecrecimiento caracterizado por un punto blanco calcificado, cubierto con tejido del coral pero desprovisto de cálices que se expandieron sobre la superficie del implante.

Los 4 fragmentos que sobrevivieron del tratamiento 3 presentaron una despigmentación gradual a partir del sexto mes que terminó con la mortalidad total en el octavo mes. Esto coincidió con un blanqueamiento que afectó algunas colonias en especial *A. palmata* y *A. cervicornis* en el Parque. Se descarta la enfermedad del tipo de la banda blanca (WBD), ya que la enfermedad avanza con una rapidez de 2mm/24 horas en la base y 2cm/24 horas en las partes ramificadas (Antonius, 1981). Si la enfermedad hubiese ocurrido en los pequeños fragmentos, la muerte se hubiera presentado en una semana y no en un período de 2 meses como se observó. Tampoco se puede atribuir a otro tipo de enfermedad que se manifiesta como manchas blancas en las ramas, ya que estas manchas se agrandan por medio de la necrosis que circunda el borde del tejido del coral vivo (Bak y Criens, 1981) y en el estudio ninguno de estos dos casos se observó.

Los fragmentos del período 2 (tratamiento 4), presentaron los mejores resultados en sobrevivencia debido a que las ramas no se tiñeron con rojo de alizarina, se disminuyó el tiempo en el que la rama se fijaba la sustrato y que el uso del cemento evitó la invasión de organismos sobre la herida y redujo la superficie de la lesión. Sin embargo, no se alcanzó a registrar un incremento significativo de crecimiento por haber sido monitoreado solamente durante 3 meses.

La escasez de colonias de pequeñas tallas producto del reclutamiento larval y la observación de la cementación natural de algunos fragmentos durante la fase de campo en el Parque, podría sugerir que el mantenimiento de esta población está dado en cierto grado por fragmentaciones naturales. La fragmentación inducida es una forma de reproducción asexual y la progenie (fragmento) se puede considerar como un adulto instantáneo (Bak, 1976). Este, en virtud de su gran tamaño y peso tiende a permanecer cerca al parental donde el ambiente es más predecible para su supervivencia, lo cual permite el restablecimiento del arrecife en menor tiempo. Por lo tanto, el papel de los fragmentos es muy importante en la ganancia de cobertura local, en la colonización de sustratos en los cuales las larvas no pueden fijarse, en la ganancia de espacio ante

competidores y disminución del riesgo de mortalidad sobre varios individuos. Según Jordán (1992), estas fragmentaciones pueden acrecentar la sobrevivencia y la recuperación de *A. palmata*, donde hubo fragmentación masiva.

Las especies ramificadas como *A. palmata*, que están ausentes o son raras en sitios profundos y son dominantes en la zona de rompiente, al parecer, dependen más de la fragmentación que de la reproducción sexual para su propagación (Rogers *et al.*, 1984). Su alta tasa de crecimiento y el ambiente en que se encuentra hace que la fragmentación sea una consecuencia inevitable ya sea de factores físicos (tales como corrientes y tormentas) o de factores biológicos (predadores o bioeradores) (Buddemeier y Kinzie, 1976; Crossland, 1981; Schumacher y Plewka, 1981; Highsmith, 1982). Estas acciones son frecuentes y dan origen a nuevas colonias y por eso se convierte en una forma exitosa de reproducción asexual, lo que puede significar el mantenimiento de las poblaciones (Bak, 1976; Bothwell, 1981).

Si se estudia la reproducción sexual y asexual en esta especie de coral, es fácil ver que para la primera forma, la desventaja está en que las larvas de *A. palmata* pueden ser plantónicas por tan poco como dos días o por tanto como varios meses y posiblemente son dispersadas (Harrigan, 1972 y Rinkevich y Loya, 1979 en Highsmith, 1982; Connell, 1973 en Bak, 1976) y además, la madurez sexual puede tomar hasta 10 años (Connell, 1973 en Bak, 1976). Así, aunque la mayoría de colonias vivas producidas sexualmente pueden alcanzar tallas de 25 a 35 cm en diámetro en pocos años, si se compara con las tallas obtenidas a través de la fragmentación inducida (reproducción asexual) en tan corto tiempo, esto se convierte en otra desventaja para el mantenimiento de la población y un argumento más a favor de la reproducción asexual, por lo menos en áreas con baja cobertura de estas especies.

CONCLUSIONES

La regeneración de las colonias fragmentadas mecánicamente es efectiva, aunque el periodo de regeneración de tejido puede ser mayor o menor según la localidad en que se encuentren (grado de exposición al oleaje y corrientes) y la época en la cual se realice la fragmentación (presencia o ausencia de vientos fuertes). Por lo tanto, se puede decir que *Acropora palmata* es una especie en la cual el efecto causado por la fragmentación no es nocivo y se obtiene un pronto restablecimiento de las colonias, sin deterioro de las existentes.

La técnica de implante de los fragmentos realizada durante el período 1, no fue efectiva debido al estrés causado por la tinción con el rojo de alizarina, la invasión de organismos sobre la pita, el desamarre o debilitamiento de la misma que causó la caída del fragmento de la zona de implante y la pérdida del mismo.

En el caso de los fragmentos colocados en arena, el tamaño no fue el adecuado por lo cual fueron taponados por el sedimento del fondo.

La fijación de los fragmentos con la masilla epóxica “Rally” en el tratamiento 4, presentó los mejores resultados de sobrevivencia pues el tipo de tratamiento a) acortó el tiempo de alteración al ser inmediatamente colocados al sustrato, b) redujo la superficie de la lesión, lo que evitó así mismo la competencia con otros organismos invasores como las algas y c) permitió que los fragmentos se pudieran localizar en los sitios más favorables tales como la bifurcación de ramas muertas con lo cual se protegieron del embate de las olas.

Los resultados obtenidos indican que si se implementan técnicas como la cementación directa al sustrato muerto, se facilita la fijación rápida de fragmentos lo cual se convierte en una buena alternativa para la restauración de especies como *Acropora palmata*.

De esta investigación, se recomienda además que se realice un seguimiento de 2 a 3 años con el fin de determinar el crecimiento, comprobar si estos fragmentos logran realizar sus funciones reproductivas y además de verificar a largo plazo la sustentabilidad y logro efectivo de la técnica.

AGRADECIMIENTOS

Los resultados de este estudio son parte del proyecto “Crecimiento y regeneración de algunas especies de coral, manglar y fanerógamas marinas en el Parque Nacional Natural Corales del Rosario” financiado por la Universidad Jorge Tadeo Lozano, COLCIENCIAS, el Fondo para la Promoción de la Investigación y la Tecnología del Banco de la República, ECOPETROL, ARSEG, CEINER y el CIOH. Los autores desean agradecer al personal del Museo del Mar, del departamento de Planeación, de Investigaciones Científicas y de la Facultad de Biología Marina (Cartagena) de la Universidad Jorge Tadeo Lozano. A Rafa Vieira, José Magardo Blanquissette, Jaime Polanía, Alberto Ramírez, Sven Zea y a los revisores anónimos que ayudaron a mejorar considerablemente los análisis y presentación del manuscrito.

BIBLIOGRAFIA

- Alvarado, E.; M. G. Pinilla y T. León. 1989. Plan de Manejo Parque Nacional Natural Corales del Rosario. Inf. Proy., Univ. Jorge Tadeo Lozano - INDERENA. Bogotá. Tomos I y II.
- Alvarado, E. M.; S. Hernández.; M. C. Manrique.; R. García.; L. Acosta.; A. Sanjuan.; D. González.; B. Rivas.; H. Cuadros.; A. Fresneda.; W. Gualteros.; J. Laverde.; M. C. Corchuelo.; C. Hernández y P. Lecompte. 1994. Crecimiento y regeneración de las especies *Porites porites*, *Acropora palmata*, *Acropora cervicornis*, *Rhizophora mangle* y *Thalassia testudinum* en el Parque Nacional Natural Corales del Rosario. Inf. Proy., Univ. Jorge Tadeo Lozano/Colciencias/Banco de la

- República/Ecopetrol. Bogotá, 248p.
- Antonius, A. 1981. The "White Band" disease in coral reefs. Proc. 4th Int. Coral Reef Symp. Manila, 2: 7-14.
- Bak, R. P. M. 1976. The growth of coral colonies and the importance of crustose coralline algae and boring sponges in relation with carbonate accumulation. Jour. Sea Res., 10(3): 285-337.
- Bak, R. P. M. y S. R. Criens. 1981. Survival after fragmentation colonies of *Madracis mirabilis*, *Acropora palmata* and *Acropora cervicornis* (Scleractinia) and the subsequent impact of a coral disease. Proc. 4th Int. Coral Reef Symp. Manila, 2: 221-227.
- Bak, R. P. M. y S. R. Criens. 1982. Experimental fusion in Atlantic *Acropora* (Scleractinia). Elsevier Biomedical Press.
- Bothwell, A. M. 1981. Fragmentation as means of asexual reproduction and dispersal in the coral genus *Acropora* (Scleractinia: Astrocoeniida: Acroporidae). A preliminary report. Proc. 4th Int. Coral Reef Symp. Manila, 2: 137-144.
- Buddemeier, R. W y R. A. Kinzie. 1976. Coral growth. Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev. 14: 183-225.
- Celis, R. A. 1988. Las algas coralíneas (Corallinales Rhodophyta) del Parque Nacional Natural Corales del Rosario. Costa Caribe de Colombia. Tesis Biol. Mar., Univ. Tadeo Lozano., Bogotá, 205 p.
- Crossland, C. J. 1981. Seasonal growth of *Acropora cf formosa* and *Pocillopora damicornis* on a high latitude reef (Houtman Abrolhos, Western Australia). Proc. 4th Int. Coral Reef Symp. Manila, 1: 663-667.
- Gladfelter, E. H.; R. K. Monahan y W. B. Gladfelter. 1978. Growth rates of five reef-building corals in the northeastern Caribbean. Bull. Mar. Sci., 28: 720-734.
- Highsmith, R. C. 1982. Reproduction by fragmentation in corals. Mar. Ecol. Prog. Ser., 7: 207-226.
- Hughes, T. P. y J. H. Connell. 1987. Population dynamics based on size or age. A reef - coral analysis. Am. Nat., 129(6): 818-829.
- Hughes, T. P. 1987. Skeletal density and growth form of corals. Mar. Ecol. Prog. Ser., 35: 259-266.
- Jordan, E. 1992. Recolonization patterns of *Acropora palmata* in a marginal environment. Bull. Mar. Sci., 5(1): 104-117.
- Kobayashi, A. 1984. Regeneration and regrowth of fragmented colonies of the hermatypic corals *Acropora formosa* y *Acropora nasuta*. Galaxea, 3: 13-23.
- Leble, S. y R. Cuignon. 1987. El archipiélago de las Islas del Rosario. Estudio hidrodinámico y sedimentológico. Cartagena. Bol. Cient. C.I.O.H., 7: 37-51.
- Lewis, J. B.; F. Axelsen.; J. Goodbody.; C. Page y G. Chislett. 1968. Comparative growth rates of some reef corals in the Caribbean. Research Dept. Nav. Biol., Washington, 22 p.
- Rogers, C. S.; H. C. Fitz.; M. Gilnack.; J. Beets y J. Hardin. 1984. Scleractinian corals recruitment patterns at Salt River Submarine Canyon, St. Croix, U.S. Virgin Islands. Coral Reefs., 3: 69-76.
- Sarmiento, E.; F. Flechas y G. Alvis. 1989. Evaluación cuantitativa del estado actual de las especies coralinas del Parque Nacional Natural Corales del Rosario. Cartagena (Colombia). Tesis Biol. Mar., Univ. Jorge Tadeo Lozano, Bogotá, 187 p.
- Schumacher, H. y M. Plewka. 1981. The adaptive significance of mechanical properties versus morphological adjustments in skeletons of *Acropora palmata* and *Acropora cervicornis* (Cnidaria, Scleractinia). Proc. 4th Int. Coral Reef Symp., Manila, 2: 121-128.
- Shinn, E. A. 1966. Coral growth rate: an environmental indicator. J. Paleontol., 40: 233-240.
- Wallace, C. C. 1985. Reproduction, recruitment and fragmentation in nine sympatric species of the coral genus *Acropora*. Mar. Biol., 88: 217-233.
- Yap, H. T y E. D. Gómez. 1981. Growth of *Acropora pulchra* (Brook) in Bolinao, Pangasinan, Philippines. Proc. 4th Int. Coral Reef Symp., Manila, 2: 207-213.
- Yap, H. T.; P. M. Aliño y E. D. Gómez. 1992. Trends in growth and mortality of three coral species (Anthozoa, Scleractinia) including effects of transplantation. Mar. Ecol. Prog. Ser., 83: 91-101.

DIRECCION DE LOS AUTORES

Museo del Mar - Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano. Apartado Aéreo 34185, Bogotá, Colombia (R. G. U. y E. M. A. Ch). Apartado Aéreo 59629 Bogotá, Colombia (A. A.)

