



***ReefBudget*: Metodología**

Versión del Caribe 2

El desarrollo de esta metodología fue financiado originalmente por The Leverhulme Trust (International Research Network Programme). Esta es una versión actualizada (v2, Junio 2019) de la metodología original del Caribe.

Por favor cite a *ReefBudget* de la siguiente manera en cualquier publicación que resulte del uso de esta metodología:

Perry CT y Lange ID (2019) ReefBudget Caribbean v2: online resource and methodology. Tomado de <http://geography.exeter.ac.uk/reefbudget/>

2 3

3 5

4 10

5 RESUMEN DEL PRESUPUESTO

25

6 ÍNDICES DE CONFIANZA

26

Apéndice 1 – Hoja de encuesta bentónica

Apéndice 2 – Hoja de encuesta de erizos

Apéndice 3 – Erizos bioerosionantes del Caribe

Apéndice 4 – Hoja de encuesta de peces loro

Apéndice 5 – Tabla de identificación de peces loro

Apéndice 6 – Hoja de encuesta de esponjas perforantes

Apéndice 7 – Tabla de identificación de esponjas perforantes

Apéndice 8 – Cálculos de las tasas de erosión de peces loro

1 Aproximaciones basadas en censos para cuantificar los presupuestos de carbonato arrecifal

Esta versión revisada de la metodología *ReefBudget* del Caribe ha sido adaptada de una metodología actualizada y desarrollada recientemente para su uso en los arrecifes del Indo-Pacífico. El objetivo de esta versión es respaldar las estimaciones de los presupuestos netos de carbonato biológicamente impulsados [$\text{kg CaCO}_3 \text{ m}^{-2} \text{ año}^{-1}$; ver <http://geography.exeter.ac.uk/reefbudget/> y Perry et al. (2012)]. Esta metodología utiliza un criterio basado en censos para cuantificar la cobertura o abundancia de taxones productores de carbonato, como corales y algas coralinas crustosas (ACC), y organismos bioerosionantes, como erizos, peces loro y taxones de micro y macro-endolíticos. Esta metodología además integra estos datos con medidas publicadas y derivadas del campo de la producción de carbonato y tasas de bioerosión de especies o géneros específicos. De esta manera, se pueden respaldar los cálculos presupuestarios resultantes. De ser necesario, esta metodología se puede aplicar a diferentes zonas y profundidades de arrecifes para apoyar los esfuerzos de ampliación espacial.

Si bien esta versión es similar al formato actual de la metodología original del Caribe, existen algunas diferencias importantes en esta nueva versión y en la versión del Indo-Pacífico. Primero, la producción de carbonato por corales y algas coralinas se calcula utilizando relaciones geométricas derivadas de la morfología de colonias individuales. En la metodología original, esto se hace utilizando la rugosidad al nivel de transecto. Estos nuevos cálculos están respaldados por estudios del Caribe donde se reportan datos relevantes de la tasa de crecimiento y la densidad del esqueleto de corales. En segundo lugar, la erosión de la matriz estructural por microperforadores, como cianobacterias y hongos, se calcula dentro de las principales hojas de censo (basadas en tasas publicadas), pero también en función de la proporción de sustrato disponible para la bioerosión en cada transecto. Sin embargo, así como en la metodología original del Caribe, aún se recopilan otros datos de censo para estimar las tasas de erosión de esponjas endolíticas (como indicador de la erosión macro-endolítica), peces loro y erizos. El método no pretende estimar en sí las tasas de producción de sedimentos, pero hasta cierto punto esto se puede estimar para los organismos bioerosionantes que pastorean, como erizos y peces loro. Actualmente, en este enfoque no se cuantifican otros aspectos de la producción de sedimentos y la litificación posterior a la deposición.

Puntos clave:

- Esta nueva versión de *ReefBudget* surge de las adaptaciones realizadas a la metodología para ayudar en su aplicación en sitios de arrecifes del Indo-Pacífico. Por lo tanto, esta nueva metodología es un reflejo de las mejoras que se han hecho a lo largo de varios años. Sin embargo, aunque estas modificaciones se han diseñado para proporcionar estimaciones más precisas, tanto de la producción como de la erosión, están limitadas por los conjuntos de datos empíricos subyacentes que ya existen. A medida que surjan nuevos datos, el método podría mejorar aún más.
- Actualmente, el protocolo y la base de datos y hojas de cálculo de apoyo en línea provienen de toda la región del Caribe. Sin embargo, existe la posibilidad de adaptar este enfoque para ser más específico a la subregión conforme se disponga de más datos sobre las tasas de crecimiento de corales.
- En cuanto a la metodología original *ReefBudget* del Caribe, estos métodos pueden, por principio, aplicarse a cualquier sitio y zona de arrecife, pero se deben considerar las variaciones en profundidad y tasas de crecimiento regional. Si se utilizan los datos y cálculos preestablecidos en las hojas de cálculo predeterminadas, se sugiere que los sitios estén limitados a una profundidad de entre 2 y 10 m. Esto debido a que es el intervalo de profundidad a través del cual se extrae la mayoría de los datos.

- Los datos deben recopilarse a lo largo de contornos de profundidad paralelos a la cresta del arrecife, o según corresponda al sitio. Pero si existen áreas de arrecife dentro de la misma zona con diferencias obvias en la composición de la comunidad de corales o de peces, se debe considerar establecer múltiples sitios de estudio.

Se proporcionan tres hojas de cálculo para la metodología *ReefBudget* del Caribe para calcular estimaciones de la producción de carbonato y la bioerosión.

La hoja de cálculo '*Caribbean carbonate production template v2*' es donde se ingresan todos los datos bentónicos. En ella se calcula el porcentaje de cobertura de cada categoría, la producción de carbonato y la microbioerosión. Además, se proporcionan datos resumidos para cada transecto por género, morfología y estrategia de historia de vida del coral (sensu Darling et al. 2012), así como otras categorías.

En la hoja de cálculo '*Urchin data entry template*' (*Plantilla para el ingreso de datos de erizo*) se calcula la erosión de erizos utilizando una ecuación general o ecuaciones individuales para dos categorías principales de erizos (*Diadematidae* y *Echinometra*). También se obtiene la densidad y bioerosión de erizos por clase de tamaño, grupo y transecto. En caso de ser relevante, la densidad de erizos por especie se puede obtener en una de las pestañas.

En la hoja de cálculo '*Parrotfish data entry template*' (*Plantilla para el ingreso de datos de peces loro*) se calcula la bioerosión de los peces loro encuestados, tanto por especie como por fase de vida dentro de categorías de tamaño de 10 cm. Se obtienen además valores de densidad, biomasa y bioerosión de los peces loro a nivel de especie y transecto.

Las celdas grises y amarillas NO deben manipularse. Las celdas amarillas son los resultados de la fórmula; las celdas blancas son donde se pueden manipular los valores.

2 Selección del sitio, características y ubicación del transecto

2.1 Características del sitio

Para proporcionar una caracterización general de cada área de estudio, se pueden recopilar los siguientes tipos de datos en cada sitio.

1. **Estado de gestión** – Si el sitio se encuentra en un área marina protegida de prohibición de pesca, si ciertas actividades están restringidas dentro del sitio, etc.
2. **Variables ambientales locales** – Si hay aportaciones cercanas de agua dulce, sedimentos, nutrientes, exposición al oleaje, etc.
3. Estimaciones del **espesor de sedimentos** – Esto se puede realizar examinando bolsillos/capas de sedimento acumulado en el arrecife durante las encuestas.

2.2 Colocación de transectos

En cada profundidad de estudio, se deben establecer entre cuatro (preferiblemente seis) a ocho transectos de 10 m que servirán como líneas de estudio "maestras". A lo largo de estos transectos se recolectarán todos los datos (excepto datos de peces loro).

- Cada transecto se debe establecer a lo largo de contornos de profundidad paralelos al frente/cresta del arrecife o a lo largo de estructuras arrecifales de igual profundidad, como espolones o parches de arrecife. Esto dependerá de lo que se considere más apropiado para el sitio.
- Los transectos deben estar separados entre sí por aproximadamente 5 a 10 m.
- Idealmente cada transecto se debe marcar (si se permite) al principio y al final con un marcador fijo (Fig. 1). Esto permite poder establecer una serie de sitios de monitoreo a largo plazo como un recurso para evaluaciones posteriores de presupuesto u otros tipos de monitoreo de arrecifes. Las estacas marcadoras al inicio de cada transecto deben colocarse evitando áreas de coral vivo.
- Los marcadores deben estar separados por más de 10 m y la cinta utilizada para la línea de encuesta debe estar tensada y asegurada firmemente.
- Cada cinta métrica utilizada debe tener una cuerda "líder" de ~50 cm de longitud atada al inicio. Esto garantiza que el punto de inicio de cada transecto medido no esté sesgado por la presencia del sustrato disponible para el despliegue de las estacas (Fig. 1).
- Además de las coordenadas del sistema de posicionamiento global de los transectos, se recomienda altamente tener un mapa de la ubicación y el diseño de los transectos con relación a los aspectos notables de la estructura bruta del arrecife.

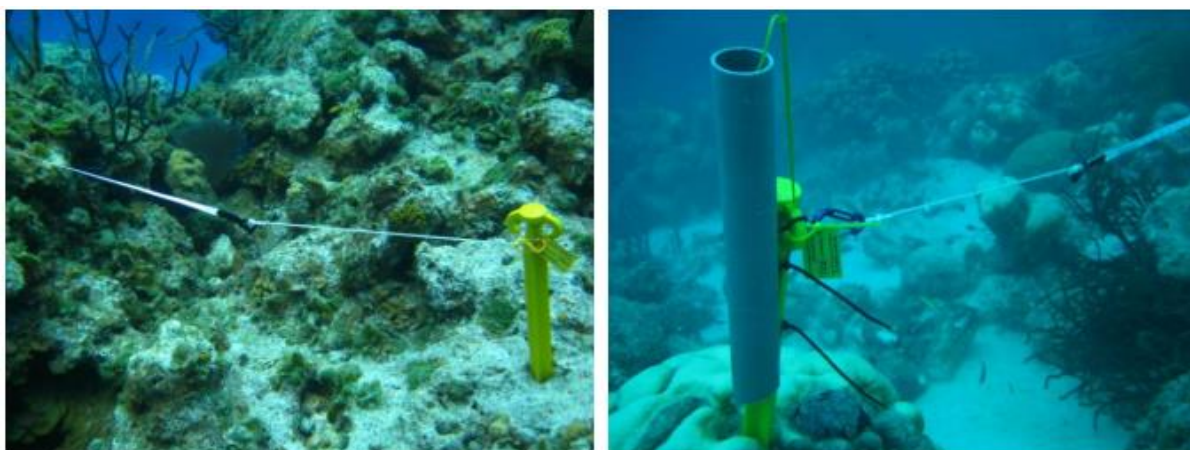


Figura 1. Cinta de monitoreo atada a la estaca marcadora que muestra una cuerda 'líder' de 50 cm de largo desde el clip hasta la cinta principal.

3 Determinación de las tasas de producción de carbonato bentónico

Los arrecifes de coral son estructuras rugosas tridimensionales y su complejidad topográfica a menudo varía tanto dentro como entre arrecifes. Esto se debe tanto a la composición bentónica como a la estructura geomorfológica del arrecife. Por ejemplo, la abundancia de diferentes morfo-taxones de coral o estructuras como espolones y surcos. Por lo tanto, esta complejidad topográfica debe tomarse en cuenta para determinar con precisión la superficie cubierta por biota calcificante. Sin embargo, los métodos más comunes de transectos (i.e., intersección de puntos o intersección de líneas) tienen dificultades para explicar con precisión la complejidad tridimensional de los arrecifes de coral y los organismos que se encuentran en superficies ocultas (Goatley y Bellwood 2011). La manera más común para medir la rugosidad del arrecife ha sido al pasar una cadena o cuerda con peso y de longitud conocida (d_1) sobre el sustrato, siguiendo la topografía. Después, se mide la distancia plana cubierta por la cadena/cuerda (d_2). La rugosidad se puede determinar entonces con d_1/d_2 (Hubbard et al. 1990; Mallela y Perry 2007). Este índice de rugosidad se puede aplicar como un factor de conversión a transectos individuales para obtener una medida más precisa de la superficie real cubierta por cada taxón. Sin embargo, es importante señalar que este método por sí solo no explicaría las diferencias en la diversidad y composición de la comunidad bentónica impulsadas por la complejidad del ambiente; por ejemplo, los efectos del dosel, como la sombra del sustrato por grandes colonias coralinas, y la medición real de la abundancia de organismos en superficies verticales o colgantes.

Para combatir estos problemas, el enfoque de *ReefBudget* utiliza una variación del método de intercepción-cadena donde se evalúan los organismos en todas las superficies bajo la línea maestra de estudio, así como se describe en Goatley y Bellwood (2011). Por lo tanto, el método *ReefBudget* integra el método de transecto en cadena con un transecto de intersección de línea (Cuadro 1). Al utilizar una cinta colocada para ajustarse al verdadero perfil superficial del arrecife, todos los voladizos y las superficies verticales y horizontales se pueden medir. De esta manera, por ejemplo, si la línea del transecto cruza sobre un coral con forma de mesa, se deben registrar las superficies superior e inferior del coral, el bentos debajo del dosel y potencialmente el bentos en el pilar central del coral con forma de mesa. Este nivel de precisión se logra mejor al utilizar una cinta flexible de ~1 m de longitud y registrando la distancia cubierta por cada taxón/categoría de sustrato dentro de cada 1 m lineal de transecto. Esta metodología requiere de más tiempo que los métodos estándar de puntos de intercepción o líneas de intercepción, particularmente en arrecifes de alta complejidad. Sin embargo, proporciona datos mucho más precisos sobre el área de superficie real cubierta por cada componente bentónico en el arrecife, así como su abundancia. También asegura que se incluya con precisión la cobertura bentónica en superficies crípticas. Para obtener un registro de las características del sustrato e información sobre la morfología general del transecto, se recomienda la recopilación complementaria de grabaciones en franja o fotografías secuenciales de cada transecto.

Para estimaciones del presupuesto de la matriz estructural, el requisito clave es cuantificar la abundancia y la morfología de los corales y otros incrustantes calcáreos. La recopilación de datos de abundancia de otros grupos que no producen carbonato se incorpora fácilmente a el monitoreo. Esto podría además proporcionar un contexto esencial para comprender los datos presupuestarios resultantes; por ejemplo, sobre arrecifes que han sufrido cambios de fase hacia un dominio de macroalgas. Recomendamos la recopilación de datos sobre los siguientes grupos:

Categorías esenciales que recopilar para cálculos de la matriz estructural del ReefBudget del Caribe

- Coral por especie¹ (o si no es posible, por género) y nivel de grupo morfológico. También se proporciona una categoría genérica de “coral duro” que calculará la tasa de producción de carbonato en función de las tasas *medias* de extensión y densidad del coral. Pero para esto se debe registrar la morfología de la colonia.

- Algas coralinas costrosas (ACC), incluyendo otros incrustantes no diferenciados, (e.g., serpúlidos, briozoos).
- Escombros
- Sedimento
- Pavimento de roca/piedra caliza

Deseable

- Cobertura de macroalgas². (Esto es útil para diferenciar entre algas carnosas y coralinas. También sugerimos que *Halimeda* spp. y otras algas coralinas articuladas se registren por separado).
- Cobertura del tapete de algas
- Esponjas (erosionantes y no erosionantes)
- Cobertura de coral blando²
- Anémonas
- Coralimorfarios
- Almejas y otros invertebrados sésiles

¹ La guía en línea de corales y esponjas del Caribe, *Coralpedia* (<https://coralpedia.bio.warwick.ac.uk/>) proporciona una guía de campo útil para los géneros de especies de corales del Caribe.

² Recomendamos observar debajo de cualquier dosel de macroalgas o corales blandos para determinar si hay ACC vivas. En estos casos, se registra una clasificación mixta para obtener las evaluaciones más precisas de la cobertura/producción de ACC o la cobertura de macroalgas.

CUADRO 1| Encuestas bentónicas – metodología de campo recomendada

- (1) Inserte una estaca marcadora en el arrecife (**no** directamente en una colonia de coral vivo). Luego coloque la línea maestra del transecto de 10 m a lo largo del contorno de profundidad (paralela a la cresta del arrecife) antes de fijarla a una segunda estaca marcadora y tensarla. Las dos estacas deberían estar separadas por poco más de 10 m (Fig. 2 A, B).
- (2) Registre los datos en las hojas de monitoreo utilizando los códigos recomendados específicos para los taxones (vea el Apéndice 1). Es esencial que se siga el sistema de codificación correcto en el ingreso de datos. La razón de esto es que estos códigos se vinculan con el taxón y las tasas de crecimiento, densidad y ecuaciones morfológicamente específicas necesarios para calcular las estimaciones de producción de carbonato.
- (3) Mida la distancia superficial (cm) cubierta por cada componente bentónico directamente debajo de la cinta maestra y dentro de cada 1 m lineal del transecto de estudio de 10 m (Fig. 2C). La mejor manera de hacer esto es usando una cinta flexible corta (~1 m) que se pueda colocar para ajustarse al perfil exacto de la superficie del arrecife (Fig. 2D). Cuando la cinta cruce una colonia de coral de > 1 m de tamaño (i.e., se extiende a lo largo de dos metros lineales de la cinta maestra), es necesario registrar el tamaño completo de la colonia al centímetro más cercano. Es decir, si la colonia es de 115 cm, esto debe registrarse como 115 cm, no 100 cm y 15 cm. En estos casos, asigne la colonia al metro en el que se encuentra la mayor parte de la colonia. Se debe tener cuidado para incluir medidas de la cobertura de superficie dentro de todas las grietas y hendiduras a lo largo del transecto lineal.
- (4) Donde el transecto cruce áreas de cobertura compleja de coral vivo, como *Acropora* ramificada o formas tabulares complejas, la metodología es más efectiva si se hace una estimación lo más confiable posible de la distancia cubierta por el tejido vivo debajo de la línea del transecto.
- (5) Donde la cinta cruce corales ramificados abiertos, se debe medir el diámetro de estas ramas. Luego se debe contar el número total de ramas vivas que se cruzan debajo de la cinta guía. Por ejemplo, si las ramas tienen un diámetro promedio de 2 cm y 15 ramas se cruzan con la línea, la cobertura total viva para esa colonia se registraría como 30 cm. Esto evita sobrestimar la cobertura de coral vivo, como podría ocurrir si se coloca una cinta sobre toda la colonia. Las ramas muertas deben contarse de la misma manera y registrarse adecuadamente.
- (6) A diferencia de algunas encuestas bentónicas, la distancia cubierta por arena y los escombros deben incluirse en las medidas realizadas.

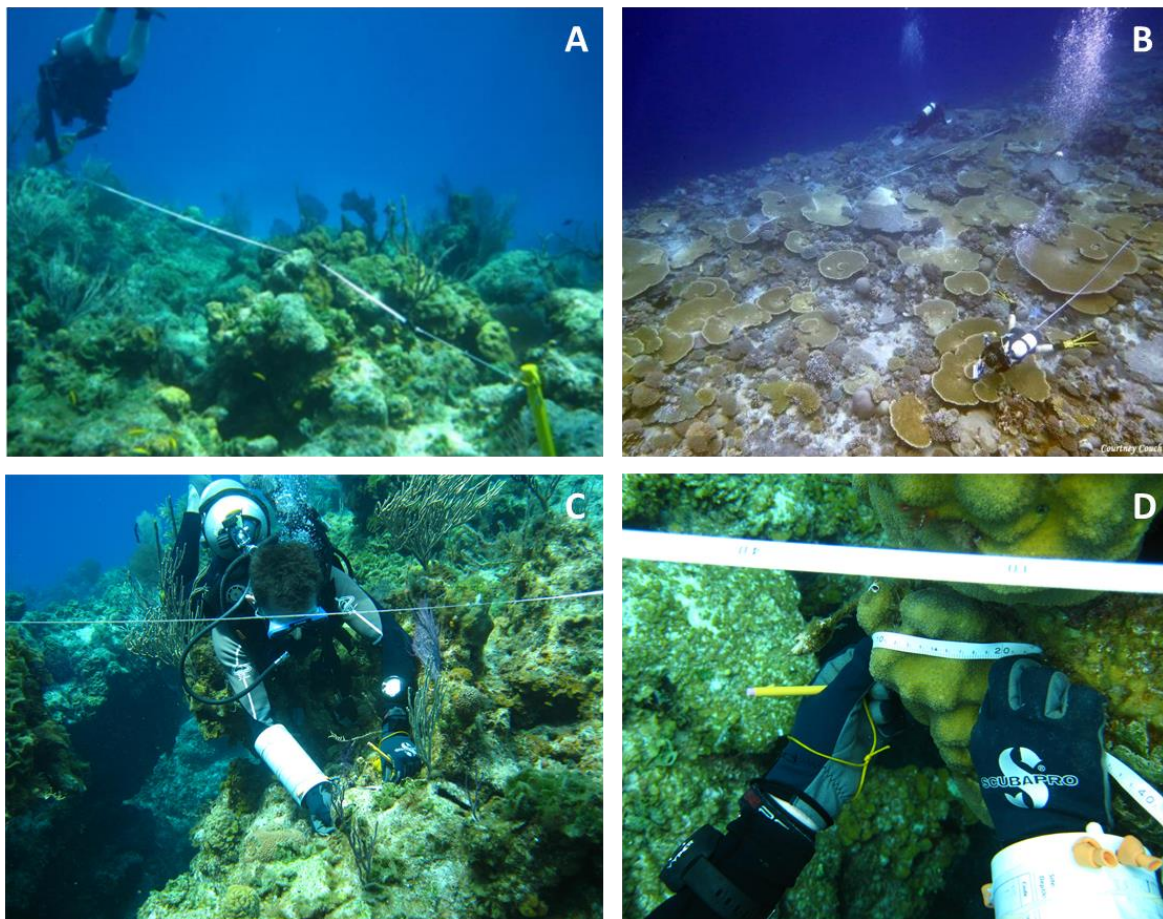


Figura 2. (A, B) Colocación de la línea maestra del transecto, unida a una estaca marcadora fija; (C) Buzo registrando la distancia lineal cubierta por cada componente bentónico inmediatamente debajo de la línea principal de transecto de 10 m; (D) Se debe tener cuidado para asegurar que la cinta métrica flexible para el sustrato se ajuste a la superficie exacta del arrecife debajo de la línea maestra del transecto.

3.1 Cálculo de las tasas de producción de carbonato de coral basadas en el tamaño y la morfología de la colonia

Para obtener estimaciones precisas de la producción de carbonato, la densidad (g cm^{-3}) del productor primario (coral) o secundario (ACC) en cuestión debe combinarse con las siguientes medidas: la tasa de crecimiento lineal (cm año^{-1}), la forma geométrica y el tamaño actual de cada colonia/costra. Esto produce una tasa de producción para cada colonia en $\text{kg CaCO}_3 \text{ año}^{-1}$. Para producir una tasa de producción de carbonato para el arrecife, estos datos pueden combinarse con el área plana de cada transecto (normalmente $10 \text{ m} \times 1 \text{ cm}$). Se obtiene una tasa en $\text{kg CaCO}_3 \text{ m}^{-2} \text{ año}^{-1}$, donde m^{-2} se refiere al área plana del arrecife.

Actualmente, los cálculos de *ReefBudget* hacen las siguientes suposiciones sobre la morfología de las colonias: las colonias masivas crecen uniformemente en forma hemisférica; las colonias incrustantes, foliosas y laminares crecen principalmente en el borde de la colonia y al 10% de esta tasa de crecimiento en el resto de la colonia; y finalmente, para las colonias ramificadas y columnares, la proporción del área de la colonia con puntas crecientes de ramas crece a las tasas publicadas, mientras que el resto de la colonia crece al 10% de estas tasas. Para los corales con múltiples láminas, hojas o tablas, es importante medir cada lámina u hoja por separado.

Nótese bien: Los métodos emergentes basados en la fotogrametría comienzan a proporcionar información interesante sobre áreas de crecimiento relativamente alto o bajo en colonias individuales. Esto podrían además respaldar futuras modificaciones.

Las ecuaciones resultantes de producción de carbonato son:

Masivo:

$$CP_i = \left(\left(g + \left(\frac{x}{\pi} \right)^2 \pi - \left(\frac{x}{\pi} \right)^2 \pi \right) \cdot d, \right.$$

Submasivo:

$$CP_i = g \cdot x \cdot d,$$

Incrustante/laminar/folioso:

$$CP_i = h \cdot (g \cdot d) + 0.1g \cdot x \cdot d,$$

Ramificado/corimboso/columnar:

$$CP_i = (x \cdot c_a \cdot g \cdot d) + (x - c_a \cdot x) \cdot 0.1g \cdot d,$$

donde CP_i = producción de carbonato para la colonia i , g = tasa de crecimiento, x = longitud de la superficie de la colonia, d = densidad del esqueleto, h = número de "bordes" de la colonia (normalmente 2), y c_a = proporción de la colonia con ramas axiales en crecimiento.

Nótese bien: Medir la superficie lineal de las puntas en crecimiento de corales ramificados durante el monitoreo lleva mucho tiempo. Por lo tanto, para calcular la cantidad de cada colonia que representa las puntas crecientes de las ramas axiales, se pueden usar los valores de la Tabla 1. Para esta tabla se midieron los tamaños de colonias ramificadas y laminares y la longitud de sus puntas en crecimiento para varias especies clave en sitios de México. Estos factores de conversión se utilizan para todos los taxones ramificados y columnares en el cálculo de la producción de carbonato. En algunos casos, estas conversiones se basan actualmente en taxones del Indo-Pacífico. En caso de que se usen, se explican en la pestaña 'Conversion rates' (Tasas de conversión) en el archivo de cálculo del sustrato bentónico.

Tabla 1. Proporción de ramas axiales/tejido en crecimiento con respecto al tamaño total de la colonia.

Especie	Morfología	Puntas de crecimiento:		
		tamaño de colonia	DE	N
<i>Acropora cervicornis</i>	Ramificación fina compleja	0.246	0.055	53
<i>Acropora palmata</i>	Ramificación robusta	0.152	0.092	72
<i>Agaricia tenuifolia</i>	Ramas/frondas laminares	0.063	0.023	63
<i>Eusimilia fastigata</i>	Ramas cortas	0.114	0.033	7
<i>Porites divaricata</i>	Ramificación	0.081	0.045	28
<i>Porites porites</i>	Ramificación	0.146	0.118	47
<i>Millepora alcicornis</i>	Ramificación fina	0.041	0.045	22
<i>Millepora complanata</i>	Ramas afiladas	0.100	0.031	41

Para calcular la producción de un solo transecto durante un año, se utiliza la siguiente ecuación:

$$CP_j = \sum_{i=1}^n CP_1 + CP_2 + \dots + CP_n,$$

donde CP_j es la producción total de carbonato, tanto de corales como de algas coralinas crustosas para el transecto j en kg CaCO_3 año⁻¹.

Para estimar la tasa de producción del arrecife, se utiliza la siguiente ecuación:

$$G_{prod_j} = CP_j / \left(\frac{10000}{l} \right),$$

donde G_{prod_j} es la tasa de producción de carbonato, tanto de corales como de algas coralinas crustosas para el transecto j en $\text{kg CaCO}_3 \text{ m}^{-2} \text{ año}^{-1}$, y l es la longitud del transecto en centímetros.

Nótese que los cálculos y factores de conversión anteriores ya están integrados en las hojas de cálculo predeterminadas. Se pueden recopilar datos adicionales específicos del sitio según sea necesario.

3.2 Tasas de crecimiento de coral y medidas de densidad

Queda claro que, para estimaciones presupuestarias, la recopilación de datos nuevos de las tasas de extensión lineal y densidad de coral de cada sitio de arrecife es un tema problemático. Esto debido a que se requieren cantidades significativas de muestreos de coral, análisis y tiempo. En el Caribe, hay una diversidad de corales relativamente baja. Pero, en comparación con otras regiones, hay un conjunto de datos relativamente extenso, tanto de la tasa de crecimiento como de la densidad de los corales. Por lo tanto, hay una mayor proporción de especies/géneros con al menos algunas tasas publicadas. Las hojas de cálculo descargables entonces se han preconfigurado para usar valores del Caribe. Estos valores son las tasas de crecimiento promedio y las densidades esqueléticas para cada especie y morfología de coral en cuestión. También, las tasas promedio de calcificación de ACC de estudios donde investigaron el crecimiento durante más de 1 año. Sin embargo, **todas las tasas pueden y deberían modificarse manualmente en la pestaña 'Calcification Rates' (Tasas de calcificación) si se dispone de datos más locales o específicos de profundidad.**

Los archivos de apoyo en línea '*Caribbean coral growth rate data*' (Datos de tasa de crecimiento de coral del Caribe) y '*Caribbean coral density data*' (Datos de densidad de coral del Caribe) resumen los datos actualmente disponibles que conocemos del crecimiento y densidad esquelética de coral para corales del Caribe y ACC. Es una intención continua el seguir agregando nuevos datos disponibles a este recurso. Si conoce datos relevantes que no aparecen aquí, por favor envíe dicha información a Chris Perry (c.perry@exeter.ac.uk).

3.3 Medidas de densidad y crecimiento de algas coralinas crustosas

Hay muchos menos datos publicados disponibles para las tasas de crecimiento y la densidad de ACC que para los corales. En consecuencia, las estimaciones cuantitativas de la producción de ACC son menos confiables. Por lo tanto, la hoja de cálculo en el modo predeterminado utiliza un promedio de las tasas de los estudios que investigaron el crecimiento durante sólo más de 1 año (consulte el archivo '*CCA production rate*' – Tasa de producción de ACC). Para cuantificar las tasas de calcificación por incrustantes calcáreos dentro del sitio de estudio en cuestión, se recomienda, cuando sea posible, la implementación de sustratos experimentales simples durante períodos de 12 a 24 meses (Cuadro 2).

CUADRO 2| Experimento de crecimiento de ACC: metodología de campo recomendada

Se ha implementado una gama amplia de posibles sustratos en experimentos anteriores para cuantificar las tasas de producción de ACC (Kennedy et al. 2017). Se recomienda el despliegue de tubería de PVC ligeramente lijada (Fig. 3A) o pequeñas tarjetas de plástico (semejantes a tarjetas bancarias) de ~ 8 x 5 cm (Fig. 3B) en la proximidad de cada línea de transecto ($n = 6-9$ tubos, o 5-6 tarjetas). De esta manera el despliegue se hace con mayor facilidad y el reclutamiento de la comunidad se asemeja bastante a lo observado en los sustratos naturales de los alrededores. Estos sustratos experimentales se pueden monitorear para documentar el asentamiento y el crecimiento de ACC. Se pueden tomar fotografías con frecuencia (~ cada 3 meses) o recuperar un subconjunto para su análisis aproximadamente cada 6 a 12 meses, dependiendo de la cantidad de tuberías/tarjetas y la cantidad de crecimiento incrustante. Las tuberías/tarjetas sólo deben recuperarse después de haber asegurado una bolsa alrededor de ellas con cinchos. Así, estos

sustratos pueden examinarse visualmente para determinar el porcentaje de cobertura y el espesor de las incrustaciones calcáreas y fotografiarse en detalle. También se puede obtener un peso por unidad de área. Esto se logra disolviendo la costra de ACC en ácido clorhídrico al 10 % y dividiendo el peso seco, ya sea por el área superficial de las partes internas y externas de la tubería de 10 cm de longitud (consulte Morgan y Kench (2014) para más detalles) o por el área de la superficie de las tarjetas. Si es pertinente, el área de las tarjetas se diferencia además por la orientación de la superficie.

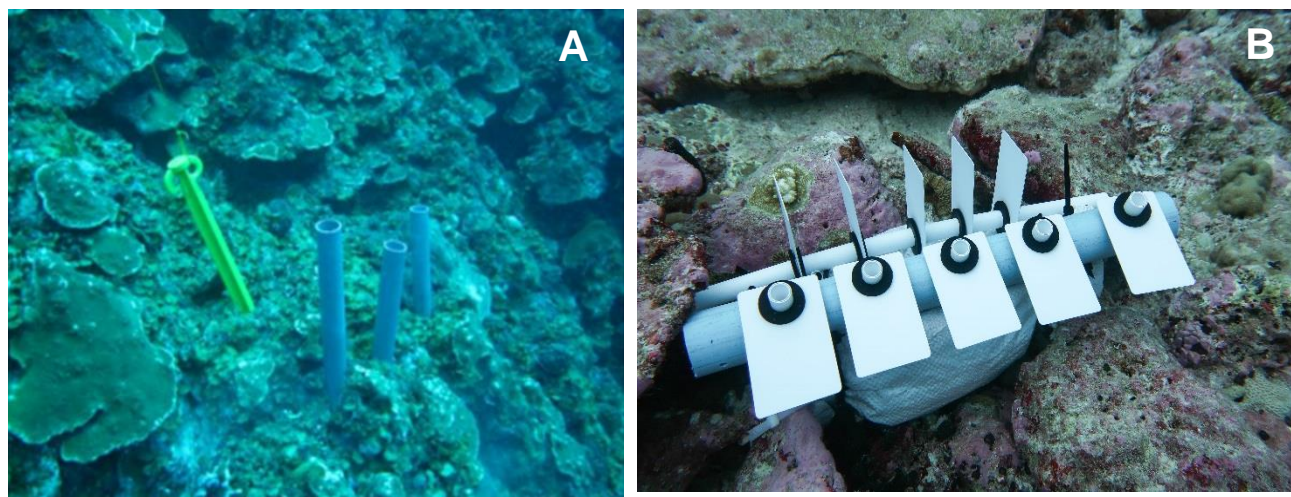


Figura 3. (A) Conjunto de tuberías de asentamiento de PVC colocadas en la matriz estructural del arrecife con una estaca marcadora adyacente; (B) Conjunto de tarjetas de PVC (en orientación horizontal y vertical) colocadas en un arrecife.

3.4 Hoja de cálculo 'Caribbean Carbonate Production template v2'

Las hojas para el ingreso de datos 'Caribbean carbonate production template v2' se pueden descargar del [sitio web de ReefBudget](#). En la pestaña 'Site Description' (Descripción del sitio) se deben completar los datos generales del sitio y los detalles de los transectos realizados. En la pestaña 'Data Entry' (Ingreso de datos) deben agregarse los datos del censo dentro de cada metro lineal de transecto. La pestaña 'Analysis' (Análisis) luego calcula el porcentaje de cobertura y la producción de carbonato (cuando corresponda) para cada género/morfortipo de cada transecto. También hay una pestaña para calcular la microbioerosión (ver sección 4.4 para más detalles). Luego, la pestaña 'Results' (Resultados) resume todos los datos de tal manera que brinda datos a nivel de transecto y de sitio sobre la producción total de carbonato, la producción de los principales gremios de coral, géneros y las estrategias de historia de vida [según Darling et al. (2012), derivado de Coral Trait Database: <https://coraltraits.org/traits/233>]. También proporciona datos de porcentaje de cobertura para las mismas categorías.

3.4.1 Descripción del sitio

Esta pestaña contiene instrucciones para completar la hoja de cálculo y un espacio para una descripción del sitio de estudio y el período (Fig. 4).

Site Details									
9									
10									
11	Site	Kisite			Survey Period	January 2012			
12									
13	Depth	8			Surveyor/s	FJH & CTP			
14									
15	Latitude	-4.72008			Longitude	99.37481			
16									
17	Reef Zone (Flat/Fore)	Zone 2							
18									
19	Notes	North-east side of reef, no swell ~15m visibility							
20									
21									
22									
23									
24									
25									
26	Transect No.								
27		1	2	3	4	5	6	7	8
28	Transect ID	101							
29	Survey Date	12/1/2015							
30	Planar Length (m)	10	NO TRANSECT	NO TRANSECT	NO TRANSECT	NO TRANSECT	NO TRANSECT	NO TRANSECT	NO TRANSECT
31	Substrate Cover (m)	22.13	NO TRANSECT	NO TRANSECT	NO TRANSECT	NO TRANSECT	NO TRANSECT	NO TRANSECT	NO TRANSECT
32	Rugosity	2.21	NO TRANSECT	NO TRANSECT	NO TRANSECT	NO TRANSECT	NO TRANSECT	NO TRANSECT	NO TRANSECT

Figura 4. Ejemplo de la pestaña 'Site Description' en la hoja de cálculo 'Caribbean carbonate production template v2'.

Los cálculos en la hoja de cálculo se ajustan automáticamente para la variedad de números de transectos hasta un máximo de 8 por sitio, así como para situaciones en las que podría ser imposible completar un transecto de 10 m. Para que funcionen correctamente los cálculos en esta pestaña de descripción del sitio, es esencial **asignar un ID de transecto (Transect ID)** y una **fecha de encuesta (Survey Date)** para cada transecto.

3.4.2 Ingreso de datos

Esta pestaña es para ingresar los datos de cada transecto. Es importante asegurarse de que se utilicen los **códigos correctos** y de que se ingrese al menos el **último metro lineal** en la columna de metros lineales (*Linear Meter*; ver Fig. 5). Por ejemplo, si se ha realizado un transecto completo, este debe ser 10. **No sume medidas de la misma categoría bentónica; ingrese cada colonia/parche como una fila separada.**

Ingrese código de sustrato

Ingrese metro lineal

Ingrese la distancia cubierta por cada componente bentónico. No sume diferentes áreas cubiertas por el mismo componente.

Transect 1													Transect 2			
					Carbonate production per colony (g/yr)											
Substrate Code	Linear Meter (1-10)	Taxon Cover (cm)	Taxon	Lifeform	Mean	L95%	U95%	Substrate Code	Linear Meter (1-10)	Taxon Cover (cm)						
TF	1	5	Turf	N/A	0.00	0.00	0.00	RB	1	80	Ru					
SD	1	15	Sand	N/A	0.00	0.00	0.00	MAC	1	25	Me					
TF	1	20	Turf	N/A	0.00	0.00	0.00	MIA	1	3	Mil					
SD	1	5	Sand	N/A	0.00	0.00	0.00	MAC	1	20	Me					
MAC	1	5	Macroalgae	N/A	0.00	0.00	0.00	CCA	1	5	Cr					
TF	1	15	Turf	N/A	0.00	0.00	0.00	MAC	1	5	Me					
MAC	1	5	Macroalgae	N/A	0.00	0.00	0.00	MAC	1	10	Me					
CCA	1	5	Crustose coralline algae	CCA	0.12	0.08	0.16	RB	2	45	Ru					
TF	1	5	Turf	N/A	0.00	0.00	0.00	SD	2	15	Sa					
TF	1	5	Turf	N/A	0.00	0.00	0.00	MAC	2	15	Me					

Figura 5. Ejemplo de la pestaña 'Data Entry' en la hoja de cálculo 'Caribbean carbonate production template v2'.

3.4.3 Análisis

Esta pestaña contiene los cálculos para la producción de carbonato bentónico para cada colonia de cada especie de coral y la morfología en todos los transectos: cobertura inmediatamente debajo de la línea del transecto (cm), porcentaje de cobertura (%), producción plana (i.e., la producción inmediatamente debajo de la línea del transecto; kg CaCO₃ año⁻¹) y producción de carbonato por m² (kg CaCO₃ m⁻² año⁻¹). **Esta hoja no debe modificarse**, excepto si se deben actualizar las **estrategias de historia de vida** de taxones específicos.

3.4.4 Microbioerosión

Esta pestaña '*Microbioerosion*' calcula la microbioerosión. La celda blanca es una tasa de erosión publicada (Fig. 6). **Las tasas se pueden cambiar si se desea** y la hoja de cálculo automáticamente calculará la erosión utilizando estas nuevas tasas.

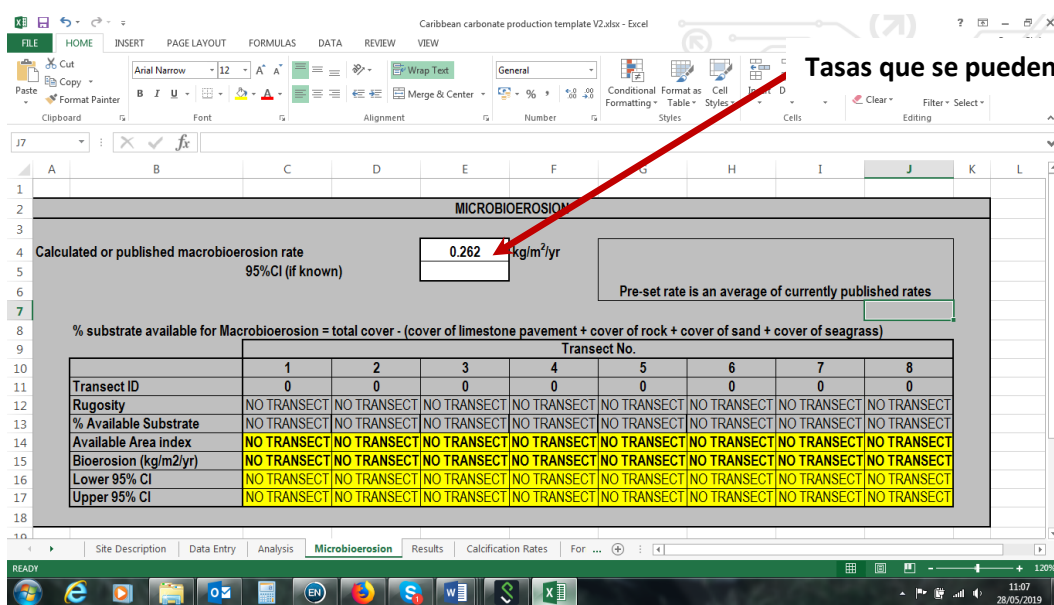


Figura 6. Ejemplo de la pestaña 'Microbioerosion' en la hoja de cálculo 'Caribbean carbonate production template v2'.

3.4.5 Resultados

Esta pestaña proporciona una lista extensa de diferentes categorías. La tabla superior proporciona un resumen de las tasas para la producción bruta de carbonato y la erosión. Debajo de esto hay tablas que reportan la cobertura y la producción de carbonato por principales categorías funcionales, principales grupos de coral, estrategias de historia de vida y géneros (Fig. 7). **Esta hoja no debe ser alterada.**

CARBONATE PRODUCTION AND BIOEROSION																		
NUMBER OF TRANSECTS: 4																		
Transect	Carbonate Production (kg CaCO ₃ /m ² /yr)			Macrobioerosion		Microbioerosion		Balance (kg CaCO ₃ /m ² /yr)			Rugosity	Transect Length	Hard Coral Carbonate Production (kg CaCO ₃ /m ² /yr)			CCA Carbonate Production (kg CaCO ₃ /m ² /yr)		
	Mean	Lower 95% CI	Upper 95% CI	Mean	95% CI	Mean	95% CI	Mean	Lower 95% CI	Upper 95% CI			Mean	Lower 95% CI	Upper 95% CI	Mean	Lower 95% CI	Upper 95% CI
1	7.701	3.534	12.552	0.582	0.000	0.730	0.000	6.389	2.222	11.240	2.785	10.000	7.045	3.542	11.232	0.656	-0.008	1.320
2	8.563	3.683	14.107	0.520	0.000	0.652	0.000	7.397	2.510	12.935	2.511	10.000	7.841	3.691	12.642	0.728	-0.009	1.465
3	8.437	4.206	13.462	0.537	0.000	0.673	0.000	7.286	2.395	12.251	2.688	10.000	7.388	4.206	12.433	0.508	0.000	1.023
4	8.486	3.539	13.362	0.534	0.000	0.745	0.000	7.147	2.253	12.612	2.850	10.000	7.753	3.607	12.476	0.733	-0.009	1.475
5	TRANSECT	TRANSECT	TRANSECT	TRANSECT	NO TRANSECT	TRANSECT	NO TRANSECT	TRANSECT	TRANSECT	TRANSECT	TRANSECT	TRANSECT	TRANSECT	TRANSECT	TRANSECT	TRANSECT	TRANSECT	TRANSECT
6	TRANSECT	TRANSECT	TRANSECT	TRANSECT	NO TRANSECT	TRANSECT	NO TRANSECT	TRANSECT	TRANSECT	TRANSECT	TRANSECT	TRANSECT	TRANSECT	TRANSECT	TRANSECT	TRANSECT	TRANSECT	TRANSECT
7	TRANSECT	TRANSECT	TRANSECT	TRANSECT	NO TRANSECT	TRANSECT	NO TRANSECT	TRANSECT	TRANSECT	TRANSECT	TRANSECT	TRANSECT	TRANSECT	TRANSECT	TRANSECT	TRANSECT	TRANSECT	TRANSECT
8	TRANSECT	TRANSECT	TRANSECT	TRANSECT	NO TRANSECT	TRANSECT	NO TRANSECT	TRANSECT	TRANSECT	TRANSECT	TRANSECT	TRANSECT	TRANSECT	TRANSECT	TRANSECT	TRANSECT	TRANSECT	TRANSECT
Mean	8.313	3.755	13.516	0.558	0.000	0.700	0.000	7.055	2.437	12.260	2.703	10.000	7.657	3.762	12.197	0.657	-0.006	1.321
Std Dev	0.410	0.306	0.700	0.035	0.000	0.044	0.000	0.455	0.356	0.735	0.148	0.000	0.419	0.303	0.649	0.105	0.004	0.211
Std Error	0.205	0.153	0.350	0.018	0.000	0.022	0.000	0.228	0.178	0.367	0.074	0.000	0.210	0.151	0.325	0.052	0.002	0.106
95% CI	0.404	0.302	0.690	0.035	0.000	0.044	0.000	0.45	0.35	0.72	0.15	0.00	0.413	0.298	0.640	0.10	0.00	0.21

BENTHIC COVER OF MAJOR FUNCTIONAL CATEGORIES																				
Group	Cover (cm)								Mean	Stdev	Percent cover									
	1	2	3	4	5	6	7	8			1	2	3	4	5	6	7	8		
Hard Coral	493.00	475.00	718.00	572.00	TRANSECT	TRANSECT	TRANSECT	TRANSECT	566.00	109.41	24.06	21.10	33.19	24.57	TRANSECT	TRANSECT	TRANSECT	TRANSECT	25.73	5.20
Secondary Carbonate Pro	1560.00	1732.00	1209.00	1744.00	TRANSECT	TRANSECT	TRANSECT	TRANSECT	1561.25	249.42	75.22	76.34	55.89	74.91	TRANSECT	TRANSECT	TRANSECT	TRANSECT	70.74	9.94
Sediment Producers	10.00	0.00	0.00	0.00	TRANSECT	TRANSECT	TRANSECT	TRANSECT	2.50	5.00	0.48	0.00	0.00	0.00	TRANSECT	TRANSECT	TRANSECT	TRANSECT	0.12	0.24
Soft Coral	0.00	0.00	0.00	0.00	TRANSECT	TRANSECT	TRANSECT	TRANSECT	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	TRANSECT	TRANSECT	TRANSECT	TRANSECT	0.00	0.00
Macroalgae	0.00	0.00	0.00	0.00	TRANSECT	TRANSECT	TRANSECT	TRANSECT	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	TRANSECT	TRANSECT	TRANSECT	TRANSECT	0.00	0.00
Turf	0.00	0.00	0.00	0.00	TRANSECT	TRANSECT	TRANSECT	TRANSECT	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	TRANSECT	TRANSECT	TRANSECT	TRANSECT	0.00	0.00
Rubble	0.00	0.00	0.00	0.00	TRANSECT	TRANSECT	TRANSECT	TRANSECT	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	TRANSECT	TRANSECT	TRANSECT	TRANSECT	0.00	0.00
Rock	0.00	0.00	0.00	0.00	TRANSECT	TRANSECT	TRANSECT	TRANSECT	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	TRANSECT	TRANSECT	TRANSECT	TRANSECT	0.00	0.00
Limestone Pavement	0.00	0.00	0.00	0.00	TRANSECT	TRANSECT	TRANSECT	TRANSECT	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	TRANSECT	TRANSECT	TRANSECT	TRANSECT	0.00	0.00
Sand	0.00	22.00	118.00	6.00	TRANSECT	TRANSECT	TRANSECT	TRANSECT	36.50	55.12	0.00	0.98	5.46	0.26	TRANSECT	TRANSECT	TRANSECT	TRANSECT	1.67	2.56
Total Bare Substrate	0.00	22.00	118.00	6.00	TRANSECT	TRANSECT	TRANSECT	TRANSECT	36.50	55.12	0.00	0.98	5.46	0.26	TRANSECT	TRANSECT	TRANSECT	TRANSECT	1.67	2.56
Others	5.00	0.00	0.00	0.00	TRANSECT	TRANSECT	TRANSECT	TRANSECT	1.25	2.50	0.24	0.00	0.00	0.00	TRANSECT	TRANSECT	TRANSECT	TRANSECT	0.06	0.12

BENTHIC COVER OF MAJOR CORAL GROUPS																				
Group	Cover (cm)								Mean	Stdev	Percent cover									
	1	2	3	4	5	6	7	8			1	2	3	4	5	6	7	8		
Branching <i>Acropora</i>	75.00	22.00	95.00	205.00	TRANSECT	TRANSECT	TRANSECT	TRANSECT	93.25	76.93	3.62	0.98	4.39	8.91	TRANSECT	TRANSECT	TRANSECT	TRANSECT	4.45	3.25
Table <i>Acropora</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	TRANSECT	TRANSECT	TRANSECT	TRANSECT	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	TRANSECT	TRANSECT	TRANSECT	TRANSECT	0.00	0.00
Branching <i>Porites</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	TRANSECT	TRANSECT	TRANSECT	TRANSECT	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	TRANSECT	TRANSECT	TRANSECT	TRANSECT	0.00	0.00
<i>Pocillopora</i>	0.00	22.00	118.00	6.00	TRANSECT	TRANSECT	TRANSECT	TRANSECT	36.50	55.12	0.00	0.98	5.46	0.26	TRANSECT	TRANSECT	TRANSECT	TRANSECT	1.67	2.56
Other Branching Corals	0.00	0.00	0.00	0.00	TRANSECT	TRANSECT	TRANSECT	TRANSECT	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	TRANSECT	TRANSECT	TRANSECT	TRANSECT	0.00	0.00
Massive <i>Porites</i>	135.00	45.00	188.00	24.00	TRANSECT	TRANSECT	TRANSECT	TRANSECT	98.00	76.93	6.51	2.00	8.69	1.03	TRANSECT	TRANSECT	TRANSECT	TRANSECT	4.56	3.65
Other Massive	26.00	12.00	48.00	0.00	TRANSECT	TRANSECT	TRANSECT	TRANSECT	21.50	20.62	1.25	0.53	2.22	0.00	TRANSECT	TRANSECT	TRANSECT	TRANSECT	1.00	0.96
Encrusting <i>Porites</i>	0.00	6.00	15.00	23.00	TRANSECT	TRANSECT	TRANSECT	TRANSECT	11.00	10.10	0.00	0.27	0.69	0.39	TRANSECT	TRANSECT	TRANSECT	TRANSECT	0.43	0.44
Other Encrusting	130.00	93.00	254.00	14.00	TRANSECT	TRANSECT	TRANSECT	TRANSECT	122.75	99.98	6.27	4.13	11.74	0.60	TRANSECT	TRANSECT	TRANSECT	TRANSECT	5.69	4.67
Foliose Corals	0.00	0.00	0.00	15.00	TRANSECT	TRANSECT	TRANSECT	TRANSECT	3.75	7.50	0.00	0.00	0.00	0.64	TRANSECT	TRANSECT	TRANSECT	TRANSECT	0.16	0.32
Free-living/Mushroom	0.00	0.00	0.00	0.00	TRANSECT	TRANSECT	TRANSECT	TRANSECT	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	TRANSECT	TRANSECT	TRANSECT	TRANSECT	0.00	0.00
Other	133.00	275.00	0.00	285.00	TRANSECT	TRANSECT	TRANSECT	TRANSECT	173.25	134.76	6.41	12.22	0.00	12.24	TRANSECT	TRANSECT	TRANSECT	TRANSECT	7.72	5.83

CARBONATE PRODUCTION OF MAJOR CORAL GROUPS (KG/M ² /YEAR)																		
Group	Production								Mean	Stdev	Proportion of Production							
	1	2	3	4	5	6	7	8			1	2	3	4	5	6	7	8
Site Description	Data Entry	Analysis	Macro & Microbioerosion	Results	Calcification Rates	Formulas												

Figura 7. Ejemplo de la pestaña 'Results' en la hoja de cálculo 'Caribbean carbonate production template v2'.

3.4.6 Tasas de calcificación

Esta pestaña contiene la extensión lineal y los valores de densidad para cada género de coral y combinación de morfología. Estos son promedios calculados a partir de estudios publicados, enlistados en el archivo de Excel 'Caribbean Carbonate Production template v2'. La pestaña también contiene el factor de conversión para corales complejos cuando sea necesario. **Todos estos valores pueden ser cambiados por el usuario si lo desea.** Actualmente no existe ninguna facilidad para cambiar las ecuaciones base de las formas geométricas a partir de las cuales se calcula la producción de colonias.

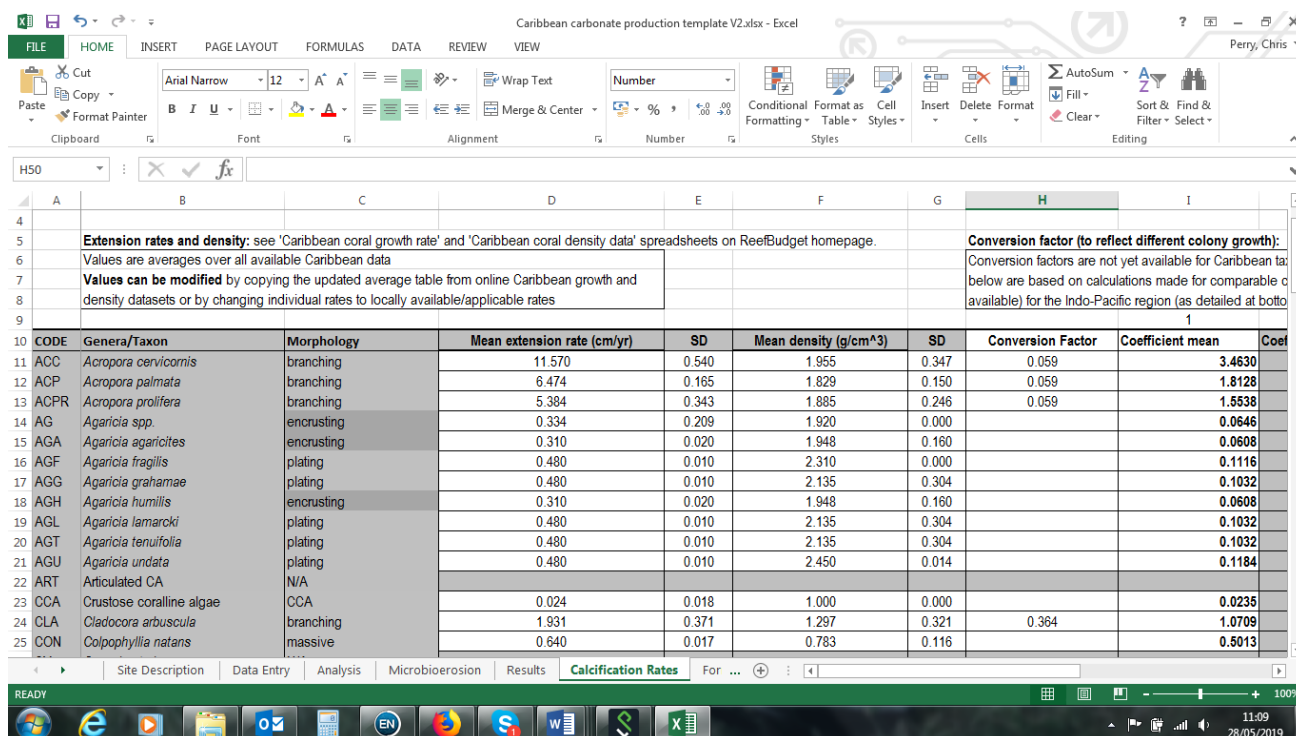


Figura 8. La pestaña 'Calcification Rates' en la hoja de cálculo 'Caribbean carbonate production template v2'.

4 Determinación de las tasas de bioerosión de la matriz estructural del arrecife

La bioerosión se define como la corrosión de sustratos duros por agentes vivos (Neumann, 1966). Una amplia variedad de organismos contribuye a este proceso. Se incluyen no sólo especies individuales de peces y erizos, sino también una variedad de organismos endolíticos (Golubic et al. 1981; Bromley, 1994). Los más importantes de estos son ciertas especies de esponjas, bivalvos, gusanos, cianobacterias, clorofitas, rodófitas y hongos. Sin embargo, la bioerosión es un parámetro complejo y difícil de medir dado que muchas especies pueden estar involucradas y muchas de ellas viven de forma oculta. En estudios del presupuesto de carbonato, se han adoptado varios enfoques experimentales para investigar los efectos de la bioerosión total en bloques experimentales de coral que se dejan expuestos por largos períodos de tiempo (e.g., Kiene, 1988; Osorno et al., 2005; Tribollet y Golubic, 2005). Estas técnicas intentan cuantificar la bioerosión por microperforadores, como cianobacterias; macroperforadores, como esponjas, bivalvos y gusanos poliquetos; y pastadores/herbívoros, como erizos. Sin embargo, tales enfoques tienen tres problemas principales: 1) los experimentos generalmente requieren al menos 2–3 años para producir resultados significativos; 2) no es posible cuantificar la medida en que están involucradas las especies individuales para la bioerosión debida al pastoreo, aunque se puede inferir mucho de los estudios de censos y estimaciones de abundancia; y 3) es probable que la extrapolación de resultados a un arrecife completo sea tenue (Chazottes et al., 1995). Otra preocupación es una ética ya que, hasta la fecha, la técnica ha requerido el uso de bloques cortados de coral vivo – generalmente *Porites* masivos (Kiene, 1988; Osorno et al., 2005; Tribollet y Golubic, 2005). En consecuencia, como una alternativa tecnológicamente viable y ambientalmente aceptable, *ReefBudget* recomienda una serie de métodos basados en datos de censos y recurriendo a las tasas de erosión publicadas por diferentes grupos de bioerosión.

4.1 Bioerosión: Erizos

Para cuantificar la bioerosión de equinoideos, *ReefBudget* utiliza un enfoque basado en censos. Implica la recopilación de datos sobre la cantidad y el tamaño de los erizos en los alrededores de cada transecto. La razón de esto es que la tasa de erosión por erizos ocurre en función de la especie y el tamaño, de tal manera que los individuos más grandes son los que causan mayor erosión (Bak, 1990). Según Glynn (1996), los principales agentes de la bioerosión por equinoideos pertenecen a los géneros *Diadema*, *Echinometra*, *Echinostrephus* y *Eucidaris*. Las estimaciones de las tasas de bioerosión en estas especies de erizos se han hecho utilizando una variedad de técnicas, entre ellas el contenido de CaCO_3 del intestino (e.g., Conand et al. 1997) o de sus pellets fecales (e.g., Glynn et al. 1979). Ambas técnicas se aplican con o sin estimaciones de sedimento reelaborado, abrasión de la columna vertebral o recambio intestinal (e.g., Soffin et al. 1980; Griffin et al. 2003). Por lo tanto, es difícil comparar las tasas de erosión de los erizos obtenidas de diferentes estudios. Sin embargo, una evaluación de los datos publicados sobre las tasas de erosión en función del tamaño de la testa sugiere una correlación relativamente estrecha, independientemente de la especie de erizo. La Fig. 8A muestra datos agregados de 16 estudios que consideran las tasas de bioerosión de ocho especies de erizos en función del tamaño de la testa.

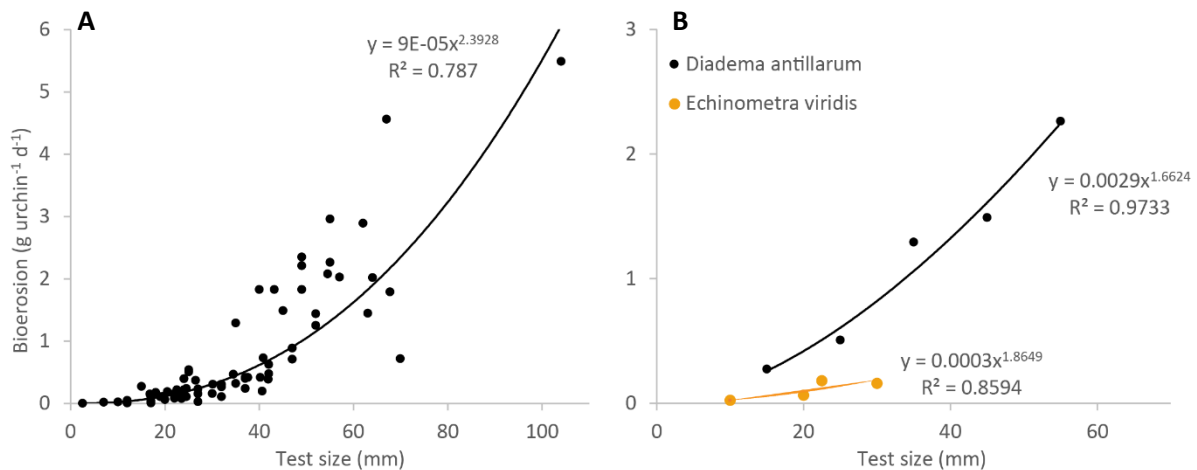


Fig. 8. (A) Tasas de bioerosión ($\text{g erizo}^{-1} \text{d}^{-1}$) para erizos de varios tamaños de testa (incluye datos de sitios del Caribe e Indo-Pacífico). Datos agregados de: Russo (1980), Soffin et al. (1980), Downing y El-Zahr (1987), Glynn (1988), McClanahan y Muthiga (1988), Bak (1990), McClanahan y Kurtis (1991), Mokady et al. (1996), Conand et al. (1997), Teyes-Bonilla y Calderón Aguilera (1999), Mills et al. (2000), Carreiro-Silva y McClanahan (2001), Grifo et al. (2003), Appana y Vuki (2006), Herrera-Escalante et al. (2006), y Brown-Saracino et al. (2007). (B) Tasas de bioerosión ($\text{g erizo}^{-1} \text{d}^{-1}$) para erizos del Caribe de varios tamaños de testa. Los datos de *Diadema antillarum* son de Soffin et al. (1980). Los datos de *Echinometra viridis* son de Griffin et al. (2003) y Brown-Saracino et al. (2007).

Con base en la evaluación anterior, si se desean producir estimaciones de erosión por erizo, se podría aplicar una tasa única por tamaño de la testa del erizo, con un grado de confianza razonablemente alto. Cabe destacar que la regresión tiene un valor de r^2 de 0.78 y la ecuación de regresión es:

$$\text{Tasa de bioerosión (g erizo}^{-1} \text{d}^{-1}) = 9 \cdot 10^{-5} x^{2.3928}$$

donde x es el diámetro de testa de un erizo en milímetros.

Sin embargo, una evaluación más detallada de los datos sugiere que podría haber una diferencia en las tasas de bioerosión a nivel de género. En general, *Echinometra* spp. tienen tasas de bioerosión más bajas que *Diadema* spp. del mismo tamaño de testa. En el Caribe, los datos publicados que relacionan las tasas de bioerosión con el tamaño de la testa de erizo son relativamente limitados. Sin embargo, la Fig. 8B presenta datos de tres estudios que tratan con las dos especies dominantes en esta región: *Diadema antillarum* y *Echinometra viridis*. De estos datos, parece que existen diferencias en las capacidades erosivas de erizos de tamaño similar de las dos especies. Las tasas de bioerosión de los erizos de *D. antillarum* son aproximadamente tres veces las tasas de los erizos de *E. viridis* de tamaño similar de testa. Con base en lo anterior, para calcular las tasas de bioerosión para erizos de *D. antillarum*, *Echinometra* spp. y todos los otros erizos, ReefBudget recomienda que se utilicen las siguientes ecuaciones separadas:

- D. antillarum* - Tasa de bioerosión ($\text{g erizo}^{-1} \text{día}^{-1}$) = $0.0029 x^{1.6624}$
- Echinometra* spp. - Tasa de bioerosión ($\text{g erizo}^{-1} \text{día}^{-1}$) = $0.0003 x^{1.8649}$
- Otro - Tasa de bioerosión ($\text{g erizo}^{-1} \text{día}^{-1}$) = $9 \cdot 10^{-5} x^{2.3928}$

donde x es el tamaño de testa de un erizo en milímetros.

Encuestas de erizo: metodología de campo recomendada

- (1) Se obtiene un censo del número y clase de tamaño de los erizos a lo largo de cada transecto de 10 m (Fig. 9A).
- (2) El censo se obtiene examinando el sustrato a 1 m a cada lado de la línea del transecto (un total de 20 m²).
- (3) Se identifica el número de individuos, a nivel de especie, en cada una de las siguientes clases de tamaño: 0–20 mm, 21–40 mm, 41–60 mm, 61–80 mm, 81–100 mm, etc. (Fig. 9B). Para determinar las categorías, resulta útil tener una barra de escala marcada en el costado de una pizarra de buceo.

En el Apéndice 2 se proporciona una hoja de encuesta recomendada y en el Apéndice 3 se muestran imágenes de los erizos bioerosionantes relevantes del Caribe.

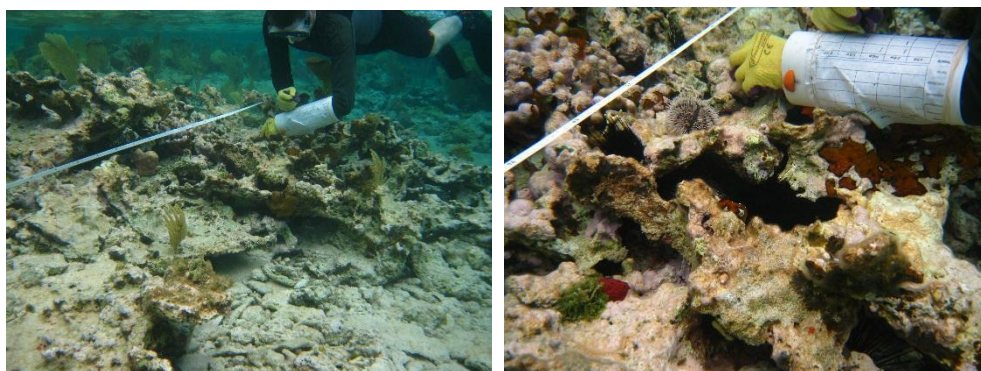


Figura 9. (A) Buzo muestreando erizos dentro de un área de 1 m a cada lado de la línea maestra del transecto; (B) Los datos de abundancia y clase de tamaño para cada especie se registran en la hoja de estudio correspondiente.

Cálculo de la cantidad de bioerosión

1. La tasa de bioerosión por erizo por día ($\text{g erizo}^{-1} \text{ día}^{-1}$) se puede establecer usando las ecuaciones relevantes para cada especie de erizo y clase de tamaño (Figs. 8A, B).
2. La tasa diaria calculada por tamaño de especie se multiplica por el número de individuos en cada clase de tamaño. De aquí se obtiene la tasa diaria total de bioerosión por clase de tamaño para cada especie ($\text{g clase de tamaño}^{-1} \text{ día}^{-1}$).
3. Luego, la tasa diaria total por clase de tamaño se multiplica por 365 (días en un año) y se obtiene la tasa de bioerosión total por clase de tamaño por año ($\text{g clase de tamaño}^{-1} \text{ año}^{-1}$).
4. Después se suma la bioerosión total por clase de tamaño por año para obtener la bioerosión total por cada especie por año ($\text{g especie}^{-1} \text{ año}^{-1}$). Estos valores luego se pueden sumar para obtener una tasa para todos los erizos (g año^{-1}).
5. La bioerosión total se divide entonces por el área del transecto (20 m²) para obtener la bioerosión por metro cuadrado ($\text{g m}^{-2} \text{ año}^{-1}$). Luego este valor se convierte a $\text{kg m}^{-2} \text{ año}^{-1}$.

Las hojas proporcionadas para el ingreso de datos (ver Fig. 10) se pueden descargar del sitio web de *ReefBudget*. En la pestaña 'Site Description' (*Descripción del sitio*) se deben completar los datos generales del sitio y los detalles de los transectos realizados. Las pestañas 'Data Analysis' (*Análisis de datos*) calculan automáticamente las tasas de erosión de erizos para diferentes especies utilizando especies preestablecidas y datos relacionados al tamaño de testa. También brindan un desglose de la abundancia de erizos m⁻² y las tasas de bioerosión para cada especie en cada transecto, así como el promedio de estos. Estos se muestran en la pestaña 'Data Analysis GenEQ' (*Análisis de datos EcGen*) utilizando la ecuación general de tasa de erosión de erizos y en la pestaña 'Data Analysis IndEQ' (*Análisis de datos EcInd*) utilizando la ecuación de las de especies individuales (Fig. 11). La pestaña 'Results' (*Resultados*) proporciona una tasa media de erosión de erizo basada en ambos conjuntos de ecuaciones (Fig. 12). Las cifras utilizadas en estos cálculos se pueden modificar manualmente en las hojas de cálculo si se dispone de datos más específicos a nivel regional o de profundidad.

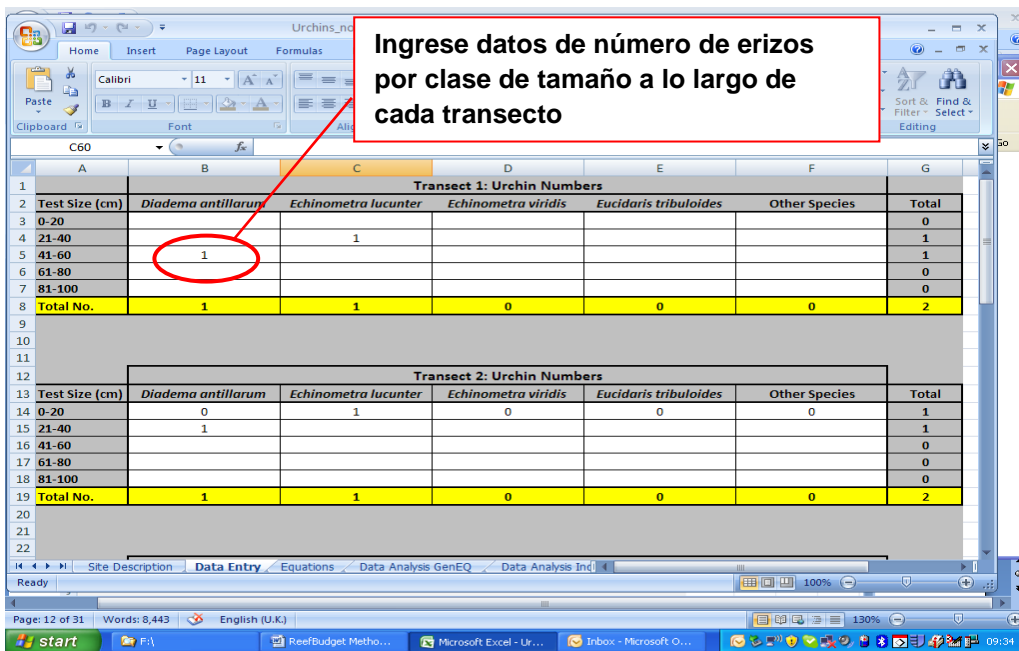


Figura 10. Captura de pantalla que muestra el formulario principal de 'Data Entry' para los datos de erizo. Se requiere el ingreso de datos para cada transecto en las columnas blancas como se indica.

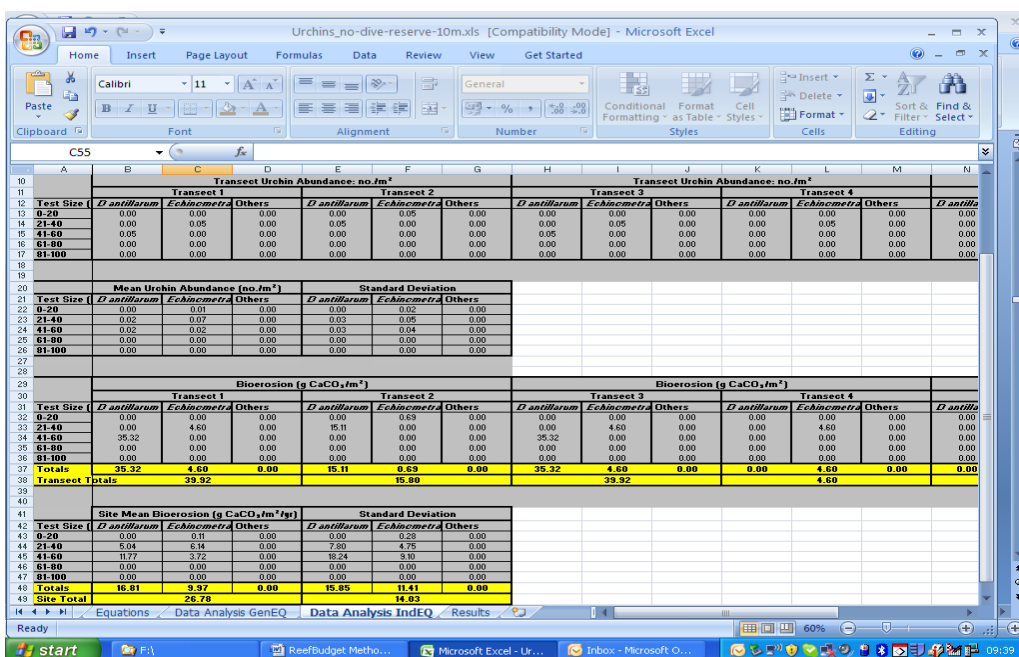


Figura 11. Captura de pantalla que muestra la pestaña principal 'Data Analysis IndEQ', que brinda un desglose de la abundancia de erizos y las tasas de producción para cada transecto. En este caso, se usan las ecuaciones de la tasa de erosión para especies individuales de erizos.

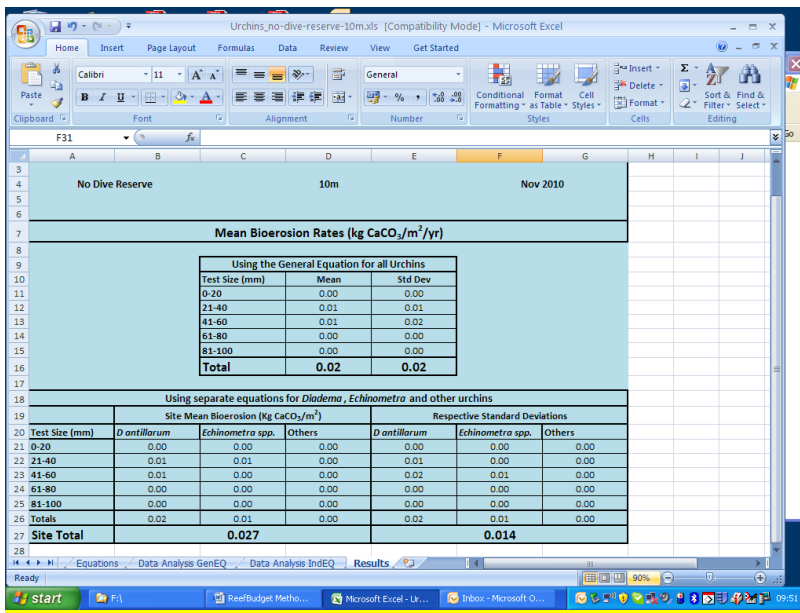


Figura 12. Captura de pantalla que muestra la pestaña "Results" para la erosión por erizo. Esto proporciona un resumen de las tasas medias de erosión de los erizos para la zona de profundidad en estudio basado en las ecuaciones de tasa de erosión de especies generales e individuales.

4.2 Bioerosión: Peces

La mayoría de las especies de peces no erosionan directamente la matriz estructural del arrecife debido a que ingieren sedimentos sueltos o reelaborados. Sin embargo, hay una serie de familias de peces cuyas técnicas de alimentación provocan la ingestión de CaCO₃, como peces chivo, peces loro y peces cirujano. Son pocas las especies, pero estas erosionan activamente el sustrato del arrecife durante su alimentación. De hecho, de seis especies de peces loro investigadas por Frydl y Stearn (1978), sólo una, *Sparisoma viride*, tuvo un impacto erosivo significativo en la matriz estructural del arrecife de coral en Bellairs Reef, Barbados. Aunque sin duda también contribuyen otras especies de peces a la bioerosión, la gran mayoría es causada por peces loro. Por lo tanto, es el único grupo para el cual existen suficientes datos de tasas de erosión. Es por esto que *ReefBudget* recomienda una metodología centrada únicamente en cuantificar las tasas de erosión de los peces loro.

En vista de esto, es pertinente señalar que el tamaño y la especie del pez loro son factores importantes en el control de las tasas de bioerosión (Bellwood y Choat, 1990). Múltiples autores han reportado tasas de bioerosión más altas para peces más grandes (Scoffin et al., 1980; Bellwood, 1995; Bruggemann et al., 1996). Pero también se han reportado diferencias entre las capacidades de erosión de peces de tamaño similar de diferentes especies (Bruggemann et al., 1996; Hoey y Bellwood, 2008). Además, las tasas de alimentación son más altas en la fase inicial que en la fase terminal por lo que es importante la fase de vida del pez loro (Bruggemann et al. 1994b; Bruggemann et al. 1994c; Mumby et al. 2006). Para evaluar entonces la erosión del pez loro, los parámetros clave necesarios son la abundancia de especie/fase de vida y el tamaño del pez. Por lo general, la tasa de bioerosión se calcula para un individuo y luego se combina con las cifras de abundancia para obtener tasas para una clase de tamaño/especie. Aunque se han utilizado varios métodos para evaluar de manera visual las poblaciones de peces loro, nosotros recomendamos el uso de censos de peces realizados a lo largo de transectos de banda.

Censo de peces: metodología de campo recomendada

- (1) Se recomienda el método de transecto de banda. Se deben observar de ocho a diez transectos dentro de cada una de las zonas de profundidad utilizadas en el estudio.
- (2) Lo ideal es que las observaciones se realicen entre las 11 am y las 5 pm, los períodos de máxima actividad de alimentación. Aunque para lograr 10 transectos puede que sea necesario realizar estudios a lo largo de varias inmersiones/días.
- (3) Cada transecto debe tener 30 m de largo por 4 m de ancho. Se debe tender una línea de 30 m a través de la zona del arrecife.
- (4) Después de esperar un par de minutos, el buzo nada lentamente de regreso a lo largo de la línea – anotando la especie, fase de vida y longitud de la horquilla de cada pez loro. Para esto se recomienda usar una barra calibrada en T de 1 m con una pizarra de buceo adjunta (Fig. 13).
- (5) Los peces loro se registran en las siguientes clases de tamaño: 0-9 cm, 10-19 cm, 20-29 cm, 30-39 cm, 40-49 cm y 50-59 cm.

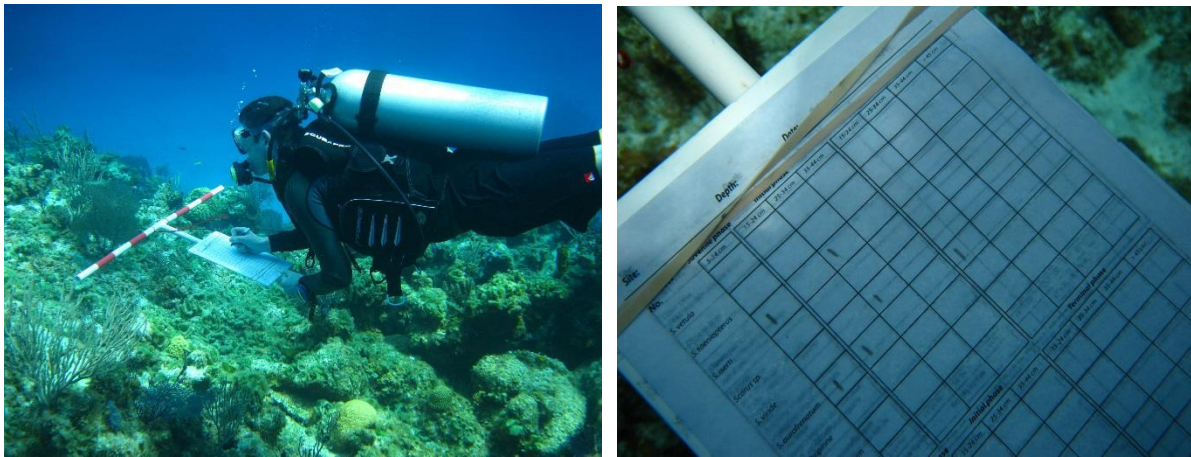


Figura 13. (A) Buzo encuestando peces loro con la ayuda de una barra en T para la clasificación de clases de tamaño; (B) Hoja de encuesta en pizarra atada a la barra en T para registrar datos de abundancia-clase de tamaño.

En el Apéndice 4 se proporciona una copia de la hoja de encuesta recomendada y en el Apéndice 5 la hoja de identificación de peces.

Cálculo de la cantidad de bioerosión

El método propuesto para calcular la bioerosión por peces se basa en un modelo que utiliza la longitud total y la fase de vida para predecir las tasas de mordidas (mordidas h^{-1}), el volumen de mordidas (cm^3) y la proporción de mordidas que dejan cicatrices para cada especie de pez loro. Aunque actualmente estos datos son irregulares y existen sólo para un subconjunto de especies, se pueden agregar datos adicionales a medida que estén disponibles, o si se recopilan como parte del mismo estudio. El recurso en línea que se proporciona (ver '*Caribbean Parrotfish database*' en el [sitio web de ReefBudget](#)) resume los datos publicados disponibles sobre las tasas de mordidas, los volúmenes de mordidas y la proporción de mordidas que dejan cicatrices para las especies de peces loro del Caribe.

El número de mordidas diarias y el volumen extraído por día por cada pez individual se calculan a partir de las tasas y volúmenes de mordidas al integrar la duración del día y la actividad de alimentación diurna (83–88%, Bellwood, 1995). Las tasas y volúmenes de mordidas con la duración del día integrada se definen en la pestaña '*Site Description*' (*Descripción del sitio*) y se utilizan 12 h

por defecto. Luego, se utiliza la siguiente ecuación para calcular las tasas de erosión específicas a la especie para la mediana de cada clase de tamaño:

$$\text{Tasa de bioerosión (kg ind}^{-1}\text{año}^{-1}) = v \cdot s_{prop} \cdot br \cdot d \cdot 365,$$

donde v es el volumen de mordidas (cm^3), s_{prop} es la proporción de mordidas que dejan cicatrices, br es la tasa de mordidas (mordidas día^{-1}) y d es la densidad del sustrato. Se utiliza 1.72 g cm^{-3} por defecto para la densidad del sustrato. Este valor es el promedio de todos los datos de densidad de taxones y formas de crecimiento de coral disponibles en el recurso '*Caribbean coral and CCA calcification database*'. La densidad del sustrato se puede modificar para las composiciones de la comunidad local según lo considere conveniente el usuario.

Para aumentar la precisión del modelo que predice las tasas y los volúmenes de mordidas a partir del tamaño del pez loro, podría resultar útil cuantificar las tasas de alimentación y medir las cicatrices de mordeduras en los sitios de estudio (Cuadro a continuación). Las tasas obtenidas se pueden ingresar en las hojas de cálculo en lugar de las tasas de mordidas actuales.

Metodología de campo recomendada: Tasa de mordida y volumen de mordida

(1) Identifique un pez focal y sígalo durante mínimo 2 minutos, o hasta que haya realizado varias incursiones de mordida. Esto sería un parche de mordidas poco espaciadas para en seguida moverse a otro parche. De esta manera se asegura que el pez se haya aclimatado a la presencia del observador y su comportamiento sea natural. Use su discreción – para algunos individuos, podrían ser necesarios más de 2 minutos de aclimatación.

(2) Anote la longitud total del individuo, la fase de vida y la especie. Luego observe los peces durante al menos 3 minutos (preferiblemente 5 minutos), anotando cuántas mordidas se hacen y, si es posible, cuántas de ellas dejan cicatrices visibles.

(3) La longitud, el ancho y, cuando sea posible, la profundidad de las mordidas para cada especie y clase de tamaño se pueden medir durante observaciones adicionales utilizando un vernier. Dado que la profundidad de los pastadores y excavadores pequeños puede ser muy somera ($<0.1 \text{ mm}$), se pueden suponer algunas profundidades, si es necesario. Para excavadores pequeños y pastadores grandes se suponen 0.1 mm de profundidad y para raspaduras menos profundas, 0.05 mm (Yarlett et al. 2018). Las cicatrices de pastoreo pueden ocurrir como 1 marca o 2 marcas, hechas por las mandíbulas superior e inferior. En este último caso, se deben medir ambas marcas y combinar el volumen. El volumen de mordida se calcula como $\text{largo} \cdot \text{ancho} \cdot \text{profundidad}$.

Las hojas para el ingreso de datos que calculan la erosión del pez loro se pueden descargar del sitio web de *ReefBudget*. En la pestaña '*Site Description*' (*Descripción del sitio*) se deben completar los datos generales del sitio y los detalles de los transectos realizados. En la pestaña '*Data Entry*' (*Ingreso de datos*) se agregan los datos de censo de especies y clases de tamaño de peces loro (ver Fig. 14). Las pestañas '*Density*' y '*Biomass*' (*Densidad* y *Biomasa*, respectivamente) brindan una descripción general de la densidad y biomasa del pez loro para cada especie y clase de tamaño por transecto y por hectárea. La pestaña '*Bioerosion Rate*' (*Tasa de bioerosión*) proporciona las tasas de bioerosión por especie en $\text{kg m}^{-2} \text{ año}^{-1}$ para cada transecto (Fig. 15). En la pestaña '*Equations*' (*Ecuaciones*) se pueden modificar las tasas de mordidas, el porcentaje de mordidas que dejan cicatrices, los volúmenes de mordidas y la densidad del sustrato. La pestaña '*Results*' (*Resultados*) proporciona datos promedio del sitio y a nivel de transecto sobre la bioerosión total, la abundancia y la biomasa (Fig. 16).

Ingrese datos sobre el número de peces loro individuales por especie, fase de vida (juvenil, inicial, terminal) y clase de tamaño a lo largo de cada

Figura 14. Captura de pantalla que muestra la pestaña 'Data Entry' para datos de peces loro. Se requiere ingresar los datos en las columnas como se indica.

Species	TRANSECT 1					TRANSECT 2					Bioerosion by Species (kg m ⁻² yr ⁻¹)
	Juveniles 0-9cm	Initial Phase 10-19cm	Initial Phase 20-29cm	Initial Phase 30-39cm	Initial Phase 40-49cm	Terminal Phase 10-19cm	Terminal Phase 20-29cm	Terminal Phase 30-39cm	Terminal Phase 40-49cm	Terminal Phase 50-59cm	
Sparisoma viride	0.00	0.00	0.00	113.67	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.947
Sparisoma aurofrenatum	0.00	0.69	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.006
Sparisoma rubripinne	0.00	0.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.003
Sparisoma chrysopterus	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000
Scarus vetula	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000
Scarus taeniopterus	15.17	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.126
Scarus iserti	1.24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.010
Scarus guacamaia	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000
Scarus coelestinus	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000
Scarus coeruleus	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000
Bioerosion by size class (kg/m²)	0.000	0.137	0.009	0.947	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.093

Figura 15. Captura de pantalla que muestra la pestaña 'Bioerosion Rates' que ofrece un desglose de la abundancia, las tasas de erosión por especie para cada transecto y las tasas medias de bioerosión por especie de peces loro.

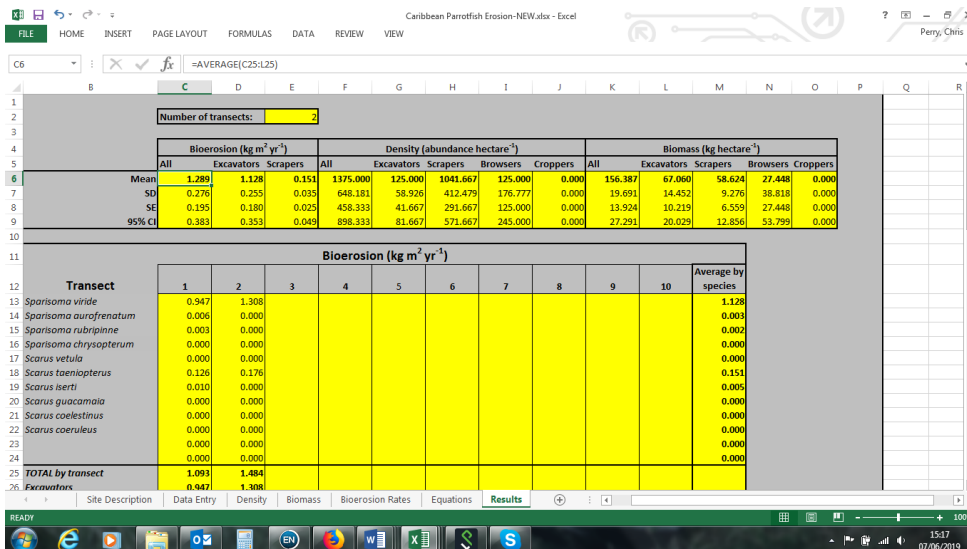


Figura 16. Captura de pantalla que muestra la pestaña 'Resultados' para la erosión del pez loro.

4.3 Bioerosión por macroperforadores (esponjas, bivalvos, gusanos)

Los macroperforadores se definen como aquellos erosionadores que producen perforaciones con diámetros > 1 mm. Estos incluyen esponjas endolíticas, gusanos poliquetos y sipuncúlidos, bivalvos, decápodos y cirrípedos. De estos, las esponjas han recibido la mayor atención ya que suelen ser el grupo dominante, a un nivel arrecifal amplio y especialmente dentro del Caribe. Además, conforman el 75–90% de la comunidad macroperforadora en cuanto a la proporción de infestación del sustrato (e.g., Goreau y Hartman, 1963; MacGeachy y Stearn, 1976; Highsmith, 1981; Highsmith et al. 1983; Perry, 1998). Los enfoques para medir tasas de erosión del sustrato por macroperforadores internos se han basado principalmente en dos métodos. Para el primero están aquellos que usan bloques experimentales de coral expuestos durante largos períodos (idealmente > 24 meses; Kiene, 1988; Osorno et al., 2005). Para el segundo, están aquellos que han hecho estimaciones de tasas de bioerosión interna con núcleos o lajas de coral. De estos, se han tomado a su vez radiografías para determinar tasas de crecimiento anual. Además, con ellos se pueden calibrar medidas de eliminación de sustrato interno por unidad de tiempo. Sin embargo, existe una preocupación ética en general sobre estos métodos, ya que requieren el uso de bloques cortados de coral vivo, generalmente *Porites* masivos (Kiene, 1988; Osorno et al., 2005; Tribollet y Golubic, 2005), o la remoción amplia y cortes en lajas de coral. Ninguno de los enfoques es ideal bajo los regímenes actuales de cobertura generalmente baja de coral vivo. Actualmente, la versión del Caribe de *ReefBudget* sólo cuantifica las tasas de bioerosión de esponjas como una estimación conservadora de la macrobioerosión total de un sitio. Específicamente, en esta versión revisada del Caribe de *ReefBudget*, se usan datos publicados recientemente sobre tasas medidas de erosión química y mecánica de varias especies comunes de esponjas endolíticas del Caribe (ver de Bakker et al. 2018). Luego, estas tasas se aplican a estimaciones basadas en censos de la cobertura de tejido superficial (cm²) por unidad de área arrecifal de cada especie de esponja endolítica. Con esto, se obtiene una estimación general de la tasa de bioerosión de la esponja (kg CaCO₃ m² año⁻¹).

Macrobioerosión interna (de esponja): Metodología de campo recomendada

- (1) Se deben realizar encuestas de esponjas bioerosionantes a lo largo de cada uno de los transectos fijos previamente establecidos.
- (2) Luego, se cuantifica el área cubierta por colonias individuales de esponjas bioerosionantes (cm²) a nivel de especie (ver Apéndice 7). Esto se hace dentro de un área que abarca 0.5 m a cada lado de la línea del transecto (10 m² o 100,000 cm² en total). Para delinear esta área, es útil un transecto de 0.5 m x 0.5 m (Fig. 17A).
- (3) Después, se estima el área cubierta por el tejido de esponja clonada y el área ocupada por papilas visibles mediante una hoja transparente con una cuadrícula impresa de 1 x 1 cm (ver Fig. 17B).

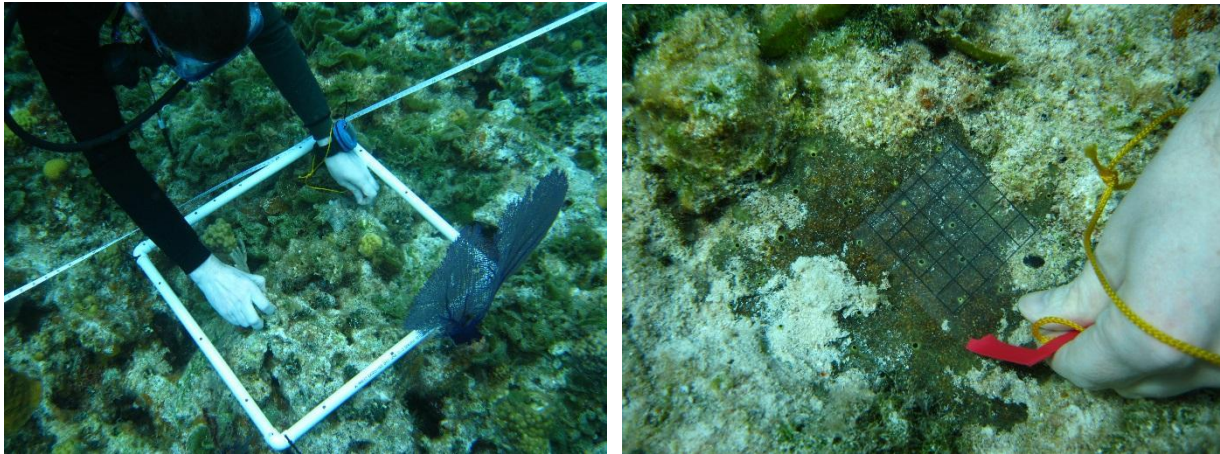


Figura 17. (A) Buzo encuestando tejido de esponja cliónida con la ayuda de un transecto para delimitar el área de encuesta; (B) Hoja transparente con cuadrícula impresa de 1 cm x 1 cm para permitir la cuantificación del área superficial (cm²) del arrecife cubierta por tejido y papilas de esponja perforante – en este caso una colonia de *Cliona delitrix*.

El Apéndice 6 es una copia de la hoja de encuesta para esponjas y en el Apéndice 7 se encuentran las imágenes de las principales esponjas bioerosionantes del Caribe.

4.3.1 Cálculo de la cantidad de bioerosión

El método propuesto anteriormente se puede usar con relativa facilidad para la estimación de la cobertura (cm²) de las esponjas bioerosionantes. La cobertura de esponjas se mide en todas las superficies, no sólo en la vista plana. De esta manera, se integran las medidas reales de la superficie del arrecife. El área de superficie de cada esponja observada en el área de estudio debe medirse como el área dentro del perímetro del tejido visible o de los sifones presentes (Fig. 18). Los conjuntos de datos de la Tabla 2 se usan para entonces calcular la bioerosión en función del área de superficie y la tasa de erosión usada.

Tabla 2. Tasas (mecánicas y químicas) totales de erosión calculadas por especies comunes de esponjas endolíticas del Caribe.

	mg CaCO ₃ cm ⁻² d ⁻¹	kg CaCO ₃ m ⁻² año ⁻¹	
<i>C. aprica</i>	1.03	3.76	Basado en tasas en de Bakker et al. 2018
<i>C. caribbaea</i>	1.28	4.67	Basado en tasas en de Bakker et al. 2018
<i>C. tenuis</i>	1.16	4.23	Promedio de <i>C. aprica</i> & <i>C. caribbaea</i> en de Bakker et al. 2018
<i>C. varians</i>	1.16	4.23	Promedio de <i>C. aprica</i> & <i>C. caribbaea</i> en de Bakker et al. 2019
<i>c. deletrix</i>	2.87	10.48	Basado en tasas en de Bakker et al. 2018
<i>C. amplicavata</i>	2.45	8.94	Basado en tasas en de Bakker et al. 2018
<i>S. brevitubulatum</i>	1.46	5.33	Basado en tasas en de Bakker et al. 2018
<i>S. flavolivescens</i>	0.47	1.72	Basado en tasas en de Bakker et al. 2018

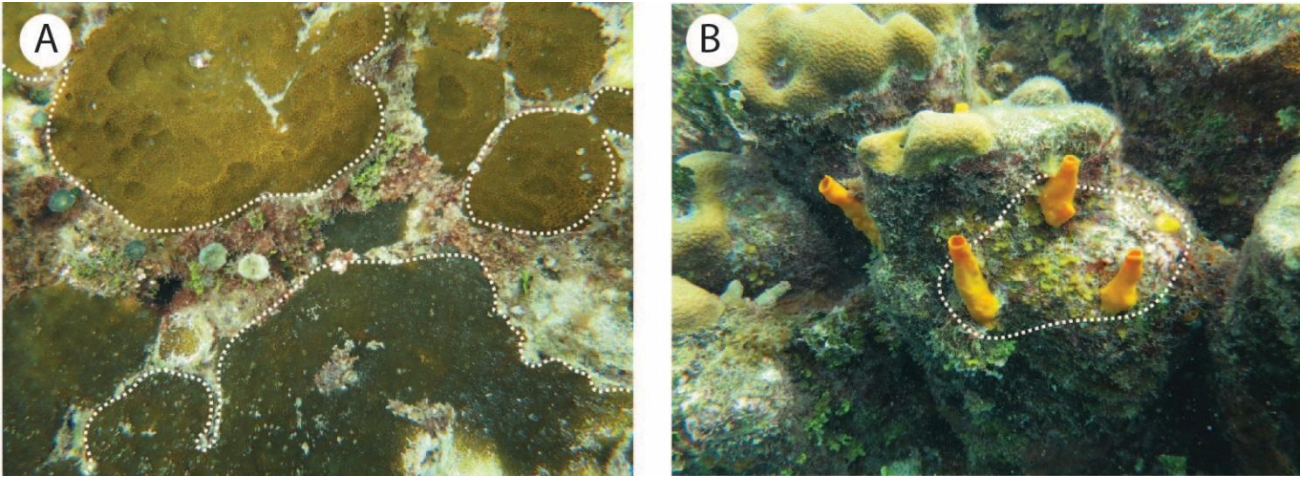


Figura 18. Figuras que muestran cómo se deben delinear las áreas periféricas del tejido de esponja para A) especies con cobertura de tejido superficial evidente y B) especies con expresión periférica de sífon.

Para calcular las tasas de erosión de las esponjas, en la pestaña 'Macrobioerosion' (Macrobioerosión) de la hoja de cálculo 'Caribbean Carbonate Production template v2', se debe agregar la siguiente información y datos para cada transecto de estudio: 1) Número de transecto (Fila 16); 2) Longitud del transecto (m; Fila 17); 3) Ancho del transecto (m; Fila 18); y 4) Área de superficie total/cobertura (cm²) para cada especie de esponja en el área de encuesta (ver Fig. 19). En los recuadros amarillos de la Fig. 19 se muestra la tasa de bioerosión por cada especie y como un total para cada transecto. Estos se resumen en la pestaña final 'Results' (Resultados).

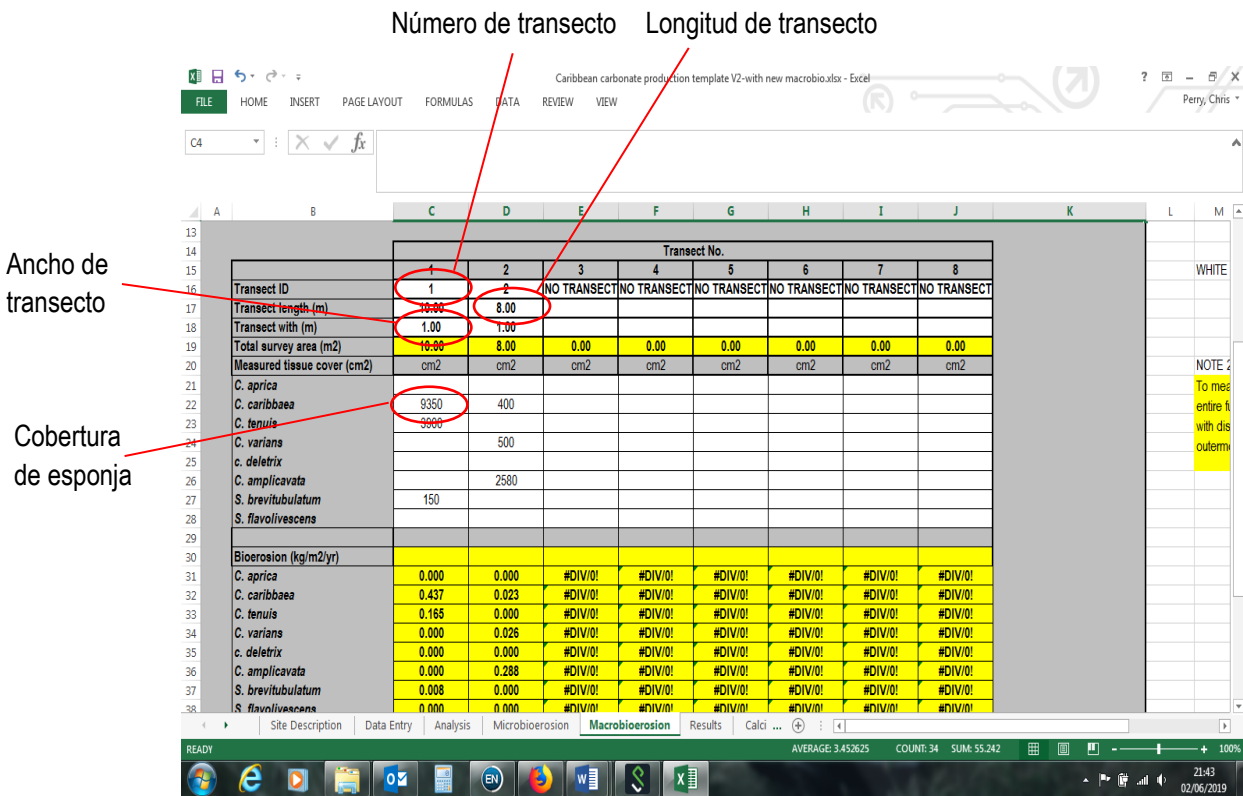


Figura 19. Pestaña 'Macrobioerosion' para el ingreso de datos de bioerosión de esponja.

4.4 Bioerosión por microperforadores (cianobacterias, clorofitas, hongos)

El sustrato de carbonato de los arrecifes también puede ser degradado por las actividades de cianobacterias fotosintéticas, clorofitas, rodófitas, hongos y bacterias heterótrofas (Golubic et al. 1981). Al igual que con la macrobioerosión, las evaluaciones de microbioerosión han tendido a basarse en el empleo de sustratos experimentales, predominantemente bloques de *Porites* sp. (e.g. Chazottes et al. 1995; Chazottes et al. 2002; Tribollet y Golubic 2005). La mayoría de los estudios, en vez de determinar las tasas totales de microperforación, han optado por examinar ya sean los rangos batimétricos de especies individuales o la composición de la comunidad y las dinámicas de sucesión de diferentes taxones en el lugar. A pesar de que los datos sobre estos procesos son escasos, las tasas publicadas de microbioerosión se encuentran dentro de rangos similares a los de los macroperforadores. Por lo tanto, tiene el potencial de contribuir a una cantidad no despreciable de bioerosión en los arrecifes de coral.

4.4.1 Cálculo de la cantidad de microbioerosión

En la pestaña '*Microbioerosion*' (*Microbioerosión*) de la hoja de cálculo '*Caribbean Carbonate Production template v2*', se calculan automáticamente las estimaciones de las tasas de microbioerosión. Estas están basadas en las tasas de microbioerosión publicadas y se toman en cuenta para la superficie disponible del arrecife. Pero cuando estén disponibles, las tasas derivadas localmente se pueden ingresar manualmente en la hoja de cálculo. Se excluye todo el sustrato no disponible para bioerosionadores, como arena o roca no carbonatada. Dado que hay pocos datos actuales del Caribe, las hojas de cálculo están preestablecidas con una tasa promedio de microbioerosión basada en todos los datos publicados actualmente disponibles.

5. Resumen del presupuesto

Una vez que se hayan recopilado todos los datos, el presupuesto para el sitio se puede resumir en la pestaña '*Results*' (*Resultados*) de la hoja de cálculo '*Caribbean Carbonate Production template v2*' (ver Fig. 20), aunque también se puede hacer en una hoja de cálculo aparte, si se prefiere. Los datos de cada transecto deben copiarse y pegarse en cada columna, ya sea de la plantilla de producción de carbonato o de las hojas de peces y erizos. En los casos donde no se hayan podido completar todos los transectos para encuestas de erizos o esponjas, se pueden agregar promedios a nivel de sitio para esos transectos. Tenga en cuenta también que para cada transecto se agregan las mismas tasas generales de erosión de peces loro, como taxones altamente móviles. Esto debido a que los datos de peces loro se recopilan como un promedio general del sitio y no como datos de transectos discretos.

	Coral (kg CaCO ₃ /m ² /yr)	CCA (kg CaCO ₃ /m ² /yr)	Micro-bioerosion (kg)	Macro-bioerosion (kg)	Parrotfish erosion (kg CaCO ₃ /m ² /yr)	Urchin erosion (kg CaCO ₃ /m ² /yr)	Net G (kg CaCO ₃ /m ² /yr)
Upper 95% CI							
Mean	Mean	Mean	Mean	Mean	Mean	Mean	Mean
TRANSECT	4.320	0.680	0.532	0.760	1.320	0.320	2.068
TRANSECT	2.560	0.870	0.560	0.430	1.320	0.430	0.690
TRANSECT	1.650	0.920	0.420	0.230	1.320	0.320	0.280
TRANSECT	2.560	0.560	0.320	0.540	1.320	0.410	0.530
TRANSECT	6.780	0.640	0.650	0.320	1.320	0.210	4.920
TRANSECT	6.570	0.430	0.740	0.290	1.320	0.420	4.230
TRANSECT	NO TRANSECT	NO TRANSECT	NO TRANSECT	NO TRANSECT	NO TRANSECT	NO TRANSECT	NO TRANSECT
TRANSECT	NO TRANSECT	NO TRANSECT	NO TRANSECT	NO TRANSECT	NO TRANSECT	NO TRANSECT	NO TRANSECT
#DIV/0!	4.073	0.683	0.537	0.428		0.352	2.120
#DIV/0!	2.194	0.186	0.152	0.196		0.085	2.013
#DIV/0!	0.896	0.076	0.062	0.080		0.035	0.822
#DIV/0!	1.76	0.15	0.12	0.16		0.07	1.62

Figura 20. Sección del resumen del presupuesto en la pestaña 'Results' (Resultados) de la hoja de cálculo 'Caribbean Carbonate Production template v2'

6. Calificaciones de confianza para diferentes componentes del presupuesto

Los diferentes componentes del presupuesto de las evaluaciones presupuestarias que utilicen la metodología *ReefBudget* inevitablemente tendrán también diferentes niveles de confianza. Esto se deberá al uso necesario de datos disponibles sobre parámetros como las tasas de calcificación y las tasas de bioerosión, las cuales a su vez se derivan principalmente de la literatura. Por lo tanto, la calificación de confianza otorgada a los componentes del presupuesto variará dependiendo de la experiencia del encuestador, como se ha demostrado para estudios de censos de peces (Bell et al. 1985). Además, la calificación de confianza varía en la medida en que se disponga de conjuntos de datos locales apropiados para respaldar los cálculos presupuestarios. Tenga en cuenta que las hojas de cálculo para el ingreso de datos están preestablecidas con datos promediados de toda la literatura publicada disponible del Caribe, pero sí pueden ser modificadas por el usuario en cuanto a los datos de tasas utilizados. Debido a lo anterior, se recomienda que se asigne una calificación de confianza a cada uno de los componentes del presupuesto calculados en cualquier evaluación de presupuesto y que estos puedan mostrarse dentro de cualquier información tabulada del sitio bajo estudio. En la Tabla 3 se muestra el criterio recomendado para esto. Se proporciona además un mecanismo mediante el cual se puede asignar una calificación de confianza, tanto al componente metodológico de cada estudio como al componente del ingreso de datos empleado para calcular las tasas de producción/erosión individuales.

Tabla 3. Esquema de calificación de confianza recomendado para evaluar la confiabilidad tanto de los métodos de encuesta como de los datos de apoyo para cada componente de los cálculos del presupuesto.

		Calificación de confianza – metodología de encuesta		
		Alto ¹	Mediano ²	Bajo ³
Calificación de confianza – datos de apoyo	Alto ⁴	A/A Alta confianza en el método de encuesta y alta confianza en los conjuntos de datos de apoyo	M/A Confianza aceptable en el método de encuesta, pero alta confianza en los conjuntos de datos de apoyo	B/A Baja confianza en el método de encuesta, pero alta confianza en los conjuntos de datos de apoyo
	Mediano ⁵	A/M Alta confianza en el método de encuesta y confianza aceptable en los conjuntos de datos de apoyo	M/M Confianza aceptable en el método de encuesta y confianza aceptable en los conjuntos de datos de apoyo	B/M Baja confianza en el método de encuesta, pero confianza aceptable en los datos de apoyo
	Bajo ⁶	A/B Alta confianza en el método de encuesta, pero baja confianza en los conjuntos de datos de apoyo	M/B Confianza aceptable en el método de encuesta, pero baja confianza en los conjuntos de datos de apoyo	B/B Baja confianza en el método de encuesta y baja confianza en los conjuntos de datos de apoyo

¹ Alto (metodológico): se considera que proporciona un reflejo preciso de la abundancia del componente presupuestario en consideración. Esta puede ser la calificación adecuada para: i) estudios de censo de la cobertura bentónica de coral (especialmente en sistemas de baja complejidad topográfica); o ii) para estudios de censo de bioerosionadores de sustrato bentónico fácilmente visibles (e.g., erizos).

² Mediano (metodológico): se considera que proporciona una estimación aceptable o razonablemente buena de la abundancia del componente presupuestario en consideración. Esta puede ser una calificación adecuada para: i) estudios de fauna no bentónica (móviles; e.g., peces); ii) estimaciones de censos de componentes bentónicos a menudo crípticos (e.g., ACC o esponjas perforantes; o iii) estimaciones de censos de coral donde hay una alta proporción de cobertura de coral ramificado.

³ Bajo (metodológico): se considera que brinda una estimación aproximada de la abundancia del componente presupuestario en consideración. Esta sería la calificación adecuada para las estimaciones de microbioerosión, ya que los métodos de censo no emplean evaluaciones in situ de la abundancia de especies.

⁴ Alto (datos): se consideran que los datos de apoyo son precisos y confiables para el arrecife en estudio. Esta puede ser la calificación apropiada cuando: i) una alta proporción de los datos de apoyo sobre la producción de coral (especialmente

para las principales especies de coral presentes) se deriva del país o área bajo estudio; o ii) donde se emplea el uso de datos de tamaño/tasa relativamente bien limitados (e.g., para la relación entre el tamaño del erizo y la tasa de erosión).

⁵ Medio (datos) – se considera que los datos de apoyo proporcionan una base aceptable o razonablemente buena para el arrecife en estudio. Esta puede ser la calificación apropiada cuando: i) se utilizan conjuntos de datos promedio regionales para determinar las tasas de producción de los corales; ii) donde se requieren algunos supuestos con respecto a las relaciones de datos de tamaño/tasa (e.g., para las relaciones entre el tamaño y la tasa de erosión en diferentes especies de peces loro).

⁶ Bajo (datos) – se considera que los datos de apoyo proporcionan una base aproximada para el arrecife en estudio. Esta puede ser la calificación adecuada cuando: i) existen datos limitados generalmente para las especies de coral dominantes dentro del área de encuesta y/o se depende de datos de otras regiones o sólo de grupos morfológicos similares; ii) donde actualmente existe una escasez general de datos sobre la tasa de producción/erosión (e.g., para ACC o perforación por esponja); o iii) hay confianza en los datos de tasa empleados independientemente de las encuestas en el sitio (e.g., para la microbioerosión).

Nótese bien: Se esperaría que estas calificaciones cambien con el tiempo a medida que se disponga de nuevos conjuntos de datos.

Apéndice 1 – Hoja de encuesta bentónica

Nótese bien: Se pueden descargar copias en formato .jpg desde el sitio web de *ReefBudget*

Site:
Depth:

Transect:

Date:
Surveyor:

ACC *Acropora cervicornis*
 ACP *Acropora palmata*
 ACPR *Acropora proliferata*
 AG *Agaricia spp.*
 AGA *Agaricia agaricites*
 AGF *Agaricia fragilis*
 AGG *Agaricia grahamae*
 AGH *Agaricia humilis*
 AGL *Agaricia lamarcki*
 AGT *Agaricia tenuifolia*
 AGU *Agaricia undata*
 ART *Articulated CA*
 CCA *Crustose coralline algae*
 CLA *Cladocora arbuscula*
 CON *Colpophyllia natans*
 CY *Cyanobacteria*
 DC *Dead coral*
 DNC *Dendrogyra cylindrus*
 DCS *Dichocoenia stokesii*
 DIL *Diploria labyrinthiformis*
 EUF *Eusmilia fastigiata*
 FVF *Favia fragum*
 HA *Halimeda*
 HCB *Hard coral (branched)*
 HCE *Hard coral (encrusting)*
 HCM *Hard coral (massive)*
 HCP *Hard coral (plate/foliose)*
 HLC *Helioseris cucullata*
 ISR *Isophyllia rigida*
 ISS *Isophyllia sinuosa*
 LSP *Limestone pavement*
 MAC *Macroalgae*
 MCCA *Macroalgae w/CCA*
 MD *Madracis spp.*
 MDA *Madracis asperula*
 MDAU *Madracis auretenra*
 MDC *Madracis carmabi*
 MDD *Madracis decactis*
 MDF *Madracis formosa*
 MDP *Madracis pharensis*
 MDS *Madracis senaria*
 MAE *Manicina areolata*
 ME *Meandrina spp.*
 MED *Meandrina danae*
 MEM *Meandrina meandrites*
 MIA *Millepora alcicornis*
 MIC *Millepora complanata*
 MIS *Millepora striata*
 MISQ *Millepora squarrosa*
 MOC *Montastraea cavernosa*
 MUA *Mussa angulosa*
 MY *Mycetophyllia spp.*
 MYA *Mycetophyllia aliciae*
 MYD *Mycetophyllia danae*
 MYF *Mycetophyllia ferox*
 MYL *Mycetophyllia lamarckiana*
 MYR *Mycetophyllia reesi*
 OCD *Oculina diffusa*
 ORA *Orbicella annularis*
 ORF *Orbicella faveolata*
 ORFR *Orbicella franksi*
 OCE *Other calcareous encrusters*
 OTH *Other*
 PEY *Peysonellid*
 POA *Porites astreoides*
 POB *Porites branneri*
 POC *Porites colonensis*
 POD *Porites divaricata*
 POF *Porites furcata*
 POP *Porites porites*
 PSC *Pseudodiploria clivosa*
 PSS *Pseudodiploria strigosa*
 RB *Rubble*
 RCK *Rock*
 SD *Sand*
 SCC *Scolymia cubensis*
 SCL *Scolymia lacera*
 SIR *Siderastrea radians*
 SIS *Siderastrea siderea*
 SOC *Soft coral*
 SOB *Solenastrea bournoni*
 SOH *Solenastrea hyades*
 SP *Sponge*
 STI *Stephanocoenia intersepta*
 SYR *Stylaster roseus*
 TF *Turf*
 TUC *Tubastraea coccinea*

Notes:

Apéndice 2 – Hoja de encuesta de erizos

Nótese bien: Se pueden descargar copias en formato .jpg desde el sitio web de *ReefBudget*

Site:

Depth:

Date:

Surveyor:

Transect No:

Test size

	0-20 mm	21-40 mm	41-60 mm	61-80 mm	81-100 mm
<i>Diadema antillarum</i>					
<i>Echinometra lucunter</i>					
<i>Echinometra viridis</i>					
<i>Eucidaris tribuloides</i>					
Other/notes					

Transect No:

Test size

	0-20 mm	21-40 mm	41-60 mm	61-80 mm	81-100 mm
<i>Diadema antillarum</i>					
<i>Echinometra lucunter</i>					
<i>Echinometra viridis</i>					
<i>Eucidaris tribuloides</i>					
Other/notes					

Transect No:

Test size

	0-20 mm	21-40 mm	41-60 mm	61-80 mm	81-100 mm
<i>Diadema antillarum</i>					
<i>Echinometra lucunter</i>					
<i>Echinometra viridis</i>					
<i>Eucidaris tribuloides</i>					
Other/notes					

Apéndice 3 – Erizos bioerosionadores del Caribe

Diadema antillarum



Echinometra viridis



Echinometra lucunter



Eucidaris tribuloides



Apéndice 4 – Hoja de encuesta de peces loro

Nótese bien: Se pueden descargar copias en formato .jpg desde el sitio web de ReefBudget



















Site: Depth: Date: Surveyor:

Transect No.	Initial Phase					Terminal Phase				
	Juveniles 0-9cm	10-19cm	20-29cm	30-39cm	40-49cm	10-19cm	20-29cm	30-39cm	40-49cm	50-59cm
<i>Sp viride</i>										
<i>Sp aurofrenatum</i>										
<i>Sp rubripinne</i>										
<i>Sp chrysopterum</i>										
<i>Sc vetula</i>										
<i>Sc taeniopterus</i>										
<i>Sc iserti</i>										
<i>Sc guacamaia</i>										
<i>Sc coelestinus</i>										
<i>Sc coeruleus</i>										

Transect No.	Initial Phase					Terminal Phase				
	Juveniles 0-9cm	10-19cm	20-29cm	30-39cm	40-49cm	10-19cm	20-29cm	30-39cm	40-49cm	50-59cm
<i>Sp viride</i>										
<i>Sp aurofrenatum</i>										
<i>Sp rubripinne</i>										
<i>Sp chrysopterum</i>										
<i>Sc vetula</i>										
<i>Sc taeniopterus</i>										
<i>Sc iserti</i>										
<i>Sc guacamaia</i>										
<i>Sc coelestinus</i>										
<i>Sc coeruleus</i>										

Apéndice 5 – Tabla de identificación de peces loro

Nótese bien: Se pueden descargar copias en formato .jpg desde el sitio web de *ReefBudget*

	Terminal Phases	Initial Phases	Juveniles
<p><i>Sparisoma viride</i> (Stoplight Parrotfish) Max 50cm</p>			
<p><i>Scarus vetula</i> (Queen Parrotfish) Max 61cm</p>			
<p><i>Scarus taeniopterus</i> (Princess Parrotfish) Max 35cm</p>			
<p><i>Scarus iserti</i> (Striped Parrotfish) Max 35cm</p>			
<p><i>Sparisoma aurofrenatum</i> (Redband Parrotfish) Max 28cm</p>			
<p><i>Sparisoma rubripinne</i> (Redfin parrotfish) Max 48cm</p>			
<p><i>Sparisoma chrysopterus</i> (Redtail parrotfish) Max 46cm</p>			

Apéndice 6 – Hoja de encuesta de esponjas perforadoras

Nótese bien: Se pueden descargar copias en formato .jpg desde el sitio web de *ReefBudget*

Site:

Depth:

Date:

Surveyor:

Transect No:

Species	Area cover (cm ²)	Total
<i>Cliona aprica</i> Dark brown - fields of papillae, merging		
<i>Cliona caribbaea</i> Brown - continuous tissue		
<i>Cliona tenuis</i> Brown - very thin, almost transparent layer of continuous tissue		
<i>Cliona varians</i> Brown, osculae light yellow - thick continuous tissue or free-living sponge		
<i>Cliona delitrix</i> Dark orange to bright red - continuous, knobby tissue, large fleshy exhalents		
<i>Siphonodictyon spp.</i> Yellow - fleshy chimneys, often from live coral		
Other		

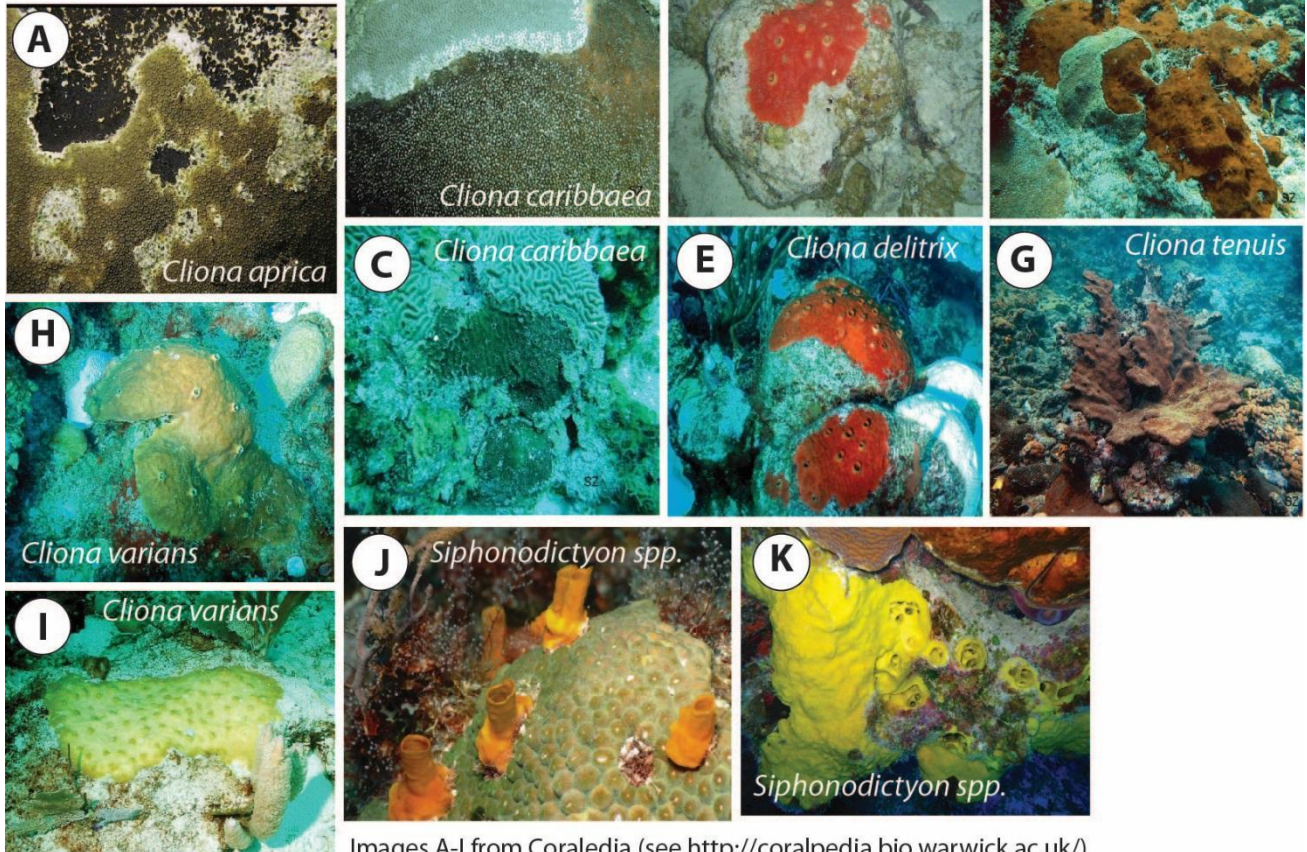
Transect No:

Species	Area cover (cm ²)	Total
<i>Cliona aprica</i> Dark brown - fields of papillae, merging		
<i>Cliona caribbaea</i> Brown - continuous tissue		
<i>Cliona tenuis</i> Brown - very thin, almost transparent layer of continuous tissue		
<i>Cliona varians</i> Brown, osculae light yellow - thick continuous tissue or free-living sponge		
<i>Cliona delitrix</i> Dark orange to bright red - continuous, knobby tissue, large fleshy exhalents		
<i>Siphonodictyon spp.</i> Yellow - fleshy chimneys, often from live coral		
Other		

Apéndice 7 – Tabla de identificación de esponjas perforantes

Nótese bien: Se pueden descargar copias en formato .jpg desde el sitio web de *ReefBudget*

Caribbean bioeroding sponges



Images A-I from Coraledia (see <http://coraledia.bio.warwick.ac.uk/>)