

**COMPARACIÓN DE TRES MÉTODOS PARA EL ESTUDIO DE LAS  
COMUNIDADES BÉNTICAS SÉSILES EN EL ARRECIFE CORALINO DE  
LA AZUFRADA, PARQUE NACIONAL NATURAL GORGONA**

ANA MARÍA PALACIO CASTRO

Tesis de grado para optar al título de Bióloga

Asesor:

FERNANDO A. ZAPATA RIVERA Ph.D.

Asesora enlace:

LIZETTE IRENE QUAN YOUNG Ph.D.

Autor: Fernando A. Zapata Rivera

Coautores: Ana María Palacio Castro

MEDELLÍN  
UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA  
FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES  
INSTITUTO DE BIOLOGÍA  
2010

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco a mi familia que siempre estuvo dispuesta a apoyarme para cumplir mis metas, especialmente a Rosy por su gran acompañamiento.

Muchas gracias al profe Fernando que me permitió descubrir lo maravillosos que son los arrecifes de corales y me alentó a dejarme atrapar por ellos, gracias por su disposición para resolver mis dudas aun desde la distancia. Muchas gracias a la profe Lizette que enriqueció este trabajo con sus aportes. También agradezco a Juli, Diego y Vanessa del Grupo de Investigación de en Ecología de Arrecifes Coralinos con quienes compartí el trabajo de campo.

A gradezco también a Conservación Internacional y a la Unidad Administrativa Especial del Sistema de Parques Nacionales Naturales del Ministerio del Medio Ambiente (UAESPNN) que nos brindaron el apoyo logístico y económico con el que fue posible realizar este trabajo.

A todos los que me han ayudado a recorrer mi camino hacia el mar

muchas gracias!

## TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN .....	1
2. HIPÓTESIS .....	8
3. OBJETIVOS .....	9
3.1. OBJETIVO GENERAL .....	9
3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	9
4. METODOLOGÍA .....	9
4.1 Descripción del área de estudio .....	9
4.2 Métodos de monitoreo evaluados .....	12
4.3. Análisis de datos .....	16
5. RESULTADOS .....	19
5.1. Comparabilidad de los métodos .....	21
5.2. Reproducibilidad .....	25
5.3. Repetibilidad .....	27
5.4. Eficiencia .....	36
6. DISCUSIÓN .....	42
7. CONCLUSIONES .....	47
8. BIBLIOGRAFÍA .....	50
ANEXOS .....	57

## LISTA DE TABLAS

<b>Tabla 1:</b> Categorías, subcategorías y códigos asignados a los componentes del bentos registrados con cada método. En negrita las categorías que alcanzaron coberturas mayores al 10%, por lo menos en uno de los transectos evaluados. ....	20
<b>Tabla 2:</b> Comparabilidad, repetibilidad y costos relativos de los métodos de Edgar, Guzmán y SIMAC.....	41

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b> Ubicación de Gorgona y sus principales formaciones arrecifales.....	11
<b>Figura 2:</b> Diseño de muestreo: arreglo de los sitios de muestreo en las zonas del arrecife y de los transectos en los sitios para cada método de monitoreo. ....	13
<b>Figura 3:</b> Cobertura media de corales, algas y sustrato abiótico estimada en los sitios de muestreo. ....	21
<b>Figura 4:</b> Riqueza y diversidad media de corales estimadas en los sitios de muestreo. ....	21
<b>Figura 5:</b> Cobertura media de corales, algas y sustrato abiótico en las zonas del arrecife, obtenida con los métodos de Edgar, Guzmán y SIMAC. ....	22
<b>Figura 6:</b> Cobertura promedio de a) y b) corales, c) y d) algas, e) y f) sustrato abiótico en los sitios de muestreo obtenida mediante los métodos de Edgar, Guzmán y SIMAC. ....	23
<b>Figura 7:</b> Riqueza (S) y diversidad (H') media de corales, obtenidas con los métodos de Edgar, Guzmán y SIMAC. ....	24
<b>Figura 8:</b> Riqueza media de corales (S) dentro de los sitios de muestreo obtenida mediante los métodos de Edgar, Guzmán y SIMAC.....	25
<b>Figura 9:</b> Cobertura promedio de a) y b) corales, c) y d) algas, e) y f) sustrato abiótico en los sitios de muestreo obtenida por cada investigador. ....	26
<b>Figura 10:</b> Diversidad media de corales (H') dentro de los zonas, obtenida con los métodos de Edgar, Guzmán y SIMAC.....	28

<b>Figura 11:</b> Repetibilidad entre investigadores de los métodos de Edgar, Guzmán y SIMAC en la estimación de las coberturas de corales, algas y sustrato abiótico. ....	29
<b>Figura 12:</b> Repetibilidad entre investigadores de los métodos de Edgar, Guzmán y SIMAC, en la estimación de la cobertura de especies de corales, grupos de algas y tipos de sustrato abiótico.....	30
<b>Figura 13:</b> Repetibilidad entre investigadores de los métodos de Edgar, Guzmán y SIMAC, en la estimación de los índices de riqueza y diversidad de corales. ....	31
<b>Figura 14:</b> Repetibilidad de cada investigador usando todos los métodos en la estimación de la cobertura de corales, algas y sustrato abiótico. ....	32
<b>Figura 15:</b> Repetibilidad de cada investigador usando todos los métodos en la estimación de la cobertura de especies de corales, grupos de algas y tipos de sustrato abiótico. ....	33
<b>Figura 16:</b> Clasificación de los transectos a partir de la cobertura de especies de corales, grupos de algas y tipos de sustrato abiótico.....	35
<b>Figura 17:</b> Tiempo medio requerido por transecto para tomar los datos en campo y para digitalizar y procesar la información con los métodos de Edgar, Guzmán y SIMAC. ....	36
<b>Figura 18:</b> Tiempo medio invertido por los investigadores para a) tomar los datos de un transecto en campo, b) digitalizarlos y procesarlos, con los métodos de Edgar, Guzmán y SIMAC.....	37
<b>Figura 19:</b> Tiempo medio invertido por los investigadores para realizar completamente un transecto (tomar, digitalizar y procesar los datos) con los métodos de Edgar, Guzmán SIMAC.....	37
<b>Figura 20:</b> Eficiencia de los métodos en relación al tiempo y los costos estandarizados necesarios para completar un transecto (Círculos: Edgar, Cuadrados: Guzmán, Triángulos: SIMAC). ....	39

## LISTA DE ANEXOS

<b>Anexo 1:</b> Ventajas y limitaciones del uso de cuadrantes, fotocuadrantes y transecto con cadena, en la evaluación del bentos de los arrecifes coralinos. Tomado de Rogers <i>et al.</i> (1994).....	57
<b>Anexo 2:</b> Prueba univariada de significancia, tamaño y potencia de los efectos sobre la cobertura de coral estimada (datos transformados). ....	58
<b>Anexo 3:</b> Prueba univariada de significancia, tamaño y potencia de los efectos sobre la cobertura de algas estimada (datos transformados). ....	58
<b>Anexo 4:</b> Prueba univariada de significancia, tamaño y potencia de los efectos sobre la cobertura de sustrato abiótico estimada (datos transformados). ....	59

<b>Anexo 5:</b> Prueba univariada de significancia, tamaño y potencia de los efectos sobre la riqueza de especies de coral estimada. ....	59
<b>Anexo 6:</b> Prueba univariada de significancia, tamaño y potencia de los efectos sobre diversidad de Shannon-Wiener de corales estimada. ....	60
<b>Anexo 7:</b> Efecto de la zona e investigador sobre la cobertura de algas estimada. Las letras indican los grupos homogéneos (Tukey $\alpha=0,05$ ). ....	60
<b>Anexo 8:</b> Efecto de la zona e investigador sobre la cobertura de algas estimada. Las letras indican los grupos homogéneos (Tukey $\alpha=0,05$ ). ....	61
<b>Anexo 9:</b> Efecto de la zona, investigador y método sobre la cobertura de sustrato abiótico estimada. Las letras indican los grupos homogéneos (Tukey $\alpha=0,05$ ). ....	62
<b>Anexo 10:</b> Prueba univariada de significancia, tamaño y potencia de los efectos sobre el tiempo requerido para tomar los datos de bentos en campo. ....	62
<b>Anexo 11:</b> Prueba univariada de significancia, tamaño y potencia de los efectos sobre el tiempo para digitalizar y procesar los datos de bentos en el laboratorio. ....	63
<b>Anexo 12:</b> Prueba univariada de significancia, tamaño y potencia de los efectos sobre el tiempo total para tomar, digitalizar y procesar los datos de bentos. ....	63
<b>Anexo 13:</b> Costo aproximado por transecto para la implementación de un programa de monitoreo con los métodos de Edgar, Guzmán y SIMAC. ....	64

## RESUMEN

Una de las prioridades para los programas de conservación es obtener eficientemente información, que refleje las condiciones reales de los objetos de conservación y que permita detectar sus cambios. Los numerosos procesos de deterioro que han afectado a los arrecifes coralinos en las últimas décadas han promovido la implementación de variados protocolos de monitoreo con diferentes ventajas y desventajas comparativas. Sin embargo, qué tan válida es la comparación de información obtenida con diferentes métodos es un problema objeto de debate que permanece aún sin resolver. Para contribuir a resolver este problema, comparamos tres métodos para el estudio y monitoreo del bentos en arrecifes coralinos comúnmente usados en el Pacífico Oriental Tropical: el protocolo de Edgar (2007) basado en estimaciones con puntos sobre fotocuadrantes, el de Guzmán (2005) basado en estimaciones visuales con cuadrantes, y el del Sistema Nacional de Monitoreo de los Arrecifes Coralinos en Colombia (SIMAC) basado en transectos lineales con cadena. Evaluamos la diferencia de los tres métodos en la estimación de la cobertura de los componentes del bentos (corales, algas y sustrato inerte) y de los índices de riqueza y diversidad de corales, así como la repetibilidad de cada uno (diferencias entre las estimaciones realizadas por diferentes investigadores y entre estimaciones repetidas de cada uno de ellos) y su eficiencia en función de los recursos necesarios de tiempo y dinero para coleccionar y procesar la información.

Con los métodos de Guzmán y SIMAC se obtuvieron estimaciones similares de las variables biológicas estudiadas, mientras que con el de Edgar estas estimaciones fueron diferentes. La cobertura de componentes del bentos estimada dentro de los sitios de muestreo con el método de Edgar fue en ocasiones mayor y en otras menor a la estimada con los métodos de Guzmán y del SIMAC. Con éste mismo método estimamos una mayor riqueza y diversidad de especies de corales. Independientemente del método empleado, los investigadores tuvieron una buena repetibilidad en la estimación de la cobertura de corales,

pero estimaron coberturas de de algas y sustrato abiótico significativamente diferentes. La repetibilidad de los métodos (dentro de los investigadores) en la estimación de la cobertura de las categorías generales (corales, algas y sustrato abiótico) fue más alta con los métodos del SIMAC y de Guzmán, y disminuyó en la estimación de categorías más específicas (especies de coral, grupos funcionales de algas y tipos de sustrato), siendo el de Guzmán el método más repetible a este nivel. El método de Edgar requirió más tiempo y dinero para su implementación, principalmente por el mayor tiempo necesario para el análisis de las imágenes en el laboratorio y por la necesidad de contar con cámara fotográfica con cubierta seca para coleccionar los datos en campo. En general, a partir de los factores evaluados el método de Guzmán tiene comparativamente más ventajas para ser implementado en un programa de monitoreo (menores costos en tiempo y dinero y mayor repetibilidad en la estimación de coberturas) en nuestra área de estudio, aunque el método del SIMAC no se aleja mucho las estimaciones realizadas en el método de Guzmán y requiere un poco menos de tiempo, tiene una menor repetibilidad y por tanto es menos preciso. El método de Edgar, además de que realiza estimaciones que no son comparables con las realizadas con el de Guzmán y del SIMAC, es menos eficiente en el uso de los recursos y posee la menor repetibilidad , excepto para las estimaciones de riqueza y diversidad.

Palabras claves: arrecifes coralinos, bentos, Colombia, Isla Gorgona, métodos de monitoreo, Pacífico Oriental Tropical.



## 1. INTRODUCCIÓN

Los arrecifes coralinos son estructuras sólidas de carbonato de calcio que se elevan desde el fondo marino hasta cerca de la superficie, construidas principalmente por corales escleractíneos junto con otros organismos como algas calcáreas, foraminíferos y moluscos (Barnes y Chalker, 1990). Este ecosistema es uno de los más diversos, productivos y bellos del planeta, alberga una gran riqueza de especies y presenta uno de los mayores índices de asimilación de carbono (2,3 - 6,0 gC/m<sup>2</sup>d) (Marsh, 1976; Lewis, 1977; Connell, 1978). Su complejidad estructural permite el desarrollo y protección de las larvas de muchas especies explotadas comercialmente y además evita la erosión litoral causada por olas y tormentas.

Se ha estimado que los arrecifes cubren entre 284.300 y 920.000 km<sup>2</sup> de costas tropicales en el planeta, distribuidos en su mayoría en la región del Indo-Pacífico (Davy *et al.*, 2009). Su presencia se encuentra restringida a lugares con aguas cálidas (18-34°C), claras e iluminadas y con salinidades relativamente altas y estables (30-38), ya que estas condiciones optimizan las tasas de fijación de carbono y la productividad primaria de las zooxantelas simbiotas asociadas a los corales hermatípicos (Birkeland, 1997).

Infortunadamente, durante las tres últimas décadas los arrecifes de coral han mostrado numerosos signos de deterioro relacionados con el impacto de perturbaciones antrópicas y naturales como la deforestación, la contaminación, la sobreexplotación de recursos, el turismo, los huracanes y los eventos de El Niño (Hughes, 1994; Daszak *et al.*, 2001; Bruno *et al.*, 2003; Sánchez *et al.*, 2005; Wilkinson, 2008), que han ocasionado en su conjunto la disminución de la cobertura de coral vivo y el aumento de la cobertura de algas, la aparición de enfermedades, episodios de blanqueamiento masivo, y grandes mortalidades de organismos arrecifales como erizos y abanicos de mar (Díaz *et al.*, 2000; Birkeland, 2002; Ainsworth *et al.*, 2007; Lesser *et al.*, 2007). Se estima que entre 2004 y 2008 se perdió el 19% de área ocupada originalmente por arrecifes de coral en el mundo, así

mismo, se calcula que bajo un panorama “normal” que no contempla los riesgos del cambio climático, el 15% del área ocupada por arrecifes coralinos está en peligro de perderse en los próximos 10 a 20 años y que 20% está en peligro de desaparecer en 20 a 40 años (Wilkinson, 2008).

Bajo este panorama han surgido diversas iniciativas para la conservación de los arrecifes de coral, tales como “*The Global Coral Reef Monitoring Network*” (GCRMN), “*The International Coral Reef Initiative*” (ICRI) y “*The International Coral Reef Action Network*” (ICRAN) (Harding *et al.*, 2000). Estas iniciativas han evidenciado que para poder comprender realmente los procesos ecológicos que se desarrollan en los arrecifes coralinos e identificar los efectos de las perturbaciones naturales y antrópicas sobre su estructura y funcionamiento es necesario implementar programas de monitoreo a largo plazo, a grandes escalas espaciales, y bajo métodos estandarizados (Rogers, 1999; Lindeman *et al.*, 2001; Rogers y Miller, 2001; Day, 2008). Para dar cumplimiento a estos propósitos se ha promovido la integración de las diversas técnicas de estudio y vigilancia entre los países con ecosistemas coralinos, desarrollando protocolos rápidos y sencillos de monitoreo que recojan la información necesaria para conocer el estado de las variables indicadoras del ecosistema y poder detectar sus cambios a través del tiempo (Rogers *et al.*, 1994; Salvat, 2000; Lindeman *et al.*, 2001; Samways y Hattonv, 2001).

Se han propuesto diversos protocolos para el monitoreo de los arrecifes coralinos tales como los de *Reef Check* y la *Global Coral Reef Monitoring Network* (GCRMN) a nivel mundial, los del *Atlantic and Gulf Rapid Reef Assessment* (AGRRA), el *Caribbean Coastal Marine Productivity* (CARICOMP) y el *Mesoamerican Barrier Reef System Synoptic Monitoring Program* (MBRS-SMP) para el Caribe, el *Long-term Monitoring Program* del Instituto Australiano de Ciencias Marinas para la Gran Barrera de Arrecifes de Australia y el *Coral Reef Degradation in the Indian Ocean* (CORDIO) en el océano Índico (Hill y Wilkinson, 2004). Así mismo, en diferentes países se han desarrollado programas de monitoreo nacionales que generan información periódica para seguir el comportamiento de estos ecosistemas a través del tiempo, pero en muchos casos la aplicación de protocolos

diferentes en cada uno de los países ha dificultado incorporación de esta información a la obtenida a escala mundial y regional.

Este es el caso del Pacífico Este Tropical (PET, región comprendida entre el Golfo de California y la costa norte de Perú), en el que los arrecifes coralinos de cuatro países han sido monitoreados por años usando diferentes protocolos: en el Parque Nacional Natural Gorgona (desde 1998) y el Santuario de Fauna y Flora Malpelo (desde 2003) de Colombia, el Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras (INVEMAR) y la Universidad del Valle han usado el protocolo del SIMAC propuesto por Garzón-Ferreira *et al.* (2002a); en el Parque Nacional Coiba de Panamá y el Parque Nacional Isla del Coco de Costa Rica se ha usado por varios años el método propuesto por Guzmán (2005) del *Smithsonian Tropical Research Institute* y en el Parque Nacional y Reserva Marina Galápagos de Ecuador se ha usado el método propuesto por Edgar (2007).

La existencia de objetivos comunes en la conservación y uso sostenible de la diversidad biológica entre estas cinco Áreas Marinas Protegidas impulsó la creación en 2004 del Corredor Marino de Conservación (CMAR), buscando coordinar los esfuerzos realizados en este sentido por los gobiernos de Colombia, Panamá, Costa Rica y Ecuador. Sin embargo, para el caso de los arrecifes de coral la integración de la información generada en los diferentes países se ha dificultado, pues no se conoce si los tres métodos de monitoreo usados en la región del PET producen en un mismo lugar estimaciones similares de las variables estudiadas (generalmente composición y abundancia de organismos bénticos, riqueza y diversidad de corales), o si por el contrario las estimaciones realizadas con cada método en un mismo sitio pueden diferir, incluso cuando los datos son tomados por un mismo investigador.

Este último panorama implicaría que al integrar la información disponible sobre los arrecifes de coral en los cuatro países (obtenida con los diferentes métodos) se corre el riesgo de encontrar diferencias que reflejen los sesgos de cada técnica y no diferencias reales entre las comunidades coralinas comparadas. Por esto mismo, proponer la

implementación de un método común en la región del PET sin saber si los resultados que se obtienen con éste método son similares a los obtenidos con los demás, implicaría el riesgo de que los datos colectados en un mismo sitio, primero con uno y luego con otro método, reflejen variaciones temporales en la comunidad arrecifal producto del cambio de método y no de cambios reales en el estado de los arrecifes.

El método de Edgar ha sido propuesto para ser implementado en todas las áreas coralinas del CMAR, sin embargo, a pesar de que la evaluación de la variedad de métodos aplicables en una zona es un precursor importante para iniciar un programa de monitoreo estandarizado (Brown *et al.* 2004), hasta la fecha no se había realizado ningún estudio en el CMAR que evaluara la factibilidad de comparar e integrar los datos obtenidos mediante los métodos de Edgar, de Guzmán y del SIMAC, así como cuál de éstos presenta más ventajas técnicas y económicas para su implementación. Este ejercicio ayudará a determinar si es posible y bajo que limitaciones, integrar la información existente sobre los arrecifes del PET y tal vez a avanzar en la propuesta de un método común para la región.

Por la dificultad para determinar cuales son los valores “reales” en el arrecife de las variables biológicas estudiadas se hace muy complejo comparar la exactitud de las estimaciones obtenidas con tres métodos de monitoreo. Como alternativa a esta dificultad buscamos establecer la “**comparabilidad**” de la información obtenida sobre el bentos con los protocolos de Edgar, Guzmán y SIMAC. Definimos como métodos comparables aquellos que aplicados en un mismo lugar producen estimaciones que no son estadísticamente diferentes (aunque no necesariamente sean exactas). En otras palabras la comparabilidad es el acuerdo entre métodos en la estimación de las variables. Así mismo, buscamos determinar cuál de los tres métodos tiene mayor repetibilidad y reproducibilidad y es más eficiente en función del tiempo y recursos necesarios para ejecutarlo, lo que puede ayudar a decidir sobre la implementación de un protocolo de monitoreo de arrecifes coralinos común para el PET.

Para tal efecto, definimos la **reproducibilidad** y la **repetibilidad** como la capacidad de

cada método para producir estimativos similares de las variables biológicas medidas en un mismo sitio en sucesivas repeticiones. La reproducibilidad se evaluó entre investigadores (similitud entre estimativos obtenidos por tres investigadores usando un mismo método) y la repetibilidad dentro de los investigadores (similitud entre los estimativos obtenidos por el mismo investigador usando el mismo método). Evaluamos la **eficiencia** en términos de las variables económicas, como gastos en dinero y tiempo, necesarios para la aplicación de cada uno de los protocolos; esto es, inversión inicial para la compra de equipos y software, materiales y costo del personal que trabaja en el laboratorio y en el campo por el tiempo necesario para la implementación de cada método.

### **Arrecifes coralinos del Pacífico Este Tropical**

A pesar de que existen verdaderos arrecifes dentro del área del CMAR, el PET no es una región óptima para el desarrollo de los arrecifes coralinos. La presencia de aguas con bajas temperaturas, baja salinidad y alta carga de nutrientes; el alto impacto de procesos bioerosivos y una plataforma continental estrecha, son factores que limitan el desarrollo arrecifal en la región. Se suman a estos factores la existencia de frecuentes perturbaciones, como el calentamiento de las aguas durante eventos de El Niño, periodos de exposición aérea de los corales en las mareas bajas extremas y periodos de surgencia de aguas frías (Cortés, 1997; Glynn y Ault, 2000).

Debido a esto, los arrecifes del PET han sido calificados como de desarrollo mínimo: sólo alcanzan unas pocas hectáreas de tamaño, tienen una distribución discontinua, baja diversidad de especies y una capacidad de recuperación muy lenta (Cortés, 1997). Estas condiciones sub-óptimas para el desarrollo coralino se manifiestan en el Pacífico colombiano. De los 2.700 km<sup>2</sup> de áreas coralinas que posee Colombia (Díaz *et al.*, 2000), únicamente 15 km<sup>2</sup> se encuentran en la costa pacífica, en donde existen sólo cuatro localidades con formaciones arrecifales considerables: las islas de Gorgona y Malpelo; la ensenada de Utría y Punta Tebada (Zapata y Vargas-Ángel, 2003). Sin embargo, algunos arrecifes de Gorgona (los de La Azufrada y Playa Blanca) se consideran entre los mejor

desarrollados de la región del PET.

En Gorgona los arrecifes de la Azufrada y Playa Blanca han sido monitoreados con el método del SIMAC desde 1998, tiempo en el cual se han logrado detectar cambios en la cobertura de corales y algas, la salud arrecifal y la riqueza y abundancia de algunos invertebrados y peces arrecifales (Garzón-Ferreira y Díaz, 2000; Garzón-Ferreira y Rodríguez-Ramírez, 2001; Garzón-Ferreira *et al.*, 2002b, 2003, 2004; Rodríguez-Ramírez *et al.*, 2005, 2006a, 2006b, 2006c; Zapata *et al.*, 2008, 2010). El método propuesto Edgar fue usado en la isla en 2007 para la *Evaluación de Línea Base de la Biodiversidad Marina en el PNN Gorgona*, en el marco del CMAR (Palacio *et al.* sin pub.), en la que se caracterizaron las comunidades bénticas de nueve sitios alrededor de la isla. Finalmente, no se conocen trabajos que reporten el uso del método propuesto por Guzmán en Gorgona.

### **Métodos para el estudio de las comunidades bénticas sésiles**

Entre los métodos de estudio y monitoreo del bentos en arrecifes de coral se pueden encontrar numerosas variaciones de técnicas basadas en estimaciones visuales usando cuadrantes, transectos lineales, transectos en banda, fotos y video. Las ventajas y desventajas de cada una de estas técnicas se han estudiado desde la década de los 70's (Ohlhorst *et al.* 1988) y aun hoy la discusión se considera vigente, principalmente porque no todos los métodos son ideales o realizables en todos los sitios de estudio; además de que su utilidad depende de las preguntas específicas que se busque responder y de las limitaciones en el presupuesto.

Por este motivo, la comparación de las diversas técnicas en función de su objetividad, exactitud, precisión, repetibilidad y eficiencia, ha producido resultados controvertibles: algunos autores encuentran más adecuados los métodos basados en transectos (Loya, 1978), otros en estimaciones con cuadrantes (Weinberg, 1981; Dethier *et al.* 1993) o en registros fotográficos; otros no encuentran diferencias entre las estimaciones realizadas con los diferentes métodos, y además de esto, otros autores continúan proponiendo nuevos

protocolos, más apropiados para los objetivos de su investigación. Detalles sobre comparaciones de métodos particulares pueden encontrarse en los trabajos de UNESCO (1984), Harding *et al.* (2000), Lindeman *et al.* (2001), Rogers y Miller (2001), Brown *et al.* (2004), Beenaerts y Berghe (2005), Jokiel *et al.* (2005), Nadon y Stirling (2006), Roelfsema *et al.* (2006), Alquezar y Boyd (2007) y Wilson *et al.* (2007). La descripción de algunos nuevos métodos puede verse en Lindeman *et al.* (2001), Lirman *et al.* (2007), Stoddart (2008) y Dumas *et al.* (2009).

Entre los aspectos discutidos sobre los diversos métodos se ha considerado si es conveniente implementar técnicas de monitoreo basadas en estimaciones “visuales” de la cobertura que dependen de la apreciación subjetiva del observador, en contraste con la objetividad de las técnicas basadas en el muestreo de puntos (ya sea sobre cuadrículas, transectos en banda o transectos lineales) o la digitalización de imágenes que disminuyen el error humano en las mediciones. A pesar de la subjetividad presente en las estimaciones visuales, estos métodos han mostrado en ocasiones mayor exactitud y repetibilidad en comparación con algunos métodos considerados más objetivos (Dethier *et al.* 1993).

Por otra parte, los métodos basados en estimaciones bi-dimensionales (que estudian el arrecife como un plano, como las fotografías y los cuadrantes) generalmente sobrestiman la cobertura de colonias en forma de plato o masivas y subestiman la de colonias ramificadas y columnares. Estos métodos no proveen una evaluación de relieve espacial y son difíciles de realizar en arrecifes que tengan superficies muy irregulares con una alta tridimensionalidad (Loya, 1972).

Otros destacan las ventajas del registro fotográfico al conservar la información para repetir o realizar nuevos análisis y recoger información adicional sobre el arrecife (efectos de tormentas, complejidad espacial) y los corales (reclutamiento, crecimiento y mortalidad de colonias individuales) que muchas veces no son registradas por los investigadores en campo; así como la posibilidad de disminuir el error humano en las mediciones (Ohlhorst *et al.* 1988). Por lo general los métodos fotográficos disminuyen el tiempo para tomar los

datos en campo, aunque aumentan el tiempo para su tratamiento en el laboratorio (Nadon y Stirling 2006). Otra desventaja de estos métodos es la dificultad que puede presentar la identificación de especies con morfologías similares a través de las imágenes.

Los métodos basados en cadenas permiten el cálculo de índices de complejidad topográfica, pero por lo general son tediosos y demorados en su realización. Así mismo, es muy difícil garantizar que las cadenas sean ubicadas en el mismo sitio cada vez que se realiza el monitoreo, por lo que se pueden obtener datos que indiquen cambios en las variables medidas, que sean reflejo del cambio de posición de la cadena y no de la cobertura de organismos (Rogers *et al.*, 1994).

## **2. HIPÓTESIS**

Hipótesis 1: No existen diferencias entre las estimaciones de cobertura de organismos sésiles, riqueza y diversidad de corales obtenidas con los métodos de Edgar, de Guzmán y del SIMAC.

Hipótesis 2: No existen diferencias entre las estimaciones de cobertura de organismos sésiles, riqueza y diversidad de corales obtenidas por diferentes investigadores o por un mismo investigador en sucesivas repeticiones cuando usan un mismo método.

Hipótesis 3: Si existen diferencias entre las estimaciones obtenidas con los métodos, estas no dependerán de los investigadores que los apliquen. Así mismo, si existen diferencias entre las estimaciones de los investigadores, estas no dependerán de los métodos empleados. Es decir, no existe una interacción entre método e investigador en la estimación de las variables.



### **3. OBJETIVOS**

#### **3.1. OBJETIVO GENERAL**

Evaluar en el arrecife de La Azufrada en la isla Gorgona, la comparabilidad, repetibilidad y eficiencia de tres métodos de estudio y monitoreo del bentos, comúnmente usados en las Áreas Marinas Protegidas del Corredor Marino del Pacífico Este Tropical.

#### **3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- a) Identificar si en un mismo sitio los métodos de Edgar, de Guzmán y del SIMAC estiman valores de cobertura de los componentes del bentos, riqueza y diversidad de corales que no difieran estadísticamente y por tanto, determinar si la información obtenida con los tres métodos es comparable.
- b) Evaluar la repetibilidad de cada método, como su capacidad de producir estimativos similares de las variables biológicas cuando son aplicados sucesivamente en un sitio (por diferentes investigadores y por un mismo investigador).

Evaluar la eficiencia de los métodos en función de los costos en tiempo y dinero que se requieren para desarrollarlos.

### **4. METODOLOGÍA**

#### **4.1. Descripción del área de estudio**

Gorgona (2°58'27"N, 78°11'13"W) es la isla continental más grande del Pacífico

colombiano con aproximadamente 9 km de largo y 2,5 km de ancho (Figura 1). Está localizada a 30 km del poblado de Bazán, punto de la costa colombiana más cercano a la isla y junto con la isla de Gorgonilla y otras salientes rocosas cercanas, alcanzan un área emergente de 13,7 km<sup>2</sup> que hacen parte de las 61.687 ha del Parque Nacional Natural Gorgona (Giraldo *et al.*, 2008; Zapata, 2001).

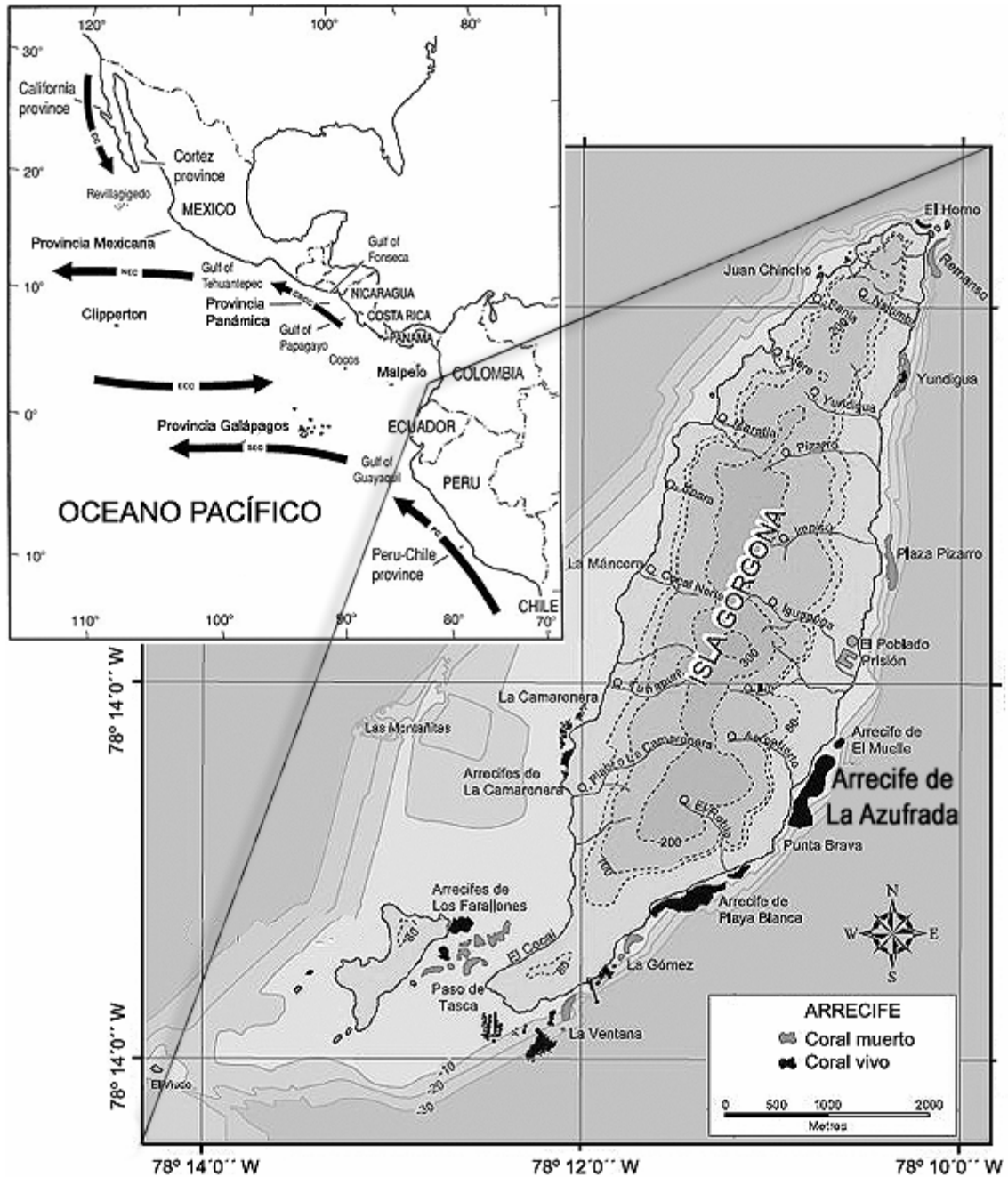
La precipitación en Gorgona sigue un patrón unimodal y biestacional determinado por la influencia del desplazamiento de la Zona de Convergencia Intertropical. La temperatura promedio del aire es ~26°C siendo menor en octubre y mayor en abril; la humedad relativa promedio de la isla es superior al 90% y la precipitación promedio anual es muy alta (~7000 mm). Sin embargo, se puede diferenciar un periodo “seco” entre noviembre y abril y uno “húmedo” entre mayo y octubre (Díaz *et al.* 2001).

Usualmente, la temperatura superficial del mar varía entre 26-29°C, alcanzando máximos entre abril y junio y mínimos entre enero y marzo. En este último periodo la termoclina se hace más somera con temperaturas <19°C. La salinidad es relativamente alta y estable (30-33) en comparación con la salinidad baja y fluctuante de la costa continental (<20) (Zapata, 2001). El régimen mareal es semidiurno con un rango máximo de 5,7 m (Prahl y Erhardt, 1985).

Las corrientes que bañan a Gorgona son parte de la Corriente de Colombia que fluye hacia el norte paralelamente a la costa continental. Alrededor de la isla el flujo predominante es desde el SW hacia el NE con una velocidad promedio de 0.25 m sec<sup>-1</sup> (Giraldo *et al.*, 2008).

Aunque Gorgona se encuentra cerca al límite sur de desarrollo arrecifal coralino en el Pacífico Este Tropical, cerca del 8,5% de la plataforma sublitoral somera (<30 m de profundidad) está cubierta por arrecifes y comunidades coralinas. A pesar de tener una distribución discontinua y un desarrollo menor que los arrecifes de otras regiones, los de Gorgona son unos de los más desarrollados del PET y los más desarrollados y diversos del Pacífico colombiano. Se estima que estas formaciones coralinas comenzaron su desarrollo

como máximo hace 7.000 años cuando el nivel del mar se acercó al actual, con especies de corales que se dispersaron desde el indopacífico (Zapata, 2001).



**Figura 1:** Ubicación de Gorgona y sus principales formaciones arrecifales. Modificado de Zapata (2001) y Cortés (1997).

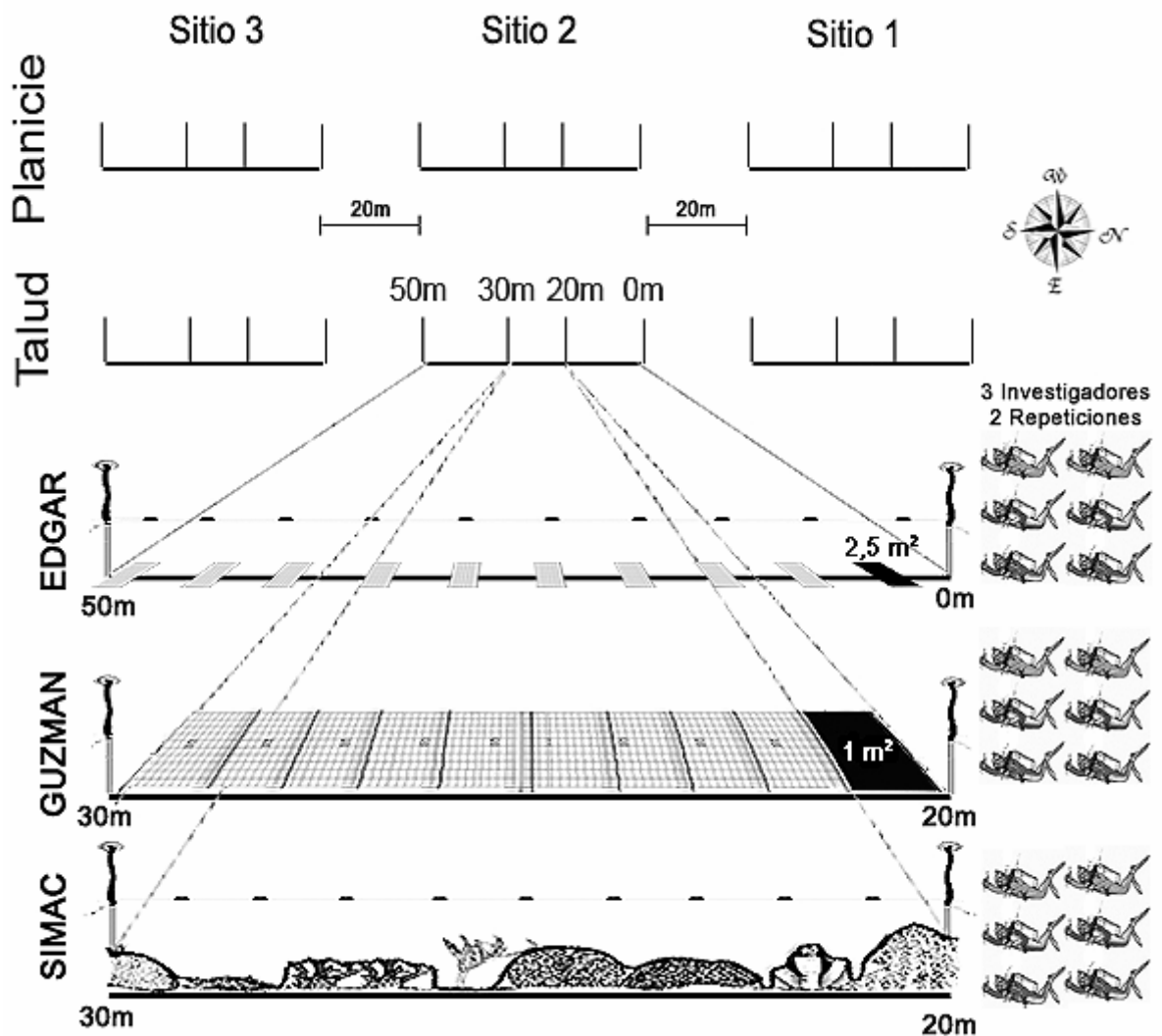
Entre los arrecifes de la isla, el de La Azufrada es el más grande, más desarrollado y mejor estudiado. Según Zapata (2001) posee un área de 11,2 ha aproximadamente (780 m de largo x 80-180 m de ancho) y un grosor del andamio arrecifal entre 2 y 8,3 m. La cobertura de coral vivo varía desde <50% en el trasarrecife, hasta 80-90% en la cresta y en el frente arrecifal y está dominada principalmente por *Pocillopora damicornis*.

En el arrecife de La Azufrada se encuentran por lo menos 10 especies de coral de los géneros *Pocillopora*, *Psammocora*, *Pavona*, *Gardineroseris* y *Porites*. La riqueza y diversidad de especies tienden a ser más altas en la cresta, frente y pendiente externa superior del arrecife que en la planicie, ya que en estas zonas se reduce la dominancia de *P. damicornis* y aumenta la abundancia de otros pocillopóridos (Zapata, 2001).

#### **4.2. Métodos de monitoreo evaluados**

En Octubre de 2009 ubicamos seis sitios de muestreo en dos zonas del arrecife de “La Azufrada”, tres de ellos en la planicie y tres en el talud. En cada sitio instalamos un transecto de 50 m de largo marcado a los 0, 20, 30 y 50 m con varillas de acero inoxidable, las cuales sirvieron como referencia para la realización de transectos acordes a los protocolos de monitoreo de Edgar, Guzmán y SIMAC. Los transectos del método de Edgar se realizaron desde los 0 a los 50 m marcados en cada sitio, mientras que los transectos del de Guzmán y del SIMAC se realizaron desde los 20 a los 30 m del sitio (Figura 2).

Para escoger los sitios elegimos fortuitamente un punto en la planicie. Este punto se marcó con una varilla como el punto inicial (0 m) del Sitio 1, y a partir de allí marcamos puntos a los 20, 30 y 50 m del sitio 1, siguiendo una línea paralela a la línea de costa, yendo de norte a sur de la isla. Los sitios dos y tres de la planicie se ubicaron y marcaron de igual manera, siguiendo en dirección sur, dejando una distancia de 20 m entre el final de un sitio y el comienzo del otro. Los tres sitios en la zona del talud arrecifal se ubicaron a mayor profundidad paralelos a los sitios de la planicie (Figura 2).



**Figura 2:** Diseño de muestreo: arreglo de los sitios de muestreo en las zonas del arrecife y de los transectos en los sitios para cada método de monitoreo.

Dentro de cada sitio realizamos estimaciones de la composición y abundancia de organismos sésiles y tipos de sustrato, siguiendo los protocolos de los tres métodos evaluados. Cada protocolo de monitoreo fue realizado en los seis sitios de muestreo por tres investigadores, dos veces por cada uno de ellos, para un total de 18 estimaciones de la cobertura béntica por sitio. Elegimos aleatoriamente el orden en que cada investigador realizó los transectos de cada metodología en los sitios de muestreo. Los tres investigadores tenían experiencia similar en el trabajo en campo con arrecifes coralinos y en la

identificación de especies de coral, pero su experiencia previa con el método del SIMAC era mayor que con el de Edgar y ninguna con el de Guzmán.

Registramos los componentes del bentos usando las mismas categorías y subcategorías en los tres protocolos de monitoreo. Empleamos tres categorías generales: corales, algas y sustrato abiótico, dentro de las cuales se definieron como subcategorías las especies (o géneros cuando se dificultó su identificación) para los corales, los grupos funcionales para las algas y el tipo de sustrato abiótico (Tabla 1).

*Protocolo propuesto por Edgar (2007)*

Delimitamos un transecto entre los 0 m y 50 m de cada sitio de muestreo con una cuerda marcada cada 5 m. En cada transecto estimamos la composición del bentos usando 10 fotocuadrantes con un área aproximada de  $(0,5 \times 0,5) \text{ m}^2$ . Las fotos se tomaron verticalmente cada 5 m a partir del punto localizado a 5 m del inicio, centradas sobre la línea del transecto (Figura 2). Registramos bajo el agua el tiempo invertido en completar las fotos de cada transecto.

Posteriormente marcamos las imágenes con la zona, el sitio, el investigador y la repetición y las analizamos usando el programa de computador CPCe 3.6 para Windows (Kohler y Gill, 2006). Para ello colocamos 56 puntos sobre cada imagen, correspondientes a las intersecciones de una cuadrícula de 7x8 e identificamos el componente béntico sobre el cual estaba ubicado cada punto. El programa calcula automáticamente las coberturas de las categorías y subcategoría del sustrato, en cada imagen y en el transecto, así como la diversidad de Shannon-Wiener dentro de cada categoría.

*Protocolo propuesto por H. Guzmán (2005)*

Demarcamos un transecto de 10 m de longitud ubicado entre los 20 y 30 m de cada sitio de muestreo, con una cuerda marcada cada metro. Estimamos la composición del bentos en

cada transecto usando 10 cuadrantes consecutivos de 1 m<sup>2</sup>, divididos en subcuadrantes de (10x10) cm<sup>2</sup>.

Ubicamos los cuadrantes con uno de sus bordes sobre la línea del transecto y el borde opuesto hacia la costa (Figura 2) avanzando desde el metro 20 hasta el 30. Estimamos visualmente el porcentaje de cobertura de cada componente del bentos basándonos en las fracciones que ocupaban dentro de cada subcuadrante (equivalente al 1% del cuadrante).

*Protocolo del SIMAC propuesto por Garzón-Ferreira et al. (2002a)*

Delimitamos un transecto de 10 m de longitud ubicado entre los 20 y 30 m de cada sitio de muestreo, con una cuerda que amarramos de la manera más templada posible a las varillas presentes en estos puntos. En la varilla norte del transecto (20 m) sujetamos el extremo de una cadena niquelada de eslabones pequeños (11,5 mm de largo aproximadamente), previamente rotulada cada 10 eslabones con el número del eslabón para facilitar su lectura. Extendimos la cadena siguiendo el contorno del sustrato usando la línea marcada por la cuerda como guía, hasta llegar al otro extremo del transecto (Figura 2) y registramos el componente béntico presente bajo cada eslabón de la cadena.

Bajo el agua, tomamos los datos de los métodos de Guzmán y del SIMAC en tablas de acrílico, posteriormente los digitamos en hojas de cálculo en donde estimamos el porcentaje de cobertura de cada componente del bentos, así como la riqueza y diversidad de Shannon-Wiener para los corales.

Calculamos los porcentajes de cobertura de acuerdo al método con que fueron tomados los datos, como la proporción de puntos (Edgar), área (Guzmán), o número de eslabones (SIMAC) ocupada por cada categoría (n<sub>i</sub>); sobre el total de puntos, área, o eslabones de la cadena, registrados en cada transecto (T), multiplicado por 100.

$$\%C_i = n_i/T*100$$

Además de componentes del bentos registramos datos de GAPS (vacíos) propios del método del SIMAC que son aquellos en los que no se alcanza a leer la cadena y puntos en los que no se logró la identificación del componente béntico en las fotos del método de Edgar, que fueron ambos eliminados antes de calcular los porcentajes de cobertura.

En cada transecto estimamos la riqueza de especies (S) como el número de especies de coral muestreadas; y la diversidad (H') usando el índice de de Shannon-Wiener:

$$H' = - \sum_{i=1}^S p_i \ln p_i$$

donde:

S: Riqueza de especies en el transecto.

$p_i$ : abundancia relativa de la especie  $i$ . Proporción de puntos, área o número de eslabones, ocupada por la especie  $i$  ( $n_i$ ) respecto al total de puntos, área o número de eslabones ocupado por todas las especies de coral (N)

Medimos el tiempo que cada investigador invirtió en coleccionar, digitalizar y procesar los datos de cada transecto.

### **4.3. Análisis de datos**

#### *Comparabilidad de los métodos y reproducibilidad*

Analizamos las diferencias entre las estimaciones de la cobertura de corales, algas, y sustrato abiótico y la riqueza y diversidad de corales realizadas con los diferentes métodos e investigadores mediante análisis de varianza usando un Modelo Lineal General mixto de parcelas divididas o “Split-Plot”, en el que se consideraron los efectos de los siguientes factores y sus interacciones:

- Zona del arrecife (2 niveles): Planicie o Talud
- Sitio de muestreo (3 niveles): 1, 2 y 3 (anidados dentro de cada zona)



- Método de monitoreo (3 niveles): Edgar, Guzmán y SIMAC
- Investigador (3 niveles): A, B y C, cada uno con dos repeticiones.

En el modelo los sitios se consideraron anidados dentro de las zonas. Sitio e investigador se consideraron como factores de efectos aleatorios, mientras que zona y método se consideraron factores de efectos fijos. Posteriormente realizamos pruebas de comparación múltiple (Tukey,  $\alpha=0,05$ ), cuando encontramos diferencias asociadas a alguna de las fuentes de variación.

Adicionalmente, realizamos un análisis multivariado de clasificación para explorar los patrones de asociación de los transectos evaluados en los seis sitios con cada uno de los métodos e investigadores. Para este análisis usamos los porcentajes de cobertura de las especies de coral, grupos funcionales de algas y tipos de sustrato, que alcanzaron valores mayores al 10% en por lo menos un transecto. Calculamos la matriz de similitud a partir del coeficiente de Bray-Curtis y el dendrograma de clasificación se hizo mediante la técnica de ligamiento promedio no ponderado (UPGMA). De no existir diferencias entre métodos ni entre investigadores en la estimación de la cobertura de los diferentes componentes del bentos, los transectos tenderían a agruparse por los sitios de muestreo incluyendo las estimaciones realizadas por los diferentes investigadores y métodos. Por el contrario, si existe algún efecto del método o investigador esperaríamos que los transectos formaran grupos definidos por estos factores y no por los sitios.

Para el análisis de varianza, las pruebas de comparación múltiple y el análisis de clasificación transformamos los porcentajes de cobertura mediante la operación:  $\sqrt{\%cobertura/100}$  para satisfacer los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas.

### *Repetibilidad*

Evaluamos la repetibilidad de los datos obtenidos con cada método e investigador a través

del ajuste ( $r^2$ ) entre los porcentajes de cobertura estimados en la primera y la segunda repetición. Examinamos el ajuste de los datos asumiendo que mediciones completamente precisas se ajustarían perfectamente a una recta de pendiente uno e intercepto cero, en la cual el porcentaje de cobertura estimado en la repetición 2, de determinada combinación de método, zona, sitio e investigador, sería igual al porcentaje de cobertura estimado en la repetición 1 de esta misma combinación de factores. Para este caso, el ajuste de los datos se examinó con respecto a la recta modelo  $Y = X$  (cobertura estimada en la repetición 2 = cobertura estimada en la repetición 1). Por esta razón, los valores de  $r^2$  calculados variaron entre 1 (cuando existió muy buen ajuste) y valores  $< 0$  (cuando el ajuste de los datos fue muy malo).

### *Eficiencia*

Además de las variables biológicas calculamos el costo para la implementación de cada método, considerando los equipos, materiales y tiempo, necesarios para la aplicación del protocolo en campo y para el tratamiento y análisis de los datos.

Incluimos en el cálculo:

- C1: Costo inicial de equipos y software.
- C2: Costo periódico de materiales y mantenimiento de equipos que deben realizarse cada vez que se va a hacer un monitoreo.
- C3: Costo del personal para el trabajo en campo y en el laboratorio por cada transecto realizado.

Con estos costos definimos el valor promedio para la realización de un transecto con cada método ( $Cx_n$ ), que se proyectó a un programa de monitoreo de diez transectos ejecutado 1, 10 y 20 veces:

$$Cx_n = (C1)/10n + n(C2) + 10n(C3)$$

Dónde:

x: método de monitoreo

n: cantidad de monitoreos realizados

No se consideraron costos como viáticos, alquiler de tanques y aire, ni transporte a los sitios de muestreo, que pueden incrementarse con métodos que requieran un mayor tiempo de trabajo en campo por transecto.

Finalmente evaluamos la eficiencia de cada método como la relación entre la repetibilidad en la estimación de la cobertura de corales y el tiempo estandarizado para la realización de un transecto.

## 5. RESULTADOS

En total registramos 18 componentes del bentos entre los tres métodos evaluados, siendo el protocolo de Edgar el que más subcategorías registró. Con este método tomamos datos de corales que no logramos determinar hasta especie (*Pavona* sp. y *Pocillopra* sp.) por la mala calidad de algunas imágenes, pero cuya abundancia no fue mayor al 6% en ninguno de los transectos (Tabla 1).

Ninguna de las variables biológicas estimadas (cobertura de corales, algas y sustrato abiótico, riqueza y diversidad de especies de coral) presentó diferencias estadísticamente significativas entre las dos zonas del arrecife estudiadas ( $p=0,14$ ;  $p=0,18$ ;  $p=0,77$ ;  $p=0,93$ ;  $p=0,89$ , respectivamente; Anexos 2 a 5). Sin embargo, tanto la cobertura media de corales como la de algas difirieron en más del 20% entre ambas zonas. La cobertura coralina fue mayor en el talud ( $81,59 \pm 1,69\%$ ) que en la planicie ( $55,32 \pm 3,38\%$ ), mientras que las algas fueron más abundantes en la planicie ( $28,81 \pm 3,89\%$ ) que en el talud ( $8,50 \pm 1,12\%$ ). El sustrato abiótico sólo difirió en un 6% aproximadamente entre las dos zonas, siendo más abundante en la planicie.

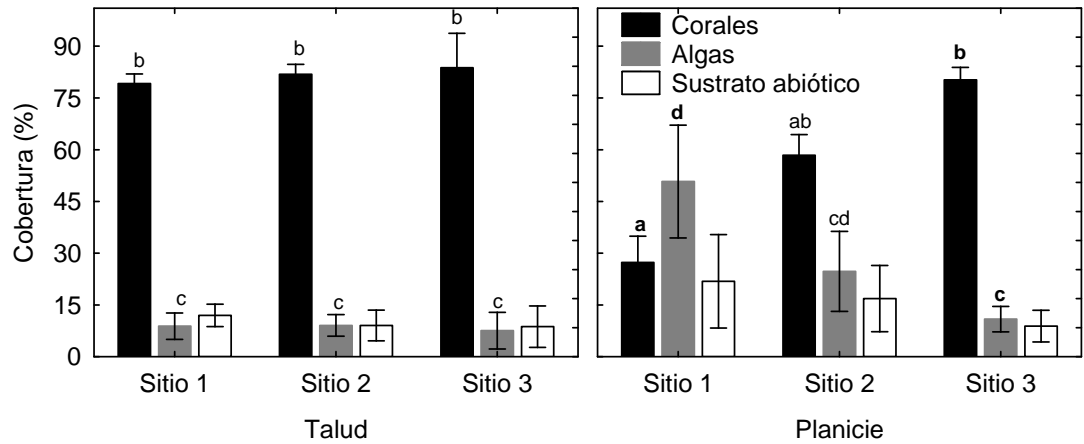
**Tabla 1:** Categorías, subcategorías y códigos asignados a los componentes del bentos registrados con cada método. En negrita las categorías que alcanzaron coberturas mayores al 10%, por lo menos en uno de los transectos evaluados.

CATEGORÍA	SUBCATEGORÍA	CÓDIGO	Método con el que se registró		
			Edgar	Guzmán	SIMAC
CORALES	ESPECIE				
	<i>Pavona clavus</i>	PCLA	*		
	<i>Pavona varians</i>	PVAR	*	*	
	<i>Pavona</i> sp.	PAsp	*		
	<i>Pocillopora capitata</i>	<b>PCAP</b>	*	*	*
	<i>Pocillopora damicornis</i>	<b>PDAM</b>	*	*	*
	<i>Pocillopora eydouxi</i>	<b>PEYD</b>	*	*	*
	<i>Pocillopora</i> sp.	POsp	*		
	<i>Psammocora stellata</i>	PSTE	*	*	*
ALGAS	GRUPO FUNCIONAL				
	Tapetes	<b>TALG</b>	*	*	*
	Calcáreas incrustantes	<b>EALG</b>	*	*	*
	Calcáreas erectas	CALG	*	*	*
	Frondosas	FALG	*	*	*
ESPONJAS	Incrustantes	ENSP		*	
SUSTRATO ABIÓTICO	TIPO DE SUSTRATO (Diámetro)				
	Arena (<4mm)	<b>SAND</b>	*	*	*
	Cascajo (4mm - 30cm)	<b>RUBB</b>	*	*	*
	Coral recién muerto	<b>DCOR</b>	*	*	*
	Cantos: (0.3 - 1m)	BOUL	*		
	Roca (>1m)	ROCK	*		
OTROS	Puntos no identificados	<b>NOID</b>	*		
	Vacíos	<b>GAP</b>			*

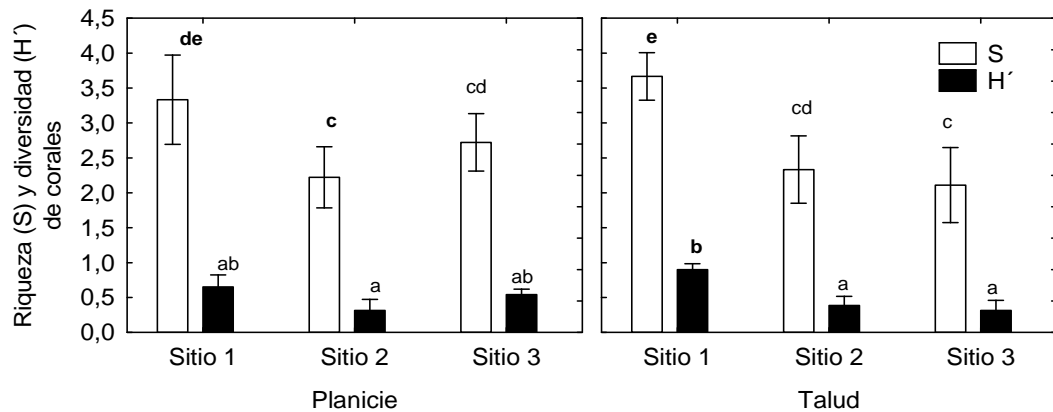
Encontramos diferencias significativas en la cobertura media de corales y algas y en los índices de riqueza y diversidad entre los sitios de muestreo ( $p=0,032$ ;  $p=0,011$ ;  $p=0,013$ ;  $p=0,003$ ; Anexos 2, 3, 5 y 6). Los porcentajes de cobertura de corales y algas fueron similares en los tres sitios del talud, pero variables en los sitios de la planicie. No se detectaron diferencias en la cobertura de sustrato abiótico entre los sitios evaluados (Figura 3).

La riqueza de especies de coral (S) se mantuvo entre dos y cuatro en los diferentes sitios de muestreo, mientras que la diversidad osciló entre 0,3 y 0,9. Un sitio de la planicie y uno del

talud presentaron los mayores valores para ambos índices (Figura 4).



**Figura 3:** Cobertura media de corales, algas y sustrato abiótico estimada en los sitios de muestreo. Las barras verticales indican intervalos de confiabilidad de 95% y las letras representan los grupos homogéneos (Tukey  $\alpha=0,05$ ).



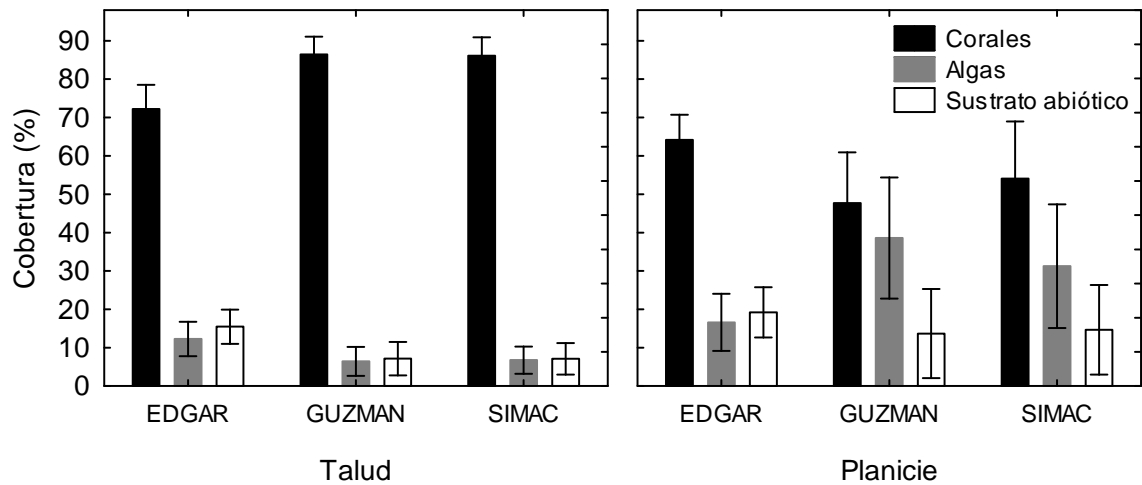
**Figura 4:** Riqueza y diversidad media de corales estimadas en los sitios de muestreo. Las barras verticales indican intervalos de confiabilidad de 95% y las letras representan los grupos homogéneos (Tukey  $\alpha=0,05$ ).

### 5.1. Comparabilidad de los métodos

#### *Estimación de coberturas:*

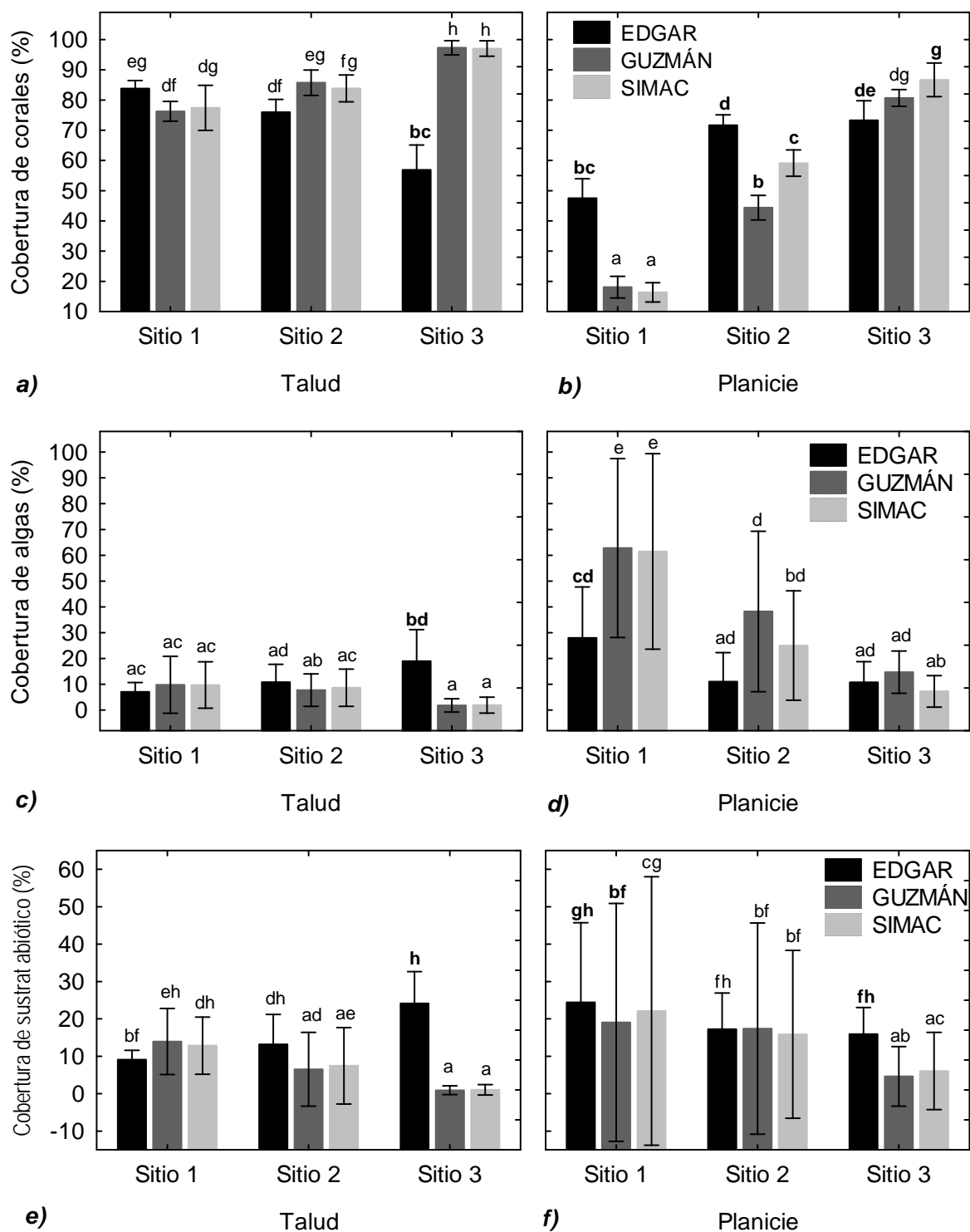
Encontramos variaciones de más del 10% en las coberturas de corales y algas estimadas con el método de Edgar y los métodos de Guzmán y del SIMAC en ambas zonas del

arrecife, pero estas diferencias no fueron estadísticamente significativas ( $p=0,89$ ;  $p=0,79$  respectivamente; Anexo 2 y 3). Tampoco hubo una interacción significativa entre método y zona ( $p=0,20$ ;  $p=0,06$ ) (Figura 5). Las diferencias entre las estimaciones realizadas con los tres métodos posiblemente no fueron detectadas por la gran variación de los datos colectados mediante los protocolos del SIMAC y de Guzmán en la planicie, debida a las diferencias en la cobertura de los diversos componentes del bentos entre los tres sitios en la zona (Figura 3).



**Figura 5:** Cobertura media de corales, algas y sustrato abiótico en las zonas del arrecife, obtenida con los métodos de Edgar, Guzmán y SIMAC. Las barras verticales indican intervalos de confiabilidad de 95%.

Dentro de los sitios de muestreo los métodos de monitoreo sí produjeron estimaciones de la cobertura significativamente diferentes, tanto para los corales como para las algas y el sustrato abiótico ( $p<0,001$ ;  $p=0,002$ ;  $p<0,001$  respectivamente, Anexos 2 a 4). La cobertura de corales y algas obtenida con el método de Edgar fue diferente a la obtenida con los protocolos de Guzmán y SIMAC en dos de los seis sitios evaluados (Figuras 6a a 6d).



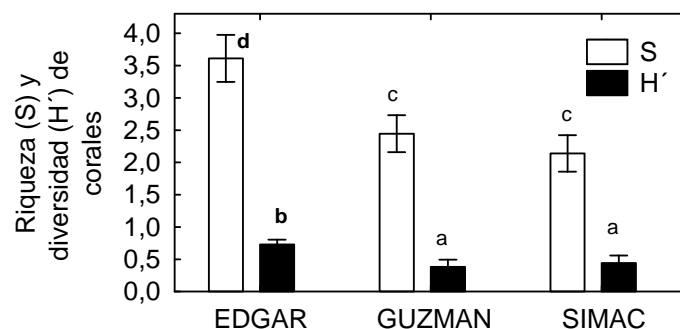
**Figura 6:** Cobertura promedio de a) y b) corales, c) y d) algas, e) y f) sustrato abiótico en los sitios de muestreo obtenida mediante los métodos de Edgar, Guzmán y SIMAC. Las barras verticales indican intervalos de confiabilidad de 95% y las letras los grupos homogéneos (Tukey  $\alpha=0,05$ ).

En uno de estos sitios (Sitio 3 del talud) la cobertura de corales estimada con el método de Edgar fue significativamente menor (Figura 6a) y la de algas mayor (Figura 6c), mientras que en el otro (Sitio 1 de la planicie) la cobertura de corales estimada con Edgar fue mayor (Figura 6b) y la de algas menor (Figura 6d). Para los corales, en otros dos sitios con todos los métodos, se produjeron estimaciones similares de la cobertura (Figura 6a) y en un sitio los tres métodos estimaron coberturas diferentes (Figura 6b). La estimación de la cobertura de algas fue similar para todos los tres métodos en los demás sitios (Figura 6b y 6c).

Las estimaciones de la cobertura de sustrato abiótico con cada uno de los métodos, al igual que las de las algas, presentaron mayor variabilidad dentro de los sitios que la estimación de la cobertura coralina (Figura 6). Aun así el porcentaje de sustrato abiótico obtenido con el método de Edgar fue significativamente mayor al obtenido con los métodos de Guzmán y del SIMAC en dos sitios (Sitio 3 del talud y de la planicie) (Figuras 6e y 6f). Un sitio presentó diferencias entre las estimaciones de cobertura obtenidas con el método de Edgar y el de Guzmán, pero ninguna de estas dos estimaciones se diferenció de la obtenida con el método del SIMAC (Figura 6f).

#### *Índices de riqueza y diversidad:*

La riqueza y diversidad de corales estimadas fueron diferentes dependiendo de los métodos empleados ( $p=0,021$  y  $p=0,03$ , respectivamente; Anexos 5 y 6).

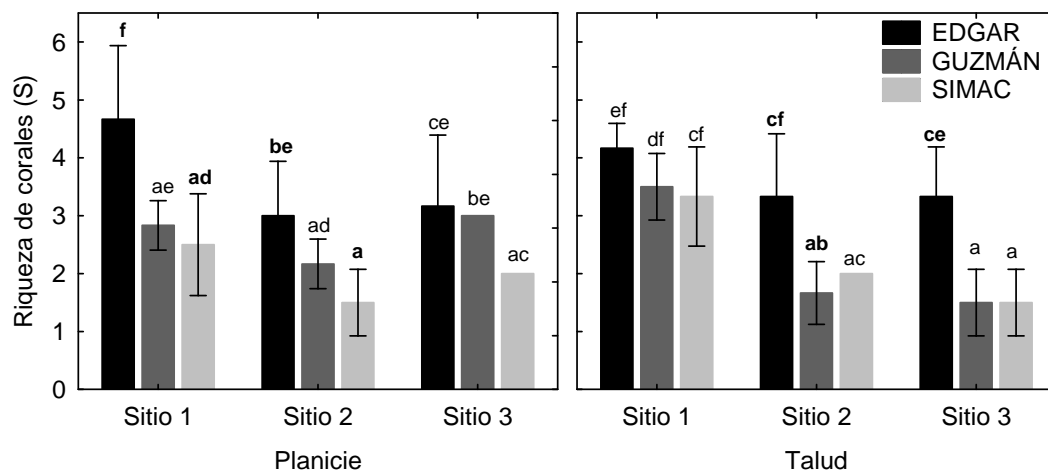


**Figura 7:** Riqueza (S) y diversidad (H') media de corales, obtenidas con los métodos de Edgar, Guzmán y SIMAC. Las barras verticales indican intervalos de confiabilidad del 95% y las letras los grupos homogéneos (Tukey  $\alpha=0,05$ ).



El método de Edgar produjo valores más altos para estos dos índices que los métodos de Guzmán y del SIMAC, mientras que las diferencias entre los índices calculados con estos dos métodos no fueron significativas (Figura 7).

El efecto de los métodos sobre la riqueza de corales también fue significativo dentro de los sitios de muestreo ( $p=0,04$ ; Anexo 5). Estimamos una mayor riqueza con el método de Edgar que con el de Guzmán y el del SIMAC en dos sitios (Planicie 1 y Talud 3), en un sitio la riqueza estimada con el método de Edgar fue mayor a la estimada con método del SIMAC (Planicie 2) y en un sitio mayor a la estimada con el de Guzmán (Talud 2). En los demás sitios la riqueza estimada con todos los métodos fue similar (Figura 8).



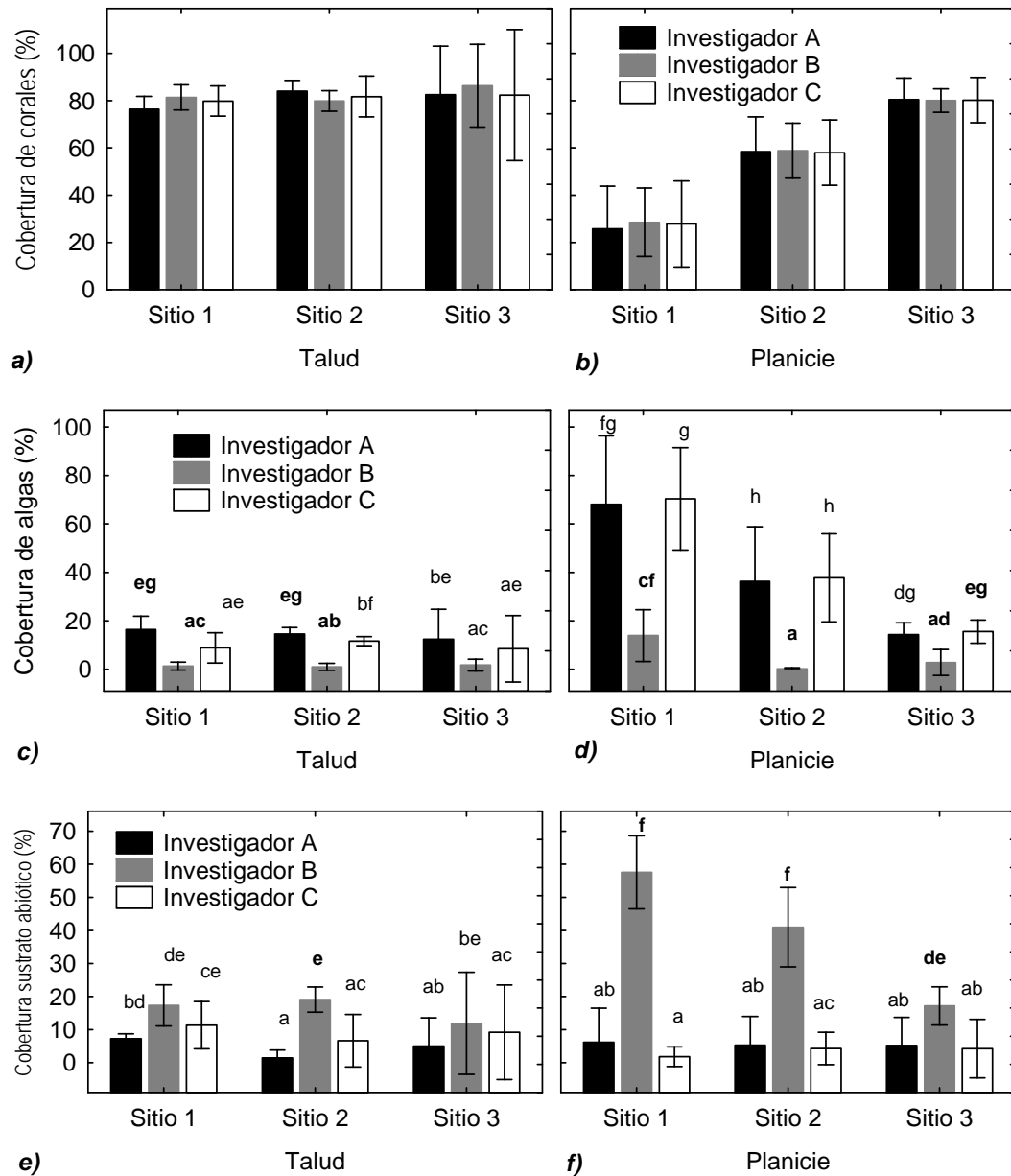
**Figura 8:** Riqueza media de corales (S) dentro de los sitios de muestreo obtenida mediante los métodos de Edgar, Guzmán y SIMAC. Las barras verticales indican intervalos de confiabilidad del 95% y las letras los grupos homogéneos (Tukey  $\alpha=0,05$ ).

Por el contrario, el efecto de los métodos sobre la diversidad de corales estimada no fue significativo dentro de los sitios de muestreo ( $p=0,086$ ; Anexo 6).

## 5.2. Reproducibilidad

La cobertura de coral estimada no difirió entre investigadores dentro de los sitios evaluados ( $p=0,28$ ; Anexo 2) (Figuras 9a y 9b), ni entre investigadores usando cada uno de los métodos dentro de los sitios ( $p=0,27$ ). En contraste, la cobertura de algas y de sustrato

abiótico estimada por los investigadores dentro de los sitios sí mostró diferencias significativas ( $p=0,023$  y  $p<0,001$  respectivamente; Anexos 3 y 4), ya que un investigador (B) siempre estimó coberturas menores de algas y mayores de sustrato abiótico en comparación con los otros dos (Figuras 9c a 9f).



**Figura 9:** Cobertura promedio de a) y b) corales, c) y d) algas, e) y f) sustrato abiótico en los sitios de muestreo obtenida por cada investigador (A, B y C). Las barras verticales indican intervalos de confiabilidad de 95% y las letras los grupos homogéneos (Tukey  $\alpha=0,05$ ).

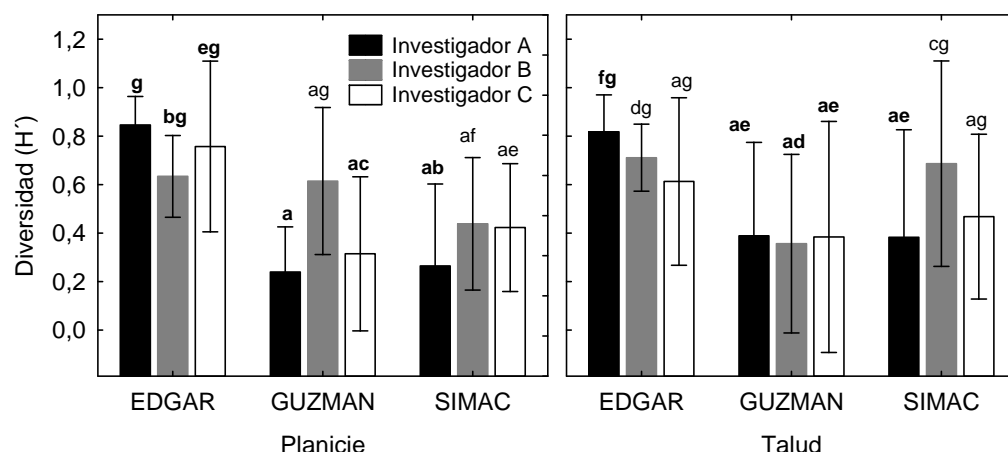
El efecto de los investigadores sobre los porcentajes de algas y sustrato inerte estimados fue más fuerte en la planicie, especialmente en los sitios donde la cobertura de corales fue menor (Sitios 1 y 2). En estos sitios las estimaciones de la cobertura de algas y sustrato alcanzaron a diferir en más del 30% entre los investigadores (Figuras 9d y 9f).

Para el caso de las algas la interacción entre zona e investigador fue significativa ( $p=0,045$ ; Anexos 3 y 7), así como la interacción entre todos los factores: sitio anidado en zona, investigador y método ( $p=0,004$ ; anexos 3 y 8). En el caso del sustrato estas interacciones no tuvieron efectos significativos ( $p=0,062$   $p=0,216$  respectivamente; Anexo 4), pero sí fue significativo el efecto del investigador y la zona en interacción con el método ( $p=0,001$ ; anexo 4), ya que las estimaciones de un investigador (B) fueron significativamente mayores a las estimaciones de los otros investigadores, pero especialmente en la planicie o cuando se empleó el método de Edgar (Anexo 9).

La estimación de la diversidad de corales difirió significativamente con la interacción entre los investigadores, la zona y el método de monitoreo ( $p=0,031$ ). En la planicie dos investigadores (A y C) estimaron diversidades más altas cuando usaron el método de Edgar que las que estimaron cuando usaron los métodos de Guzmán y del SIMAC. Las estimaciones del tercer investigador (B) fueron similares con los tres métodos. En el Talud la diversidad obtenida con el método de Guzmán por los tres investigadores fue significativamente menor que la obtenida por un investigador (A) cuando empleó el método de Edgar (Figura 10).

### **5.3. Repetibilidad**

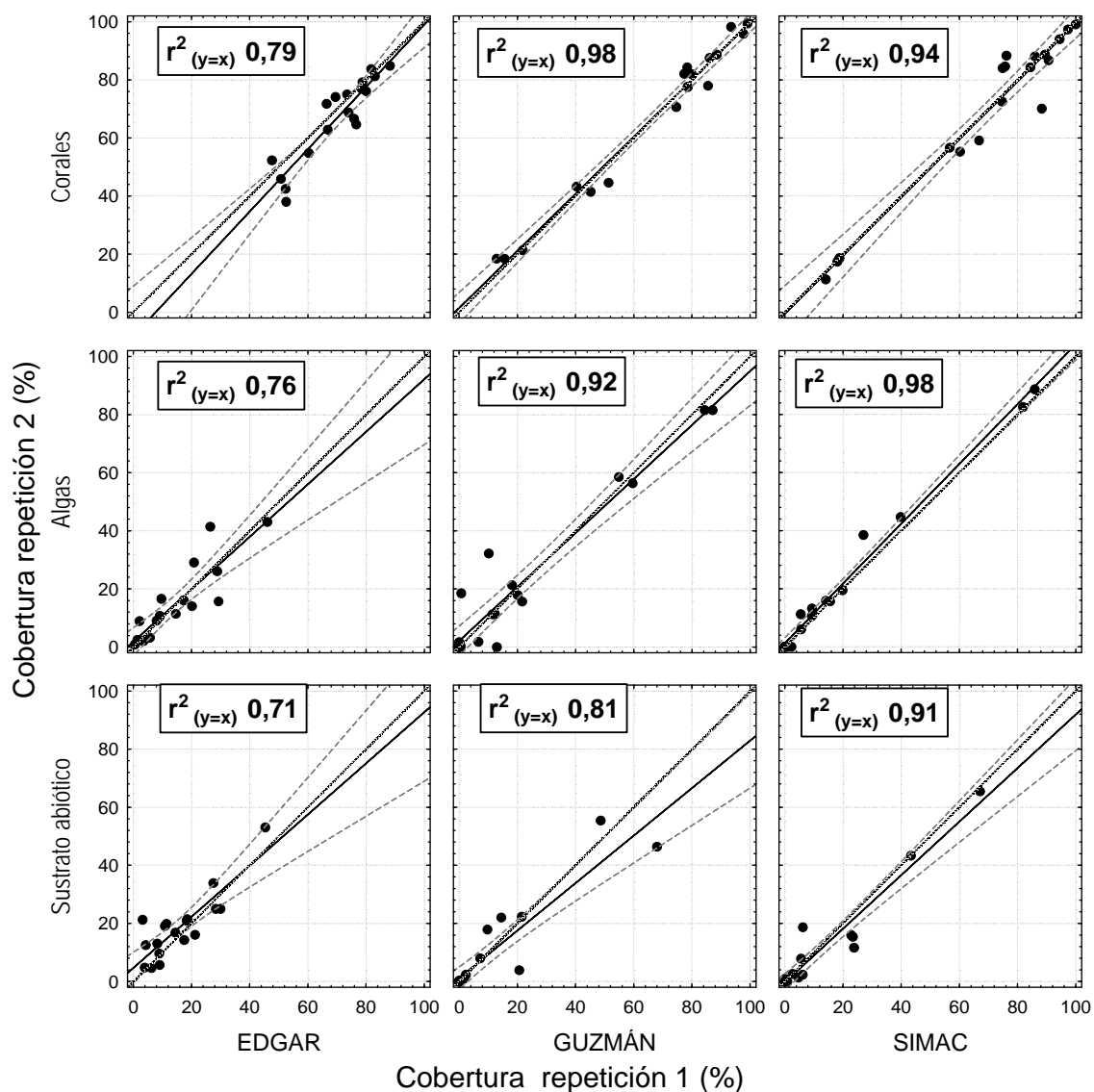
En la estimación de las categorías generales (coral, algas y sustrato abiótico) la repetibilidad dentro de los investigadores fue mayor con el método del SIMAC, cuyas repeticiones se ajustaron bien al modelo  $Y = X$  ( $r^2$  entre el 91 y el 98%), le siguió el método de Guzmán con  $r^2$  entre el 81 y el 98% y el de Edgar con  $r^2$  entre el 71 y 79% (Figura 11).



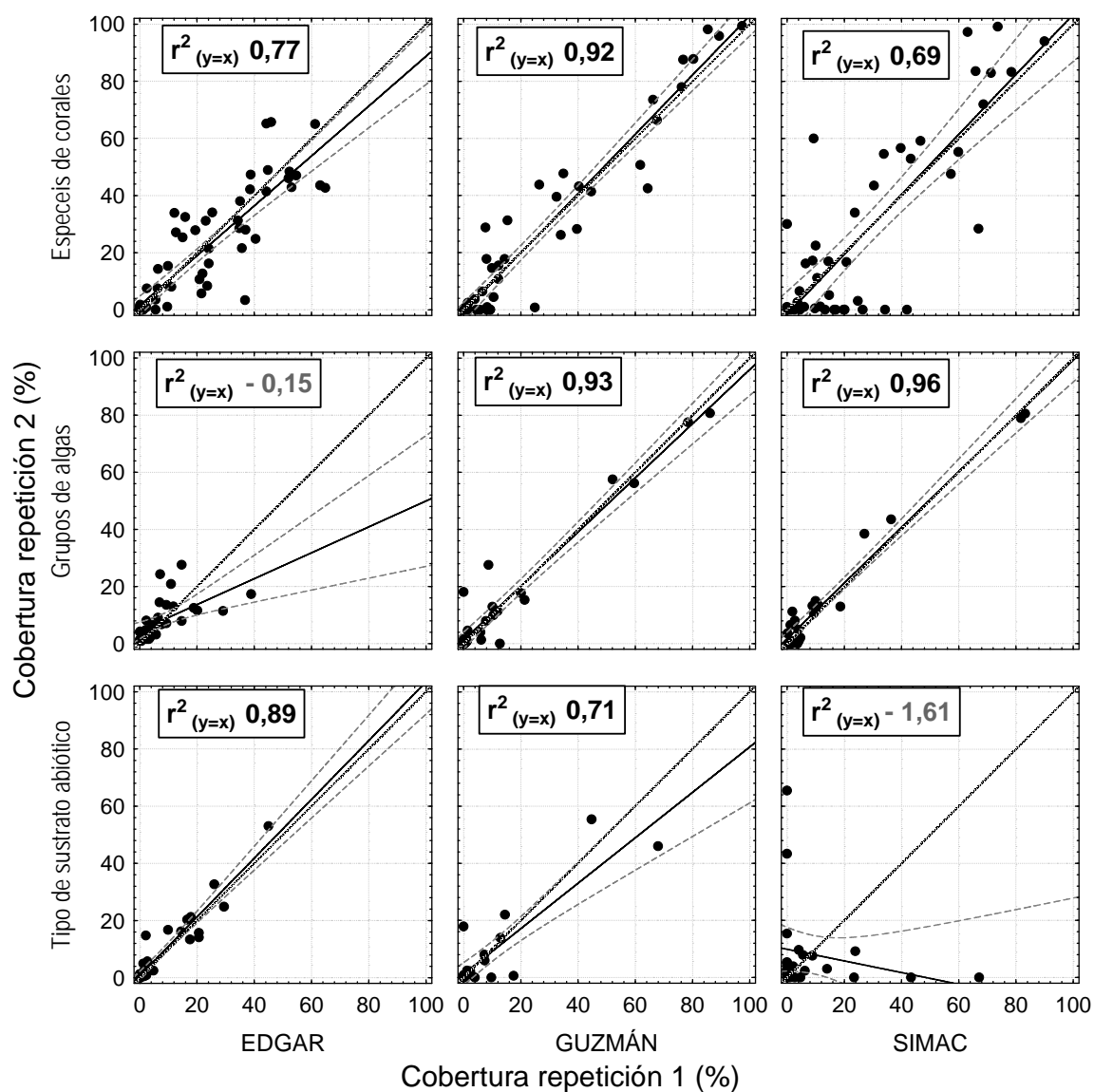
**Figura 10:** Diversidad media de corales ( $H'$ ) dentro de las zonas, obtenida con los métodos de Edgar, Guzmán y SIMAC. Las barras verticales indican intervalos de confiabilidad del 95% y las letras los grupos homogéneos (Tukey  $\alpha=0,05$ ).

A un nivel de mayor resolución, en la estimación de las subcategorías (especies de coral, grupos de algas y tipos de sustrato abiótico) la repetibilidad dentro de los investigadores fue mayor con el método de Guzmán, cuyas repeticiones se ajustaron relativamente bien al modelo  $Y = X$  ( $r^2$  entre el 71 y el 93%). El método de Edgar produjo estimaciones repetibles de sustrato abiótico ( $r^2 = 89\%$ ) y especies de coral ( $r^2 = 77\%$ ), pero su repetibilidad en la estimación de los grupos de algas fue muy mala ( $r^2 < 0$ ). El método del SIMAC tuvo una buena repetibilidad en la estimación de las algas ( $r^2 = 96\%$ ), moderada en la de las especies de coral ( $r^2 = 69\%$ ) y muy mala para los tipos de sustrato abiótico ( $r^2 < 0$ , Figura 12).

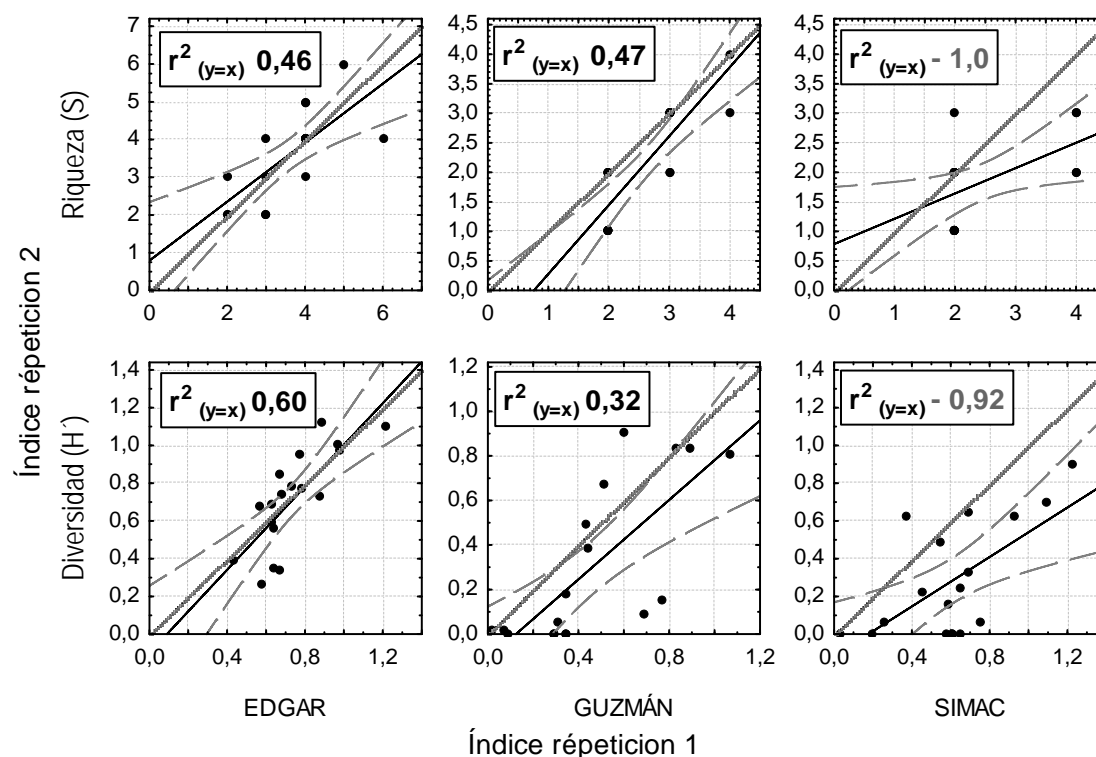
La repetibilidad entre investigadores en la estimación de los índices de riqueza y diversidad fue baja con todos los métodos. El método de Edgar tuvo la mayor repetibilidad ajustándose al modelo en un 46% y el 60%, respectivamente. El método de Guzmán le siguió con repetibilidades menores al 50% para ambos índices, mientras que el ajuste del método del SIMAC siempre fue menor a cero (Figura 13).



**Figura 11:** Repetibilidad entre investigadores de los métodos de Edgar, Guzmán y SIMAC en la estimación de las coberturas de corales, algas y sustrato abiótico. Los puntos negros representan los valores de cada categoría en las dos repeticiones, la línea negra la recta de mejor ajuste a los datos, las líneas discontinuas bandas de confiabilidad del 95%, y la línea punteada la recta del modelo  $X=Y$ .



**Figura 12:** Repetibilidad entre investigadores de los métodos de Edgar, Guzmán y SIMAC, en la estimación de la cobertura de especies de corales, grupos de algas y tipos de sustrato abiótico. Los puntos negros representan los valores de cada categoría en las dos repeticiones, la línea negra la recta de mejor ajuste a los datos, las líneas discontinuas bandas de confiabilidad del 95%, y la línea punteada la recta del modelo  $X=Y$ .

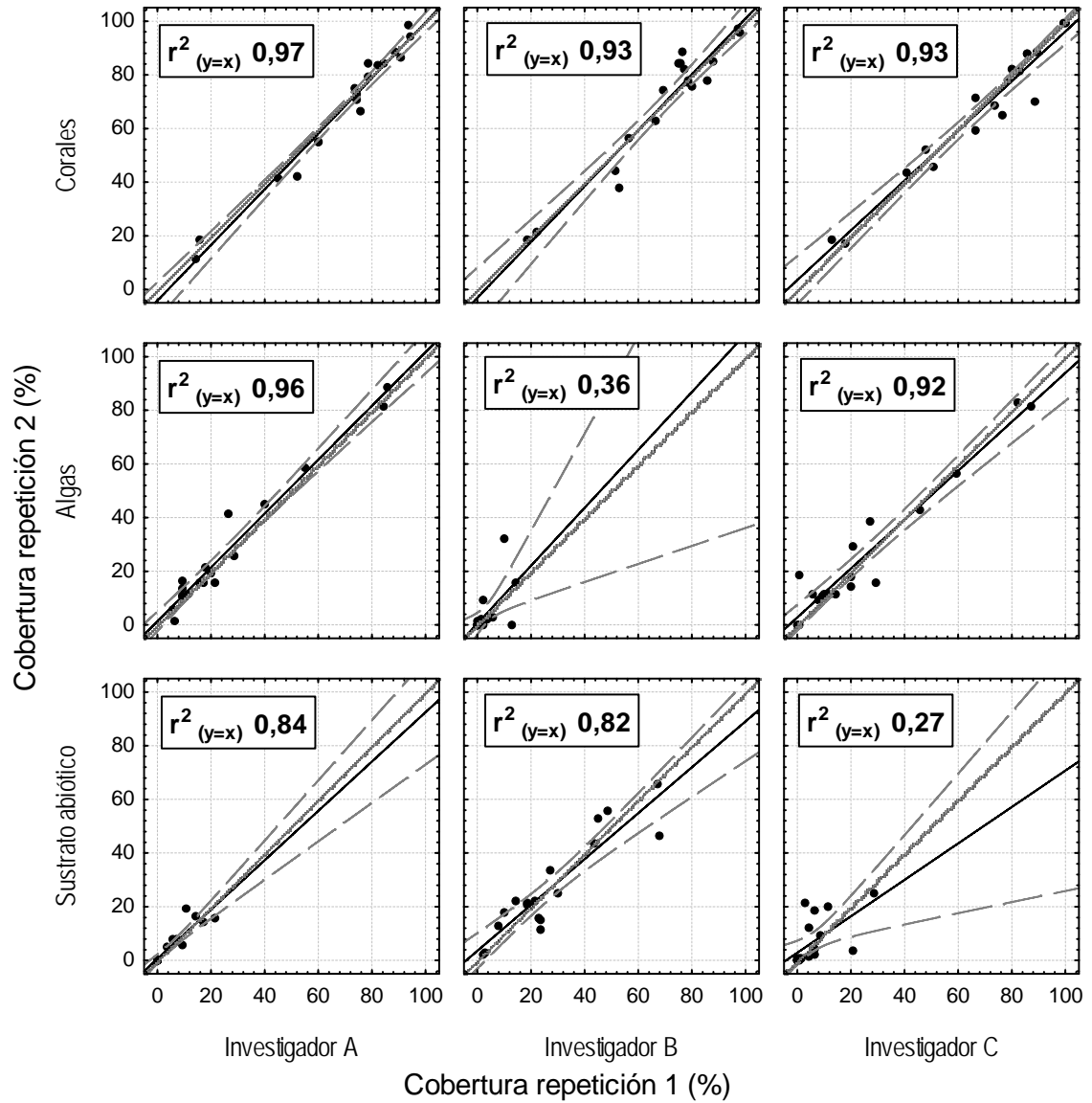


**Figura 13:** Repetibilidad entre investigadores de los métodos de Edgar, Guzmán y SIMAC, en la estimación de los índices de riqueza y diversidad de corales. Los puntos negros representan los valores de cada categoría en las dos repeticiones, la línea negra la recta de mejor ajuste a los datos, las líneas discontinuas bandas de confiabilidad del 95%, y la línea punteada la recta del modelo  $X=Y$ .

La repetibilidad dentro de los investigadores en la estimación de las categorías generales, independientemente del método que emplearon, fue alta en la estimación de la cobertura de corales (93% - 97%), pero variable en la estimación de las algas y sustrato abiótico, ya que algunos investigadores fueron relativamente consistentes en sus estimaciones (84% - 96%), pero otros tuvieron ajustes al modelo menores al 40% (Figura 14).

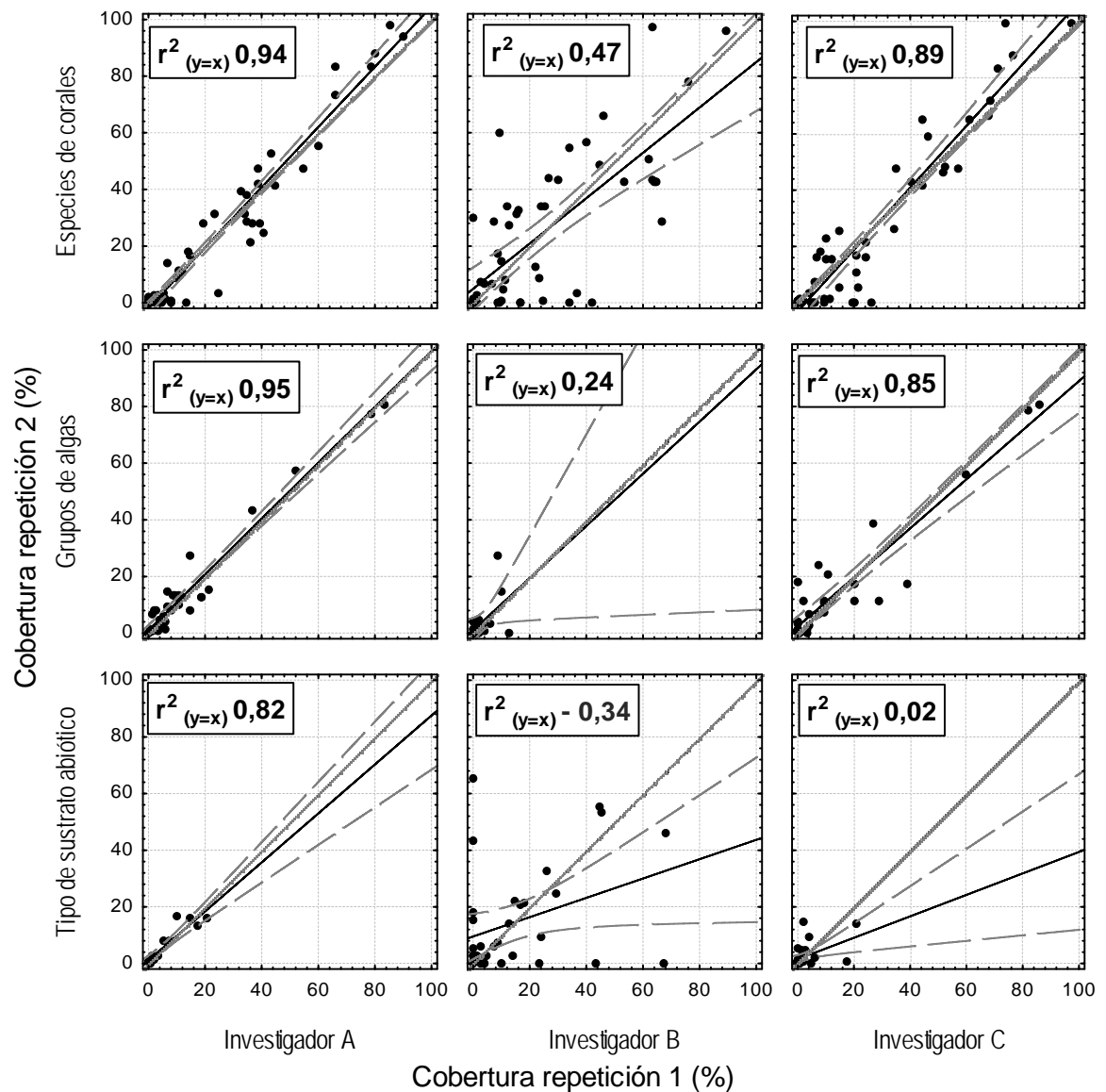
Para las subcategorías, la repetibilidad dentro de los investigadores con todos los métodos fue baja. Algunos investigadores mostraron altas repetibilidades en la estimación de todas las subcategorías (82% - 95%), pero en otros el ajuste al modelo  $Y = X$  fue  $< 50\%$  en la estimación de los corales al nivel de especies y de 2% en la estimación de los diferentes

tipos de sustrato (Figura 15).



**Figura 14:** Repetibilidad de cada investigador usando todos los métodos en la estimación de la cobertura de corales, algas y sustrato abiótico. Los puntos negros representan los valores de cada categoría en las dos repeticiones, la línea negra la recta de mejor ajuste a los datos, las líneas discontinuas bandas de confiabilidad del 95%, y la línea punteada la recta del modelo X=Y.





**Figura 15:** Repetibilidad de cada investigador usando todos los métodos en la estimación de la cobertura de especies de corales, grupos de algas y tipos de sustrato abiótico. Los puntos negros representan los valores de cada categoría en las dos repeticiones, la línea negra la recta de mejor ajuste a los datos, las líneas discontinuas bandas de confiabilidad del 95%, y la línea punteada la recta del modelo  $X=Y$ .

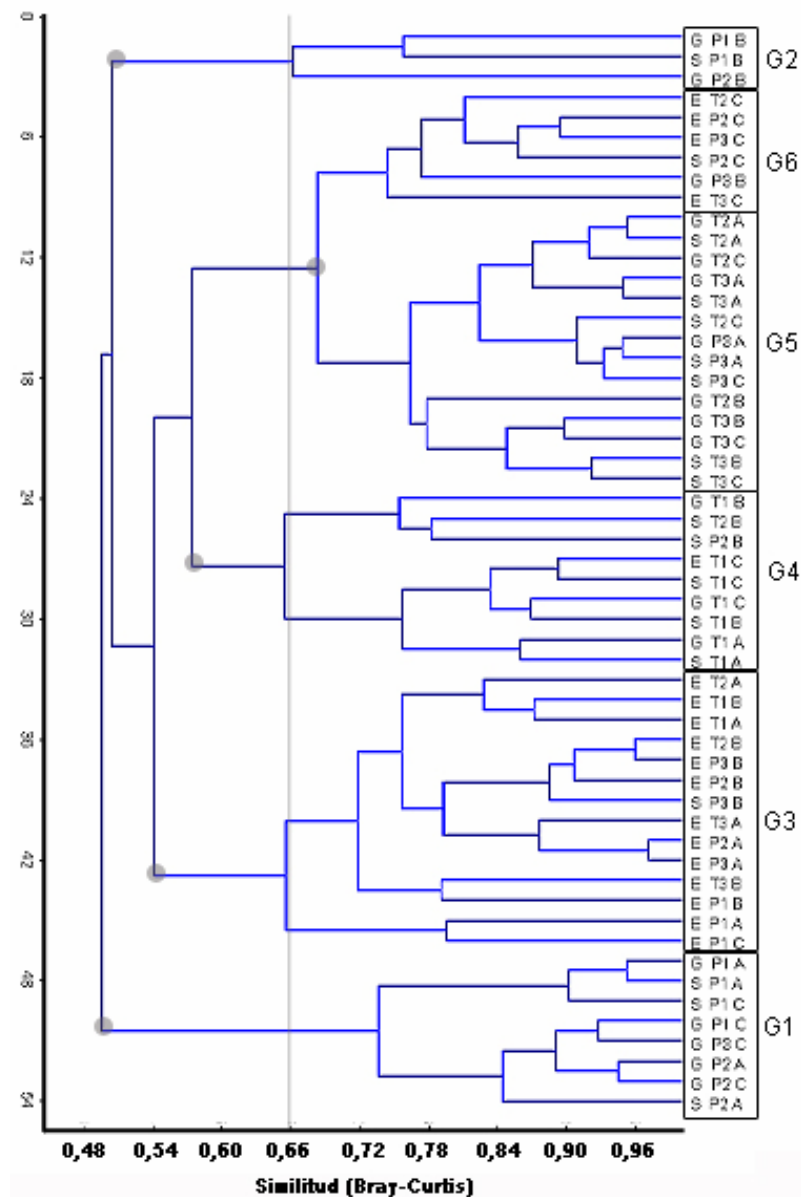
#### *Análisis de clasificación:*

El análisis de clasificación reveló la presencia de seis grupos de transectos (de similitudes menores al 66%), definidos en gran parte por el método e investigador, lo que demuestra

que el efecto de estos factores es notable también en la descripción de la comunidad béntica en su conjunto (examinada a través de la cobertura de las especie de coral, grupos funcionales de algas y tipos de sustrato abiótico). Los transectos antes que agruparse por los sitios de muestreo lo hicieron por los métodos (por un lado Edgar y por otro Guzmán y SIMAC). Los casos más notables de esto se observan en los grupos G5 y G3. Adicionalmente, hubo una tendencia a agruparse por investigadores en interacción con los métodos: por un lado los investigadores A y C usando los métodos de GUZMAN y SIMAC (G1), y por otro los Investigadores A y B usando el método de Edgar (G3 y G6) (Figura 16).

El grupo de mayor similitud fue el G5, e incluye transectos realizados en varios sitios de ambas zonas del arrecife con los métodos del SIMAC y de Guzmán por los todos los investigadores. Le sigue el grupo G6 que reúne principalmente transectos realizados por un investigador (C) cuando usó el método de Edgar, aunque incluye también dos transectos realizados con los métodos de Guzmán y SIMAC (Figura 16). Posteriormente se agrupan los transectos del grupo G1 que incluye los transectos realizados en los sitios uno y dos de la planicie (que son los de menor cobertura coralina) realizados por dos investigadores (A y C) cuando usaron los métodos del SIMAC y de Guzmán, mientras que el siguiente grupo (G2) estuvo compuesto por los transectos realizados en los mismos sitios que los del G1, con los mismos métodos, pero por el otro investigador (B) (Figura 16).

Finalmente se agrupan los transectos que componen los grupos G3 y G4, con similitudes cercanas al 66%. En el G3 se incluyen transectos realizados en todos los sitios principalmente por dos investigadores (A y B excepto un transecto realizado por C) cuando usaron el método de Edgar. Mientras que en el grupo G4 incluye los transectos realizados en el sitio 1 del talud (caracterizado por la mayor abundancia de la especie *P. eydouxy*), principalmente con los métodos del SIMAC y de Guzmán, por los tres investigadores. Aunque este grupo es el único que parece estar definido por el sitio, no incluye todos los transectos realizados con el método de Edgar en este sitio e incluye dos transectos de sitios diferentes (Figura 16).

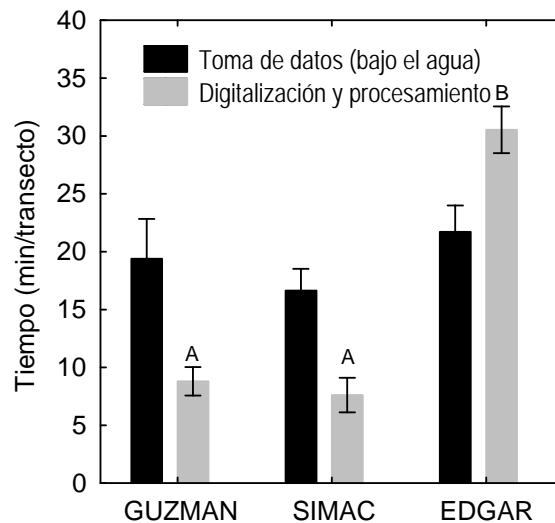


**Figura 16:** Clasificación de los transectos a partir de la cobertura de especies de corales, grupos de algas y tipos de sustrato abiótico; obtenida mediante el índice de similitud de de Bray-Curtis y el algoritmo de UPGMA. Cada transecto está nombrado por el método empleado (E: Edgar; G: Guzmán; S: SIMAC), la zona (P: planicie; T: talud), el sitio (1, 2 o 3) y el investigador (A, B o C).

## 5.4. Eficiencia

### *Tiempo para la implementación*

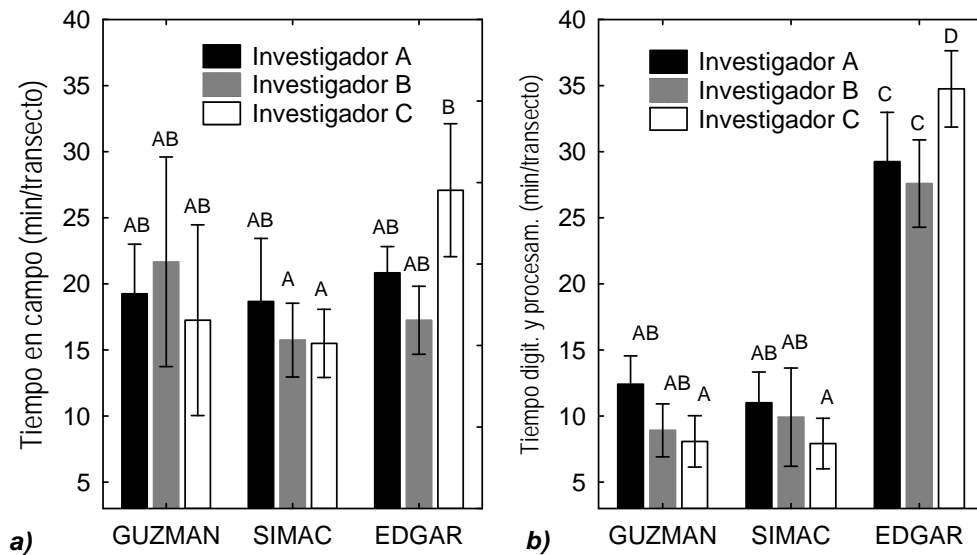
Aunque las diferencias no fueron significativas, el tiempo promedio en minutos requerido para tomar los datos de un transecto bajo el agua fue un poco mayor en cuando usamos el método de Edgar ( $21,72 \pm 1,12$  min) que el Guzmán ( $19,39 \pm 1,70$  min) y el del SIMAC ( $16,64 \pm 0,93$  min). Sin embargo, la mayor diferencia en el tiempo necesario para implementar cada protocolo se dio en la digitalización y procesamiento de los datos ( $p < 0,001$ ; Anexo 11), ya que necesitamos más del doble del tiempo para completar el análisis de los datos de un transecto con el método de Edgar ( $30,53 \pm 0,99$  min) que con el de Guzmán ( $9,81 \pm 0,61$  min) y el del SIMAC ( $9,61 \pm 0,74$  min) (Figura 17).



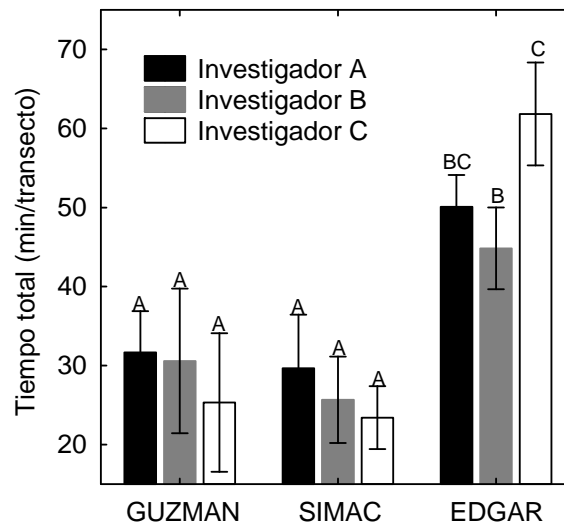
**Figura 17:** Tiempo medio requerido por transecto para tomar los datos en campo y para digitalizar y procesar la información con los métodos de Edgar, Guzmán y SIMAC. Las barras verticales indican intervalos de confiabilidad del 95% y las letras los grupos homogéneos (Tukey  $\alpha=0,05$ ).

La interacción entre investigador y método fue significativa en el tiempo requerido tanto para tomar los datos de un transecto bajo el agua ( $p=0,04$ ; Anexo 10) como para procesarlos ( $p=0,003$ , Anexo 11). Uno de los investigadores (C) se tardó más en tomar, digitalizar y procesar los datos de los transectos de Edgar en comparación con el tiempo

que los otros dos investigadores se tardaron (Figuras 18a y 18b).



**Figura 18:** Tiempo medio invertido por los investigadores para a) tomar los datos de un transecto en campo, b) digitalizarlos y procesarlos, con los métodos de Edgar, Guzmán y SIMAC. Las barras verticales indican intervalos de confiabilidad del 95% y las letras los grupos homogéneos (Tukey  $\alpha=0,05$ ).



**Figura 19:** Tiempo medio invertido por los investigadores para realizar completamente un transecto (tomar, digitalizar y procesar los datos) con los métodos de Edgar, Guzmán SIMAC. Las barras verticales indican intervalos de confiabilidad del 95% y las letras los grupos homogéneos (Tukey  $\alpha=0,05$ ).

Al considerar el tiempo total requerido para la realización de un transecto, tanto para tomar los datos en campo como para digitalizarlos y procesarlos, el efecto del método y la interacción entre el método e investigador siguen siendo significativos ( $p=0,011$  y  $p=0,011$ ; Anexo 12). Siempre tardamos mayor tiempo para realizar los transectos con el método de Edgar, pero los investigadores se tomaron tiempos significativamente diferentes (más de 10 min por transecto) en su aplicación (Figura 19).

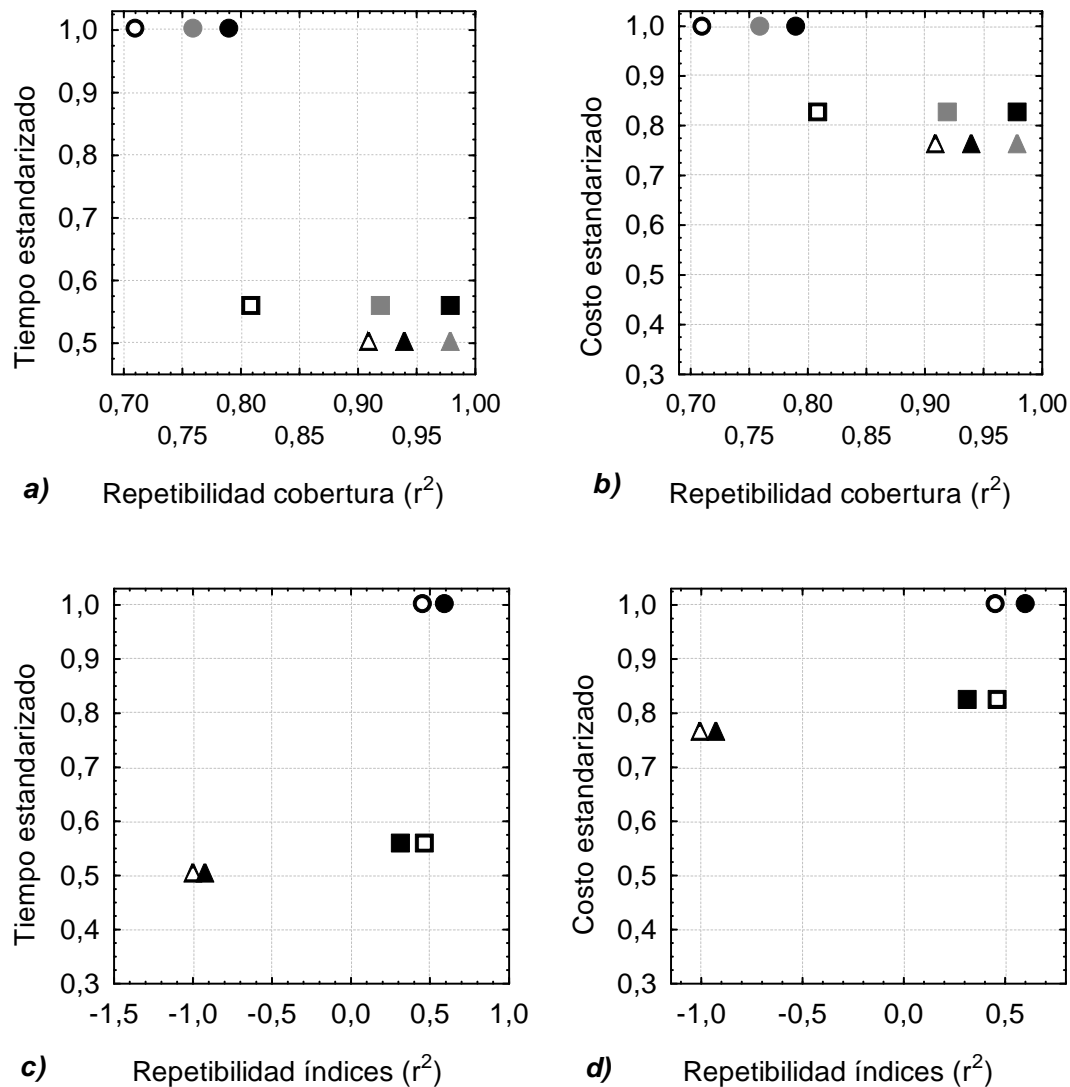
### *Recursos para la implementación*

Se requirieron más recursos para implementar el método de Edgar, principalmente porque en los gastos de inversión inicial hay que contar con una buena cámara fotográfica con cubierta subacuática para tomar las fotos en campo, mientras que la inversión inicial en materiales y equipos para la implementación de los métodos de Guzmán y del SIMAC son similares. Así mismo, los gastos en personal fueron mayores con el método de Edgar, pues este requiere mayor tiempo tanto en campo, pero sobretodo para el análisis de las imágenes en el laboratorio lo que aproximadamente duplica la inversión en personal. Finalmente, las inversiones periódicas que hay que realizar cada vez que se va a implementar el programa de monitoreo en campo fueron mayores con el método del SIMAC que con el de Edgar y el de Guzmán (Anexo 13).

### *Eficiencia*

La relación entre los costos tanto en tiempo (estandarizado respecto a la duración promedio del método que más tiempo requirió para la realización de un transecto) como en dinero (estandarizado con el costo más alto por transecto entre los tres métodos, calculado a un programa de 20 monitoreos; Anexo 13) necesarios para la implementación de un programa de monitoreo indican que el método del SIMAC es el más eficiente en el uso del tiempo y los recursos produciendo valores más repetibles de la cobertura de algas, corales y sustrato abiótico con un menor costo. El método de Guzmán requirió un poco más de tiempo y dinero para su implementación, pero también tuvo estimaciones de la cobertura de coral

más replicables que el método del SIMAC. El método de Edgar fue el menos eficiente, con mayor tiempo y dinero requerido para su implementación y a su vez menor repetibilidad en todas las coberturas estimadas del bentos, pero con mayores repetibilidades en los índices de riqueza y diversidad (Figura 20).



**Figura 20:** Eficiencia de los métodos en relación al tiempo y los costos estandarizados necesarios para completar un transecto (Círculos: Edgar, Cuadrados: Guzmán, Triángulos: SIMAC). a) Tiempo y b) costos versus repetibilidad de cada método en la estimación de las coberturas de corales (figuras negras) algas (figuras grises) y sustrato abiótico (figuras blancas). c) Tiempo y b) costos) versus la repetibilidad de cada método en la estimación de la riqueza (figuras blancas) y la diversidad (figuras negras).

### **5.5. Otras ventajas y desventajas**

Los resultados sobre la comparabilidad, repetibilidad y costos relativos de los métodos se resumen en la tabla 2. Además de estos aspectos, en este trabajo notamos otros factores que pueden ser importantes a la hora de escoger un protocolo para el monitoreo de los arrecifes de coral. Por un lado, observamos que con los protocolos del SIMAC y de Guzmán en ocasiones se causa daño a los corales ramificados (que son el tipo dominante en nuestra zona de estudio) al mover los cuadrantes y las cadenas, mientras que con el método de Edgar no existe este riesgo.

Así mismo, en nivel de dificultad del trabajo en campo fue diferente, lo que en la implementación de un programa de monitoreo puede determinar el tipo de personal necesario para adelantar el trabajo de campo. El método de Edgar requiere cierta práctica en el manejo de la cámara bajo el agua para lograr que las fotos queden correctamente posicionadas, pero no requiere ningún conocimiento sobre las especies de coral ni las demás categorías del sustrato durante el trabajo de campo (este conocimiento sí es necesario para el análisis de las imágenes en el laboratorio). El método del SIMAC requiere conocer las especies y demás categorías del sustrato para realizar su identificación en campo, así como un buen entrenamiento en la manera de ubicar y leer la cadena, ya que los errores en este sentido afectan fuertemente las mediciones realizadas. Finalmente, el método de Guzmán sólo requiere conocer las especies de coral y demás categorías del bentos a identificar, pues su procedimiento bajo el agua es muy sencillo.



**Tabla 2:** Comparabilidad, repetibilidad y costos relativos de los métodos de Edgar, Guzmán y SIMAC.

		<b>EDGAR</b> (puntos sobre Fotoculadrantes)	<b>GUZMÁN</b> (Estimación visual con cuadrantes)	<b>SIMAC</b> (transecto lineal con cadena)
<b>COMPARABILIDAD</b>		No comparable con los otros dos métodos	Comparable con el método del SIMAC	Comparable con el método de Guzmán
<b>Cobertura de corales</b>		Variable en comparación con los otros dos métodos	Similar a la obtenida con el método del SIMAC	Similar a la con el método de Guzmán
<b>Cobertura de algas</b>		Menor en comparación con los otros dos métodos	Similar a la obtenida con el método del SIMAC	Similar a la con el método de Guzmán
<b>Cobertura de sustrato abiótico</b>		Mayor en comparación con los otros dos métodos	Similar a la obtenida con el método del SIMAC	Similar a la con el método de Guzmán
<b>Riqueza y diversidad</b>		Mayor en comparación con los otros dos métodos	Similar a la obtenida con el método del SIMAC	Similar a la con el método de Guzmán
<b>REPETIBILIDAD</b>	<b>Categorías generales</b>	Menor	Media	Mayor
	<b>sub-categorías</b>	Menor	Mayor	Menor
	<b>Riqueza y diversidad</b>	Mayor	Media	Menor
<b>COSTO</b>		Mayor	Medio	Levemente Menor
<b>Tiempo</b>	<b>Trabajo en campo</b>	Levemente mayor	Medio	Levemente Menor
	<b>Trabajo en laboratorio</b>	Significativamente mayor	Levemente mayor	Menor
<b>Recursos</b>	<b>Inversión inicial</b>	Significativamente mayor	Levemente mayor	Menor
	<b>Inversiones periódicas</b>	Menor	Mayor	Medio
	<b>Personal</b>	Significativamente mayor	Levemente mayor	Menor
<b>OTROS</b>	<b>Dificultad trabajo en campo</b>	Mínima preparación para tomar las fotos. No requiere identificación de especies	Requiere identificación de especies	Buena preparación para posicionar y leer la cadena. Requiere identificación de especies.
	<b>Daño al arrecife</b>	Ninguno	Medio En corales ramificados se produce algún daño con las cuerdas de la cuadrícula	Mayor En corales ramificados se produce algún daño con las cadenas

## 6. DISCUSIÓN

### Comparabilidad de los métodos

Nuestros resultados, tanto al nivel de la evaluación individual de la cobertura de corales, algas y sustrato abiótico y de la riqueza y diversidad de especies de corales, como al nivel de la evaluación de la comunidad béntica en su conjunto (a partir de la similitud entre transectos) revelan que con el método de Edgar pueden estimarse valores para estas variables que difieren significativamente de los estimados con los métodos de Guzmán y del SIMAC, mientras que estos dos últimos métodos producen en un mismo sitio resultados muy similares.

Esto indica que la información sobre la composición y abundancia del bentos obtenida a partir de datos colectados con los métodos de Guzmán y del SIMAC puede ser fácilmente comparable, mientras que los datos obtenidos con el método de Edgar no deben ser comparados con los obtenidos mediante los otros dos protocolos, por lo menos no sin tener en cuenta que se corre el riesgo de detectar cambios en las variables estudiadas que no necesariamente reflejan diferencias en el estado de la comunidad béntica, sino que se deben a las discrepancias en el funcionamiento de cada método.

Dethier *et al.* (1993) encontraron en la comparación de un método basado en el muestreo de puntos (similar al de Edgar) y uno basado en estimaciones visuales (similar al de Guzmán) que el método basado en puntos tiende a obtener mayor cobertura de corales. Sin embargo, en este trabajo las estimaciones de cobertura de coral realizadas con el método de Edgar fueron en ocasiones menores y en ocasiones mayores en comparación con los otros dos métodos de monitoreo. Este resultado sugiere que (comparativamente) no hay un sesgo consistente del método de Edgar hacia la estimación de mayores o menores coberturas de coral respecto a las estimaciones con cadena del método del SIMAC o a las estimaciones

visuales con cuadrantes del método de Guzmán. Más bien, con el método de Edgar se obtienen estimaciones diferentes a las de los otros dos métodos posiblemente porque el arreglo de sus transectos difiere mucho del arreglo de los transectos de los métodos de Guzmán y del SIMAC. Así, las diferencias en los estimativos obtenidos con el método de Edgar pueden deberse a que sus transectos se extienden una mayor distancia (50m) a lo largo del arrecife en comparación con los transectos de Guzmán y del SIMAC que son de igual longitud (10m). En muchos sitios de muestreo la composición del bentos cambió drásticamente por fuera de los 10 m incluidos en los transectos de Guzmán y del SIMAC y estos cambios sólo se reflejaron en la información colectada con el método de Edgar (especialmente en los sitios 1 y 2 de la planicie y 3 del talud). A diferencia de nuestro trabajo, en el trabajo de Dethier *et al.* (1993) ambos métodos se aplicaban en transectos de igual longitud, lo que puede explicar la discrepancia entre nuestros resultados y los de estos autores.

Aunque la estimación de la cobertura coralina no presentó un sesgo consistente dentro de los métodos que difirieron en su estimación, las estimaciones de algas fueron de manera consistente más bajas y las de sustrato abiótico más altas, cuando se realizaron con el método de Edgar en comparación con los otros dos métodos. Esta tendencia probablemente se relaciona con las dificultades inherentes al método de Edgar para identificar en las fotos a las algas de tapete o incrustantes que comúnmente crecen sobre el sustrato abiótico. Aunque no determinaron si hubo diferencias estadísticamente significativas, Rogers y Miller (2001) reportaron tendencias inversas a las observadas en nuestro estudio en su comparación de un método basado en video-transectos sobre los que muestrearon puntos (similar al de Edgar). El método del video-transecto obtuvo de manera consistente menores valores de sustrato abiótico y mayores de algas de tapete que un método basado en transectos con cadena (similar al del SIMAC). Sin embargo, la presencia de organismos como macroalgas, gorgonias y esponjas casi totalmente ausentes en nuestra área de muestreo y abundantes en el sitio de trabajo de estos autores pueden influir en las diferencias con nuestros resultados, ya que por ejemplo Rogers y Miller (2001) plantearon la posibilidad de que las algas frondosas estuvieran siendo reportadas como algas de tapete

en su trabajo cuando se tomaban los datos en los video transectos, ocasionando que la cobertura de altas de tapete fuese sobre-estimada.

Nos sorprendió que con el método de Edgar, que es con el que comparativamente se considera una menor área para tomar los datos de un transecto, haya sido con el que estimamos mayores índices de riqueza y diversidad de corales y con el que en total registramos más especies en todo el muestreo (una especie más de corales en comparación con el método de Guzmán y dos más en comparación con el método del SIMAC, ambas especies con coberturas menores al 2%). El área total aproximada que se registra en las imágenes de un transecto de Edgar ( $2,5\text{m}^2$ ) es cuatro veces menor que el área total evaluada en un transecto de Guzmán ( $10\text{m}^2$ ) y si se toman los puntos de la cuadrícula como referente y no el área total del fotocuadrante esta diferencia será mucho mayor. De igual manera, la cantidad de puntos muestreados en cada transecto con el método de Edgar (560) es menos de la mitad de los puntos (eslabones) que en promedio son leídos en los transectos SIMAC (para este trabajo los transectos tuvieron entre 1345 y 2400 eslabones). La mayor riqueza y diversidad de corales obtenida con el método de Edgar en este trabajo puede asociarse a la posibilidad de registrar coberturas del bentos de mayor heterogeneidad por tener una unidad de muestreo más larga (en comparación con la de SIMAC y Guzmán), lo que posiblemente primó sobre el área total incluida en cada transecto como factor determinante de la mayor diversidad medida. En este aspecto nuestros resultados contrastan con los de Dethier *et al.* (1993), quienes reportaron una tendencia de los métodos basados en puntos a estimar un menor número de especies de coral en comparación con las estimaciones visuales, omitiendo principalmente las especies con baja cobertura. No obstante, la discrepancia en nuestro resultados puede deberse de nuevo a que los transectos en que estos autores realizaron ambos métodos tuvieron igual longitud.

### **Reproducibilidad y Repetibilidad**

La reproducibilidad de los métodos entre investigadores fue buena en la estimación de la cobertura coralina (no encontramos diferencias significativas en los porcentajes de coral

estimados por los diferentes investigadores usando un mismo método), pero deficiente en la estimación de las algas y el sustrato abiótico, en las que los investigadores estimaron porcentajes de cobertura significativamente diferentes. De manera constante, un investigador estimó siempre coberturas mayores de sustrato abiótico y menores de algas, en comparación con los otros dos. Estas diferencias fueron más notorias en la zona de la planicie, pues en ella la cobertura de corales fue menor, y por tanto el sesgo de los investigadores en la estimación de algas y sustrato pudo ser más fuerte.

La comparación de las coberturas de corales, algas y sustrato abiótico obtenidas por los investigadores dentro de los sitios sugiere que gran parte de la cobertura que fue considerada como algas (por lo general algas incrustantes) por dos investigadores, fue considerado como sustrato abiótico (por lo general cascajo), por el tercer investigador. Estas diferencias, más que reflejar problemas en la repetibilidad de un método en particular, parecen obedecer a la falta de consenso entre los investigadores sobre la definición de las diversas categorías del bentos registradas, por lo menos en lo referente a las algas y el sustrato abiótico. Este problema no se presenta en los corales, en los que su definición es clara, por lo menos hasta el nivel de género. Los investigadores que participaron de este trabajo no se capacitaron juntos en la ejecución de los diferentes monitoreos ni en la identificación de las categorías del sustrato, como tampoco se realizaron comparaciones en campo sobre el consenso entre las apreciaciones que cada uno de ellos tenía de los diferentes componentes del bentos.

La repetibilidad de los métodos evaluada dentro de los investigadores fue igualmente mejor en la estimación de los corales, que en la de las algas y el sustrato abiótico. Cuando se consideraron los porcentajes de las categorías generales la repetibilidad de Guzmán estuvo entre el 81% y el 98%, la de SIMAC entre 91% y 94% y la de Guzmán entre 71% y 79%. Sorprende la mayor repetibilidad del método de Guzmán, a pesar de estar basado en estimaciones visuales que pueden verse afectadas por la subjetividad del investigador. Sin embargo, este resultado coincide con el obtenido por otros trabajos (Dethier *et al.*, 1993).

La repetibilidad de todos los métodos disminuyó drásticamente cuando se evaluó en un nivel de mayor resolución taxonómica en la estimación de las especies de coral, grupos de algas y tipos de sustrato. A este nivel los resultados del método de Guzmán son los de mejor repetibilidad (con ajustes mayores al 70%), mientras que los métodos de Edgar y SIMAC alcanzaron ajustes menores que cero en la estimación de algunas categorías. Esto indica que a este nivel, los datos tomados con el método de Guzmán son los más confiables para la realización de comparaciones temporales entre sucesivos monitoreos, mientras que los datos obtenidos con el método de Edgar y con el del SIMAC tal vez solo sean útiles para realizar comparaciones al nivel de las categorías generales (tendencia en la cobertura de corales, algas y sustrato).

La mayor repetibilidad del método de Guzmán pueden deberse a que este método es el que evalúa un área más grande por unidad de muestreo en comparación con los métodos de Edgar y del SIMAC, lo que puede disminuir el efecto de los cambios en la ubicación de los transectos entre una repetición y otra. El desplazamiento en unos pocos centímetros de la cadena en el método SIMAC, y de la cuadrícula en el fotocuadrante del método de Edgar, puede tener un mayor efecto en las coberturas estimadas, que el desplazamiento de una distancia similar en la ubicación del cuadrante del método de Guzmán.

## **Eficiencia**

A pesar de que una de las grandes ventajas reportada para los métodos fotográficos es la disminución del tiempo necesario en campo para coleccionar los datos (Nadon y Stirling, 2006), nosotros no encontramos que el método de Edgar acortara este tiempo en relación con el de SIMAC y Guzmán. Por el contrario, el tiempo promedio invertido en la realización de un transecto de Edgar en campo fue un poco mayor que el requerido para la realización de los otros dos métodos (aunque las diferencias no fueron estadísticamente significativas). Sin embargo, hay que tener en cuenta que los investigadores de este estudio no tenían experiencia previa con el uso de esta metodología ni con el uso de cámaras fotográficas bajo el agua, lo que probablemente influyó en el tiempo que necesitaron para

tomar fotos que cumplieran con las especificaciones necesarias para la realización de este protocolo. Por el contrario, nuestros resultados sí concordaron con aquellos que reportan la desventaja de los métodos fotográficos en consumir mayor cantidad de tiempo en el análisis de las imágenes en el laboratorio. El tiempo promedio invertido en digitalizar y procesar la información fue por lo menos el doble con el método de Edgar que con los métodos de Guzmán y del SIMAC. Teniendo en cuenta ambos tiempos (para tomar los datos en campo y para analizarlos), los métodos de Guzmán y del SIMAC fueron igualmente eficientes, mientras que Edgar requiere mayor tiempo de trabajo por transecto.

La cantidad de recursos necesarios en la implementación del método de Edgar fue igualmente mayor, fundamentalmente por que este método requiere tener una cámara fotográfica con cubierta seca, además de que el mayor tiempo necesario para su implementación aumenta los costos del personal.

A pesar de la mayor cantidad de tiempo y dinero requeridos para implementar el método de Edgar, éste método puede ser más apropiado cuando lo que se busque con un estudio es tener un buen registro de la diversidad de especies de coral de un sitio y no tal vez una estimación precisa de la cobertura de cada una de ellas, ya que este método alcanza a registrar significativamente más especies en un transecto, que los métodos del SIMAC y de Guzmán.

## **7. CONCLUSIONES**

La posibilidad de comparar los datos sobre el bentos, colectados con diferentes métodos de estudio, es limitada, ya que la técnica usada en la toma de los datos puede tener un efecto significativo en la medición de variables como la cobertura de organismos sésiles, la riqueza y la diversidad de especies. Para el caso de los tres métodos estudiados, debe tenerse mayor cuidado al realizar comparaciones de datos obtenidos con el método de Edgar, ya que éste produce estimativos significativamente diferentes de los obtenidos con

Guzmán y SIMAC, mientras que con estos dos últimos se obtiene información similar dentro de un mismo sitio.

No se detectó un sesgo consistente en el método de Edgar en comparación con los otros dos métodos evaluados para la estimación de la cobertura de coral, ya que en algunos casos la sobreestima y en otros la subestima. Las diferencias en las estimaciones pueden deberse a la mayor extensión de los transectos de Edgar en los que se alcanzan a percibir cambios en la composición del bentos, que no pueden registrarse en los transectos más cortos de SIMAC y Guzmán. Esta también puede ser la causa para la estimación de mayores índices de riqueza y diversidad con el método de Edgar.

En este trabajo se obtuvieron de manera consecuente mayores estimaciones de sustrato abiótico y menores de algas con el método de Edgar en comparación con los de Guzmán y SIMAC, lo que puede deberse a la incapacidad para observar en las fotografías las algas que crecen sobre el sustrato, lo que sí puede lograrse directamente en campo con los métodos de Guzmán y SIMAC. Sin embargo serían necesarias más comparaciones antes de poder determinar si es un patrón recurrente entre las estimaciones obtenidas con los tres métodos.

La repetibilidad de los métodos entre diferentes investigadores fue buena en las estimaciones de la cobertura de coral, pero no entre las estimaciones de algas y sustrato. La posibilidad de que estas diferencias se deban a la falta de consenso entre las apreciaciones de los investigadores recalca la necesidad de clarificar con el personal que realiza los monitoreos cada uno de los componentes del bentos que se están evaluando.

La repetibilidad de los métodos evaluada dentro de los investigadores fue mayor para el método de Guzmán, pero disminuyó notablemente cuando se calculó dentro de las especies de corales, grupos de algas y tipos de sustrato. A este nivel, todos los métodos presentaron bajas repetibilidades.



Los métodos de Guzmán y SIMAC requirieron tiempos similares de trabajo en campo y en el análisis de los datos, mientras que el método de Edgar requirió aproximadamente el doble del tiempo para realizarse, principalmente por el tiempo requerido para el análisis de las imágenes en el laboratorio. Así mismo, este último método requiere más recursos para su implementación por la necesidad de tener una cámara con carcasa para el agua.

Para el monitoreo de arrecifes con características similares a las de el arrecife de La Azufrada, el método de Guzmán parece ser el más recomendable pues obtiene los datos de mayor repetibilidad, con una baja inversión de tiempo y en dinero. El método SIMAC requiere un poco menos de tiempo en su realización, pero es a la vez más impreciso que el de Guzmán. El método de Edgar puede ser más útil para realizar caracterizaciones rápidas de sitios sin estudiar, ya que en un mismo transecto logra registrar mayor heterogeneidad espacial y por tanto mayor número de especies, pero su baja repetibilidad y alto costo en tiempo hace que no sea el método óptimo para un programa de monitoreo bajo los parámetros comparados.

## 8. BIBLIOGRAFÍA

- AIMS Long Term Monitoring Program.** 2008. *Reef Monitoring*. Australian Institute of Marine Science Homepage. <<http://www.aims.gov.au/docs/research/monitoring/reef/reef-monitoring.html>>. Fecha de consulta: 6 de febrero de 2009.
- Ainsworth TD, Kramasky-Winter E, Loya Y, Hoegh-Guldberg O, Fine M.** 2007. Coral Disease Diagnostics: What's between a Plague and a Band?. *Applied and Environmental Microbiology* 73(3):981-992.
- Alquezar R, Boyd W.** 2007. Development of rapid, cost effective coral survey techniques: tools for management and conservation planning. *Journal of Coast Conservation*, 11:105-119.
- Atlantic and Gulf Rapid Reef Assessment (AGRRA).** 2005. *AGRRA Methodology*. <<http://www.agrra.org/method/methodology.html>>. Fecha de consulta: 6 de febrero de 2009.
- Barnes DJ, Chalker BE.** 1990. Calcification and photosynthesis in reef-building corals and algae. Pp.109-131. *En: Dubinsky Z (ed.). Coral Reefs*. Elsevier. Amsterdam, Holanda.
- Birkeland C.** 1997. *Life and death of coral reefs*. Chapman and Hall. New York. 536pp.
- Birkeland C.** 2002. *Status and Issues of Coral Reefs: U.S. Commission on Ocean Policy* Homepage. <[http://oceancommission.gov/meetings/may13\\_14\\_02/birkeland\\_testimony.pdf](http://oceancommission.gov/meetings/may13_14_02/birkeland_testimony.pdf)>. Fecha de consulta: 22 de febrero de 2009.
- Beenaerts N, Berghe EV.** 2005. Comparative study of three transect methods to assess coral cover, richness and diversity. *Western Indian Ocean Journal of Marine Science*, 4(1):29-37.
- Brown E, Cox E, Jokiel P, Rodgers K, Smith W, Tissot B, Coles SL, Hultquist J.** 2004. Development of benthic sampling methods for the Coral Reef Assessment and Monitoring Program (CRAMP). *Pacific Science*, 58(2):145-158.
- Bruno, J.F., Petes, L.E., Harvell, C.D. y Hettinger, A.** 2003. Nutrient enrichment can increase the severity of coral diseases. *Ecology Letters* 6:1056-1061
- CARICOMP.** 1994. *Manual of methods for mapping and monitoring of physical and biological parameters in the coastal zone of the Caribbean*. Caribbean Coastal Data Centre Homepage. <[http://www.ccdc.org.jm/methods\\_manual.html](http://www.ccdc.org.jm/methods_manual.html)>. Fecha de consulta: 6 de febrero de 2009.
- Connell JH.** 1978. Diversity in Tropical Rain Forests and Coral Reefs. *Science, New Series*, 199(4335):1302-1310
- Conservación Internacional Colombia.** 2007. *CMAR*. CI Colombia Homepage. <<http://www.conservacion.org.co/programasdetalle.php?nivel=2&idu=48>>. Fecha de consulta: 22 de febrero de 2009.

- Conservación Internacional.** 2008. *A New Future for Marine Conservation Eastern Tropical Pacific Seascape*. CI Homepage  
<[http://www.conservation.org/Documents/CI\\_Seascape\\_factsheet\\_Eastern\\_Tropical\\_Pacific\\_2008.pdf](http://www.conservation.org/Documents/CI_Seascape_factsheet_Eastern_Tropical_Pacific_2008.pdf)>. Fecha de consulta: 10 de marzo de 2010.
- Cortés J.** 1997. Biology and geology of eastern Pacific coral reefs. *Coral Reefs* 16, Suppl.:S39-S46.
- Davy SK, Graham MP, Sheppard RC.** 2009. *The Biology of Coral Reefs*. Oxford University Press.
- Day J.** 2008. The need and practice of monitoring, evaluating and adapting marine planning and management-lessons from the Great Barrier Reef. *Marine Policy*, 32: 823-831.
- Daszak P, Cunningham AA, Hyatt AD.** 2001. Anthropogenic environmental change and the emergence of infectious diseases in wildlife (Review article). *Acta Tropica* 78:103-116.
- Dethier MN, Graham ES, Cohen S, Tear LM.** 1993. Visual versus random-point cover estimations: “objective” is not always better. *Marine Ecology Progress Series*. 96:93-100.
- Díaz JM, Barrios LM, Cendales MH, Garzón-Ferreira J, Geister J, López-Victoria M, Ospina GH, Parra-Velandia F, Pinzón J, Vargas-Ángel B, Zapata FA, Zea S.** 2000. *Áreas Coralinas de Colombia*. INVEMAR, Serie de Publicaciones Especiales 5, Santa Marta, Colombia.
- Díaz JM, López M, Barrios LM.** 2001. Introducción. En: Barrios LM, López-Victoria M (eds.). *Gorgona marina: contribución al conocimiento de una isla única*. Serie Publicaciones Especiales No. 7. Santa Marta: INVEMAR. p. 13-16.
- Dumas P, Bertaud A, Peignon C, Léopold M, Pelletier D.** 2009. A “quick and clean” photographic method for the description of coral reef habitats. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 368:161-168.
- Edgar GJ.** 2007. Standardized survey procedures for monitoring reef ecosystems in the Eastern Tropical Pacific. Documento técnico sin publicar.
- Garzón-Ferreira J, Díaz JM.** 2000. Assessing and monitoring coral reef condition in Colombia during the last decade: 51-58. En: T. Done & D. Lloyd (Eds.). *Information Management and Decision Support for Marine Biodiversity Protection and Human Welfare: Coral Reefs*. Australian Institute of Marine Science (AIMS), Townsville, Australia.
- Garzón-Ferreira J, Rodríguez-Ramírez A.** 2001. Estado de los arrecifes coralinos en Colombia año 2000: 25-36. En: INVEMAR. Informe del estado de los ambientes marinos y costeros en Colombia: 2000. INVEMAR, Serie documentos generales No. 3, Santa Marta, Colombia.
- Garzón-Ferreira J, Reyes-Nivia MC, Rodríguez-Ramírez A.** 2002a. *Manual de métodos del SIMAC*. Sistema Nacional de monitoreo de arrecifes coralinos en Colombia. INVEMAR. Ministerio del Medio ambiente. Santa Marta, Colombia.
- Garzón-Ferreira J, Rodríguez-Ramírez A, Bejarano-Chavarro S, Navas-Camacho R, Reyes-Nivia MC.** 2002b. Estado de los arrecifes coralinos: 29-41. En: *INVEMAR. Informe del estado*

*de los ambientes marinos y costeros en Colombia: Año 2001*. Serie Publicaciones Periódicas INVEMAR No. 8, Santa Marta, Colombia.

**Garzón-Ferreira J, Rodríguez-Ramírez A, Bejarano-Chavarro S, Navas-Camacho R, Reyes-Nivia MC.** 2003. Estado de los arrecifes coralinos en Colombia: 81-114. En: *INVEMAR. Informe del estado de los ambientes marinos y costeros en Colombia: Año 2002*. Serie Publicaciones Periódicas INVEMAR No. 8, Santa Marta, Colombia.

**Garzón-Ferreira J, Rodríguez-Ramírez A, Bejarano-Chavarro S, Navas-Camacho R, Reyes-Nivia MC, Herrón P, Zapata FA, Rojas J, Caucaí O.** 2004. Estado de los arrecifes coralinos en Colombia. p. 79-135. En: *Informe del estado de los ambientes marinos y costeros en Colombia: año 2003*. Serie Publicaciones Periódicas INVEMAR No. 8, Santa Marta, Colombia.

**GCRMN.** 2006. *Global Coral Reef Monitoring Network homepage*. <<http://www.gcrmn.org/>>. Fecha de consulta: 30 de enero de 2009.

**Giraldo A, Rodríguez-Rubio E, Zapata FA.** 2008. Condiciones oceanográficas en isla Gorgona, Pacífico oriental tropical de Colombia. *Latin American Journal of Aquatic Research*, 36(1):121-128.

**Glynn PW, Ault JS.** 2000. A biogeographic analysis and review of the far eastern Pacific coral reef region. *Coral Reefs*, 19(1):1-23.

**Guzmán HM, Croquer A.** 2005. Annual Reef Monitoring Design. STRI Environmental Science Program Homepage. <[http://striweb.si.edu/esp/mesp/reef\\_monitoring\\_protocol.htm](http://striweb.si.edu/esp/mesp/reef_monitoring_protocol.htm)>. Fecha de consulta: 30 de enero de 2009.

**Harding S, Lowery C, Oakley S.** 2000. Comparison between complex and simple reef survey techniques using volunteers: is the effort justified?. Proceedings of the 9<sup>th</sup> International Coral Reef Symposium, Bali, Indonesia.  
S HILL AND CLIVE WILKINSON

**Hill J, Wilkinson C.** 2004. *Methods for ecological monitoring of coral reefs a resource for managers: Version 1*. Australian Institute of Marine Science. Townsville, Australia.

**Hughes TP.** 1994. Catastrophes, Phase Shifts, and Large-Scale Degradation of a Caribbean Coral Reef. *Science* 265 (5178):1547-1551

**ICRAN.** *International Coral Reef Action Network Homepage*. <<http://www.icran.org/>>. Fecha de consulta: 30 de enero de 2009.

**ICRI.** *The International Coral Reef Initiative Homepage*. <<http://www.icriforum.org/>>. Fecha de consulta: 30 de enero de 2009.

**Jokiel P L, Rodgers KS, Brown EK, Kenyon J, Aeby G, Smith WR, Farrell F.** 2005. *Comparison of methods used to estimate coral cover in the Hawaiian Islands*. Report to the Northwestern Hawaiian Islands Ecosystem Reserve. Nova Southeastern University Homepage. <[http://www.nova.edu/ocean/cpce/cramp\\_methods\\_comparison.pdf](http://www.nova.edu/ocean/cpce/cramp_methods_comparison.pdf)>. Fecha de consulta: 30 de enero de 2009.

- Kohler, K.E. and S.M. Gill.** 2006. Coral Point Count with Excel extensions (CPCe): A Visual Basic program for the determination of coral and substrate coverage using random point count methodology. *Computers and Geosciences*, 32(9):1259-1269.
- Lesser MP, Bythell JC, Gates RD, Johnstone RW, Hoegh-Guldberg O.** 2007. Are infectious diseases really killing corals? Alternative interpretations of the experimental and ecological data. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 346:36-44.
- Lewis JB.** 1977. Processes of organic production on coral reefs. *Biol. Rev.*, 52:305-347.
- Lindeman KC, Kramer PA, Ault JS.** 2001. Comparative approaches to reef monitoring and assessment: An overview. *Bulletin of Marine Science-Special Session*, 69(2):335-338.
- Lirman D, Gracias NR, Gintert BE, Rogde G. AC, Reid RP, Negahdaripour S, Kramer P.** 2007. Development and application of a video-mosaic survey technology to document the status of coral reef communities. *Environmental Monitoring and Assessment*, 125:59-73.
- Loya Y.** 1972. Community structure and species diversity of hermatypic corals at Eilat, Red Sea. *Mar. Biology* 13:100-123.
- Loya Y.** 1978. Plotless and transect methods. *En: Coral reefs: research methods*. Stoddart DR, Johannes RE. (eds.), UNESCO Monogr. On Oceanographic Methodology 5, pp. 197-217.
- Malleret-King D, Glass A, Wanyonyi I, Bunce L, Pomeroy B.** 2006. Socio-economic Monitoring guidelines for coastal managers of the Western Indian Ocean, SocMon WIO. CORDIO East Africa publication. (Version 1.). pp 108.
- Marsh JA Jr.** 1976. Energetic role of algae in reef ecosystems. *Micronesica*, 12(1):13-21.
- Nadon M-C, Stirling G.** 2006. Field and simulation analyses of visual methods for sampling coral cover. *Coral Reefs*, 25:177-185.
- Ohlhorst SL, Lieddell WD, Taylor RJ, Taylor JM.** 1988. *Evaluation of Reef Census Techniques*. Proceedings of the 6<sup>th</sup> International Coral Reef Symposium. Vol(2):319-324.
- Palacio-Castro AM, Rodríguez-Ramírez A, Muñoz CG, Zapata FA.** Informe de investigación. Capítulo III: Corales. *En: Evaluación de la línea de base de la biodiversidad marina del PNN Gorgona en el marco del corredor marino de conservación del Pacífico Este Tropical*. Informe técnico para Conservación Internacional y Fundación Yubarta, sin publicar.
- Prahl H von, Erhardt H.** 1985. *Colombia: corales y arrecifes coralinos*. FEN Colombia. Ed. Presencia Ltda., Bogotá 295 p.
- Precht WF, Aronson RB, Deslarzes KJP, Robbart ML, Murdoch TJT, Gelber A, EvansDJ, Gearheart B, Zimmer B.** 2006. Long-Term Monitoring at the East and West Flower Garden Banks National Marine Sanctuary 2002-2003: Final Report. U.S. Dept. of the Interior, Minerals Management Service, Gulf of Mexico OCS Region, New Orleans, Louisiana. OCS Study MMS 2006-035. 182pp.

- Rodríguez-Ramírez A, Garzón-Ferreira J, Bejarano-Chavarro S, Navas-Camacho R, Reyes-Nivia MC, Duque G, Orozco C, Zapata FA, Herrera O.** 2005. Estado de los arrecifes coralinos en Colombia en el año 2004: 77-114. En: *Informe del estado de los ambientes marinos y costeros en Colombia: año 2004*. Serie Publicaciones Periódicas INVEMAR No. 8, Santa Marta, Colombia.
- Rodríguez-Ramírez A, Garzón-Ferreira J, Reyes-Nivia MC, Navas-Camacho R, Bejarano-Chavarro S, Duque G, Zapata FA.** 2006a. Sistema Nacional de Monitoreo de Arrecifes Coralinos en Colombia SIMAC: logros y resultados 1998-2004. p. 365-370. En: Chaves, M.E. y Santamaría, M. (Eds). *Informe sobre el avance en el conocimiento y la información de la biodiversidad 1998 -2004*. Tomo II. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá D.C., Colombia. 2 Tomos.
- Rodríguez-Ramírez A, Reyes-Nivia MC, Navas-Camacho R, Vega-Sequeda J, Olaya J, Duque G, Garzón-Ferreira J, Zapata FA, Orozco C.** 2006b. Consideración Inicial al Estado de los Arrecifes en el 2005. p. 72-80. En: *Informe del estado de los ambientes marinos y costeros en Colombia: año 2005*. Serie de Publicaciones Periódicas No. 8. Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras, Santa Marta.
- Rodríguez-Ramírez A, Reyes-Nivia MC, Navas-Camacho R, Bejarano-Chavarro S, Garzón-Ferreira J, Zapata FA.** 2006c. Status of the coral reefs of Colombia in 2003. Proc 10<sup>th</sup> International Coral Reef Symposium, 976-981.
- Rodríguez-Ramírez A, Bastidas C, Cortés J, Guzmán H, Leão Z, Garzón-Ferreira J, Kikuchchi R, Ferreira BP, Alvarado JJ, Jiménez C, Fonseca AC, Salas E, Nivia J, Fernández C, Rodríguez S, Debrot D, Cróquer A, Gil D, Gómez DI, Navas-Camachcho R, Reyes-Nivia MC, Acosta A, Alvarado E, Pizarro V, Sanjuán A, Herrón P, Zapata FA, Zea S, López-Victoria M, Sánchez JA.** 2008. Status of Coral Reefs and Associated Ecosystems in Southern Tropical America: Brazil, Colombia, Costa Rica, Panamá and Venezuela. En: Wilkinson C. (ed.). *Status of Coral Reefs of the World: 2008*. Global Coral Reef Monitoring Network and Reef and Rainforest Research Center, Townsville, Australia. p281-294
- Roelfsema CM, Phinn SR, Joyce KE.** 2006. Evaluating Benthic Survey Techniques for Validating Maps of Coral Reefs Derived from Remotely Sensed Images. En: Proceedings 12<sup>th</sup> International Coral Reef Symposium Okinawa, Japan, 10-15 July 2004.
- Rogers CS, Garrison G, Grober R, Hillis Z-M, Franke MA.** 1994. *Coral Reef Monitoring Manual for the Caribbean and Western Atlantic*. National Park Service. Virgin Islands National Park, Estados Unidos de Norte América.
- Rogers CS.** 1999. Chapter 6: Sampling May be Haphazardous to your Reef Monitoring Program. Pp. 57-64. En: Maragos JE, Grober-Dunsmore R (eds.). *Proceedings of the Hawaii Coral Reef Monitoring Workshop*, East West Center, Honolulu, Hawaii.
- Rogers CS, Miller J.** 2001. Coral bleaching, hurricane damage, and benthic cover on coral reefs in St. John, U.S. Virgin Islands: A comparison of surveys with the chain transect method and videography. *Bulletin of Marine Science*, 69(2):459-470.

- Salvat B.** 2000. Agenda 21, International Coral Reef Initiative: Progress and prospects for coral reefs. Proceedings 9<sup>th</sup> International Coral Reef Symposium, Bali, Indonesia 23-27 Oct. 2000. Vol(1):49-55.
- Samways MJ, Hattonv MJ.** 2001. An appraisal of two coral reef rapid monitoring manuals for gathering baseline data. *Bulletin of Marine Science*, 69(2):471-485.
- Sánchez JA, Cadena J, Grajales A, Porto I.** 2005. Por qué están muriendo los corales: Blanqueamiento coralino causas consecuencias e hipótesis. Apuntes Científicos Uniandinos 5. Biommar Homepage: <[http://biommar.uniandes.edu.co/Biommar/Publicaciones\\_files/Sanchez-hipotesis.pdf](http://biommar.uniandes.edu.co/Biommar/Publicaciones_files/Sanchez-hipotesis.pdf)> Fecha de consulta: 09 de diciembre de 2009
- Stoddart J.** 2008. *Monitoring: How Far Should We Push Precision in Monitoring Coral Reefs?*. The Art and Science of Impact Assessment (IAIA) Homepage. <[http://dev.iaia.org/pdfs/concurrentsessions/CS2\\_7\\_sectoral\\_marine\\_Stoddart.pdf](http://dev.iaia.org/pdfs/concurrentsessions/CS2_7_sectoral_marine_Stoddart.pdf)>. Fecha de consulta: 30 de enero de 2009.
- Sudara S, Snidvongs A.** 1984. Chapter 3.6: Problems in the study of coral communities. Pp. 70-73. En: UNESCO (ed.). *Comparing coral reef survey methods. UNESCO Reports Marine Science No. 21: Report of a Regional Unesco/UNEP Workshop on Coral Reef Survey Management and Assessment Methods in Asia and the Pacific. Phuket, Thailand, Diciembre 13-17, 1982*, Paris, Roma.
- Turner J.** 2000. Initial Considerations on methods to survey reef status and recovery. Pp. 134-137. En: Souter D, Obura D, Linden O (eds.). *Coral Reef Degradation in the Indian Ocean*. CORDIO/SAREC.
- UNESCO.** 1984. *Comparing coral reef survey methods. UNESCO Reports Marine Science No. 21: Report of a Regional Unesco/UNEP Workshop on Coral Reef Survey Management and Assessment Methods in Asia and the Pacific. Phuket, Thailand, Diciembre 13-17, 1982*. Paris, Roma.
- Unidad Administrativa Especial del Sistema de Parques Nacionales Naturales (UAESPNN).** 1998. *El sistema de parques nacionales naturales de Colombia.*, Ministerio del Medio Ambiente. Nomos, Bogotá, Colombia.
- Weinberg S.** 1981. A comparison of coral reef survey methods. *Bijd. Dierk.* 51:199-218.
- Wilkinson C.** (ed.) 2008. *Status of Coral Reefs of the World: 2008*. Global Coral Reef Monitoring Network and Reef and Rainforest Research Center, Townsville, Australia. 296pp.
- Wilson SK, Graham NAJ, Polunin NVC.** 2007. Appraisal of visual assessments of habitat complexity and benthic composition on coral reefs. *Marine Biology*, 151:1069-1076.
- Zapata FA.** 2001. Formaciones coralinas de isla Gorgona. Pp. 27-40. En: Barrios LM, López-Victoria M (eds.). *Gorgona marina: contribución al conocimiento de una isla única*. INVEMAR. Santa Marta, Colombia.
- Zapata FA, Vargas-Ángel B.** 2003. Corals and coral reefs of the Pacific coast of Colombia. Pp.

419-447. En: Cortes J (ed.). *Coral reefs of Latin America*. Elsevier Science. Amsterdam, Alemania.

**Zapata FA, Rodríguez-Ramírez A, Caro C, Garzón-Ferreira J.** 2010. Mid-term coral-algal dynamics and conservation status of a Gorgona Island (tropical eastern Pacific) coral reef. *Revista de Biología Tropical*. 58(Suppl. 1)

**Zar J.** 1996. Biostatistical analysis. 2<sup>a</sup> ed. Prentice-Hall. Upper Saddle River, New Jersey, Estados Unidos.



## ANEXOS

**Anexo 1:** Ventajas y limitaciones del uso de cuadrantes, fotocuadrantes y transecto con cadena, en la evaluación del bentos de los arrecifes coralinos. Tomado de Rogers *et al.* (1994).

	Métodos con Cuadrantes	Métodos con Fotocuadrantes	Transecto con Cadena
<b>Equipos</b>	Relativamente baratos	Pueden alcanzar costos muy altos dependiendo del equipo usado	Relativamente baratos
<b>Dificultad</b>	Relativamente simple, pero se requiere personal identifique las especies en campo.	Difícil de preparar dependiendo del equipo, pero con métodos simples puede realizarlo una persona no especialista.	Tedioso y exigente; solo puede ser realizado por buzos especialmente entrenados.
<b>Daño al arrecife</b>	Existe riesgo en zonas de alto relieve, especialmente con el uso de cuadrículas.	Dependiendo del equipo, existe riesgo en áreas de topografía compleja.	Incluso para personal bien entrenado es difícil no causar daño, especialmente en corales ramificados.
<b>Datos obtenidos</b>	Usando cuadrícula se obtienen datos razonablemente precisos de: % de cobertura, diversidad de especies, abundancia relativa, densidad y talla.	% de cobertura, diversidad de especies, abundancia relativa, densidad y talla.	% de cobertura, diversidad de especies, abundancia relativa e índice de complejidad espacial.
<b>Limitaciones</b>	No provee medida del relieve, provee datos solo sobre el área superficial proyectada. No es apropiado para zonas dominadas por <i>Acopora palmata</i> o <i>A. cervicornis</i> .	No provee medida del relieve, provee datos solo sobre el área superficial proyectada. Inadecuado para áreas con grandes o abundantes octocorales pues se superponen a otras especies.	No provee medidas directas de la densidad de especies o tamaño de las colonias. Inadecuado para áreas con colonias pequeñas o dispersas. Imposible en áreas dominadas por <i>A. palmata</i> o <i>A. cervicornis</i> .
<b>Uso de los datos</b>	Listos para usar al salir del agua.	Primero deben analizarse las imágenes.	Listos para usar al salir del agua.
<b>Replicación del muestreo</b>	Relativamente fácil, si es realizado por las mismas personas cada vez o por gente que ha sido entrenada junta.	En fotocuadrantes permanentes depende del aparato usado y de la habilidad del buzo para tomar la foto desde el mismo punto.	Incluso con transectos bien marcados es imposible posicionar la cadena exactamente igual cada vez.
<b>Calculo del % de cobertura</b>	Puede ser fácilmente calculado, incluso manualmente.	La digitalización requiere tiempo y es difícil de realizar manualmente cuando no se tiene acceso al computador o software. El uso de puntos al azar también consume mucho tiempo.	Puede ser fácilmente calculado, incluso manualmente.

**Anexo 2:** Prueba univariada de significancia, tamaño y potencia de los efectos sobre la cobertura de coral estimada (datos transformados).

Fuente de Variación	G L	CM	Síntesis Error GL	Síntesis Error CM	F	p	Eta cudr. parcial	Potencia observ. (a=0,05)
<i>Intercepto</i>	<b>1</b>	<b>107,719</b>	<b>3,992</b>	<b>0,798</b>	<b>135,030</b>	<b>0,000</b>	<b>0,971</b>	<b>1,000</b>
Zona	1	2,649	3,970	0,796	3,329	0,143	0,456	0,289
<i>Sitio(Zona)</i>	<b>4</b>	<b>0,799</b>	<b>8,103</b>	<b>0,175</b>	<b>4,562</b>	<b>0,032</b>	<b>0,693</b>	<b>0,733</b>
Método	2	0,021	8,880	0,184	0,114	0,893	0,025	0,063
Investigador	2	0,003	1,171	0,008	0,423	0,727	0,419	0,062
Investigador*Método	4	0,014	4,000	0,007	2,055	0,251	0,673	0,249
Zona*Método	2	0,346	8,300	0,177	1,952	0,202	0,320	0,295
Zona*Investigador	2	0,001	4,397	0,008	0,162	0,856	0,068	0,063
Zona*Método*Investigador	4	0,007	16,000	0,003	2,133	0,124	0,348	0,500
<i>Sitio(Zona)*Método</i>	<b>8</b>	<b>0,174</b>	<b>16,000</b>	<b>0,003</b>	<b>56,409</b>	<b>0,000</b>	<b>0,966</b>	<b>1,000</b>
Sitio(Zona)*Investigador	8	0,004	16,000	0,003	1,382	0,276	0,409	0,432
Sitio(Zona)*Método*Investigador	16	0,003	54,000	0,002	1,239	0,271	0,269	0,695
Error	54	0,002						

**Anexo 3:** Prueba univariada de significancia, tamaño y potencia de los efectos sobre la cobertura de algas estimada (datos transformados).

Fuente de Variación	G L	CM	Den.Syn. Error GL	Den.Syn. Error CM	F	p	Eta cudr. parcial	Potencia observ. (a=0,05)
Intercepto	1	15,280	3,255	2,269	6,733	0,074	0,674	0,453
Zona	1	1,863	5,330	0,790	2,359	0,182	0,307	0,245
<i>Sitio(Zona)</i>	<b>4</b>	<b>0,584</b>	<b>11,556</b>	<b>0,109</b>	<b>5,361</b>	<b>0,011</b>	<b>0,650</b>	<b>0,873</b>
Método	2	0,026	9,231	0,106	0,242	0,790	0,050	0,078
Investigador	2	1,730	2,353	0,274	6,312	0,113	0,843	0,364
Investigador*Método	4	0,042	4,000	0,019	2,243	0,227	0,692	0,269
Zona*Método	2	0,352	7,939	0,083	4,259	0,055	0,518	0,567
<i>Zona*Investigador</i>	<b>2</b>	<b>0,251</b>	<b>6,980</b>	<b>0,050</b>	<b>5,016</b>	<b>0,045</b>	<b>0,590</b>	<b>0,615</b>
Zona*Método*Investigador	4	0,019	16,000	0,014	1,336	0,300	0,250	0,323
<i>Sitio(Zona)*Método</i>	<b>8</b>	<b>0,078</b>	<b>16,000</b>	<b>0,014</b>	<b>5,503</b>	<b>0,002</b>	<b>0,733</b>	<b>0,983</b>
<i>Sitio(Zona)*Investigador</i>	<b>8</b>	<b>0,045</b>	<b>16,000</b>	<b>0,014</b>	<b>3,188</b>	<b>0,023</b>	<b>0,614</b>	<b>0,840</b>
<i>Sitio(Zona)*Método*Investigador</i>	<b>16</b>	<b>0,014</b>	<b>54,000</b>	<b>0,005</b>	<b>2,632</b>	<b>0,004</b>	<b>0,438</b>	<b>0,980</b>
Error	54	0,005						

**Anexo 4:** Prueba univariada de significancia, tamaño y potencia de los efectos sobre la cobertura de sustrato abiótico estimada (datos transformados).

Fuente de Variación	G L	CM	Den.Syn. Error GL	Den.Syn. Error CM	F	p	Eta cudr. parcial	Potencia observ. (a=0,05)
Intercepto	1	9,052	2,039	1,540	5,878	0,134	0,742	0,291
Zona	1	0,042	2,107	0,394	0,107	0,773	0,048	0,055
Sitio(Zona)	4	0,083	14,644	0,127	0,653	0,634	0,151	0,167
Método	2	0,407	8,269	0,165	2,467	0,144	0,374	0,362
Investigador	2	1,524	2,593	0,440	3,461	0,185	0,727	0,252
Investigador*Método	4	0,105	4,000	0,043	2,450	0,203	0,710	0,290
Zona*Método	2	0,002	10,590	0,103	0,019	0,981	0,004	0,052
Zona*Investigador	2	0,378	10,623	0,104	3,642	0,062	0,407	0,542
<b>Zona*Método*Investigador</b>	<b>4</b>	<b>0,043</b>	<b>16,000</b>	<b>0,006</b>	<b>7,613</b>	<b>0,001</b>	<b>0,656</b>	<b>0,980</b>
<b>Sitio(Zona)*Método</b>	<b>8</b>	<b>0,066</b>	<b>16,000</b>	<b>0,006</b>	<b>11,689</b>	<b>0,000</b>	<b>0,854</b>	<b>1,000</b>
<b>Sitio(Zona)*Investigador</b>	<b>8</b>	<b>0,067</b>	<b>16,000</b>	<b>0,006</b>	<b>11,878</b>	<b>0,000</b>	<b>0,856</b>	<b>1,000</b>
Sitio(Zona)*Método*Investigador	16	0,006	54,000	0,004	1,327	0,216	0,282	0,733
Error	54	0,004						

**Anexo 5:** Prueba univariada de significancia, tamaño y potencia de los efectos sobre la riqueza de especies de coral estimada.

Fuente de Variación	G L	CM	Den.Syn. Error GL	Den.Syn. Error CM	F	p	Eta cudr. parcial	Potencia observ. (a=0,05)
<b>Intercepto</b>	<b>1</b>	<b>805,787</b>	<b>5,900</b>	<b>13,106</b>	<b>61,480</b>	<b>0,000</b>	<b>0,912</b>	<b>1,000</b>
Zona	1	0,083	4,297	9,514	0,009	0,930	0,002	0,051
<b>Sitio(Zona)</b>	<b>4</b>	<b>9,157</b>	<b>4,027</b>	<b>0,657</b>	<b>13,930</b>	<b>0,013</b>	<b>0,933</b>	<b>0,924</b>
<b>Método</b>	<b>2</b>	<b>21,731</b>	<b>5,861</b>	<b>2,718</b>	<b>7,997</b>	<b>0,021</b>	<b>0,732</b>	<b>0,780</b>
Investigador	2	4,037	3,764	2,204	1,832	0,278	0,493	0,199
Investigador*Método	4	2,148	4,000	0,389	5,524	0,063	0,847	0,570
Zona*Método	2	1,194	6,370	0,958	1,246	0,349	0,281	0,186
Zona*Investigador	2	0,444	0,515	0,153	2,909	0,524	0,919	0,075
Zona*Método*Investigador	4	0,389	16,000	0,324	1,200	0,349	0,231	0,292
<b>Sitio(Zona)*Método</b>	<b>8</b>	<b>0,894</b>	<b>16,000</b>	<b>0,324</b>	<b>2,757</b>	<b>0,040</b>	<b>0,580</b>	<b>0,773</b>
Sitio(Zona)*Investigador	8	0,088	16,000	0,324	0,271	0,966	0,119	0,106
Sitio(Zona)*Método*Investigador	16	0,324	54,000	0,343	0,946	0,525	0,219	0,545
Error	54	0,343						

**Anexo 6:** Prueba univariada de significancia, tamaño y potencia de los efectos sobre diversidad de Shannon-Wiener de corales estimada.

Fuente de Variación	G L	CM	Den.Syn. Error GL	Den.Syn. Error CM	F	p	Eta cudr. parcial	Potencia observ. ( $\alpha=0,05$ )
<b>Intercepto</b>	<b>1</b>	<b>29,080</b>	<b>4,404</b>	<b>1,249</b>	<b>23,286</b>	<b>0,007</b>	<b>0,841</b>	<b>0,955</b>
Zona	1	0,026	4,012	1,187	0,022	0,890	0,005	0,052
<b>Sitio(Zona)</b>	<b>4</b>	<b>1,185</b>	<b>4,539</b>	<b>0,049</b>	<b>24,225</b>	<b>0,003</b>	<b>0,955</b>	<b>0,997</b>
<b>Método</b>	<b>2</b>	<b>1,234</b>	<b>5,506</b>	<b>0,174</b>	<b>7,094</b>	<b>0,030</b>	<b>0,720</b>	<b>0,712</b>
Investigador	2	0,081	0,567	0,065	1,240	0,621	0,814	0,064
Investigador*Método	4	0,142	4,000	0,095	1,488	0,355	0,598	0,191
Zona*Método	2	0,077	5,912	0,128	0,605	0,577	0,170	0,111
Zona*Investigador	2	0,019	3,030	0,084	0,220	0,814	0,127	0,065
<b>Zona*Método*Investigador</b>	<b>4</b>	<b>0,095</b>	<b>16,000</b>	<b>0,027</b>	<b>3,487</b>	<b>0,031</b>	<b>0,466</b>	<b>0,736</b>
Sitio(Zona)*Método	8	0,060	16,000	0,027	2,192	0,086	0,523	0,656
Sitio(Zona)*Investigador	8	0,016	16,000	0,027	0,601	0,764	0,231	0,192
Sitio(Zona)*Método*Investigador	16	0,027	54,000	0,046	0,597	0,872	0,150	0,336
Error	54	0,046						

**Anexo 7:** Efecto de la zona e investigador sobre la cobertura de algas estimada. Las letras indican los grupos homogéneos (Tukey  $\alpha=0,05$ ).

Zona	Investigador	Cobertura de algas	Grupo homogéneo (Tukey =0,05)		
			a	b	c
Talud	Investigador A	14,48%		<b>b</b>	
	Investigador B	1,38%	<b>a</b>		
	Investigador C	9,64%	<b>a</b>	<b>b</b>	
Planicie	Investigador A	39,57%			<b>c</b>
	Investigador B	5,66%	<b>a</b>	<b>b</b>	
	Investigador C	41,22%			<b>c</b>

**Anexo 8:** Efecto de la zona e investigador sobre la cobertura de algas estimada. Las letras indican los grupos homogéneos (Tukey  $\alpha=0,05$ ).

Zona	Sitio	Investigador	Método	Cobertura de algas	Grupos homogéneos																	
					a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o	p	q	r
Planicie	1	Investigador A	EDGAR	33,93%																		
			GUZMAN	82,98%																	q	r
			SIMAC	87,30%																		r
		Investigador B	EDGAR	5,76%	a	b	c	d	e	f	g	h	i									
			SIMAC	15,03%					e	f	g	h	i	j	k	l	m					
			GUZMAN	21,19%							g	h	i	j	k	l	m	n				
		Investigador C	EDGAR	44,55%															n	o	p	
			SIMAC	82,21%																	q	r
			GUZMAN	84,32%																	q	r
	2	Investigador A	EDGAR	9,91%		b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l						
			SIMAC	42,26%													m	n	o	p		
			GUZMAN	56,67%															o	p	q	
		Investigador B	SIMAC	0,00%	a																	
			GUZMAN	0,00%	a																	
			EDGAR	1,16%	a	b	c	d	e													
		Investigador C	EDGAR	22,50%								h	i	j	k	l	m	n				
			SIMAC	32,76%											k	l	m	n	o	p		
			GUZMAN	58,00%																p	q	
	3	Investigador A	SIMAC	11,31%			c	d	e	f	g	h	i	j	k	l						
			EDGAR	13,04%				d	e	f	g	h	i	j	k	l						
			GUZMAN	18,61%						f	g	h	i	j	k	l	m	n				
		Investigador B	SIMAC	0,00%	a																	
			EDGAR	1,96%	a	b	c	d	e	f												
			GUZMAN	4,17%	a	b	c	d	e	f	g	h										
		Investigador C	SIMAC	10,47%			c	d	e	f	g	h	i	j	k	l						
			EDGAR	17,14%						f	g	h	i	j	k	l	m	n				
			GUZMAN	19,00%						f	g	h	i	j	k	l	m	n				
Talud	1	Investigador A	EDGAR	9,82%		b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l						
			SIMAC	19,65%							g	h	i	j	k	l	m	n				
			GUZMAN	19,75%							g	h	i	j	k	l	m	n				
		Investigador B	GUZMAN	0,01%	a	b																
			SIMAC	0,85%	a	b	c	d														
			EDGAR	2,86%	a	b	c	d	e	f	g											
		Investigador C	GUZMAN	8,34%	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j								
			SIMAC	8,57%	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j								
			EDGAR	9,60%	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k							
	2	Investigador A	GUZMAN	11,37%			c	d	e	f	g	h	i	j	k	l						
			SIMAC	15,64%						f	g	h	i	j	k	l	m					
			EDGAR	16,70%						f	g	h	i	j	k	l	m	n				
		Investigador B	GUZMAN	0,00%	a																	
			SIMAC	0,35%	a	b	c															
			EDGAR	2,68%	a	b	c	d	e	f	g											
		Investigador C	SIMAC	9,98%		b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l						
			GUZMAN	11,85%			c	d	e	f	g	h	i	j	k	l						
			EDGAR	13,13%				d	e	f	g	h	i	j	k	l						
	3	Investigador A	GUZMAN	4,46%	a	b	c	d	e	f	g	h										
			SIMAC	6,49%	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j								
			EDGAR	27,42%										j	k	l	m	n	o			
		Investigador B	SIMAC	0,00%	a																	
			GUZMAN	0,71%	a	b	c	d														
			EDGAR	5,54%	a	b	c	d	e	f	g	h	i									
		Investigador C	SIMAC	0,00%	a																	
			GUZMAN	0,43%	a	b	c	d														
			EDGAR	25,00%									i	j	k	l	m	n				

**Anexo 9:** Efecto de la zona, investigador y método sobre la cobertura de sustrato abiótico estimada. Las letras indican los grupos homogéneos (Tukey  $\alpha=0,05$ ).

Zona	Investigador	Método	Cobertura de Sustrato abiótico	Grupo homogéneo (Tukey=0,05)						
				a	b	c	d	e	f	g
Planicie	Investigador A	EDGAR	17,20%					e	f	
		GUZMAN	0,00%	a						
		SIMAC	0,00%	a						
	Investigador B	EDGAR	32,23%						f	g
		GUZMAN	41,01%							g
		SIMAC	42,44%							g
	Investigador C	EDGAR	8,69%			c	d	e		
		GUZMAN	0,07%	a	b					
		SIMAC	2,24%	a	b					
Talud	Investigador A	EDGAR	8,92%			c	d	e		
		GUZMAN	2,54%	a	b					
		SIMAC	1,59%	a	b					
	Investigador B	EDGAR	20,33%					e	f	
		GUZMAN	14,17%				d	e		
		SIMAC	13,82%				d	e		
	Investigador C	EDGAR	16,73%					e		
		GUZMAN	4,69%	a	b	c				
		SIMAC	5,29%		b	c	d			

**Anexo 10:** Prueba univariada de significancia, tamaño y potencia de los efectos sobre el tiempo requerido para tomar los datos de bentos en campo.

Fuente de Variación	G L	CM	Den.Syn. Error GL	Den.Syn. Error CM	F	p	Eta cudr. parcial	Potencia observ. (a=0,05)
<b>Intercepto</b>	<b>1</b>	<b>40020,750</b>	<b>3,242</b>	<b>113,417</b>	<b>352,865</b>	<b>0,000</b>	<b>0,991</b>	<b>1,000</b>
Zona	1	0,454	3,063	108,287	0,004	0,952	0,001	0,050
Sitio(Zona)	4	116,491	5,925	48,449	2,404	0,163	0,619	0,373
Método	2	233,083	4,575	197,375	1,181	0,386	0,340	0,157
Investigador	2	29,694	3,765	181,111	0,164	0,855	0,080	0,062
<b>Investigador*Método</b>	<b>4</b>	<b>181,694</b>	<b>4,000</b>	<b>25,148</b>	<b>7,225</b>	<b>0,041</b>	<b>0,878</b>	<b>0,687</b>
Zona*Método	2	68,620	3,968	40,829	1,681	0,296	0,459	0,191
Zona*Investigador	2	24,565	3,004	31,731	0,774	0,536	0,340	0,101
Zona*Método*Investigador	4	25,148	16,000	26,185	0,960	0,456	0,194	0,237
Sitio(Zona)*Método	8	41,866	16,000	26,185	1,599	0,202	0,444	0,497
Sitio(Zona)*Investigador	8	32,769	16,000	26,185	1,251	0,333	0,385	0,391
Sitio(Zona)*Método*Investigador	16	26,185	54,000	69,194	0,378	0,982	0,101	0,210
Error	54	69,194						

**Anexo 11:** Prueba univariada de significancia, tamaño y potencia de los efectos sobre el tiempo para digitalizar y procesar los datos de bentos en el laboratorio.

Fuente de Variación	G L	CM	Den.Syn. Error GL	Den.Syn. Error CM	F	p	Eta cudr. parcial	Potencia observ. (a=0,05)
<b>Intercepto</b>	<b>1</b>	<b>29933,370</b>	<b>5,632</b>	<b>108,884</b>	<b>274,910</b>	<b>0,000</b>	<b>0,980</b>	<b>1,000</b>
Zona	1	108,000	3,911	70,403	1,534	0,285	0,282	0,160
Sitio(Zona)	4	71,074	4,112	23,262	3,055	0,149	0,748	0,358
<b>Método</b>	<b>2</b>	<b>5201,731</b>	<b>5,358</b>	<b>130,350</b>	<b>39,906</b>	<b>0,001</b>	<b>0,937</b>	<b>1,000</b>
Investigador	2	41,009	3,913	109,204	0,376	0,709	0,161	0,080
<b>Investigador*Método</b>	<b>4</b>	<b>110,287</b>	<b>4,000</b>	<b>3,611</b>	<b>30,541</b>	<b>0,003</b>	<b>0,968</b>	<b>0,998</b>
Zona*Método	2	117,250	4,196	23,674	4,953	0,079	0,702	0,480
Zona*Investigador	2	2,528	0,000					
Zona*Método*Investigador	4	3,611	16,000	11,234	0,321	0,859	0,074	0,104
<b>Sitio(Zona)*Método</b>	<b>8</b>	<b>31,296</b>	<b>16,000</b>	<b>11,234</b>	<b>2,786</b>	<b>0,039</b>	<b>0,582</b>	<b>0,778</b>
Sitio(Zona)*Investigador	8	3,199	16,000	11,234	0,285	0,961	0,125	0,109
Sitio(Zona)*Método*Investigador	16	11,234	54,000	14,074	0,798	0,681	0,191	0,458
Error	54	14,074						

**Anexo 12:** Prueba univariada de significancia, tamaño y potencia de los efectos sobre el tiempo total para tomar, digitalizar y procesar los datos de bentos.

Fuente de Variación	G L	CM	Den.Syn. Error GL	Den.Syn. Error CM	F	p	Eta cudr. parcial	Potencia observ. (a=0,05)
<b>Intercepto</b>	<b>1</b>	<b>139.177,120</b>	<b>5,307</b>	<b>468,662</b>	<b>296,967</b>	<b>0,000</b>	<b>0,982</b>	<b>1,000</b>
Zona	1	122,454	4,288	379,662	0,323	0,599	0,070	0,074
Sitio(Zona)	4	361,259	5,467	94,426	3,826	0,078	0,737	0,532
<b>Método</b>	<b>2</b>	<b>7.297,370</b>	<b>5,038</b>	<b>587,704</b>	<b>12,417</b>	<b>0,011</b>	<b>0,831</b>	<b>0,899</b>
Investigador	2	131,815	4,058	526,148	0,251	0,790	0,110	0,070
<b>Investigador*Método</b>	<b>4</b>	<b>517,690</b>	<b>4,000</b>	<b>34,356</b>	<b>15,068</b>	<b>0,011</b>	<b>0,938</b>	<b>0,939</b>
Zona*Método	2	306,704	5,883	104,370	2,939	0,130	0,500	0,371
Zona*Investigador	2	42,815	0,914	20,523	2,086	0,456	0,820	0,088
Zona*Método*Investigador	4	34,356	16,000	38,245	0,898	0,488	0,183	0,223
<b>Sitio(Zona)*Método</b>	<b>8</b>	<b>108,259</b>	<b>16,000</b>	<b>38,245</b>	<b>2,831</b>	<b>0,036</b>	<b>0,586</b>	<b>0,786</b>
Sitio(Zona)*Investigador	8	24,412	16,000	38,245	0,638	0,735	0,242	0,203
Sitio(Zona)*Método*Investigador	16	38,245	54,000	108,657	0,352	0,988	0,094	0,195
Error	54	108,657						

**Anexo 13:** Costo aproximado por transecto para la implementación de un programa de monitoreo con los métodos de Edgar, Guzmán y SIMAC. Los costos se han calculado para un programa de monitoreo de 10 transectos, a 1, 10 y 20 monitoreos y se han estandarizado con el costo del transecto de menor valor en el programa de 20 monitoreos.

Valor en el programa de 20 Monitoreos														
Costos	Ítem	Cantidad requerida			Valor unitario	1 Monitoreo			10 Monitoreos			20 Monitoreos		
		SIMA				SIMA			SIMA			SIMA		
		Edgar	C	Guzmán		Edgar	C	Guzmán	Edgar	C	Guzmán	Edgar	C	Guzmán
C1 inversión inicial	Flexómetro 50m	1	-	-	62.900	1,55	0,00	0,00	1,55	0,00	0,00	1,55	0,00	0,00
	Flexómetro 30m	0	1	1	44.900	0,00	1,11	1,11	0,00	1,11	1,11	0,00	1,11	1,11
	Cuerda 12 m	-	12		350	0,00	0,10	0,00	0,00	0,10	0,00	0,00	0,10	0,00
	Tubo de PVC 1/2"	-	1	4	1.267	0,00	0,03	0,12	0,00	0,03	0,12	0,00	0,03	0,12
	Codos tubo PVC 1/2"	-	2	4	350	0,00	0,02	0,03	0,00	0,02	0,03	0,00	0,02	0,03
	T de PVC 1/2"	-	2	-	500	0,00	0,02	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,02	0,00
	Rotuladora	-	1	-	14.840	0,00	0,37	0,00	0,00	0,37	0,00	0,00	0,37	0,00
	Porra	-	1	1	21.000	0,00	0,52	0,52	0,00	0,52	0,52	0,00	0,52	0,52
	Cadena niquelada	-	12	-	504	0,00	0,15	0,00	0,00	0,15	0,00	0,00	0,15	0,00
	Cuerda negra	-	-	1	20.000	0,00	0,00	0,49	0,00	0,00	0,49	0,00	0,00	0,49
	Esparadrapo	-	1	-	6.200	0,00	0,15	0,00	0,00	0,15	0,00	0,00	0,15	0,00
	Varillas acero	-	2	3	23.000	0,00	1,13	1,70	0,00	1,13	1,70	0,00	1,13	1,70
	Chaleco de Buceo	1	1	1	861.638	21,22	21,22	21,22	21,22	21,22	21,22	21,22	21,22	21,22
	Regulador de buceo	1	1	1	1.264.227	31,13	31,13	31,13	31,13	31,13	31,13	31,13	31,13	31,13
	Cámara digital	1	-	-	1.000.000	24,62	0,00	0,00	24,62	0,00	0,00	24,62	0,00	0,00
	Cubierta subacuatica	1	-	-	540.000	13,30	0,00	0,00	13,30	0,00	0,00	13,30	0,00	0,00
	GPS	1	1	1	1.290.000	31,76	31,76	31,76	31,76	31,76	31,76	31,76	31,76	31,76
	Computador	1	1	1	2.750.000	67,72	67,72	67,72	67,72	67,72	67,72	67,72	67,72	67,72
	Caja Seca (computador)	1	1	1	387.440	9,54	9,54	9,54	9,54	9,54	9,54	9,54	9,54	9,54
	Licencia del OFFICE 2007	1	1	1	188.600	4,64	4,64	4,64	4,64	4,64	4,64	4,64	4,64	4,64
	CPCe para Windows	1	0	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Total						205,48	169,61	169,99	205,48	169,61	169,99	205,48	169,61	169,99
C2 inversiones periódicas	Tabla acrílico	0,10	0,20	0,20	1,01	0,10	0,20	0,20	1,01	2,02	2,02	2,02	4,04	4,04
	Lápices Grafito	0,10	0,20	0,20	0,98	0,10	0,20	0,20	0,98	1,97	1,97	1,97	3,94	3,94
	Cinta para rotular	0,00	0,23	0,00	0,00	0,00	0,23	0,00	0,00	2,32	0,00	0,00	4,64	0,00
	Nylon	0,00	0,06	0,00	0,00	0,00	0,06	0,00	0,00	0,63	0,00	0,00	1,26	0,00
	Aceite Aerosol	0,00	0,44	0,00	0,00	0,00	0,44	0,00	0,00	4,41	0,00	0,00	8,82	0,00
	Lija de Agua	0,02	0,02	0,02	0,25	0,02	0,02	0,02	0,25	0,25	0,25	0,49	0,49	0,49
	Media velada (sílica gel)	0,02	0,00	0,00	0,25	0,02	0,00	0,00	0,25	0,00	0,00	0,49	0,00	0,00
	Silica Gel 1kg	0,40	0,00	0,00	3,95	0,40	0,00	0,00	3,95	0,00	0,00	7,90	0,00	0,00
Total						0,64	1,16	0,42	6,44	11,59	4,24	12,88	23,18	8,47
C3 Personal	Toma de datos	0,45	0,40	0,34	4,46	0,45	0,40	0,34	4,46	3,98	3,41	8,91	7,96	6,83
	Digitalización de datos	0,63	0,20	0,20	6,26	0,63	0,20	0,20	6,26	2,01	1,97	12,53	4,02	3,94
	Procesamiento de datos	1,07	0,60	0,54	10,72	1,07	0,60	0,54	10,72	5,99	5,39	21,44	11,98	10,77
	Total						2,14	1,20	1,08	21,44	11,98	10,77	42,89	23,96
TOTAL						208,27	171,97	171,49	233,36	193,18	184,99	261,24	216,75	200,00
Costo/Transecto						20,83	17,20	17,15	2,33	1,93	1,85	1,31	1,08	1,00