

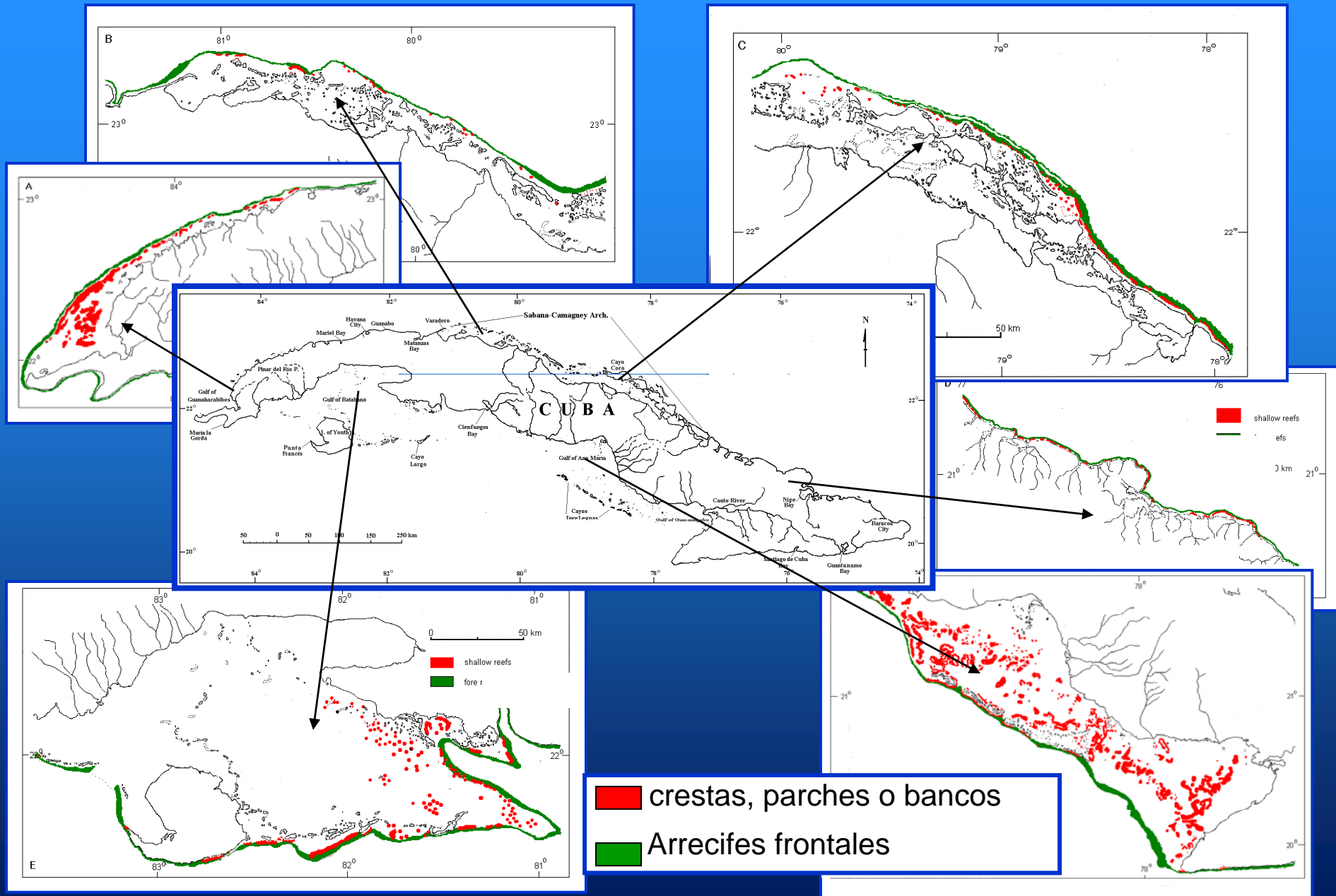
Perspectiva general sobre las condiciones y la investigación de los arrecifes coralinos en Cuba

P. M. Alcolado, S. González-Ferrer, K. Cantelar, F. Pina-Amargós, E. de la Guardia, H. Caballero, M. Hernández y Andrés Jiménez

Ken W. Marks

E-mail: alcolado@ama.cu

3215 km de arrecifes frontales alrededor de Cuba



Investigaciones sobre arrecifes de Cuba

**Siglo
XIX**

- Arango y Molina (1887)*
- Agassiz (1894)

**1919-
1963**

- Vaughan (1919)
- Walton Smith (1948)
- Duarte-Bello (1949, 1963)*

**1970-
1980**

- Kühlmann (1970a, b, 1971a, b, c, d, 1974a, b)
- Alcolado (1978, 1979)
- Zlatarski y Martínez-Estalella (1980)

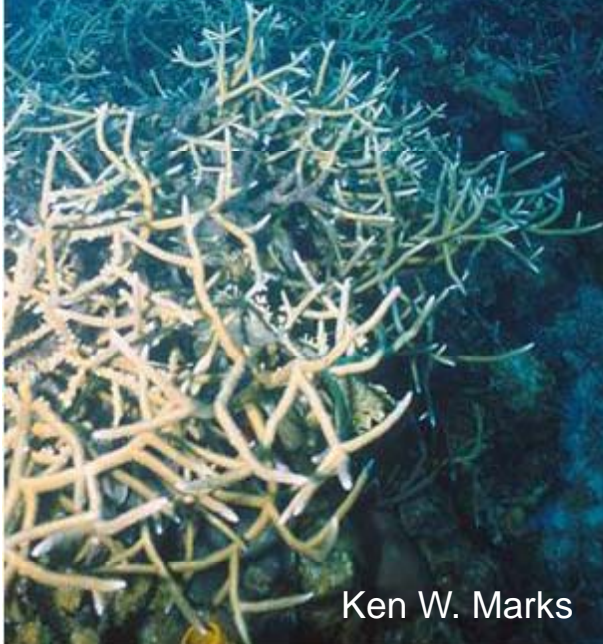
1981-2005

- Alcolado (1981, 1984, 1985, 1989, 1990, 1992, 1994, 1999, 2004, etc.), Alcolado et al. (1994, 1997, 1999, 2001, 2003), Herrera-Moreno (1983, 1989, 1991), Herrera-Moreno y Alcolado (1983, 1985, 1986, 1988), Mochek y Valdés-Muñoz (1983), Alcolado y Gotera (1985), Martínez-Estalella (1986), Alcolado y Herrera-Moreno (1987), Herrera-Moreno y Martínez-Estalella (1987), Valdés-Muñoz y Garrido (1987), Espinosa y Rams (1987), Plante et al. (1989), Finalé-Gómez et al. (1987), Claro et al. (1990, 2004), Ibarzábal (1993), Claro y García-Arteaga (1994), Herrera-Moreno et al. (1997), De la Guardia y González-Sansón (1997a, b,c,), González-Sansón et al. (1997a,b, etc.), Aguilar et al. (1997, etc.), etc.

* Sólo mencionan o describen corales de Cuba

Caracterización, diagnóstico y bioindicación ambiental

Vitalidad del arrecife

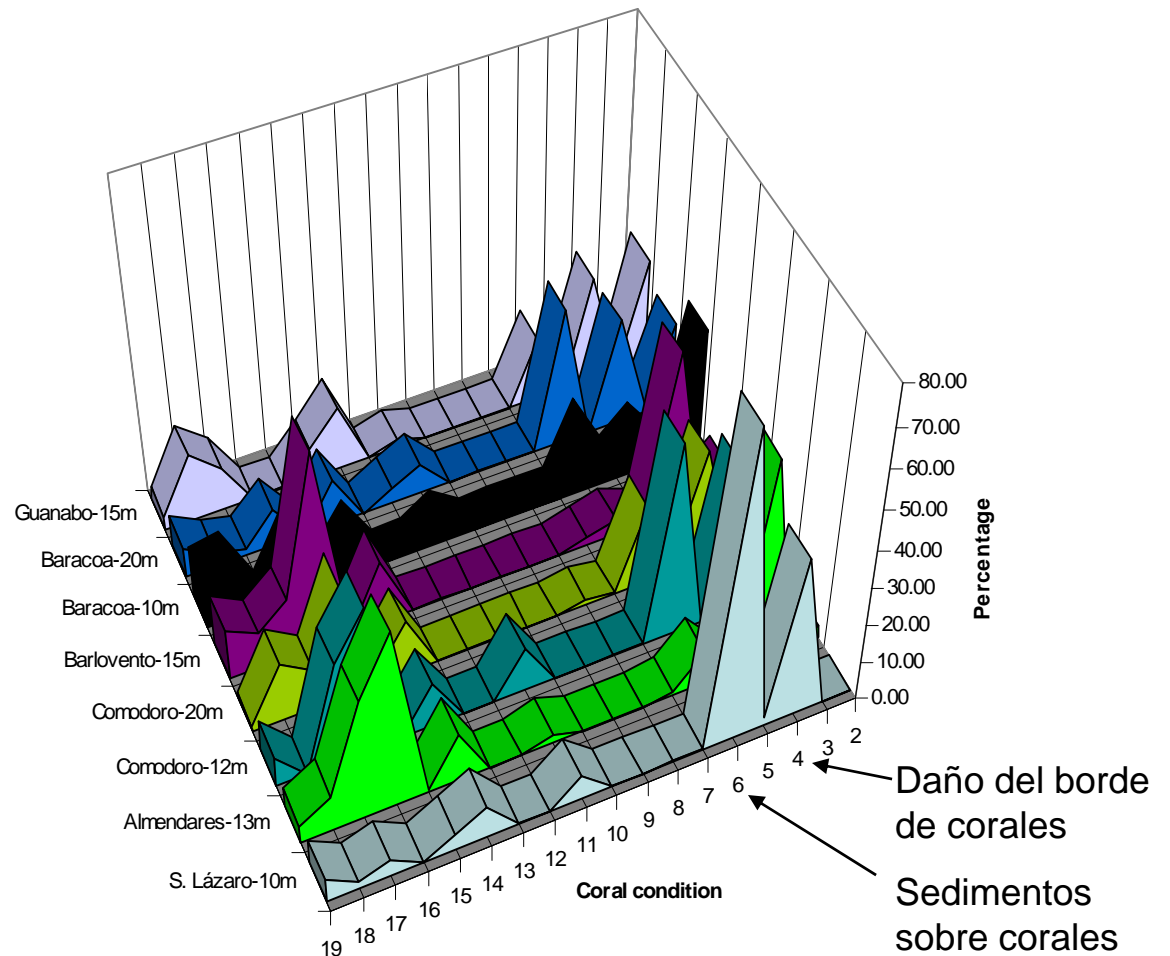


Ken W. Marks

Método de Dustan (1976)

- % de diferentes condiciones de los corales
- Densidad de colonias (si se usa cuadrado de 1m^2)

Reef vitality (Dustan's method)



Un ejemplo:

Condición de los arrecifes coralinos de la Ciudad de La Habana

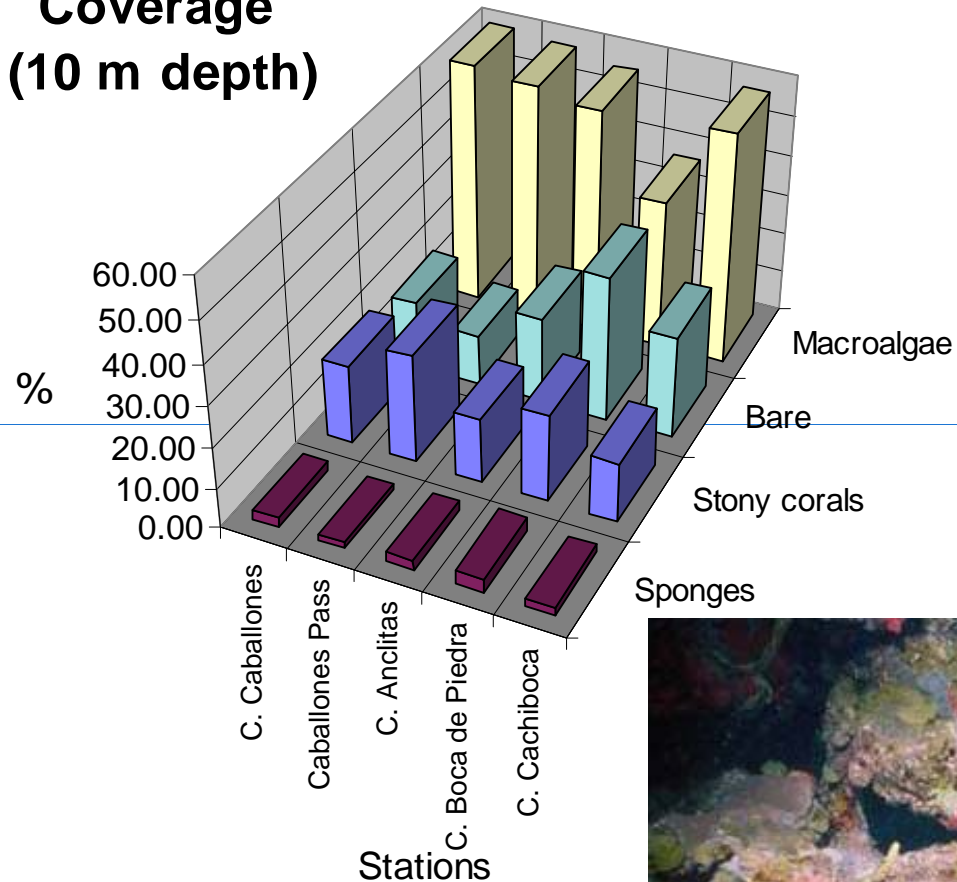
Taylor Neff y Alcolado

Cubrimiento coralino

Transecto de Loya (1978)

- % de cubrimiento del bentos

Coverage
(10 m depth)



Un ejemplo:

Corales, esponjas y algas en el Archipiélago Jardines de la Reina

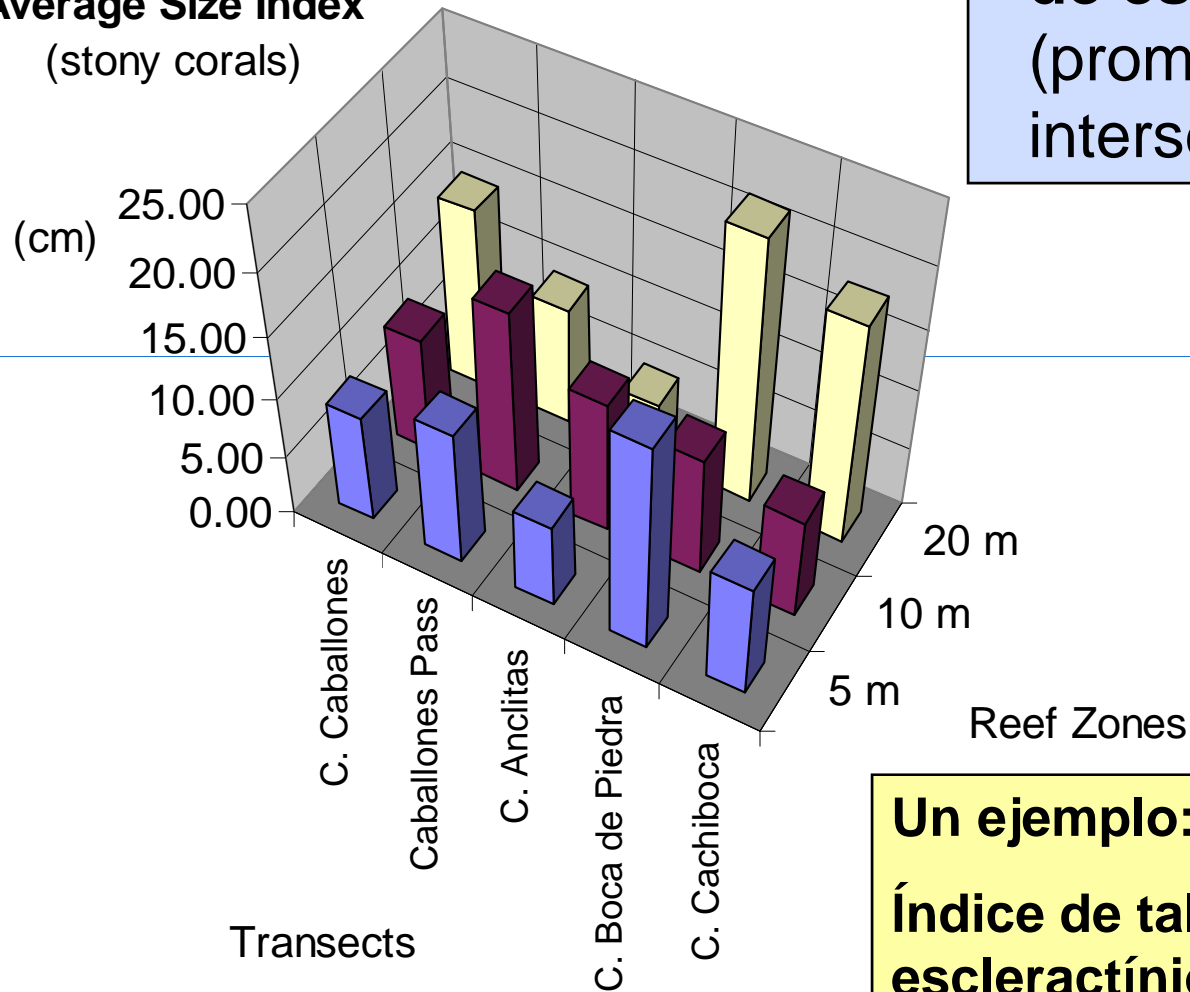
Menéndez-Macía, Martínez-Daranas y Alcolado

Indice de talla

Transecto de Loya (1978)

- Índice de talla promedio de esponjas y corales (promedio de sus intersecciones)

Average Size Index
(stony corals)



Un ejemplo:

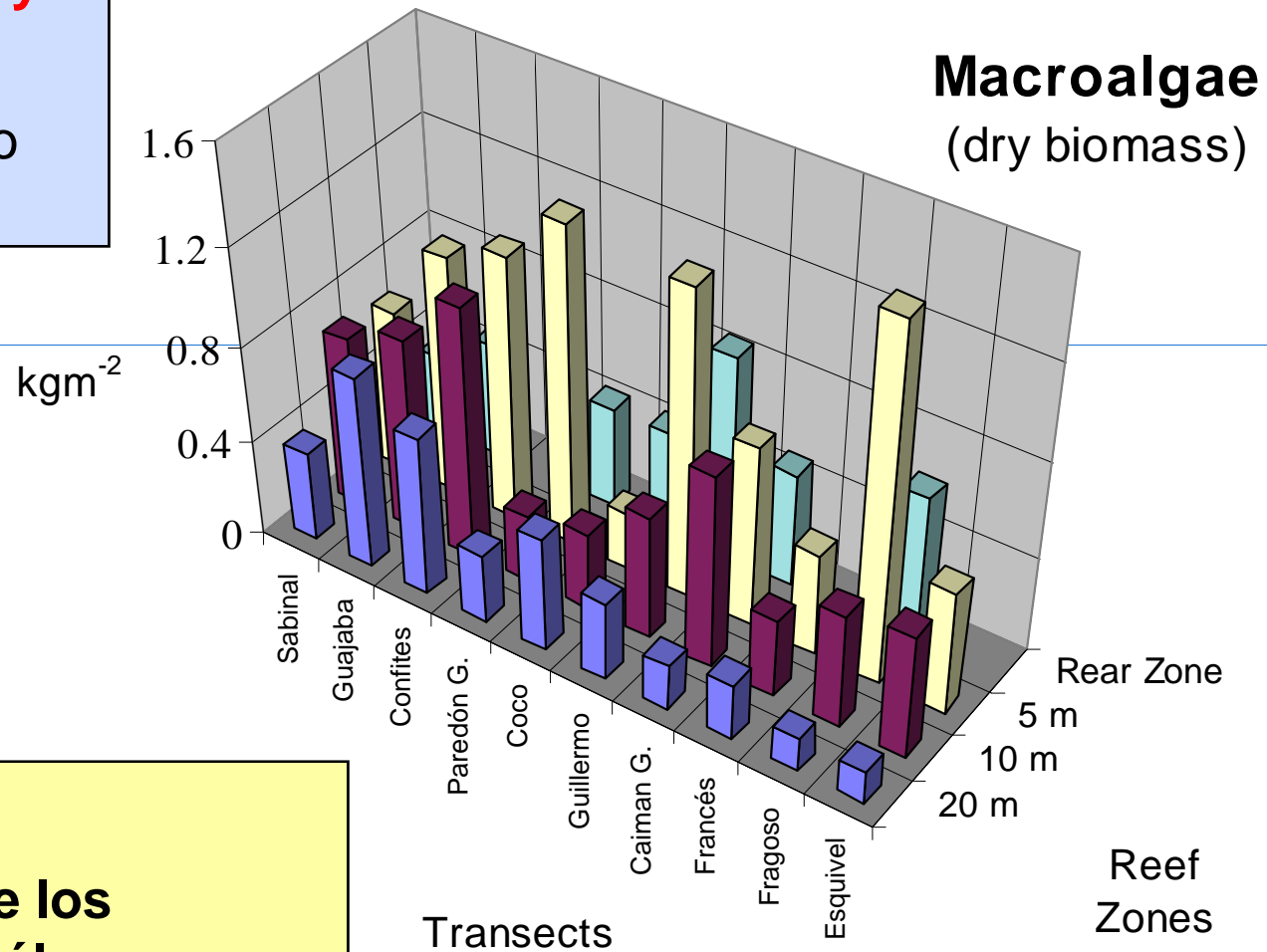
Índice de talla promedio de escleractínios en el Archipiélago Jardines de la Reina

Menéndez-Macía y Alcolado

Biomasa de macroalgas

Método de raspado y succión

- Biomasa húmeda y/o seca



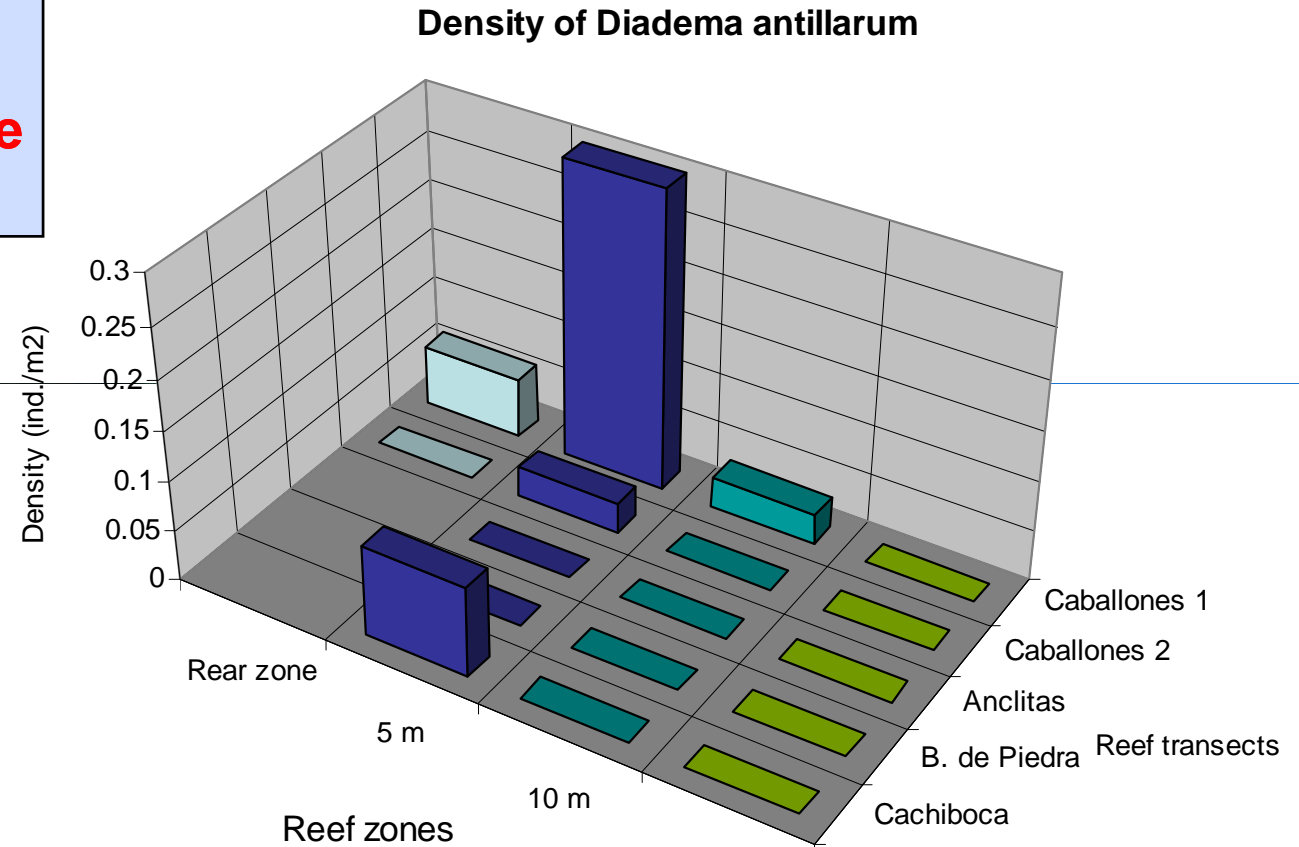
Un ejemplo:

Biomasa de algas de los arrecifes del Archipiélago Sabana-Camaquëy

B. Martínez-Daranas y D. Zúñiga

Densidad de erizo *Diadema antillarum*

Método de conteo con cuadrado de 1x1 m y método de transecto de banda de 10x1 m



Un ejemplo:

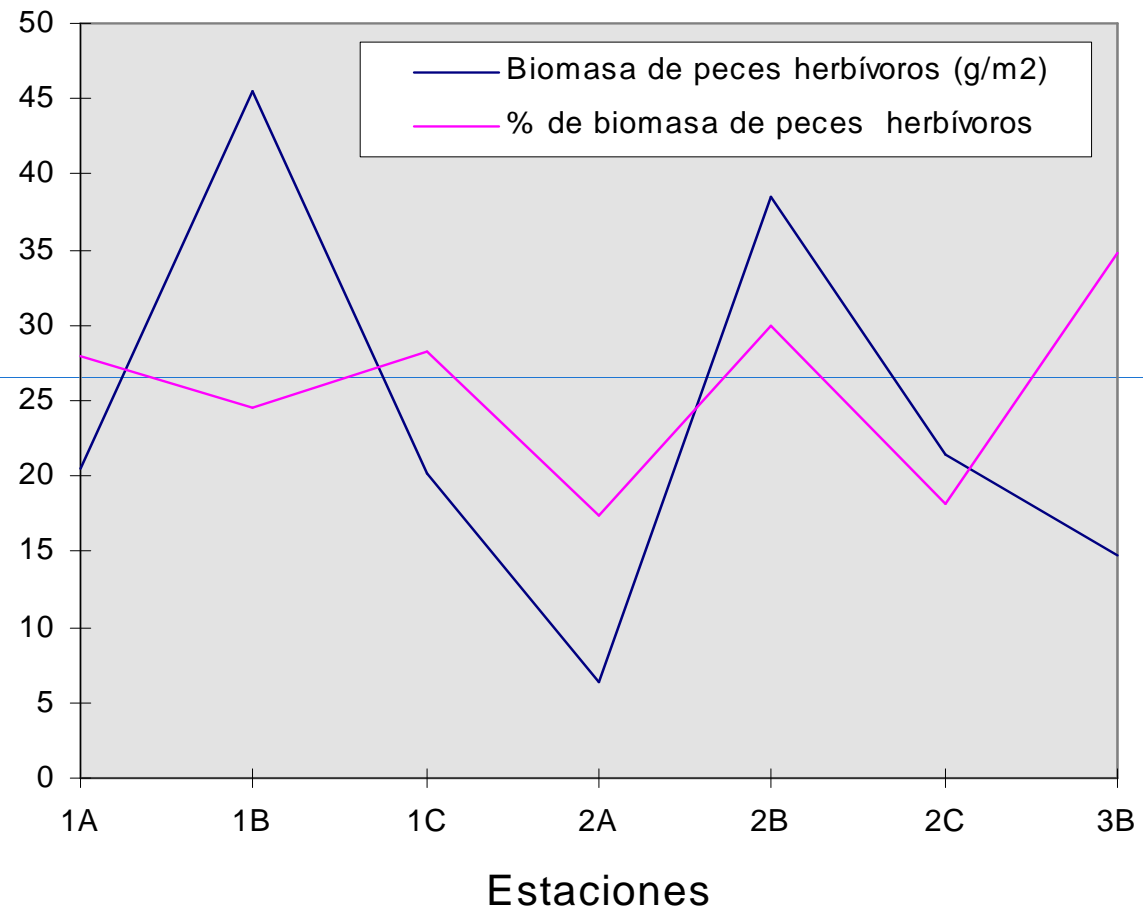
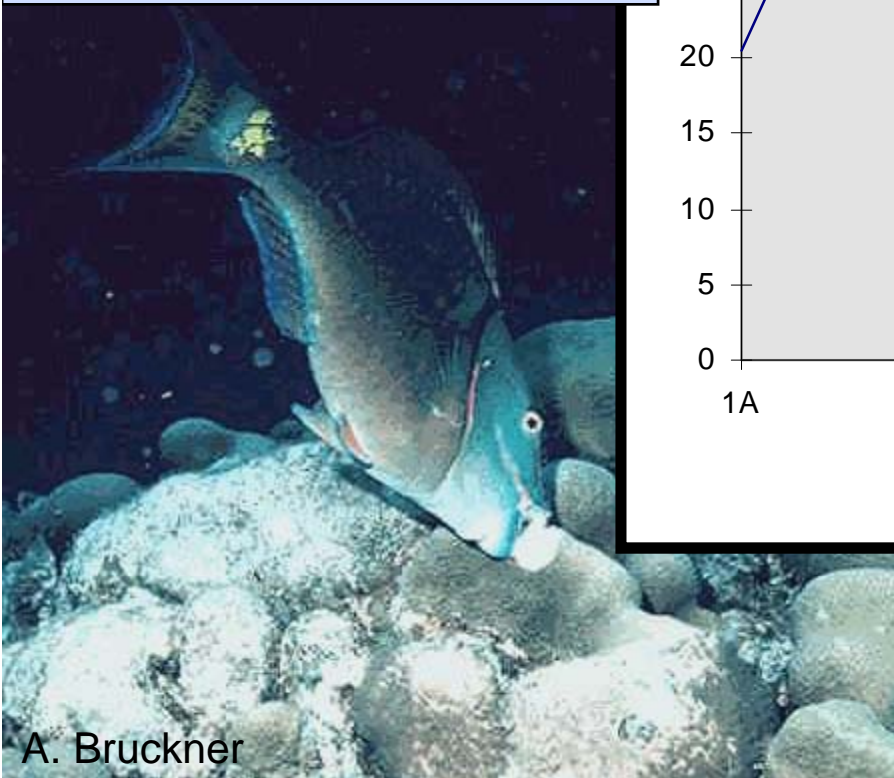
Densidad de *Diadema antillarum* en el Archipiélago Jardines de la Reina (1997)

García-Parrado, Alcolado

Comunidades de peces

Censo de peces de AGRRA (1998)

- Composición y dominancia de especies, proporción y biomasa de grupos tróficos, diversidad, etc.

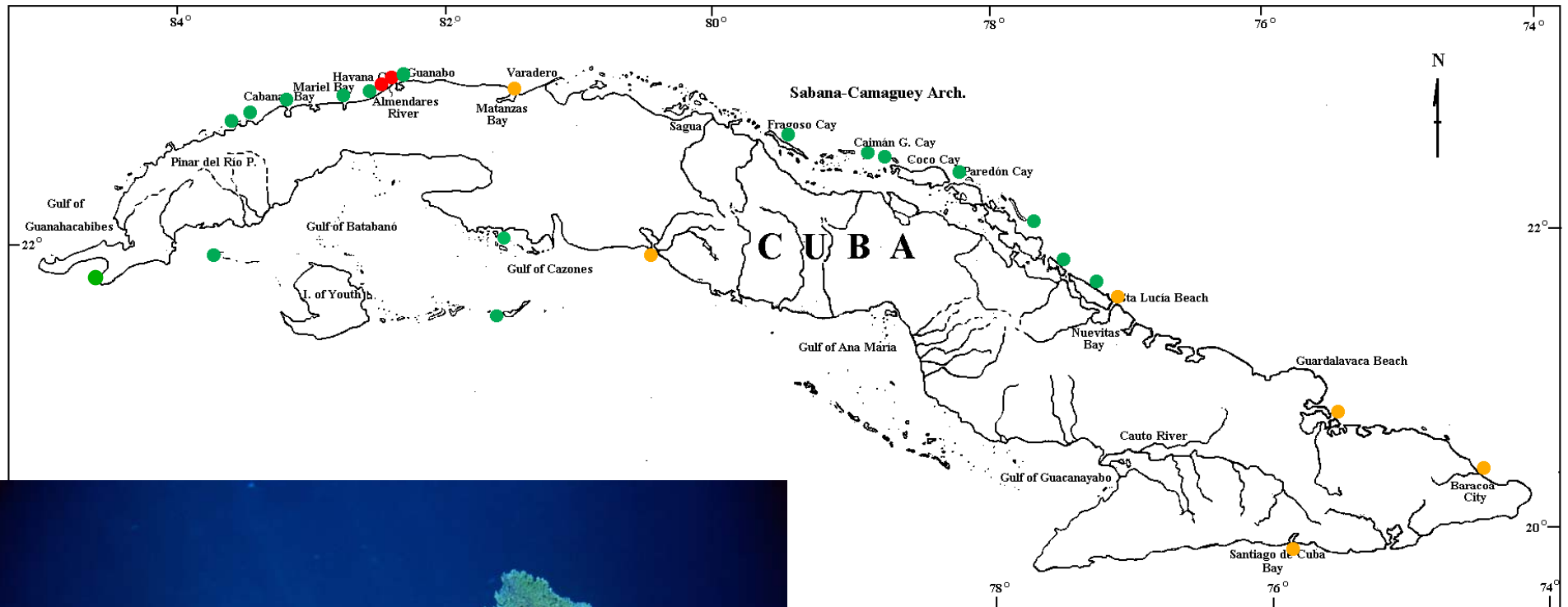


Un ejemplo:

Cayo Largo del Sur (1999)

R. Claro y K. Cantelar

Contaminación y nutrificación en arrecifes coralinos de Cuba

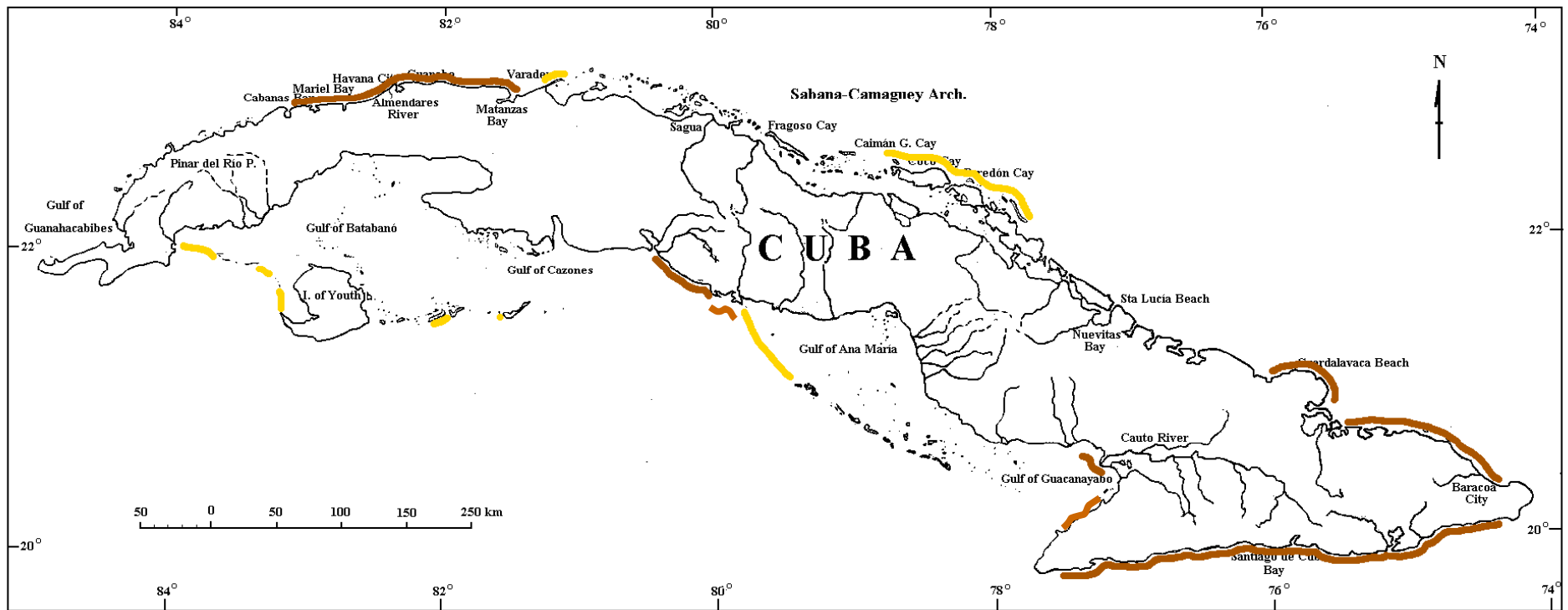


Legenda

- Contaminación mixta y fuerte
- Nutrificación*
- Posiblemente contaminada

* > umbrales de Lapointe *et al.* (1992)

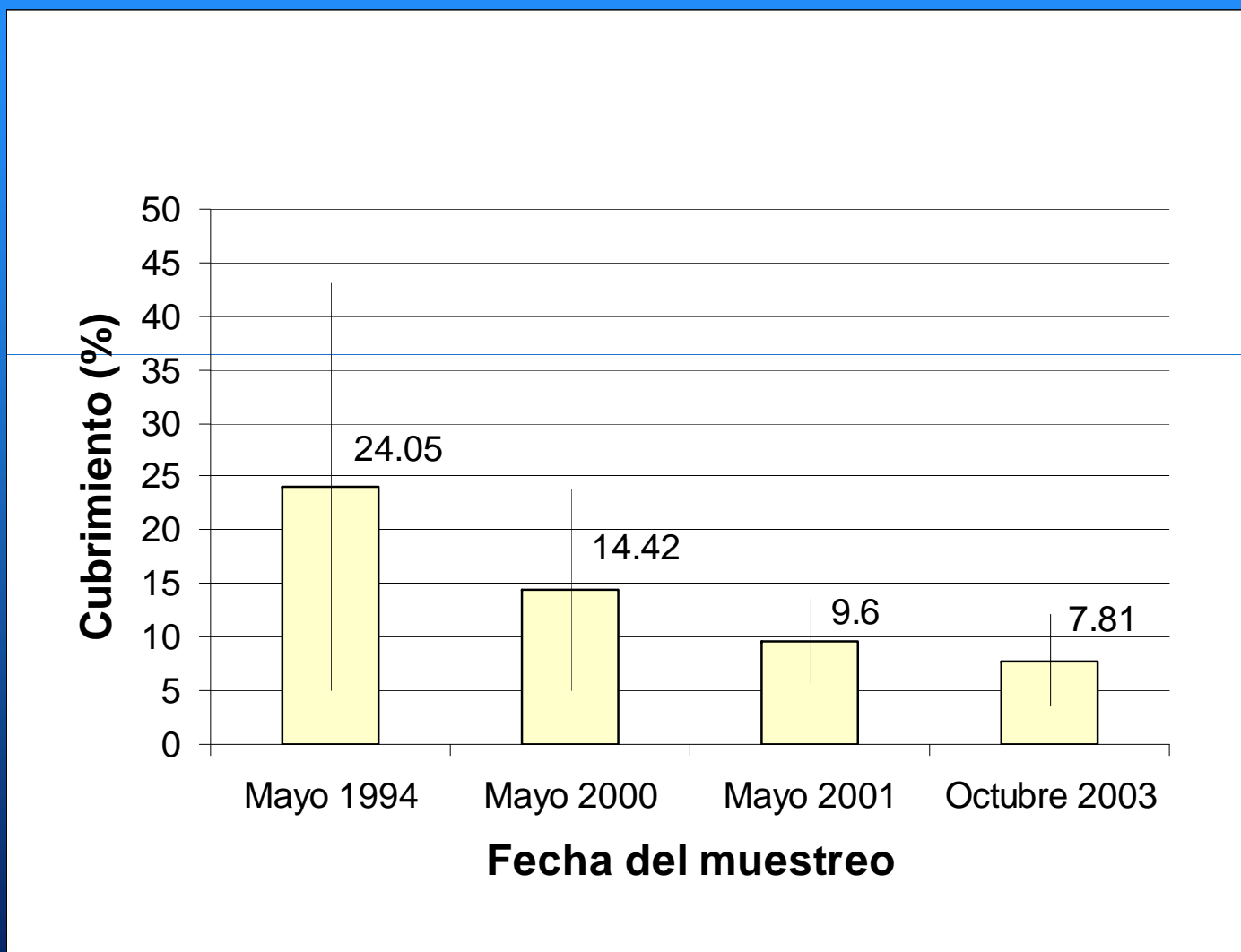
Áreas de arrecifes expuestas a sedimentación terrígena o arrecifal



Leyenda

-  Sedimentación terrígena ← 20% aprox.
-  Sedimentación arrecifal

Cubrimiento del fondo por corales pétreos en el Archipiélago Sabana-Camagüey



Datos de G. Menéndez (PNUD/GEF CUB/92/G31), Claro *et al.* (2000; PNCT Cambio climático), CARICOMP y Colectivo AGRRA, 2001

Nivel de blanqueamiento de corales

(agosto-octubre, 2005)



Pobre (1%-10%)



Moderado (11%-30%)



Alto (51%-75%)



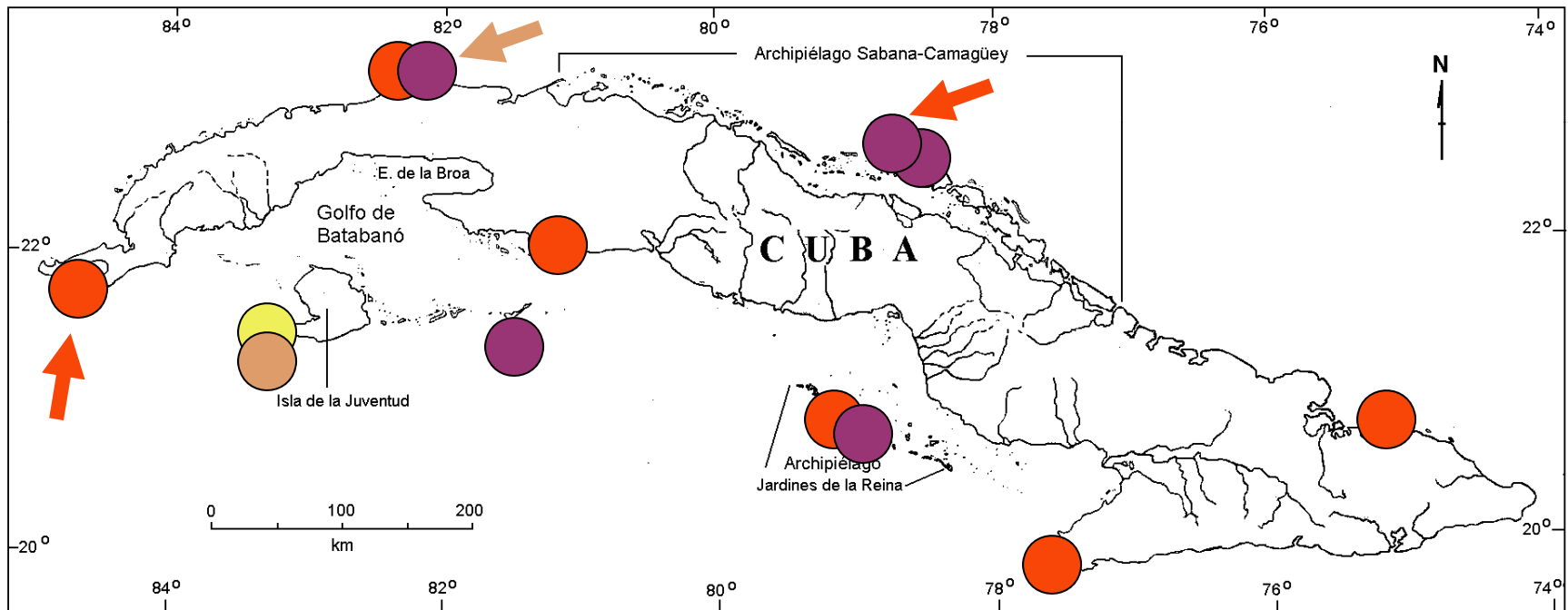
Muy alto (75%-100%)



Poca mortalidad de corales



Mortalidad de corales significativa

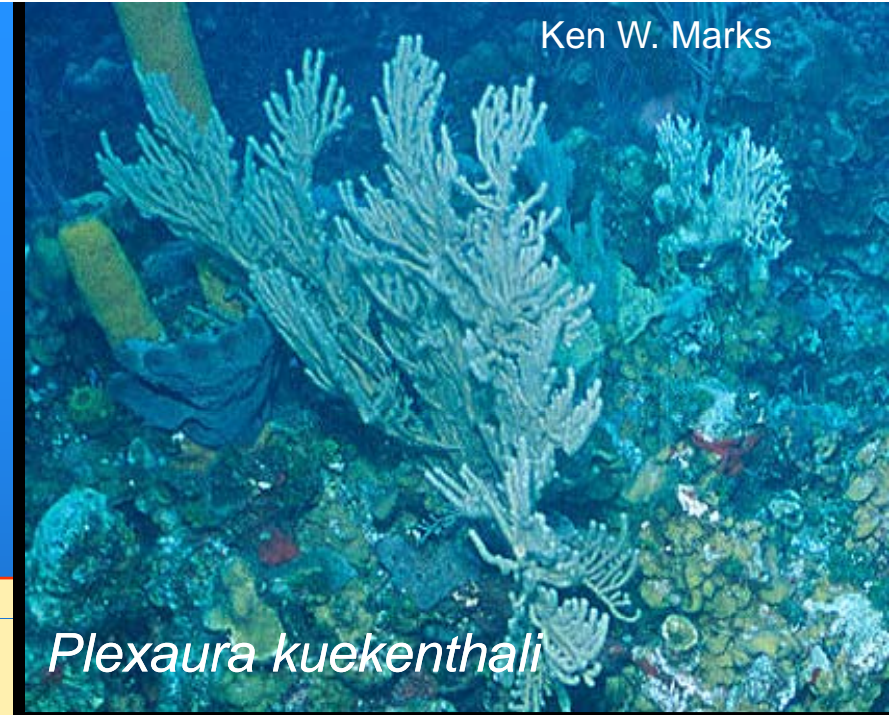


Red de Monitoreo Voluntario de Alerta Temprana en Arrecifes Coralinos

Especies indicadoras

Especies dominantes

¿Qué indican cuando dominan y hay baja diversidad?



Plexaura kuekenthali

Gorgonias:

Plexaura kuekenthali:

Contaminación orgánica y poca agitación

Pseudoplexaura flagellosa:

Idem.

Eunicea flexuosa:

Contaminación orgánica y mucha agitación

Eunicea tourneforti:

Idem.

Eunicea calyculata f. *typica*:

Idem.

Plexaurella dichotoma

Mucha turbulencia y fuerte abrasión

Especies dominantes

¿Qué indican cuando dominan y hay baja diversidad?

Esponjas:

Clathria venosa:

Iotrochota birotulata f. musciformis:

Cliona delitrix:

Scopalina ruetzleri:

Aplysina fistularis:

Tectitethya crypta:

Cliona vesparia (estados α y β):

Aplysina cauliformis:

Contaminación orgánica + sedimentación

Contaminación orgánica + sedimentación

Contaminación orgánica moderada

Contaminación orgánica moderada

Aguas no contaminadas

Sedimentación + oleaje

Sedimentación + oleaje

Sedimentación + agitación moderada



Especies dominantes

¿Qué indican cuando dominan y hay baja diversidad?

Siderastrea siderea

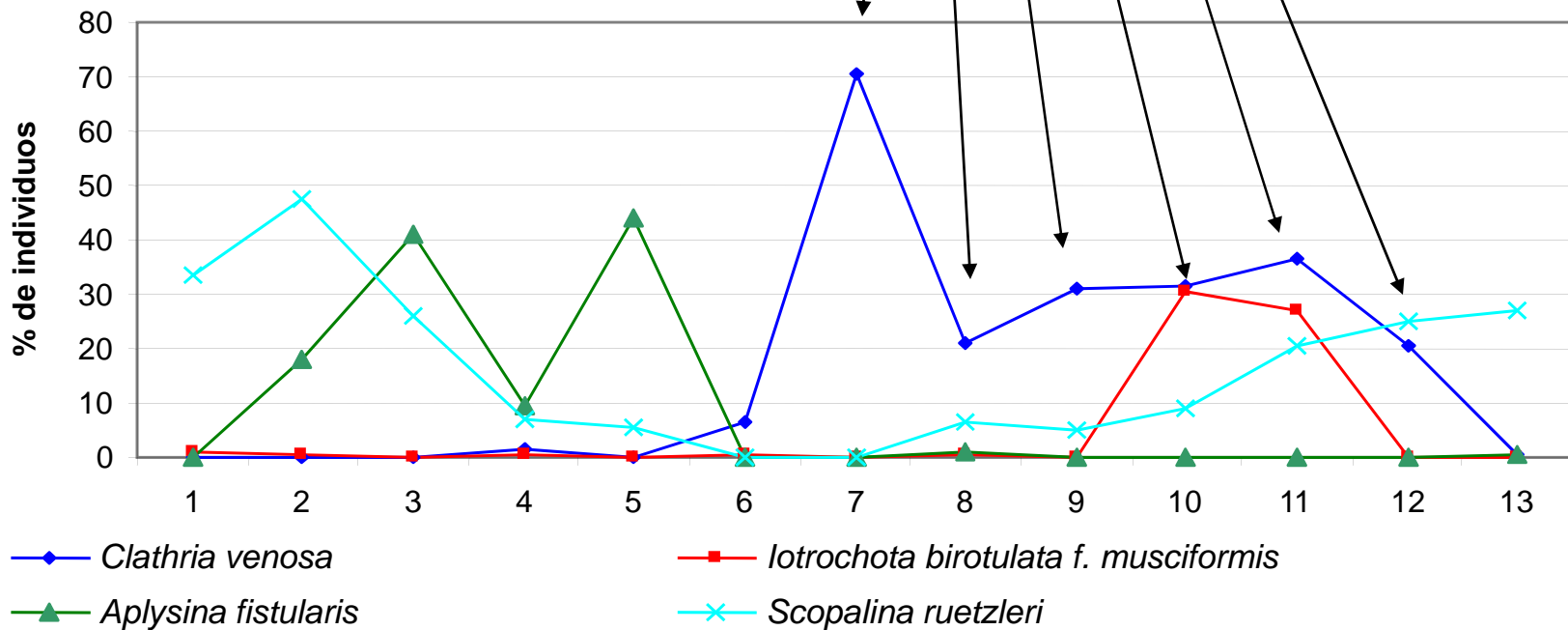
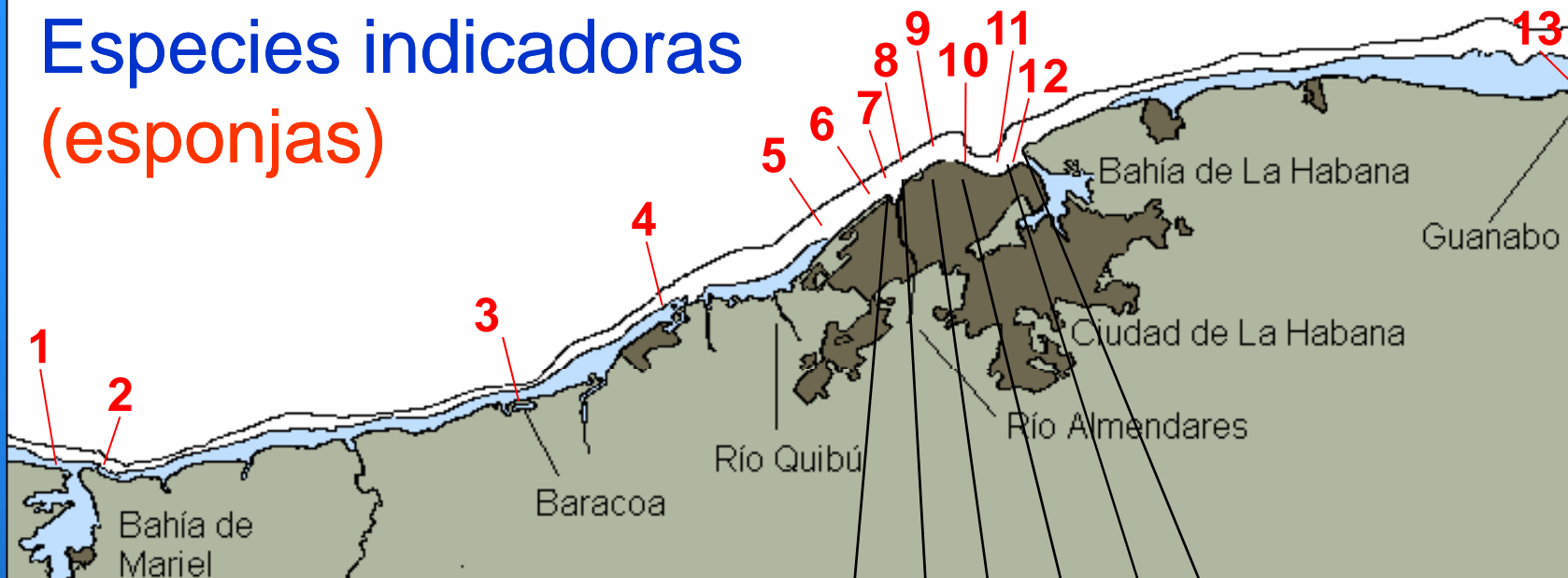


Fonseca

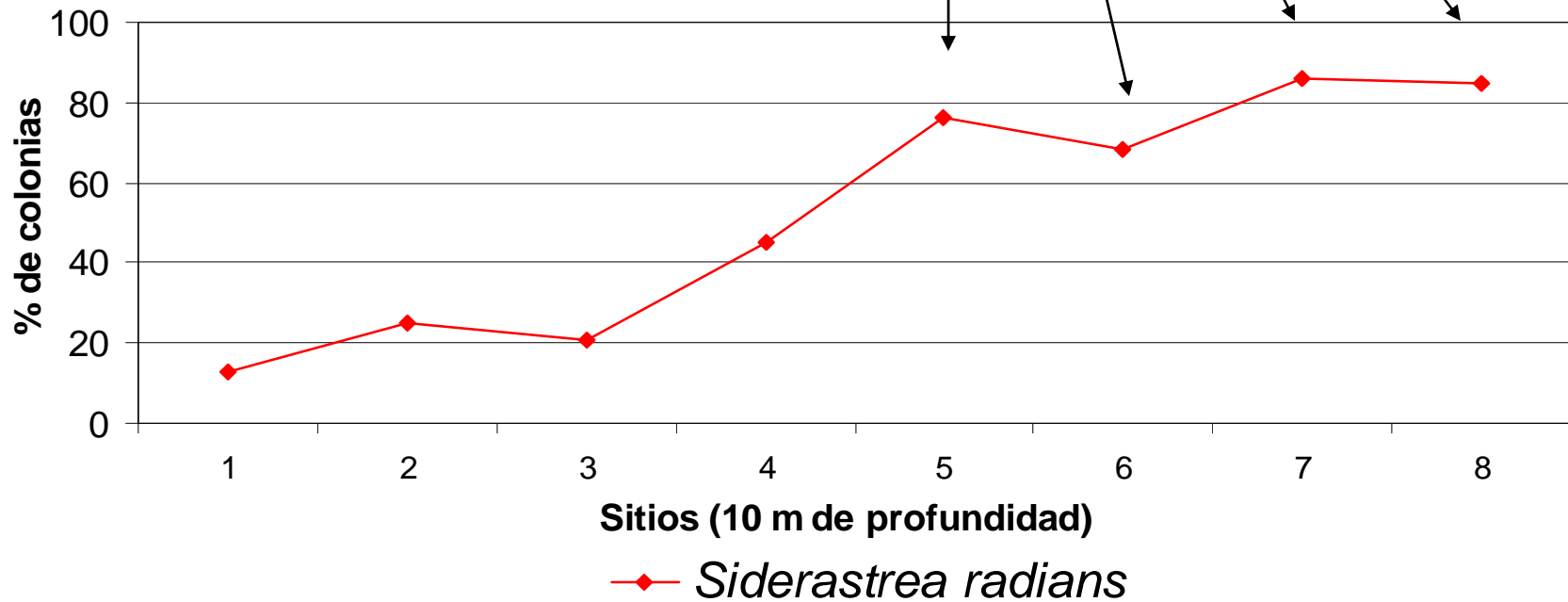
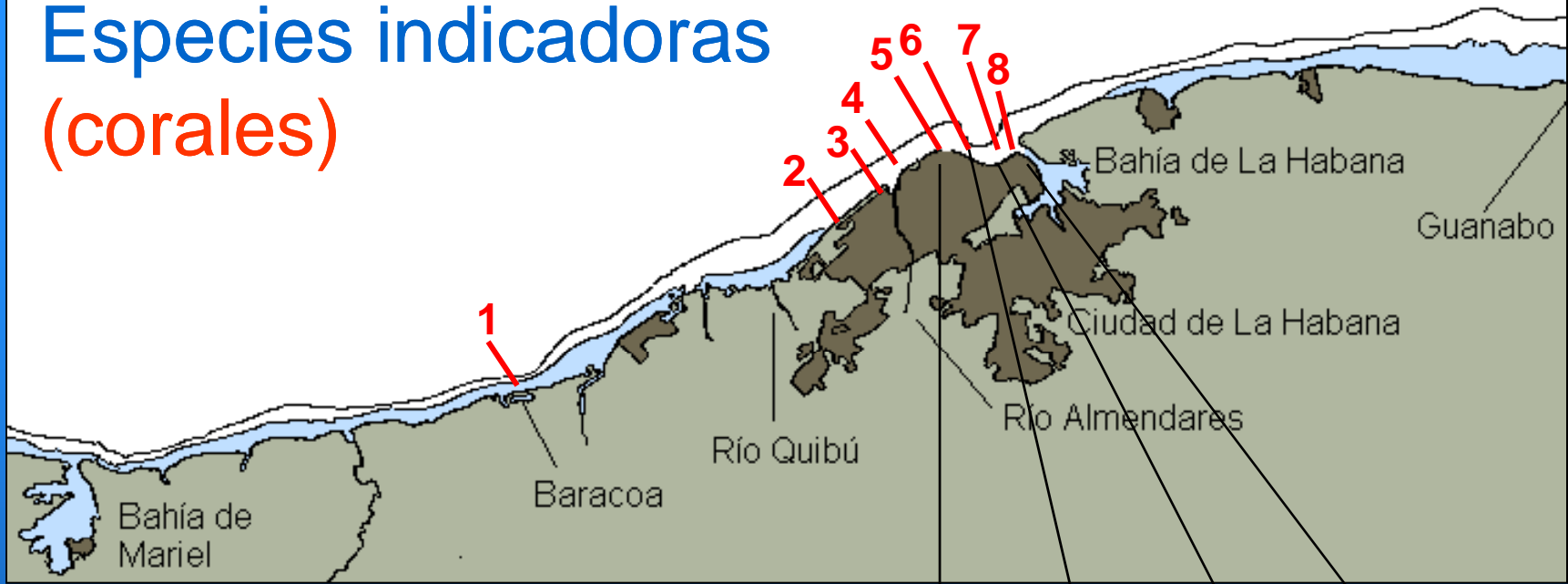
Corales:

- | | |
|-------------------------------|--|
| <i>Siderastraea radians</i> : | Contaminación orgánica + sedimentación |
| <i>Siderastrea siderea</i> : | Sedimentación en aguas no contaminadas |
| <i>Montastrea cavernosa</i> : | Sedimentación en aguas no contaminadas |

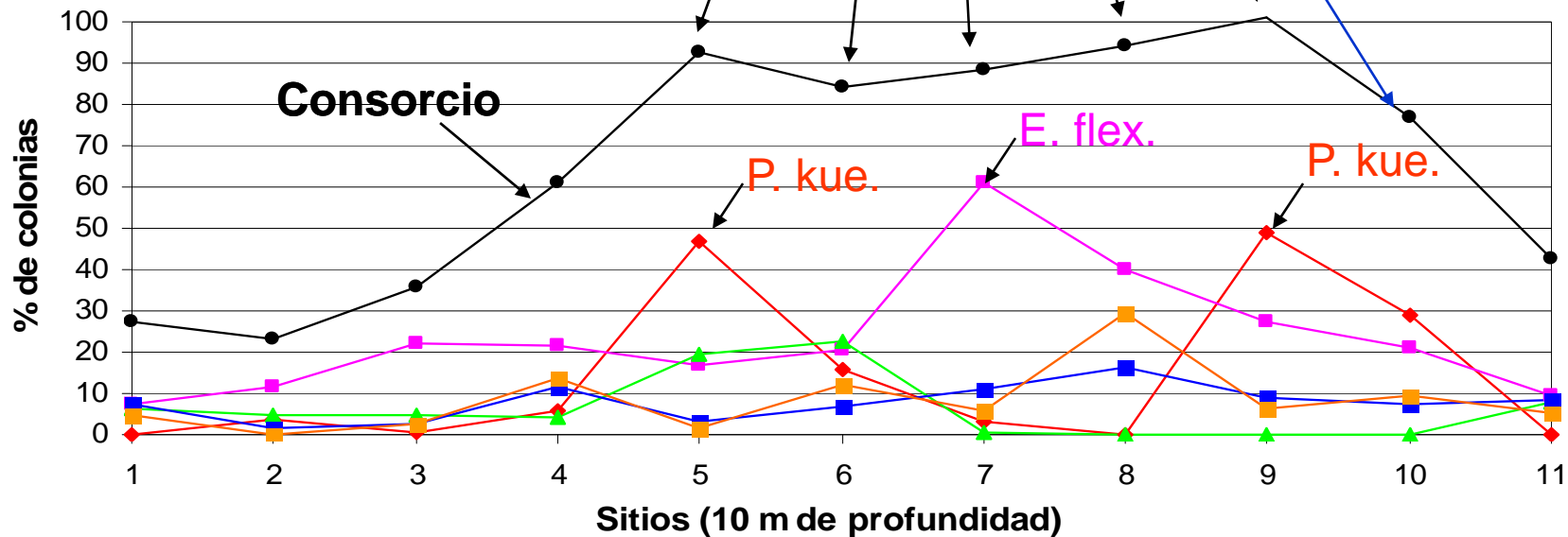
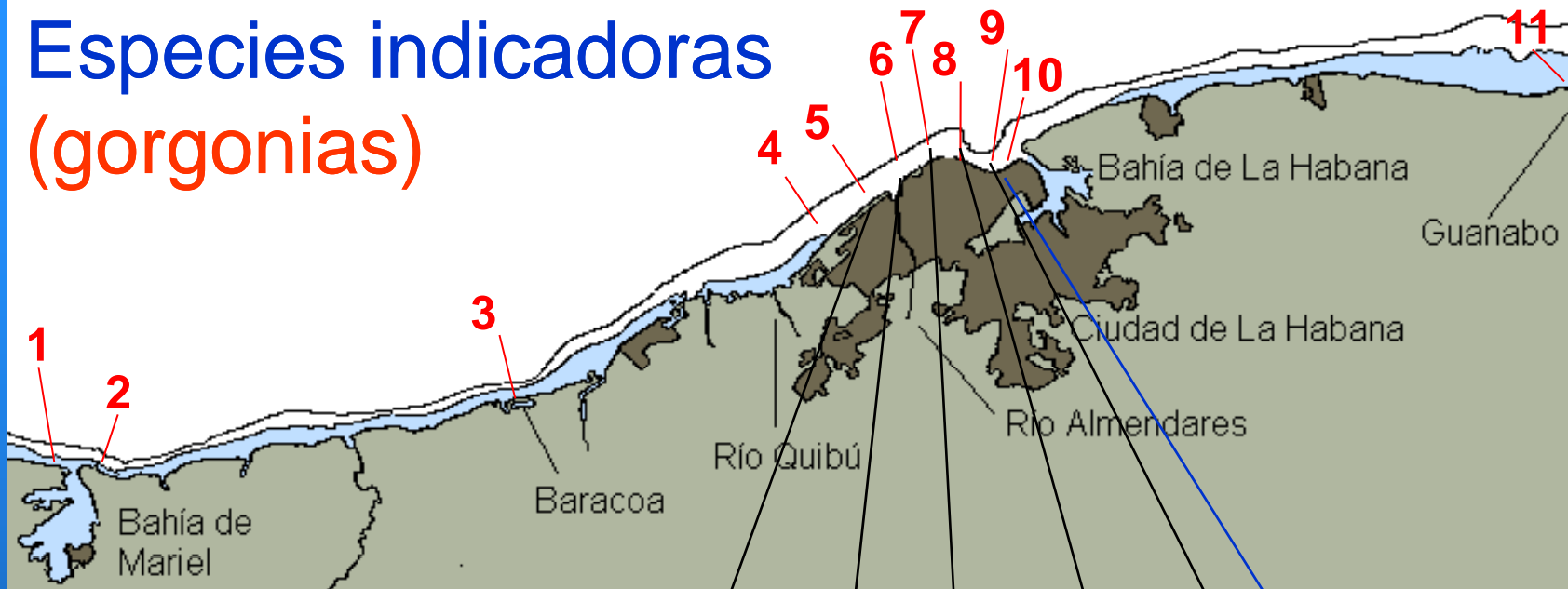
Especies indicadoras (esponjas)



Especies indicadoras (corales)



Especies indicadoras (gorgonias)



- ◆ *Plexaura kukenthalii*
- *Eunicea flexuosa*
- ▲ *Pseudoplexaura flagellosa*
- *Eunicea tourneforti*
- *Eunicea calyculata f. typica*
- Total

Especies de gorgonias resistentes a la agitación del agua

1. *Eunicea flexuosa*
2. *Eunicea tourneforti*
3. *Eunicea mammosa*
4. *Eunicea calyculata f. typica*
5. *Plexaurella dichotoma*
6. *Muricea muricata*
7. *Pterogorgia anceps*
8. *Pterogorgia guadalupensis*
9. *Pterogorgia citrina*
10. *Gorgonia flabellum*
11. *Gorgonia ventalina*

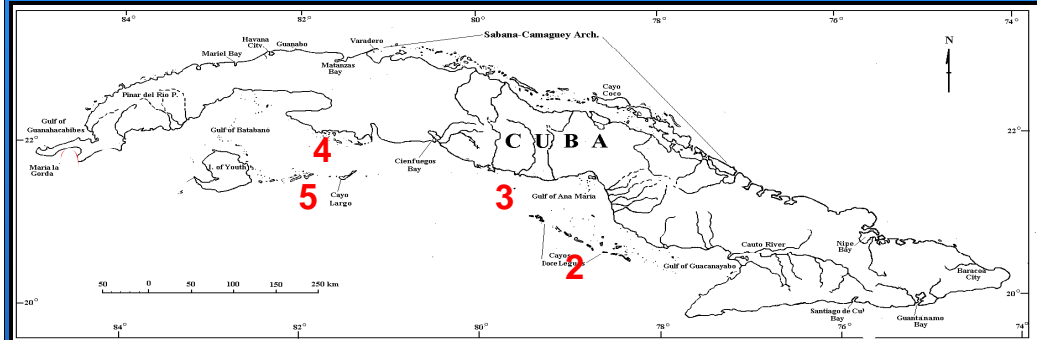
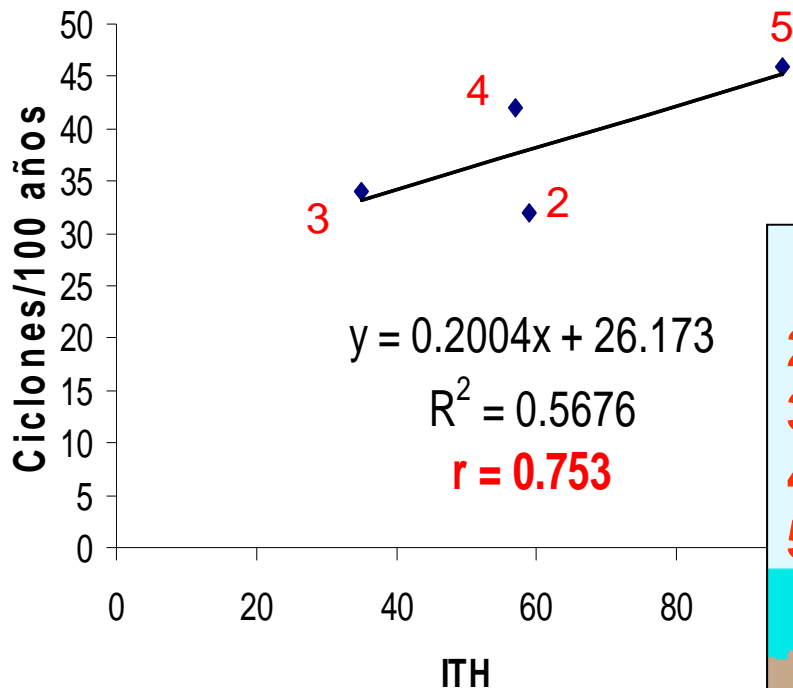
Se evitan los sitios arenosos o en estos casos se muestrean las colonias en elevaciones del fondo

Índice de Tensión Hidrodinámica

ITH = Suma de los % de colonias de especies resistentes a la turbulencia

ITH - Ciclones (zonas de embate)

Sur de Cuba



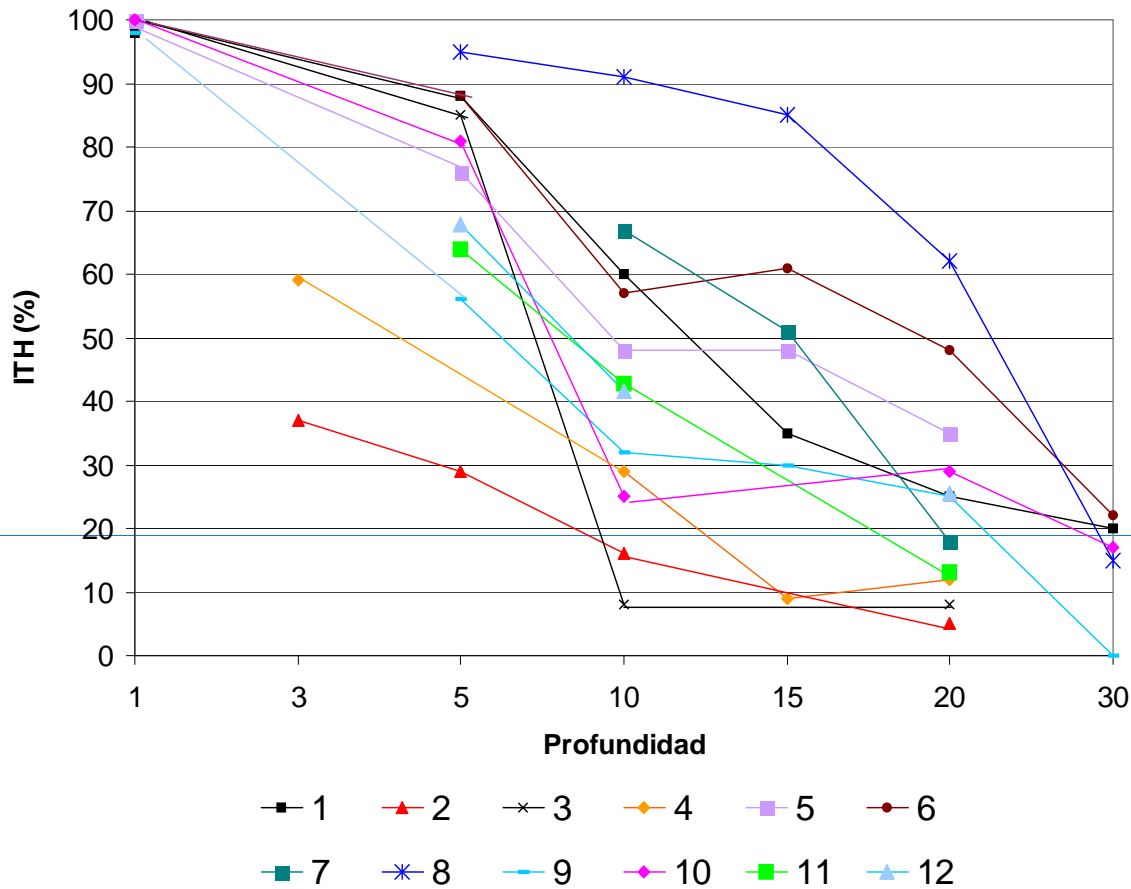
Zona trasera

Zona de embate

2	21	59
3	15	35
4	41	57
5	59	95





Índice de Tensión Hidrodinámica (ITH)

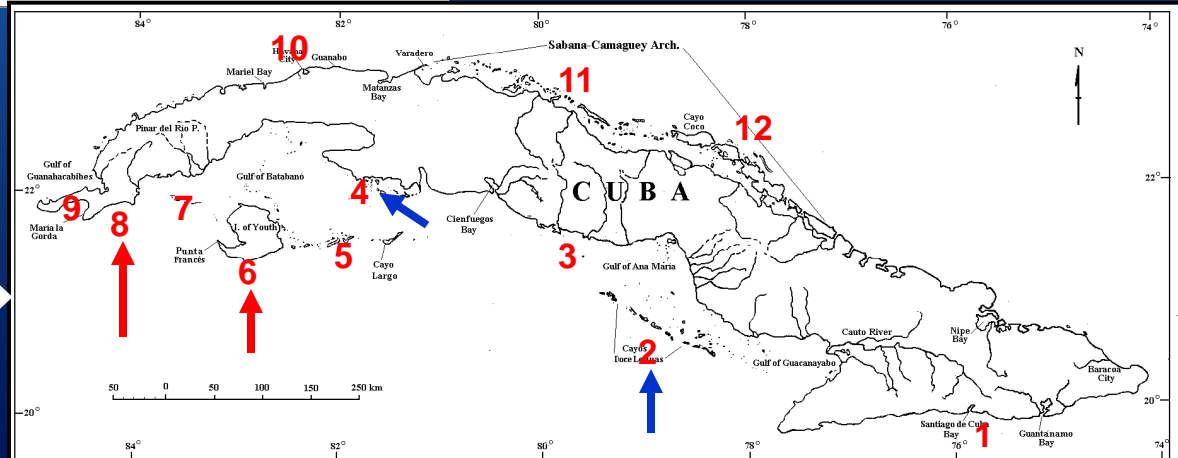


Promedio del Índice de Tensión Hidrodinámica alrededor de Cuba

(Alcolado, 1981, 1984)

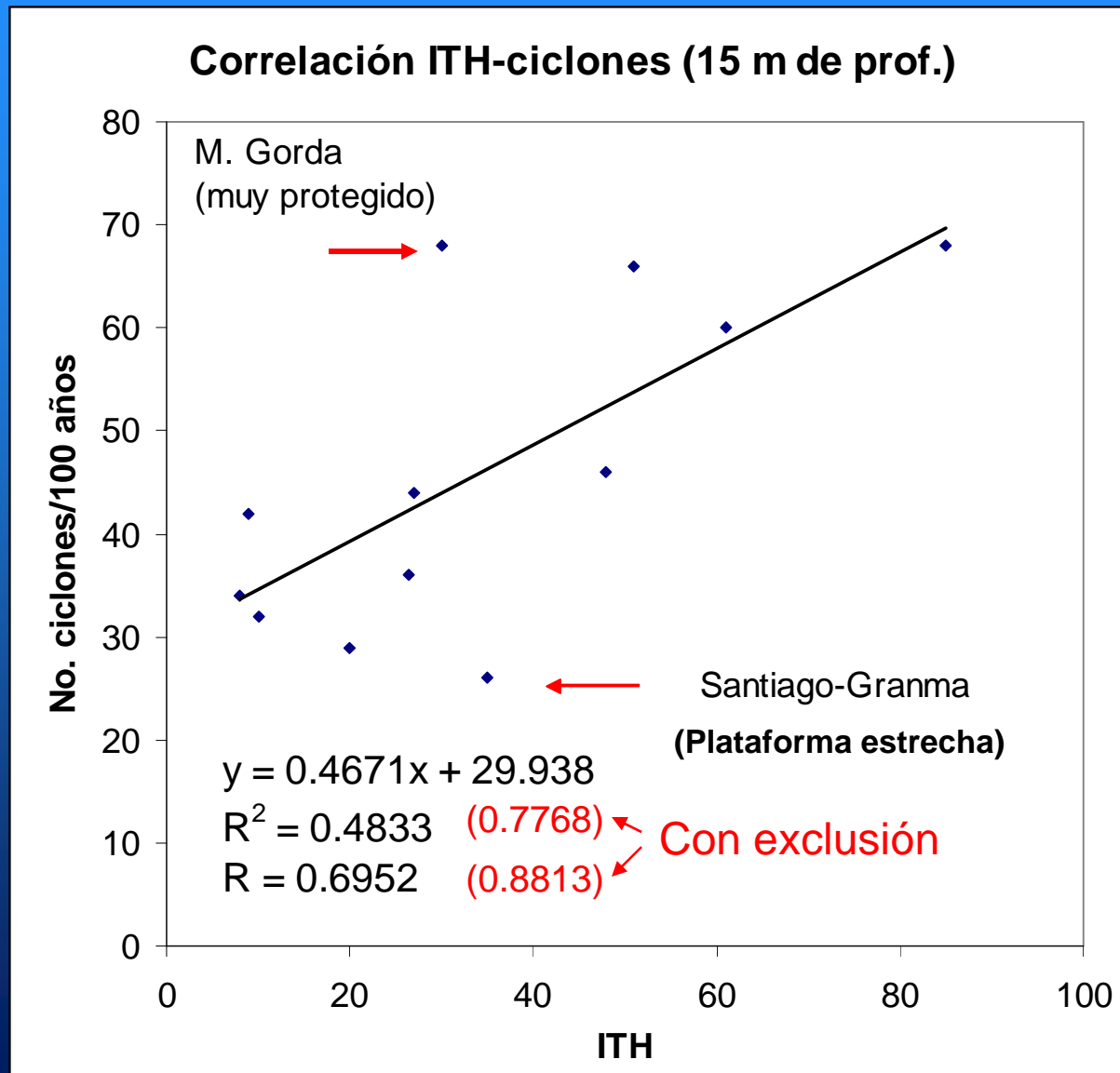
 Zonas más agitadas
 Zonas menos agitadas

22



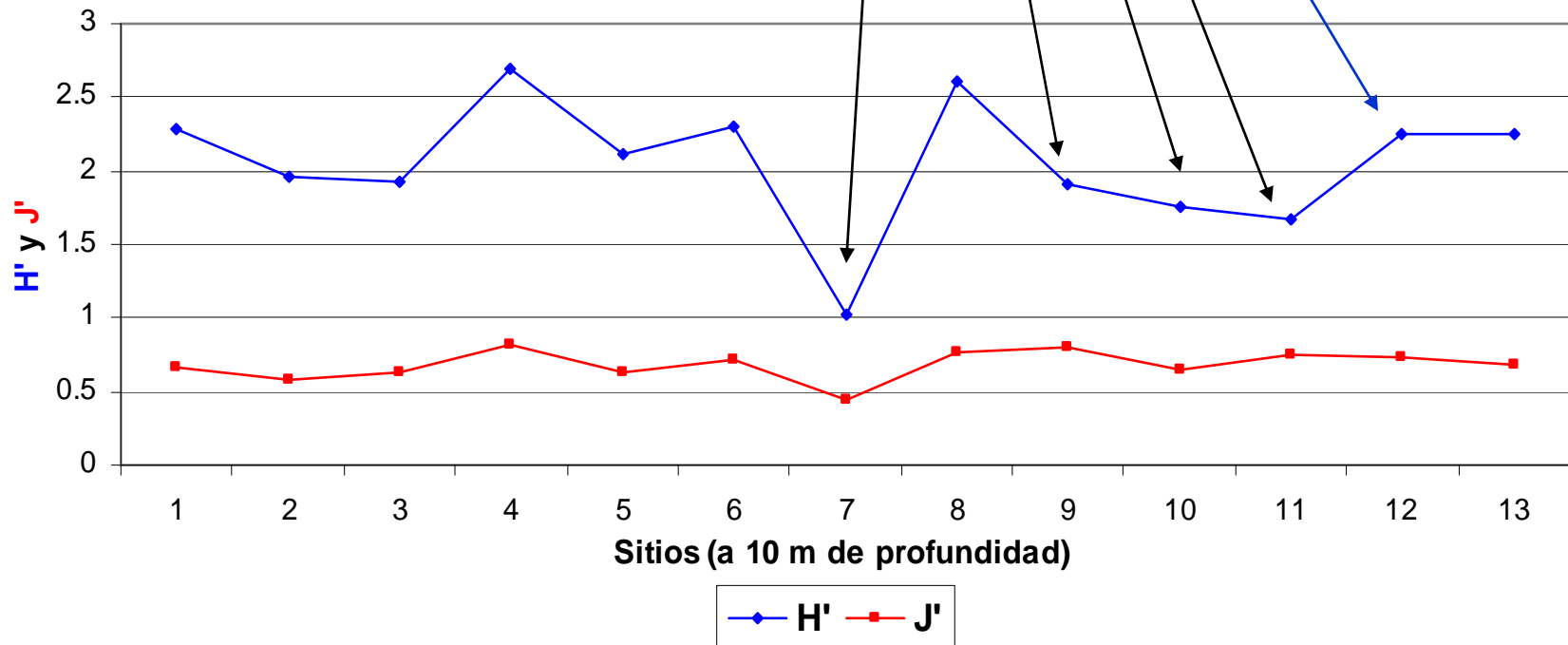
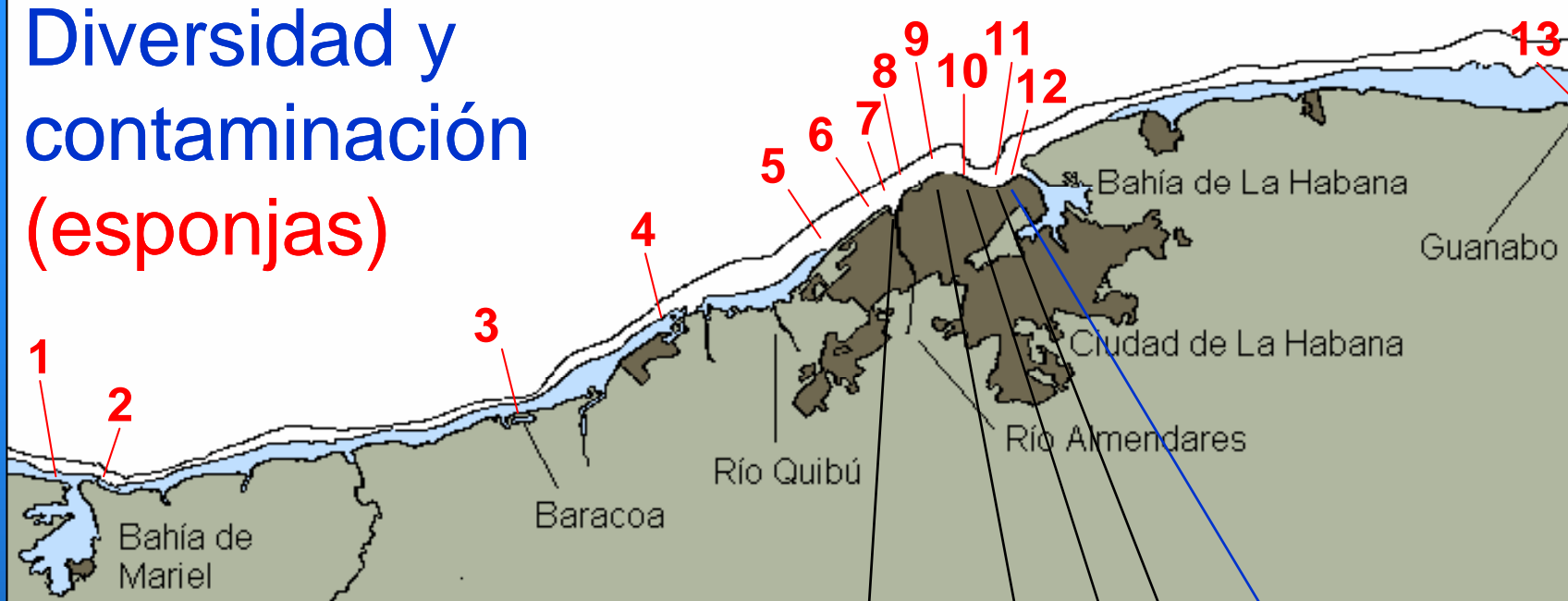
Correlación ITH - frecuencia de ciclones

Datos de frecuencia de ciclones: Lewis y Hsu (1992)

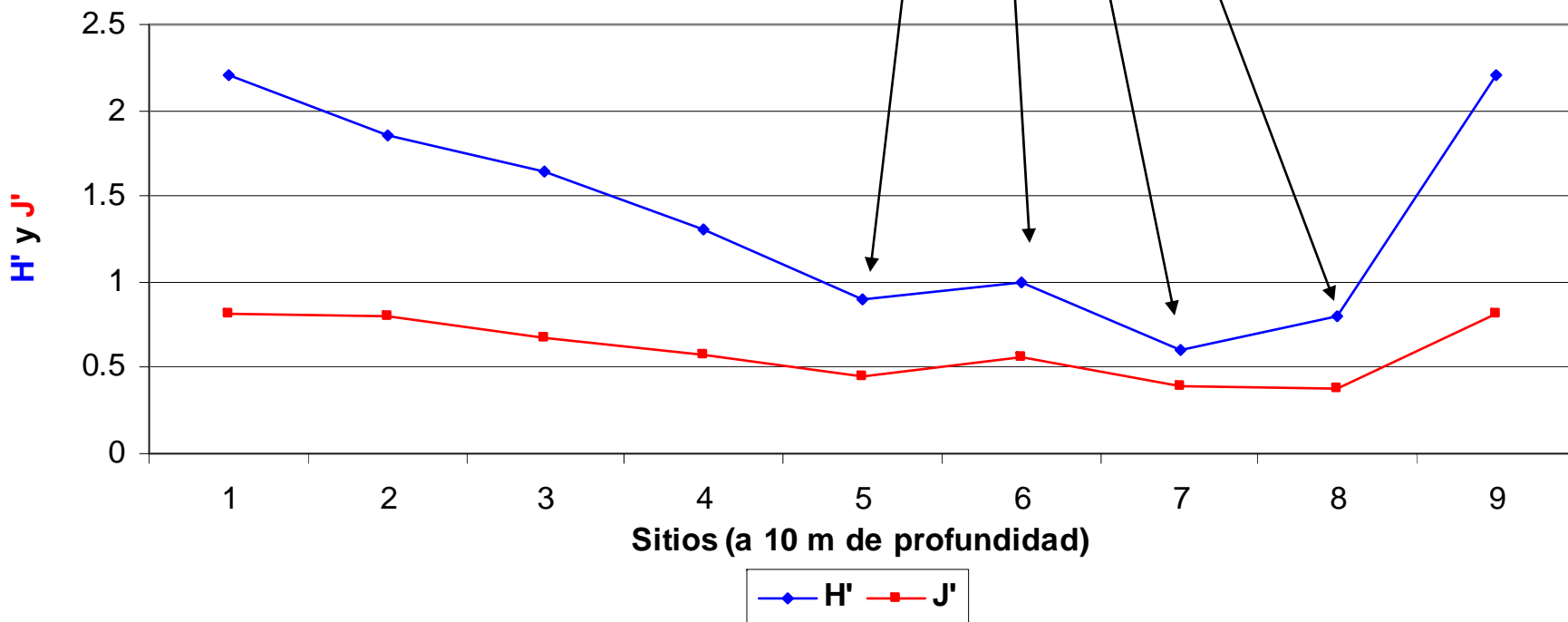
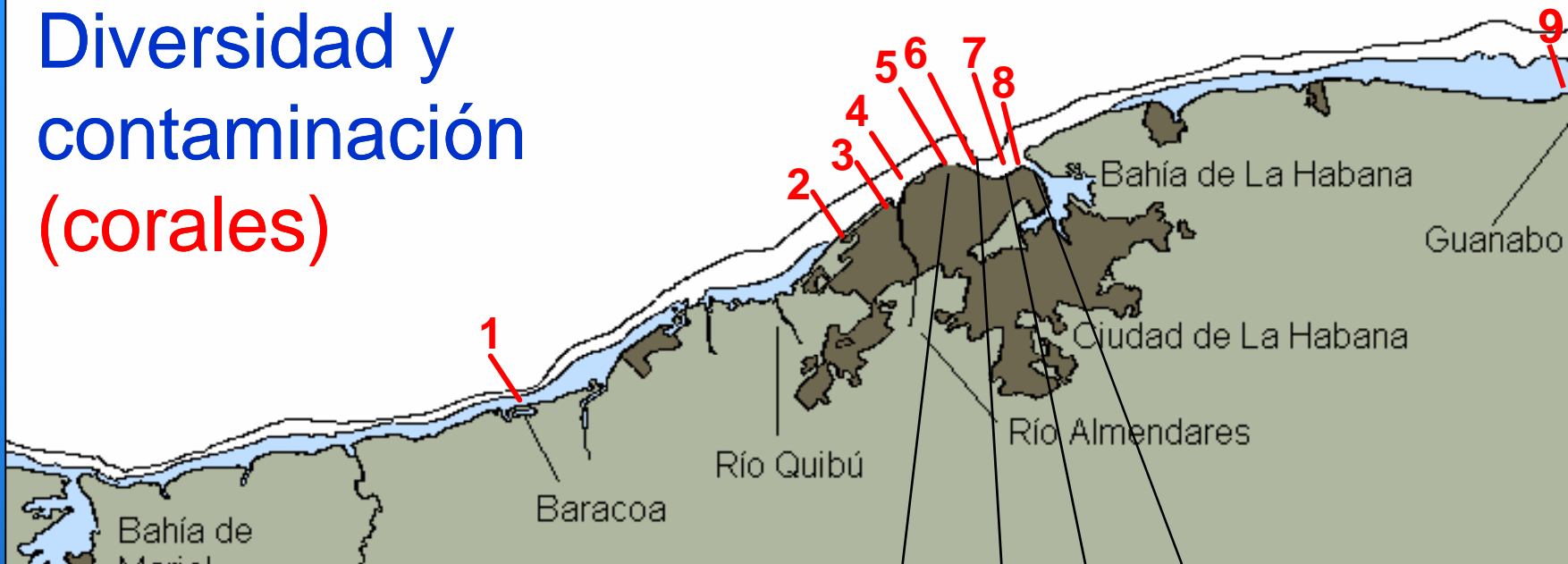


Diversidad de especies

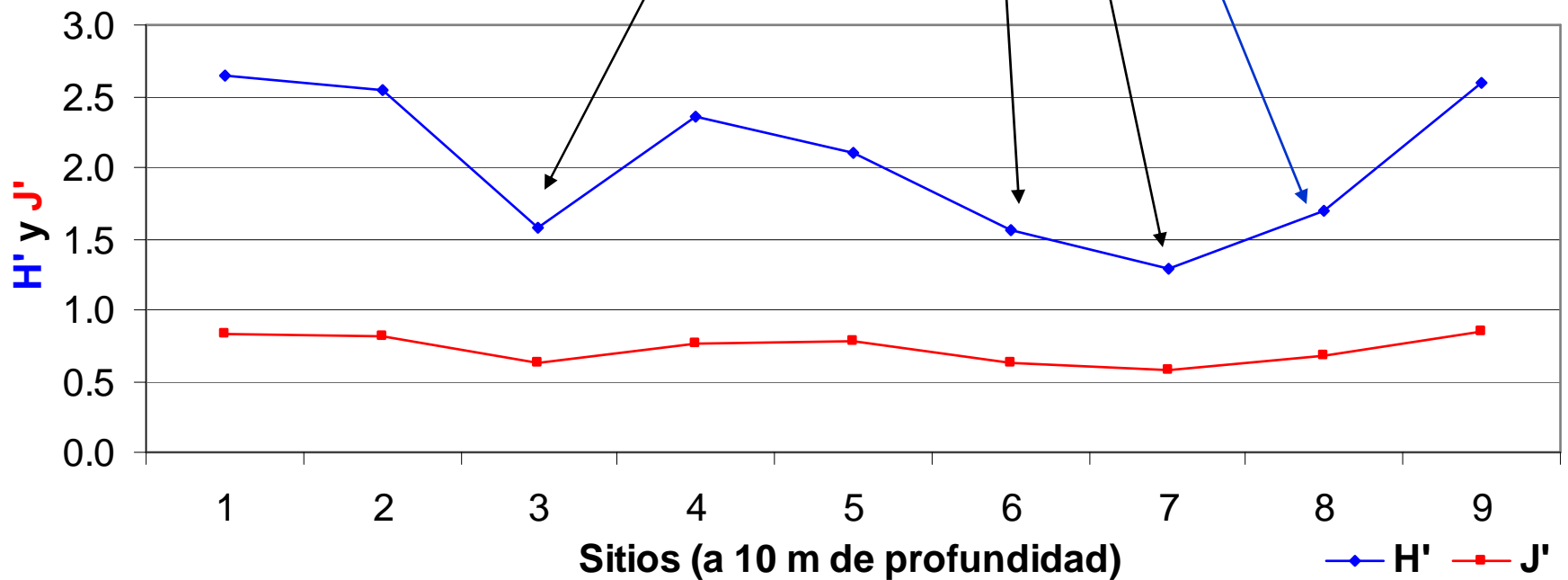
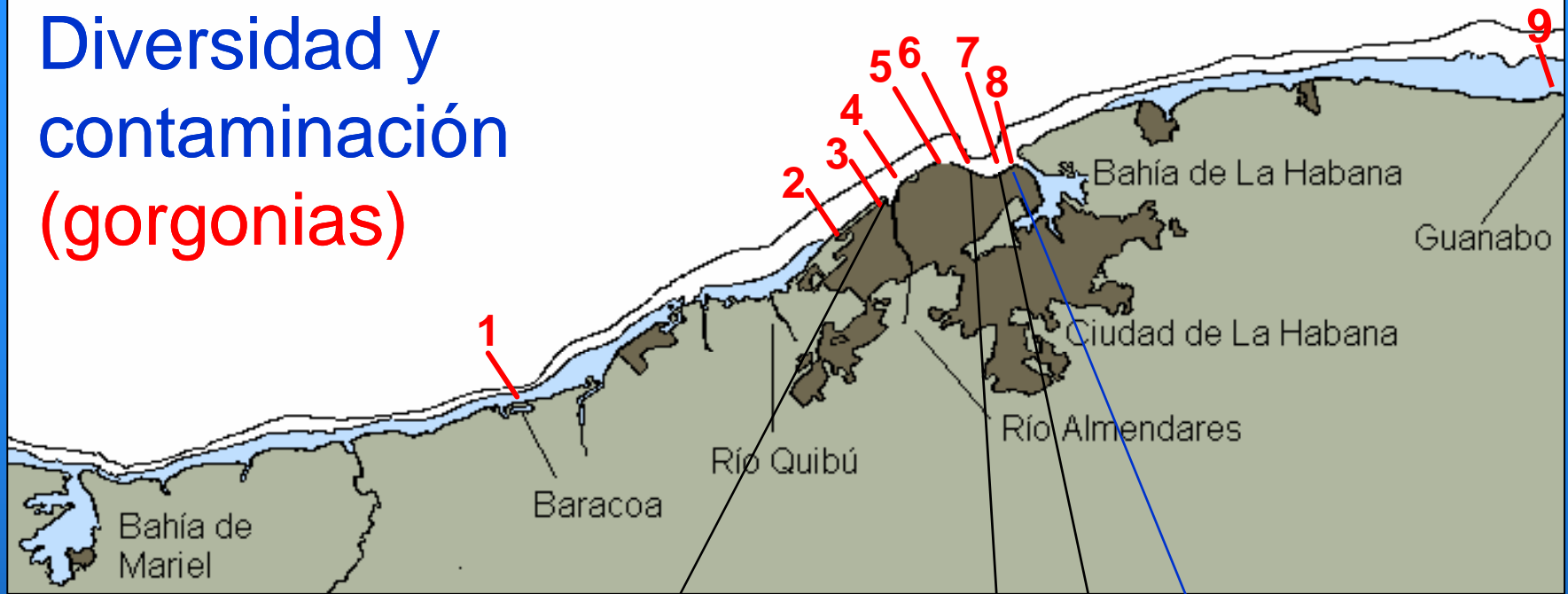
Diversidad y contaminación (esponjas)



Diversidad y contaminación (corales)



Diversidad y contaminación (gorgonias)

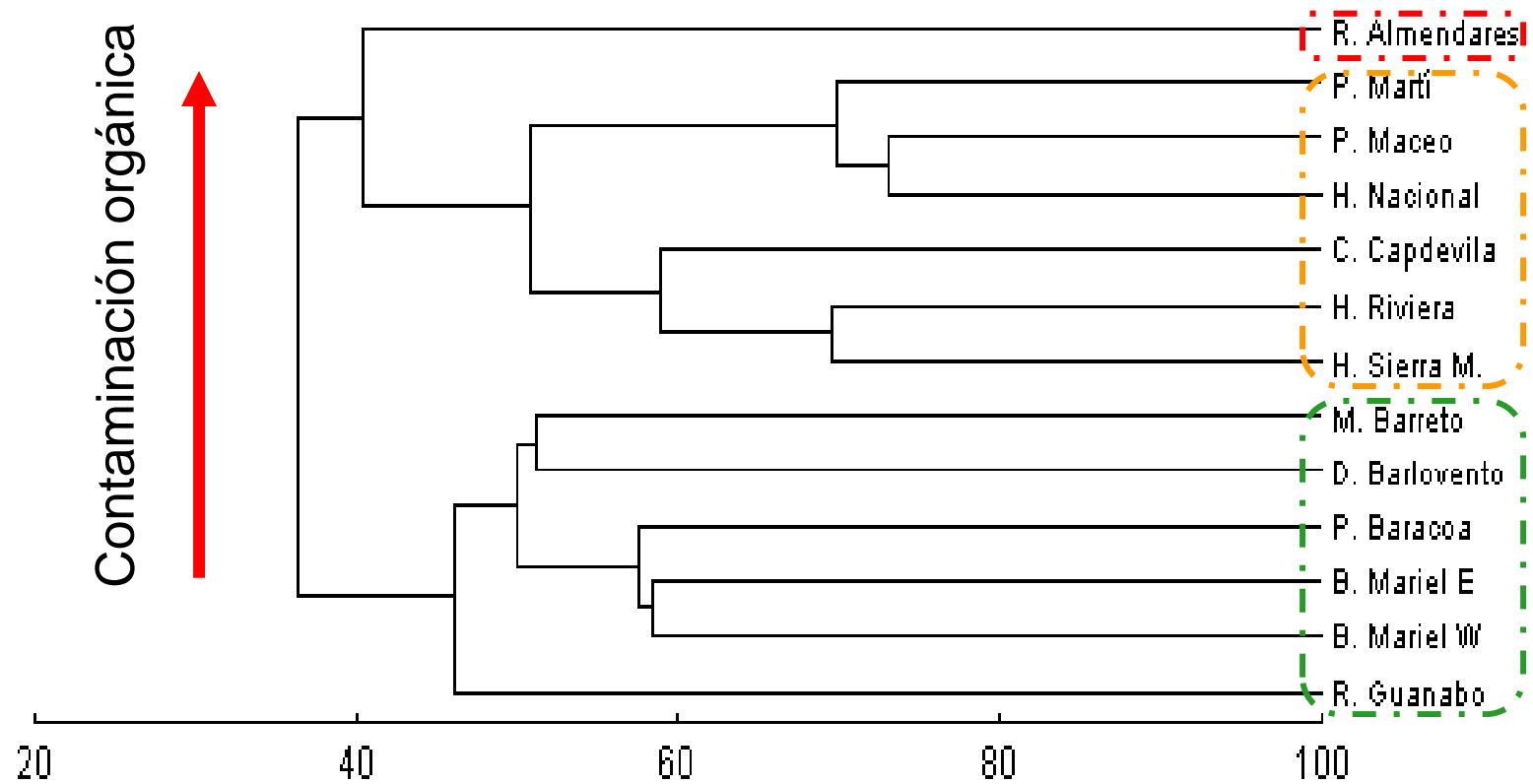


Herrera y Alcolado (1983)

Análisis multivariado de comunidades

Análisis de agrupamiento con esponjas

Comunidades de esponjas (Bahía de Mariel - Rincón de Guanabo)

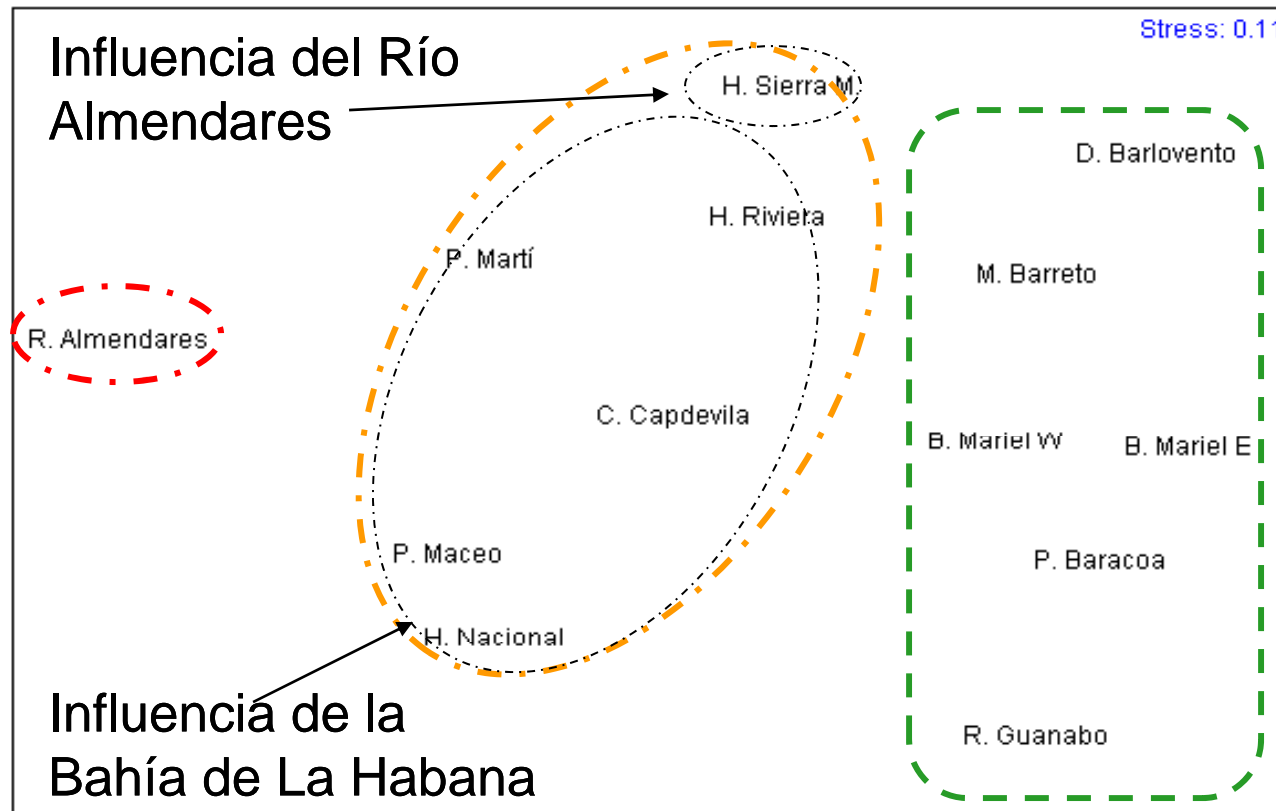


Análisis multivariado con esponjas

MDS (Bray Curtis; transformación cuadrática)

Comunidades de esponjas (Bahía de Mariel - Rincón de Guanabo)

Análisis SIMPER de PRIMER \Rightarrow *C. venosa* (18.2%) y *S. ruetzleri* (14.3%)



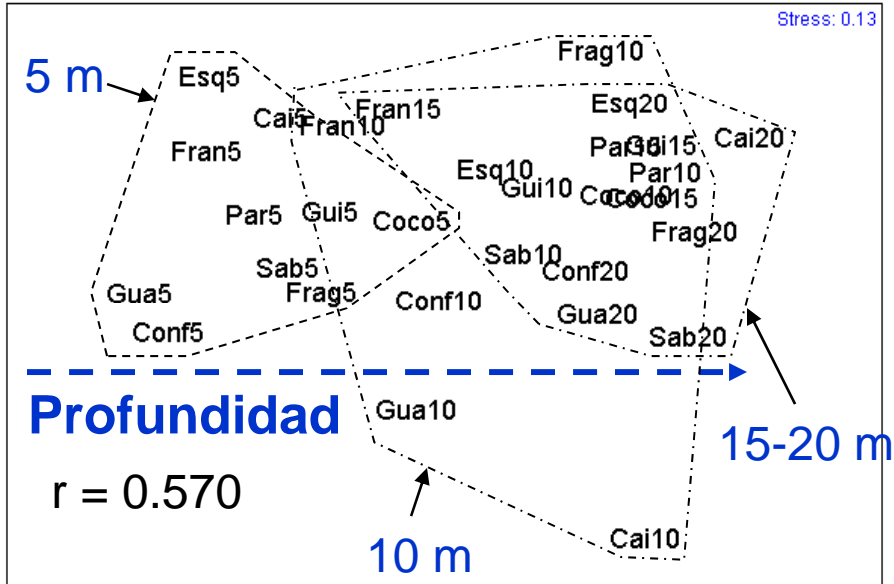
← Contaminación orgánica →

30 — — — — — Muy contaminado — — — — — Contaminado — — — — — Poco contaminado

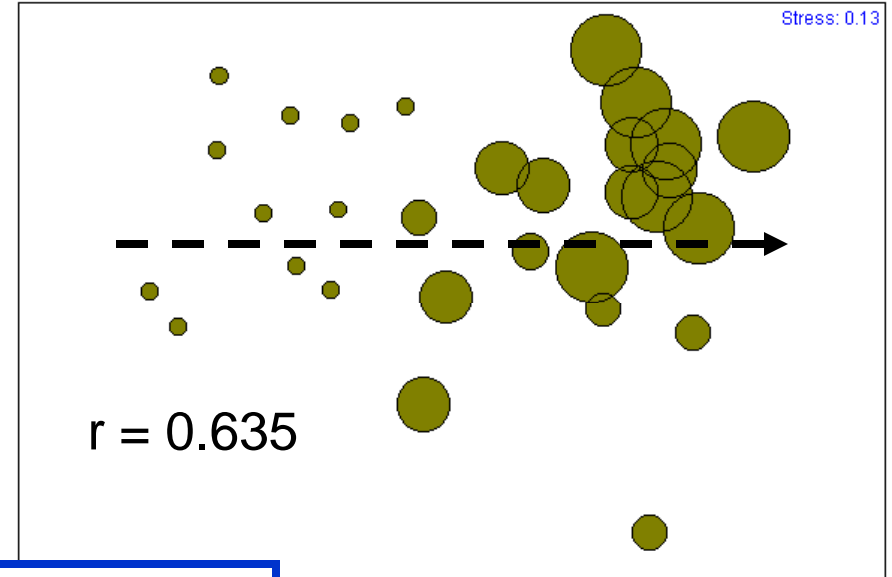
Análisis multivariados (MDS y BIOENV) en el Archipiélago Sabana-Camagüey

Proyecto PNUD/GEF
Sabana-Camagüey

MDS (Comunidades de Esponjas)

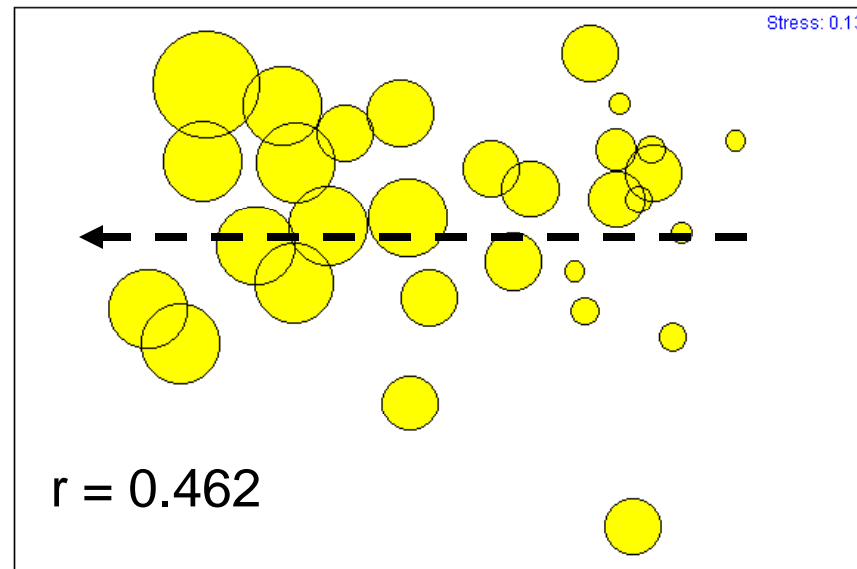


Relieve

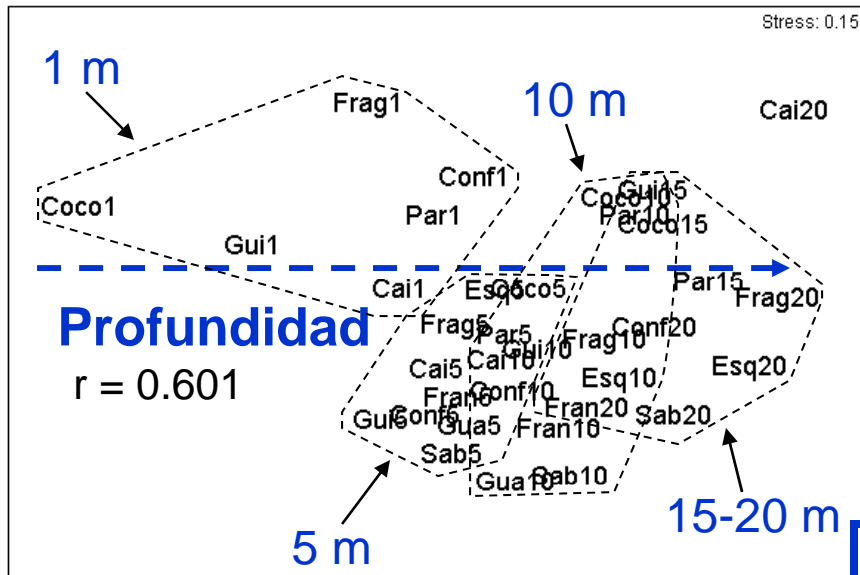


$r = 0.649$

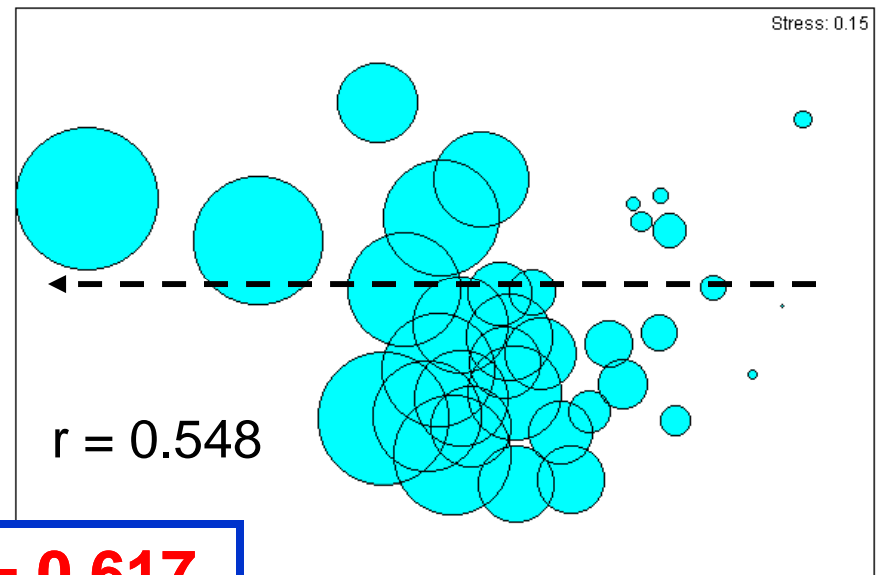
Luz



MDS (Comunidades de gorgonias)

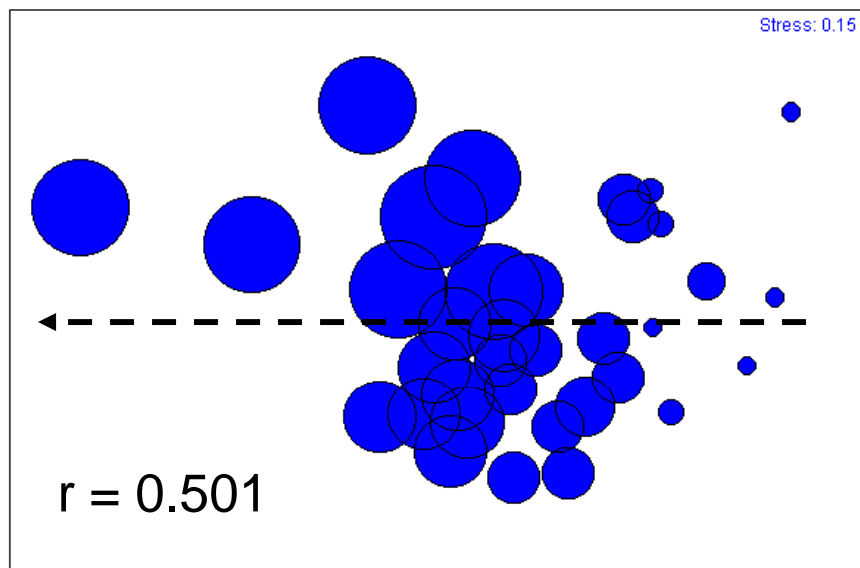


% de colonias de especies de gorgonias resistentes al oleaje

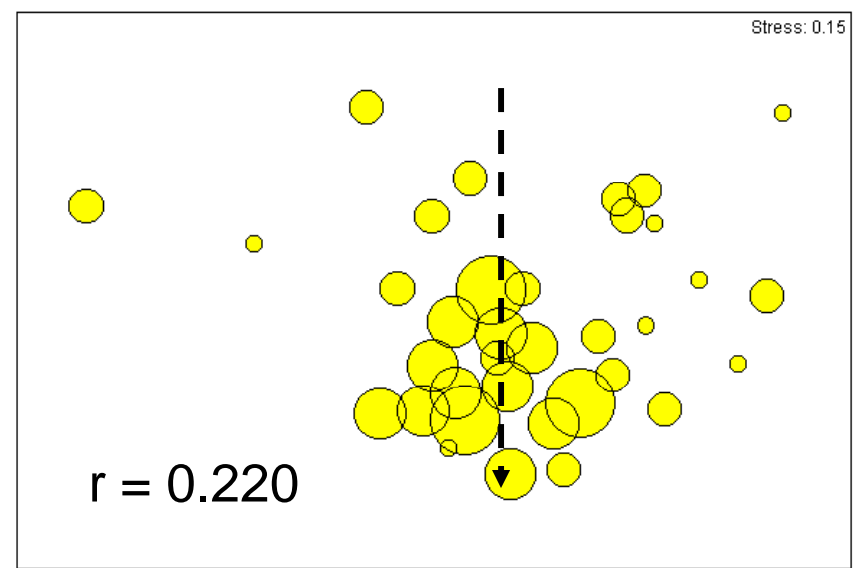


$r = 0.617$

Luz



Acumulación de sedimentos



Metanálisis

Tabla de inferencia de severidad y predictibilidad ambiental (Preston y Preston, 1975)

	H'	J'
Ambiente favorable y constante	Alto	Alto
Ambiente severo y constante	Bajo	Alto
Ambiente severo e impredecible	Bajo	Bajo

Esponjas

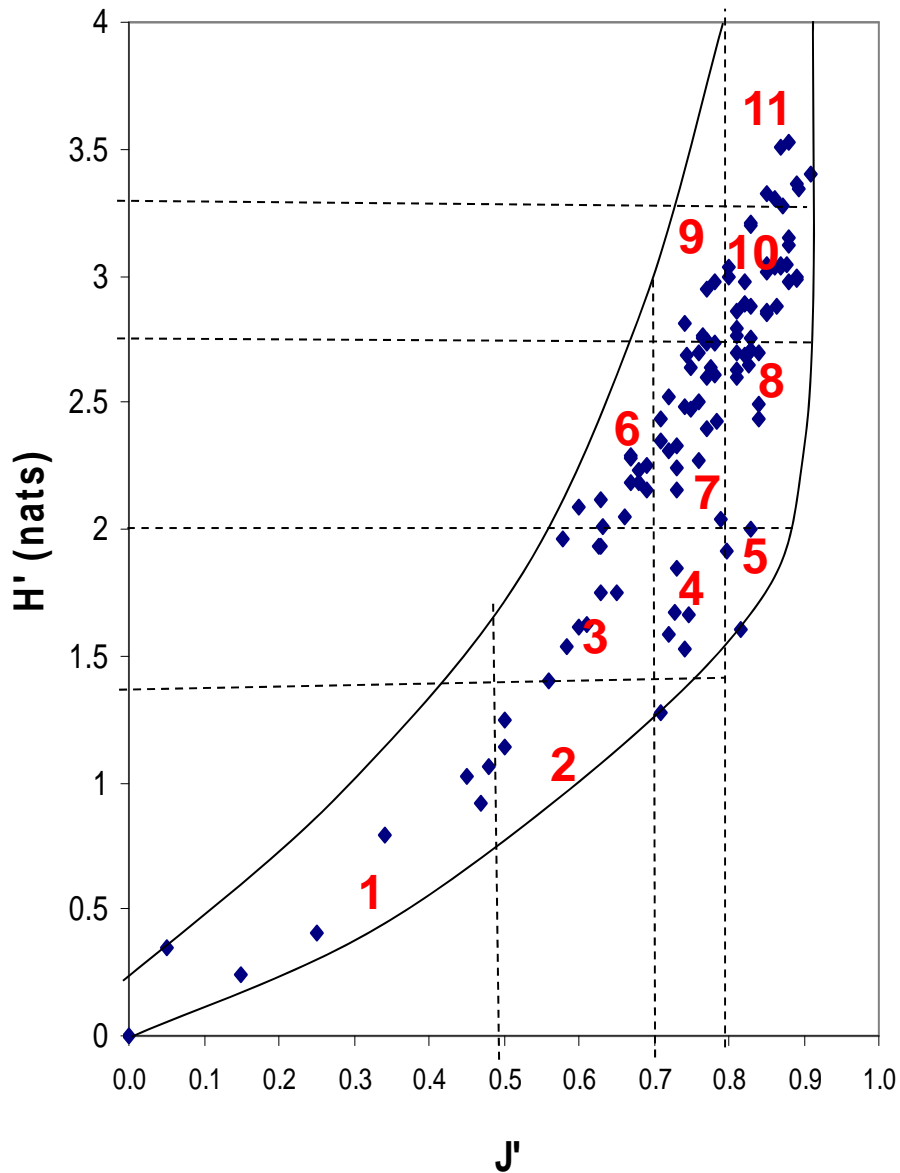


Diagrama de inferencia de severidad y predictibilidad ambiental

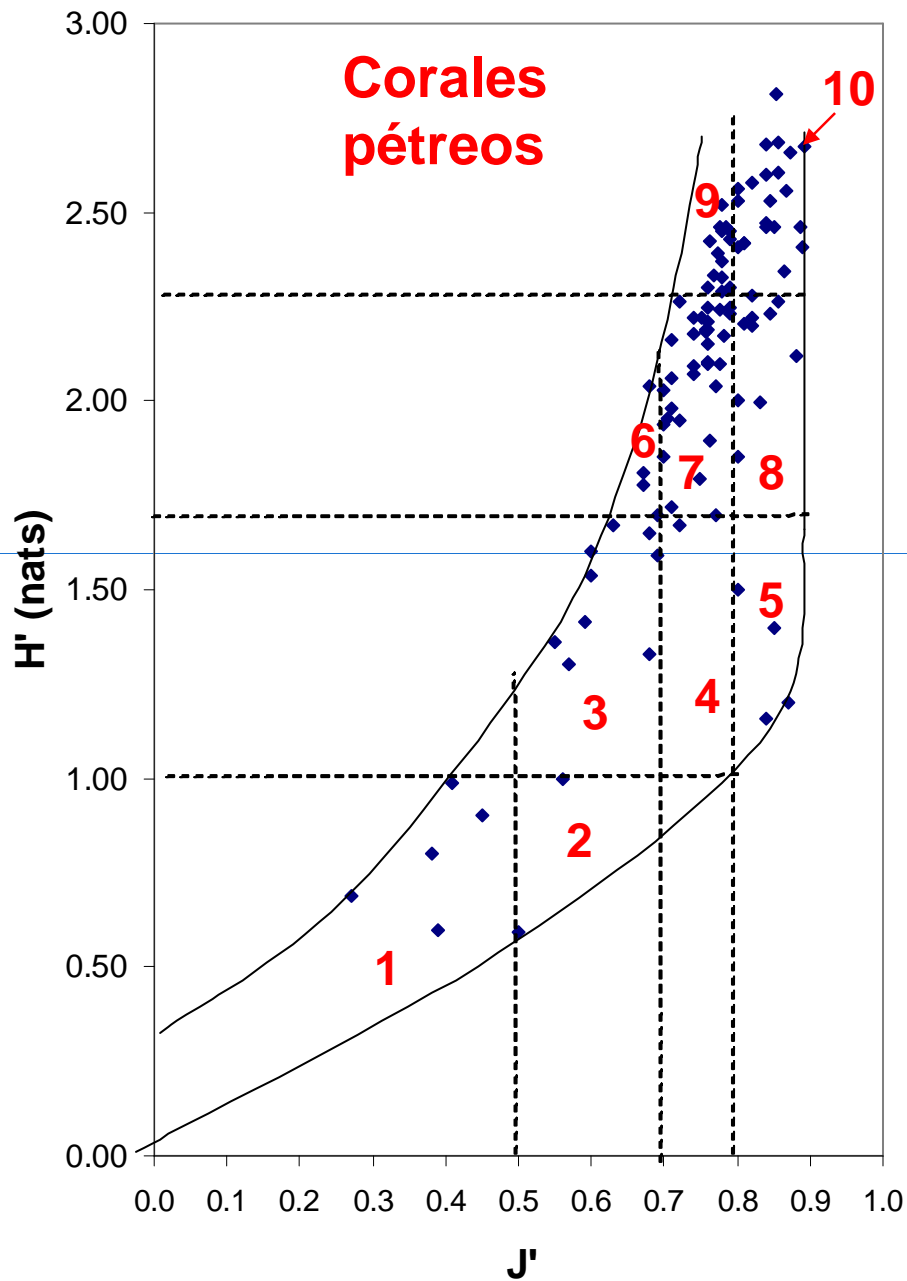
Alcolado (1992)

1. Ambiente extremadamente severo con comportamiento temporal mixto: constante e impredecible.
2. Ambiente muy severo e impredecible.
3. Ambiente severo e impredecible.
4. Ambiente severo y casi constante.
5. Ambiente severo y constante.
6. Ambiente algo severo (moderadamente favorable) e impredecible.
7. Ambiente algo severo y casi constante.
8. Ambiente algo severo y constante.
9. Ambiente favorable y casi constante.
10. Ambiente favorable y constante.
11. Ambiente muy favorable y constante.

112 sitios

Diagrama de inferencia de severidad y predictibilidad ambiental

(Inédito, fuentes ya mencionadas)



1. Ambiente extremadamente severo con comportamiento temporal mixto: constante e impredecible.
2. Ambiente muy severo e impredecible.
3. Ambiente severo e impredecible.
4. Ambiente severo y casi constante.
5. Ambiente severo y constante.
6. Ambiente mod. severo e impredecible.
7. Ambiente mod. severo y casi constante.
8. Ambiente mod. severo y constante.
9. Ambiente favorable y casi constante.
10. Ambiente favorable y constante.

Gorgonias

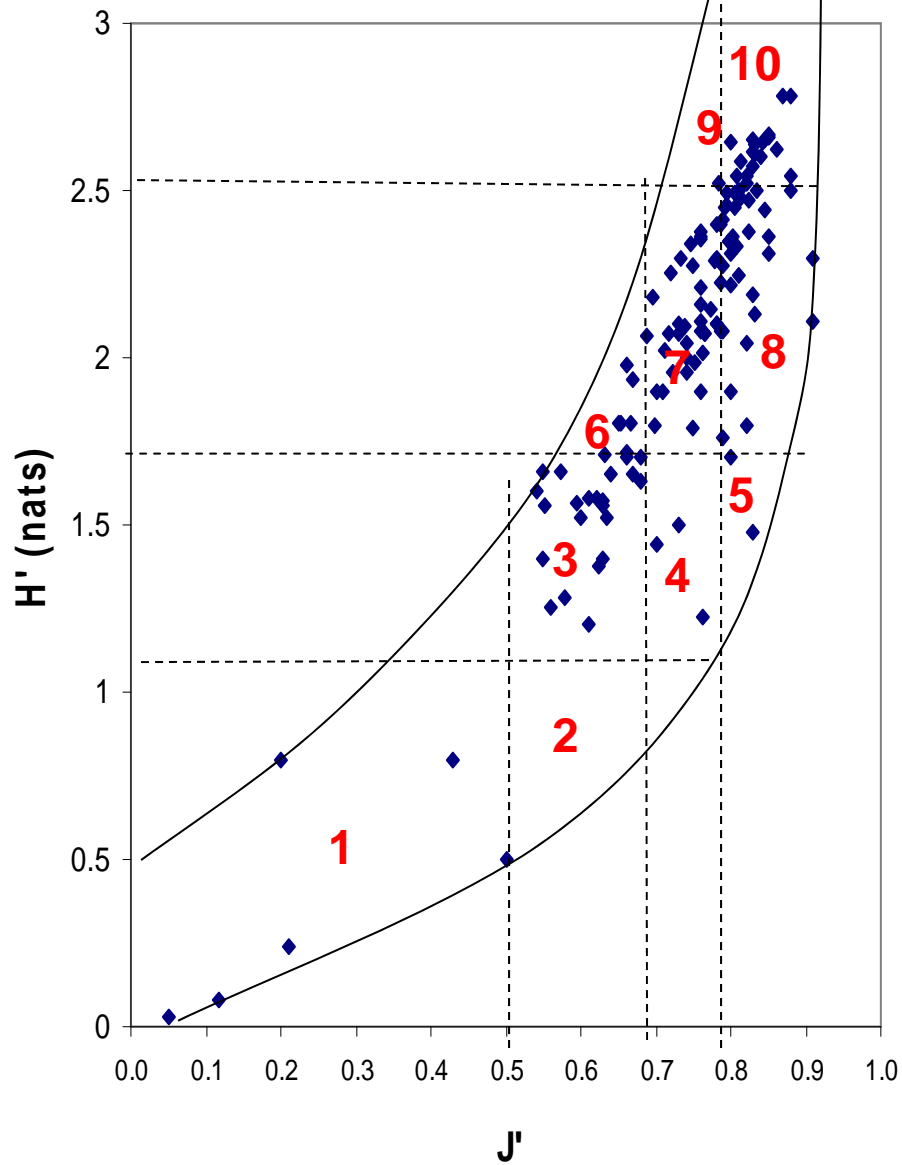


Diagrama de inferencia de severidad y predictibilidad ambiental

(Inédito, fuentes ya mencionadas)

1. Ambiente extremadamente severo con comportamiento temporal mixto: constante e impredecible.
2. Ambiente muy severo e impredecible.
3. Ambiente severo e impredecible.
4. Ambiente severo y casi constante.
5. Ambiente severo y constante.
6. Ambiente mod. severo e impredecible.
7. Ambiente mod. severo y casi constante.
8. Ambiente mod. severo y constante.
9. Ambiente favorable y casi constante.
10. Ambiente favorable y constante.

Combinado

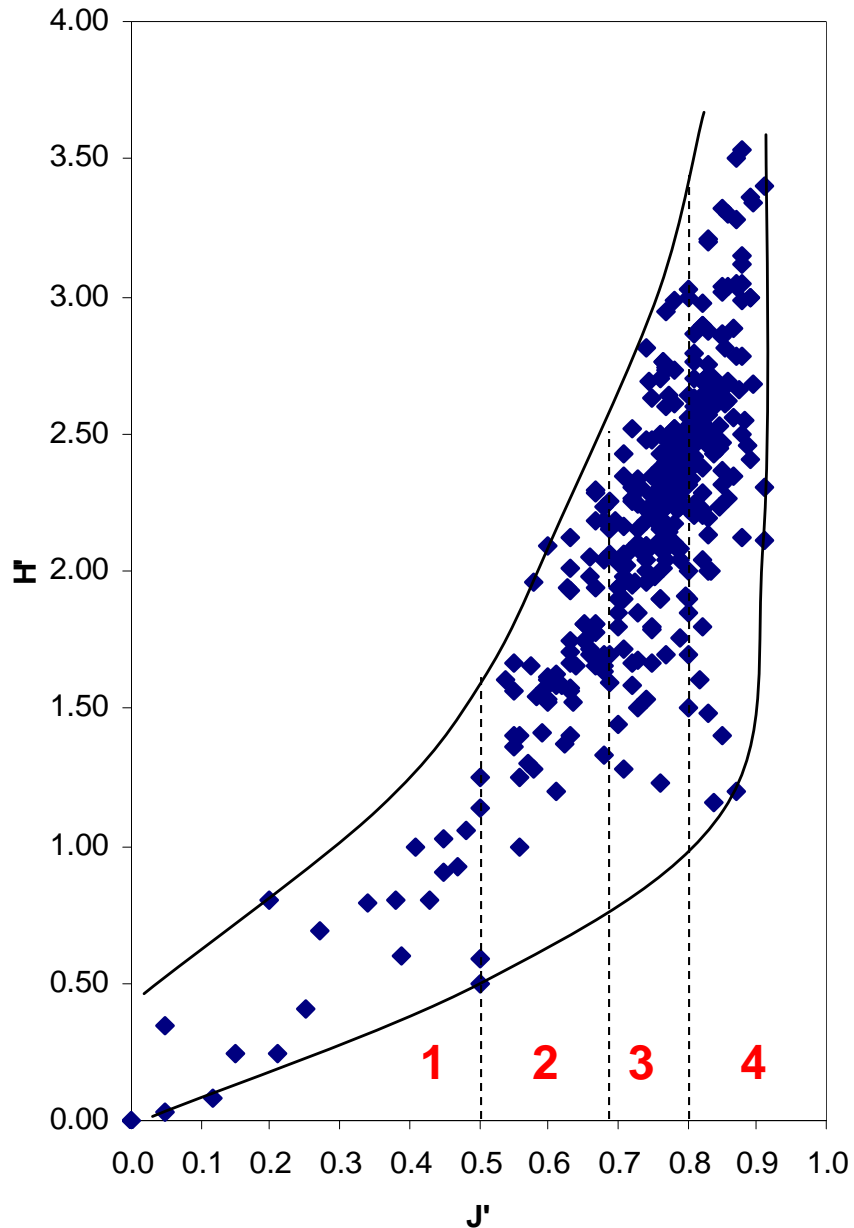
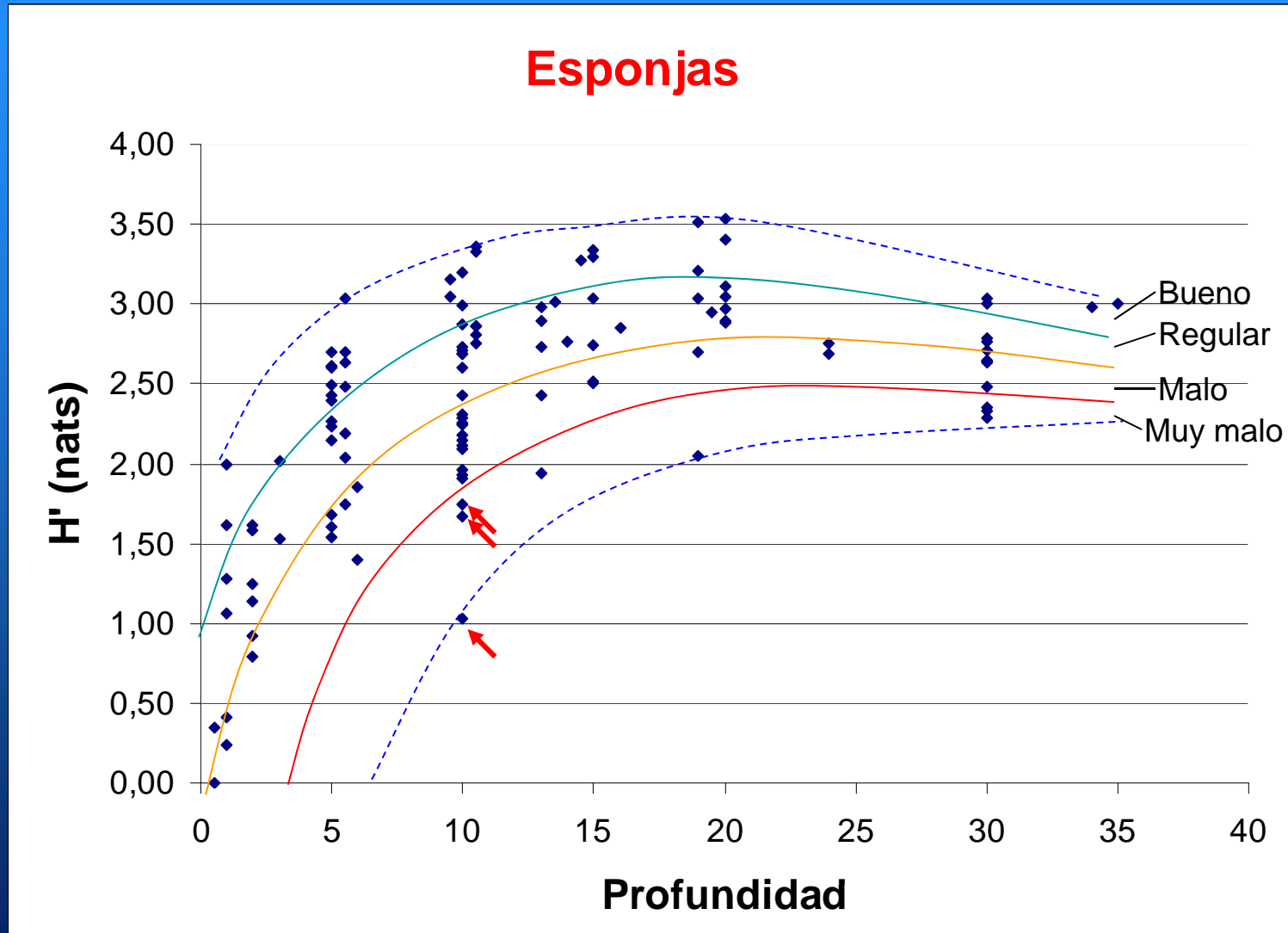


Diagrama de inferencia de severidad y predictibilidad ambiental

¿Una tendencia común?

1. Ambiente con comportamiento temporal mixto: constante e impredecible.
2. Ambiente impredecible
3. Ambiente casi constante
4. Ambiente constante.

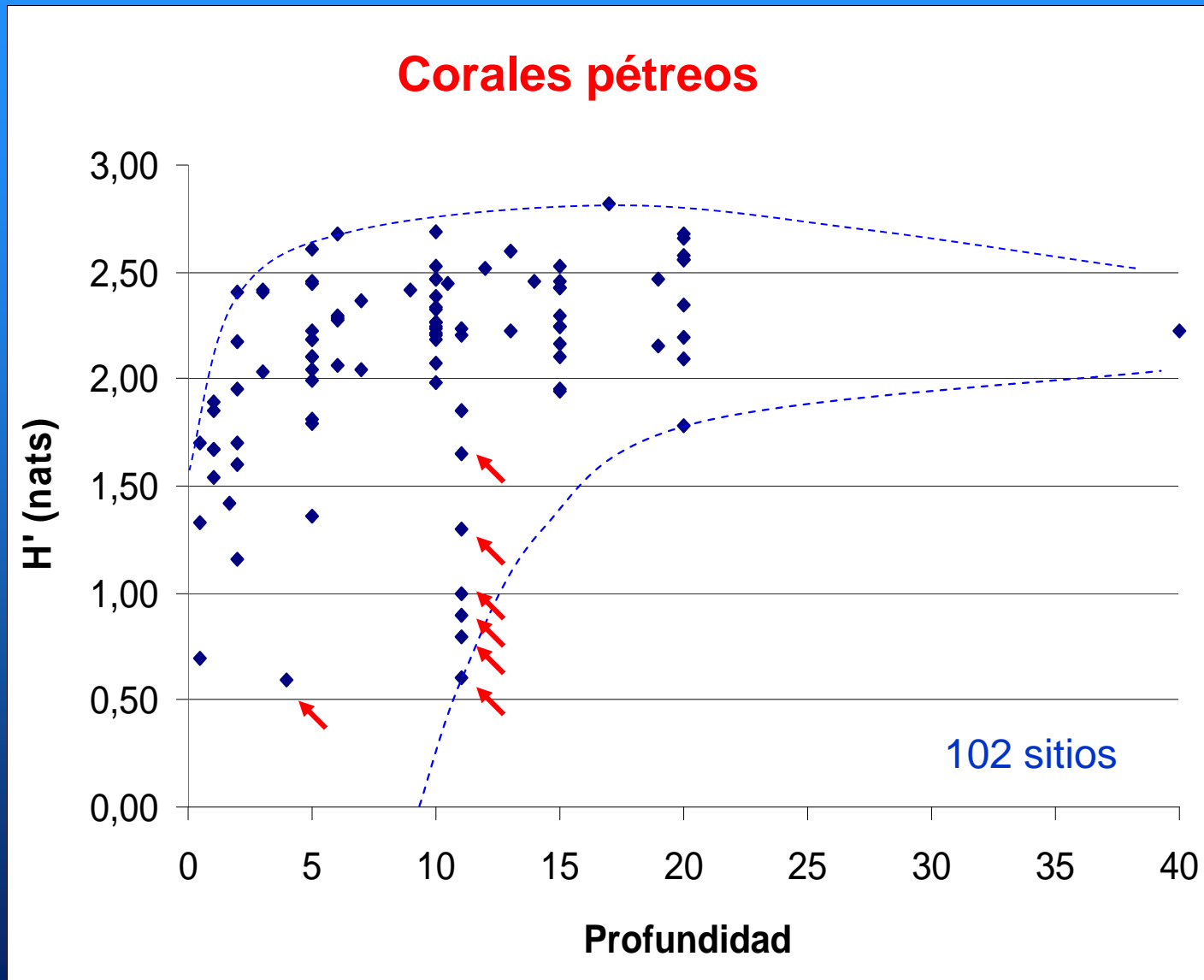
Metanálisis de H' vs. profundidad



Alcolado (1994, 1999) y sus datos

← Estaciones contaminadas

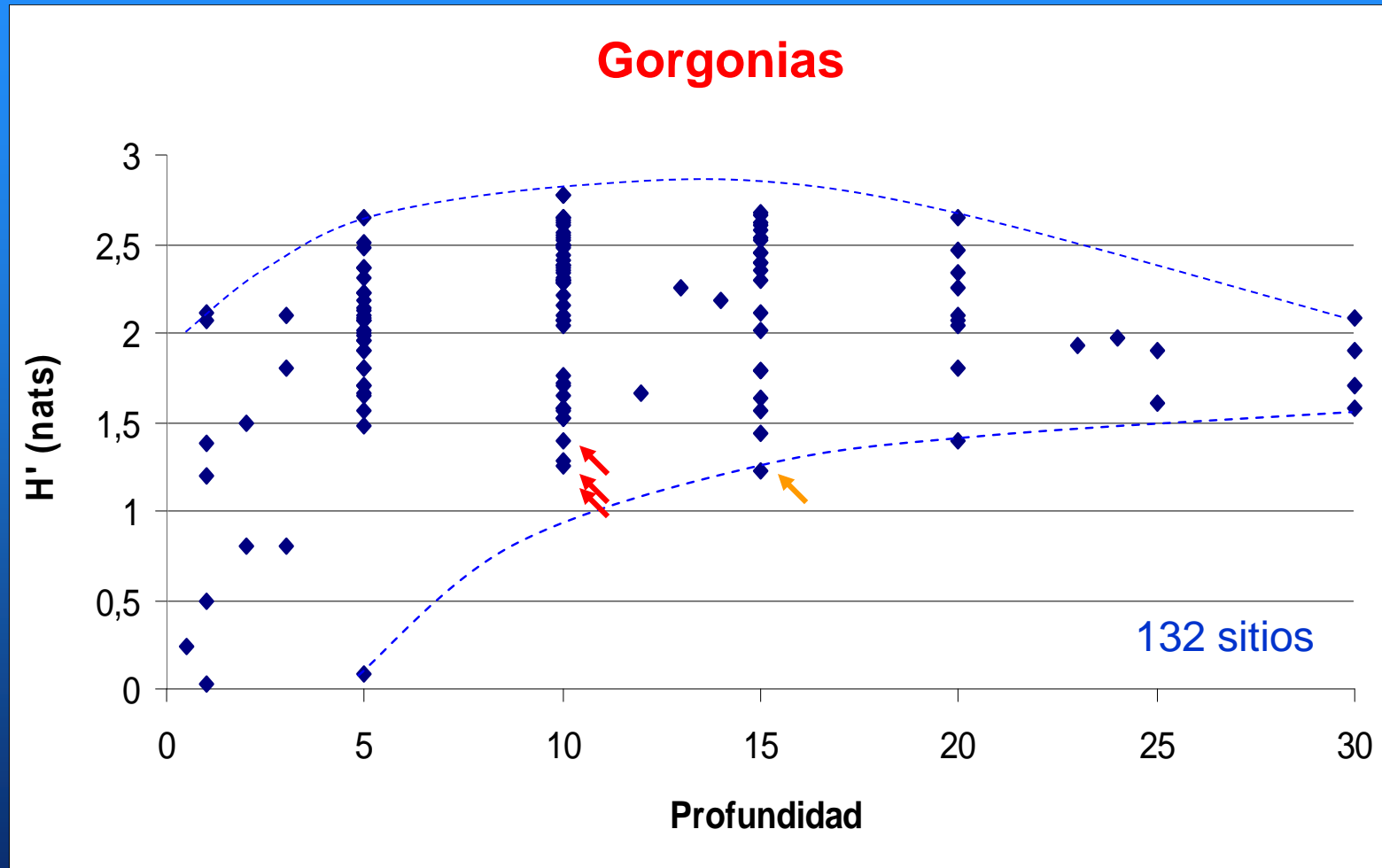
Metanálisis de H' vs. profundidad



Martínez-E, Herrera, González-Ferrer,
Caballero y Menéndez-Macía

← Estaciones contaminadas

Metanálisis de H' vs. profundidad



Herrera y Alcolado (1983), García Parrado,
Caballero, González-Ferrer, etc.

← **Contaminación**

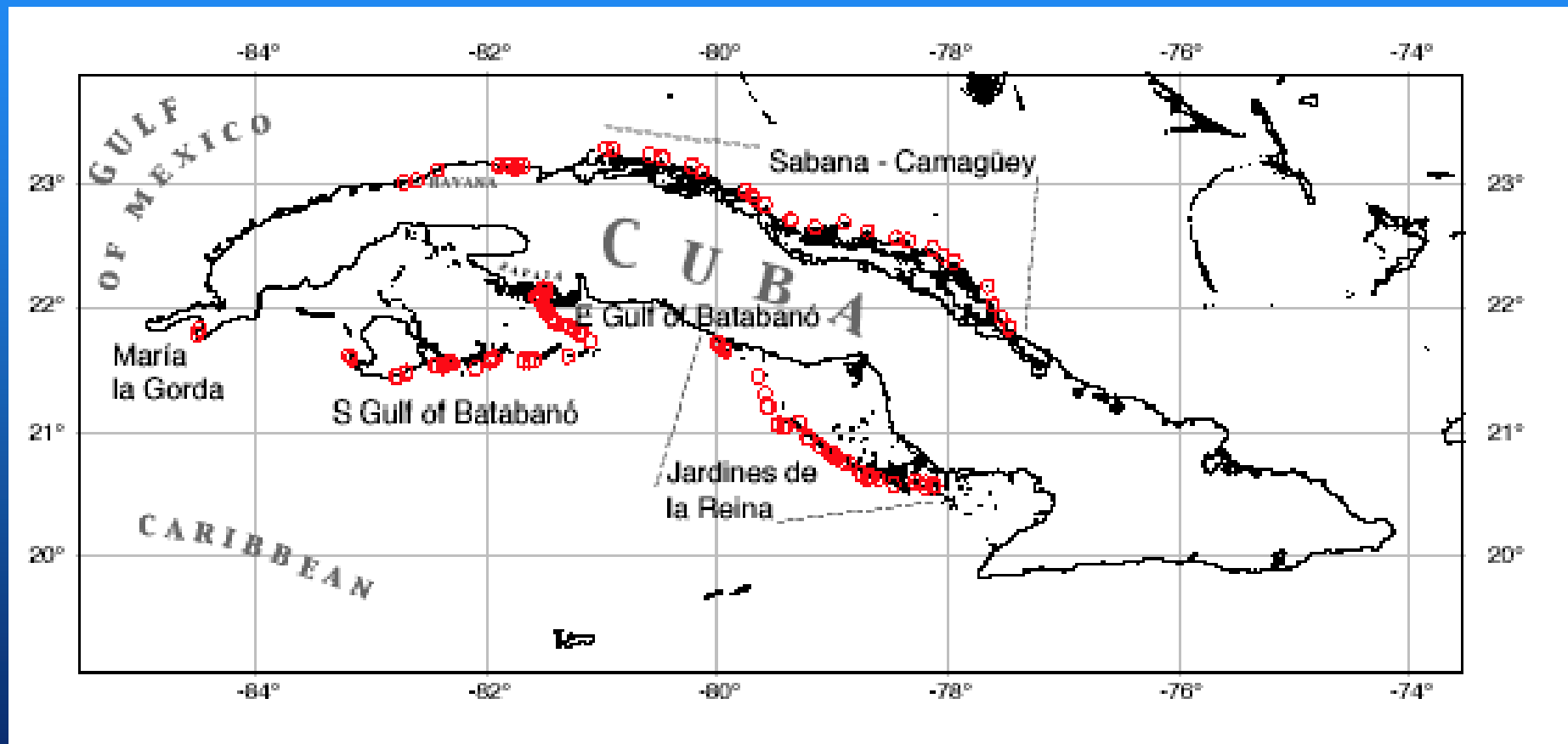
← **Arena**

AGRRA en Cuba



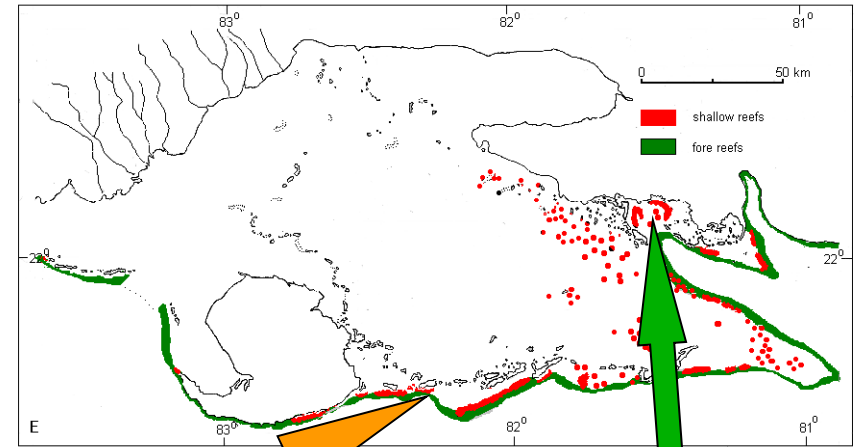


Estaciones CUB-AGRRA



183 sitios (84 de cresta 99 de arrecife frontal)

Ken W. Marks



Cresta de arrecife muerta
(Sur del Golfo de Batabanó)



Cresta de arrecife "Nirvana"
(Ensenada de Cazonés)

Ken W. Marks

Recapamiento: esperanza de recuperación más rápida

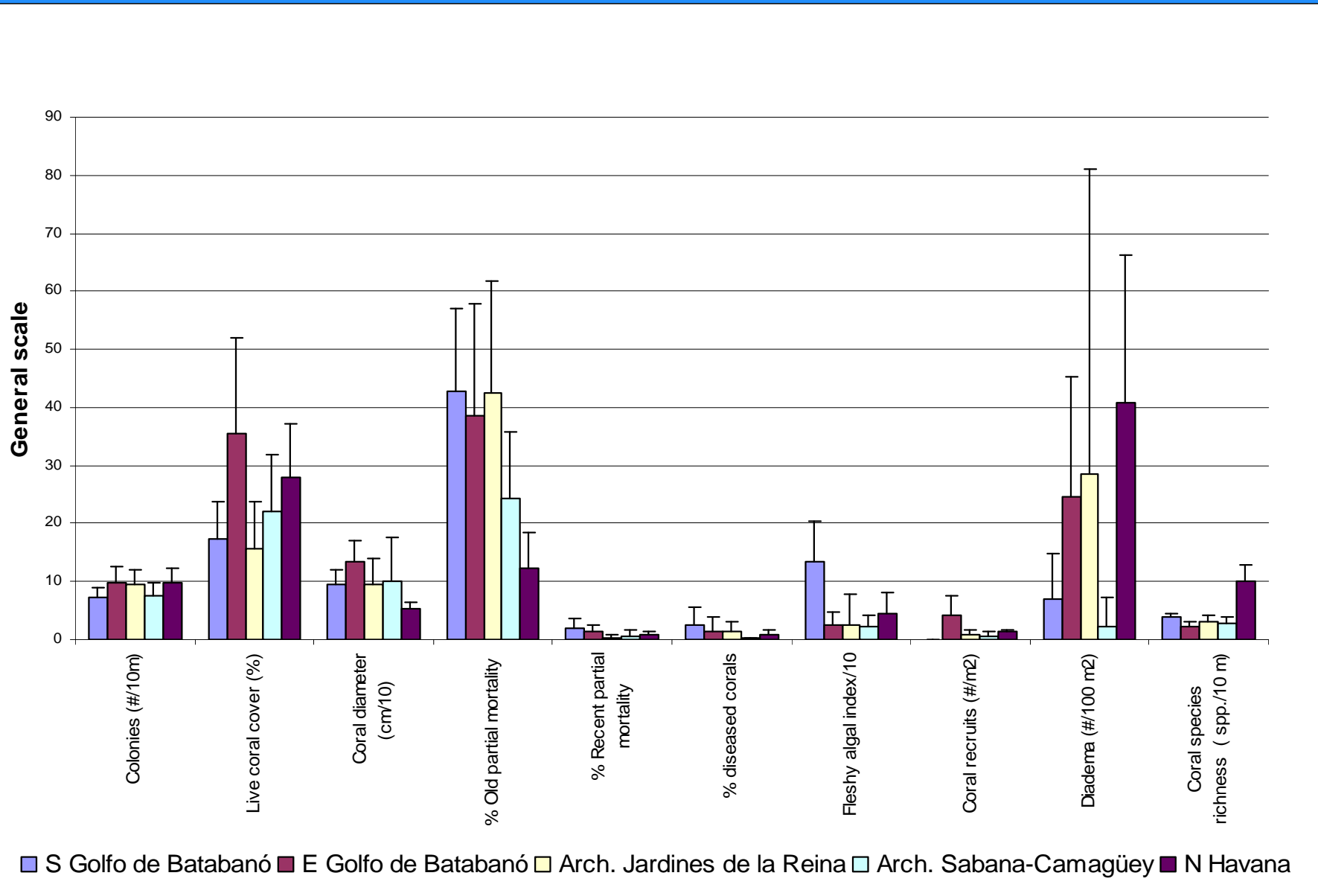


Ken W. Marks

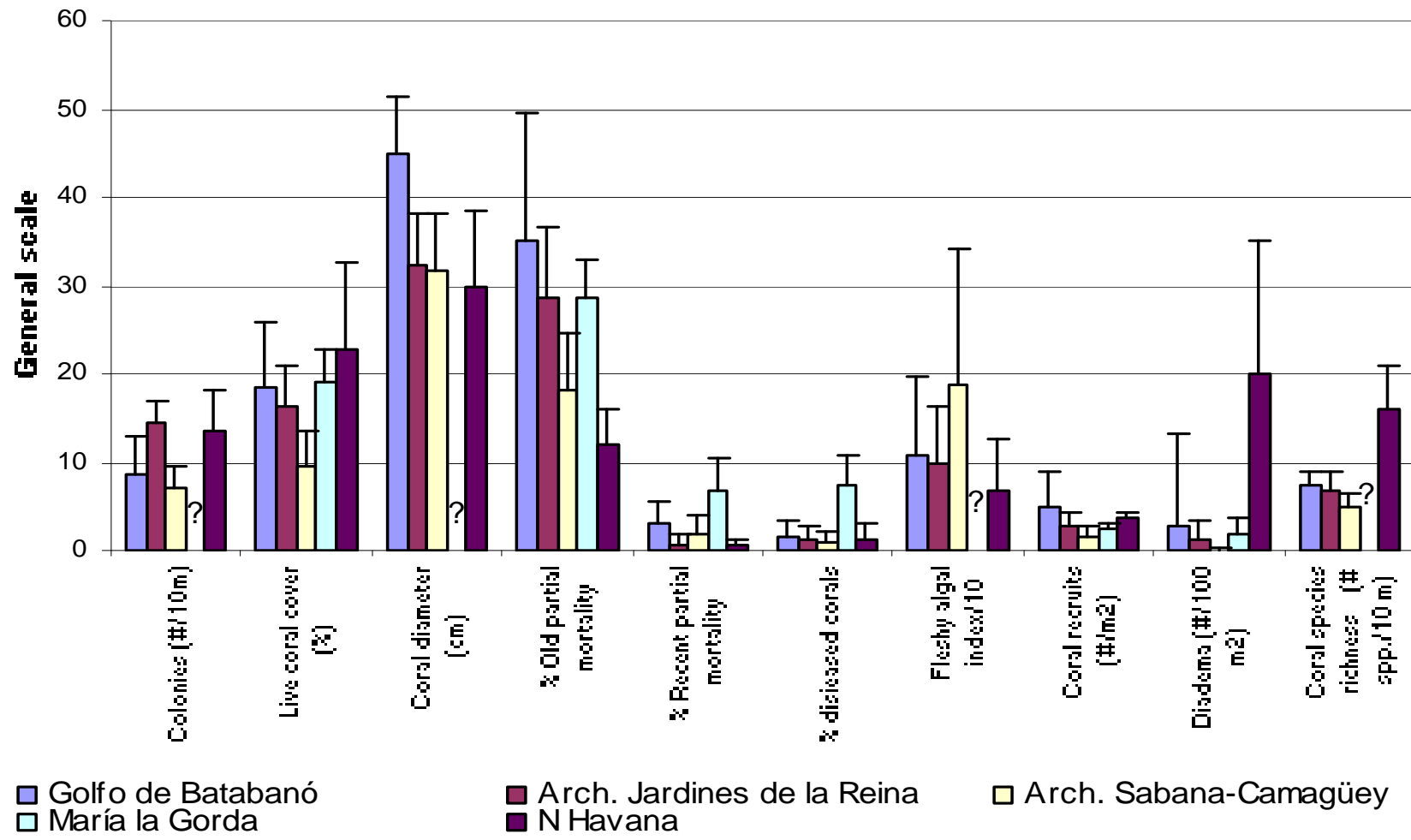


Ken W. Marks

Bentos: CUB-AGRRA (crestas de arrecifes)

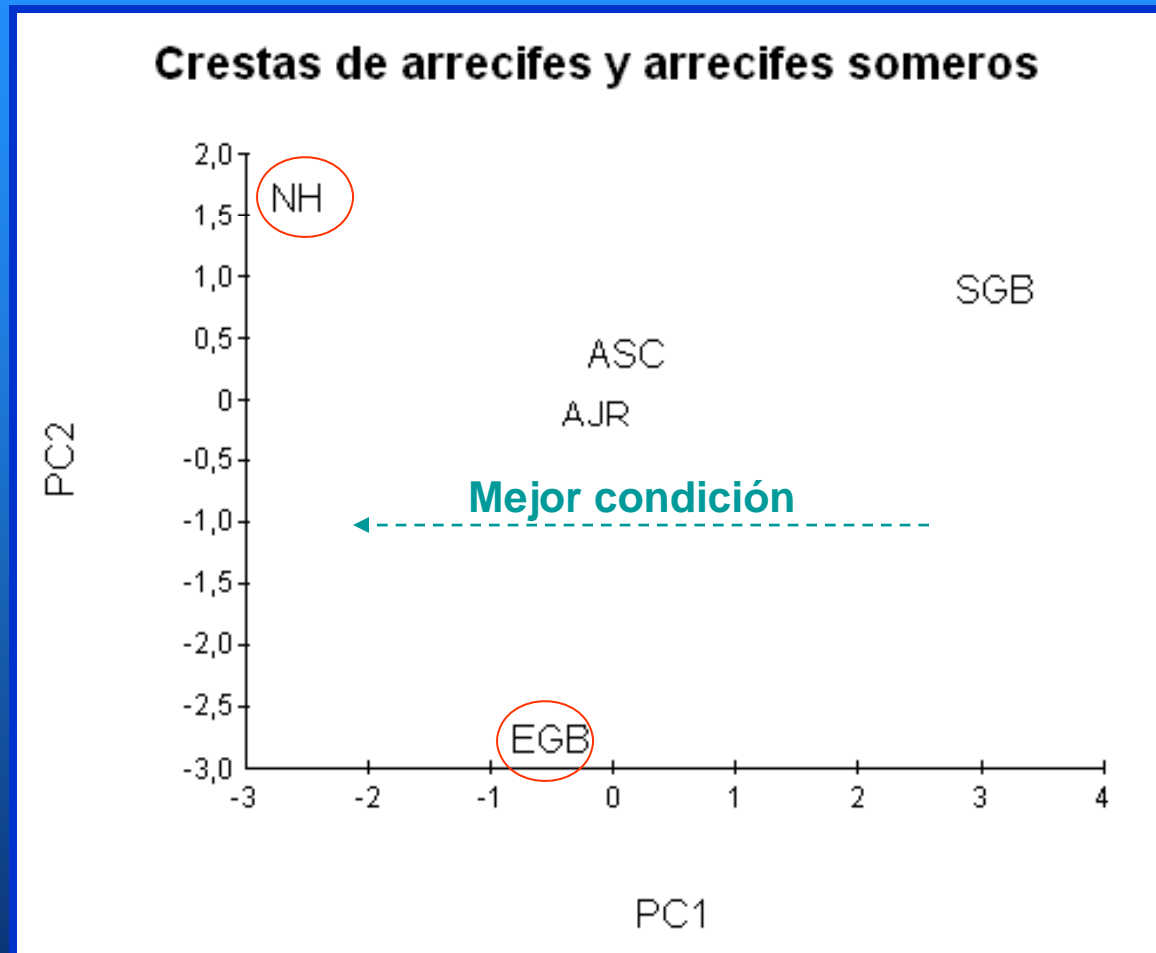


Bentos: CUB-AGRRA (arrecifes frontales)



Análisis de Componentes Principales

(con indicadores AGRRA)



NH = Norte de La Habana

EGB = Este Golfo de Batabanó

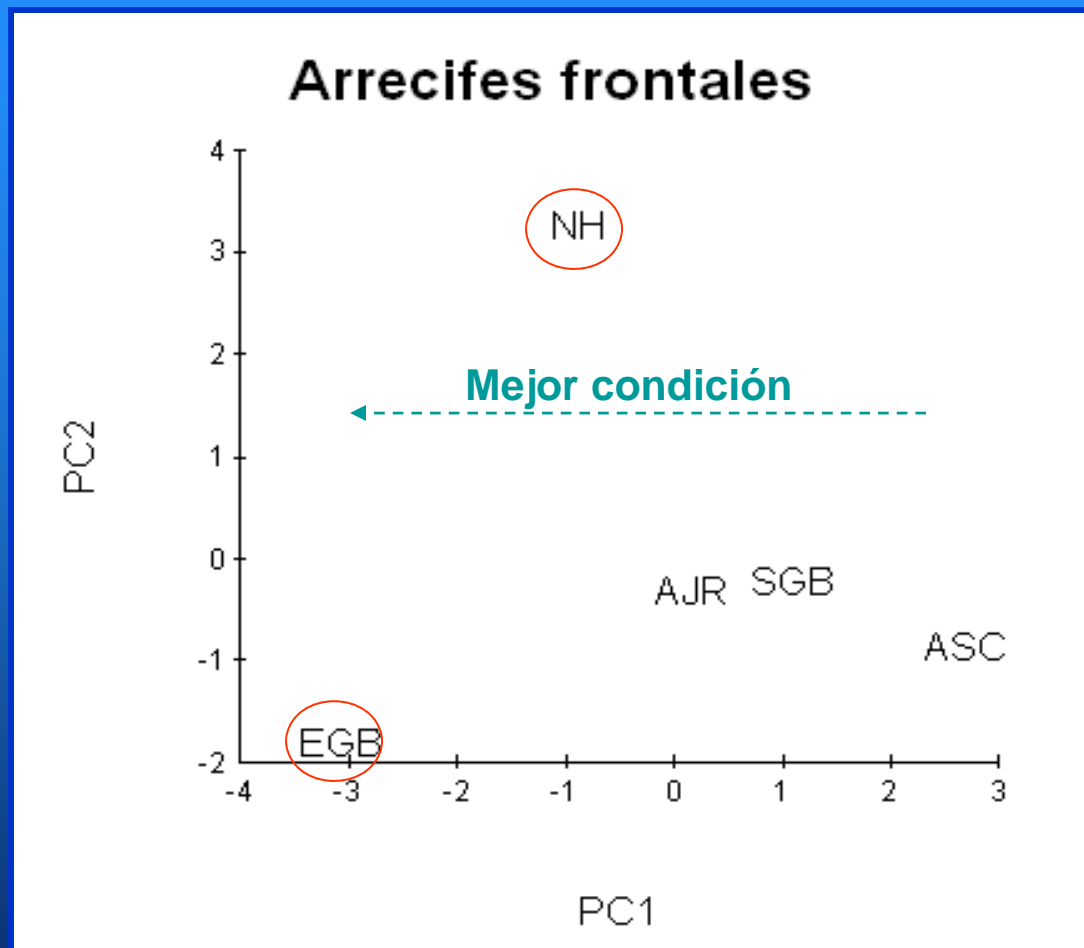
SGB = Sur Golfo de Batabanó

AJR = Arch. Jardines de la Reina

ASC = Arch. Sabana-Camagüey

Análisis de Componentes Principales

(con indicadores AGRRA)



NH = Norte de La Habana

EGB = Este Golfo de Batabanó

SGB = Sur Golfo de Batabanó

AJR = Arch. Jardines de la Reina

ASC = Arch. Sabana-Camagüey

¿Hipótesis alternativas?

1. *Acropora palmata* y otros corales mejor alimentados en aguas más productivas.

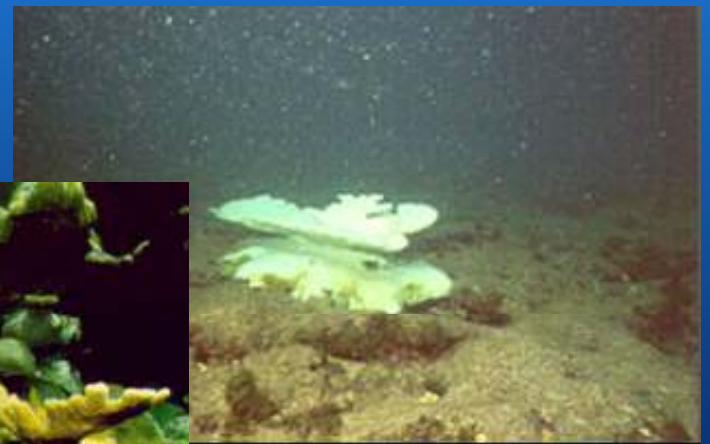
- Corales blanqueados mueren menos y se recuperan más rápido (mayores reservas)
- Mayor resistencia inmunológica
- Recapamiento más rápido



¿Hipótesis alternativas? (cont.)

2. Las aguas productivas son menos transparentes:

- Menos blanqueamiento (menos penetración de la luz y calentamiento)



¿Hipótesis alternativas? (cont.)

3. Patrón hidrológico favorece concentración de zooplancton y reclutas, y/o favorecen temperaturas más bajas

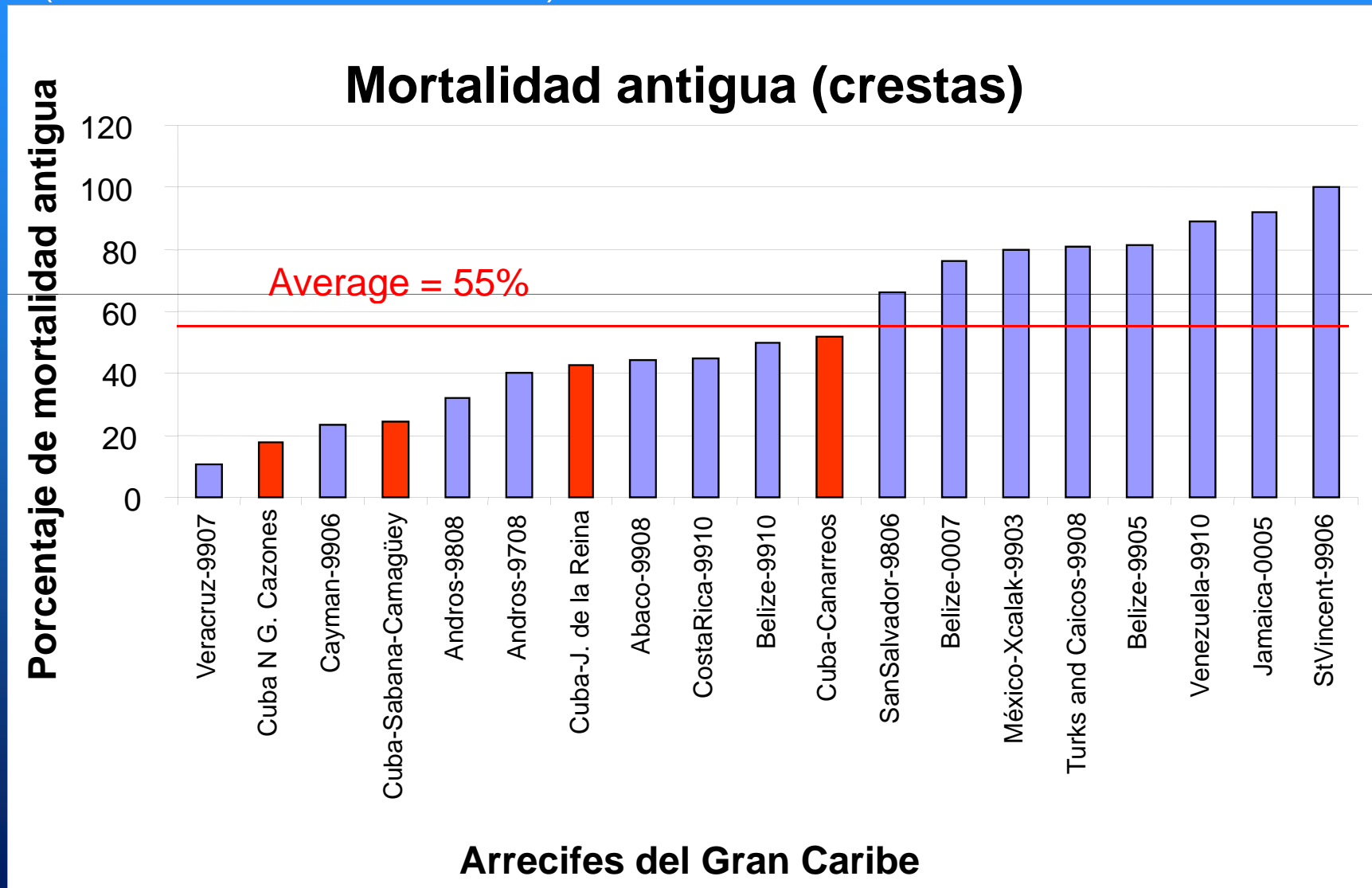
- Más alimento, reclutamiento y recapamiento,
- Menos blanqueamiento y enfermedades

NO PARECE MUY PROBABLE

4. Alguna combinación de las anteriores.

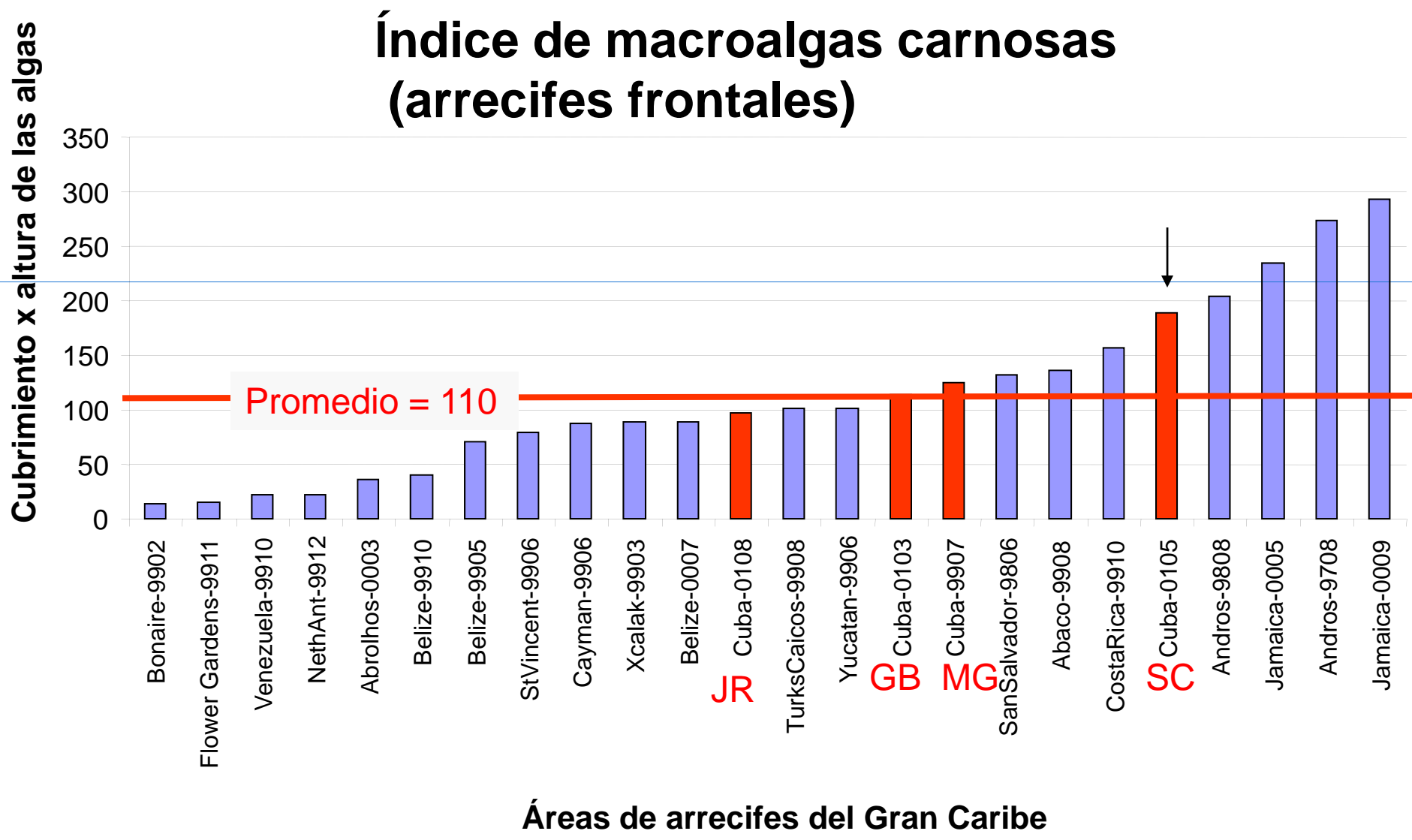
Comparación de mortalidad antigua de corales en crestas de arrecifes del Gran Caribe (AGRRA)

(Base de datos de AGRRA)



Comparación de índice de Macroalgas Carnosas

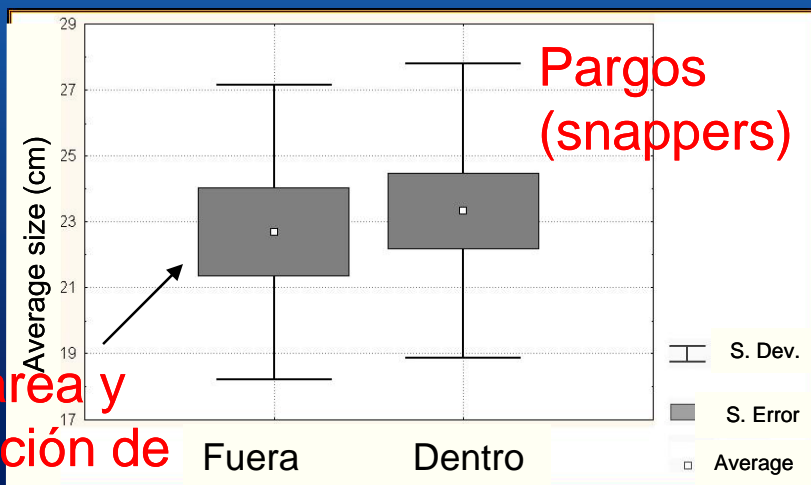
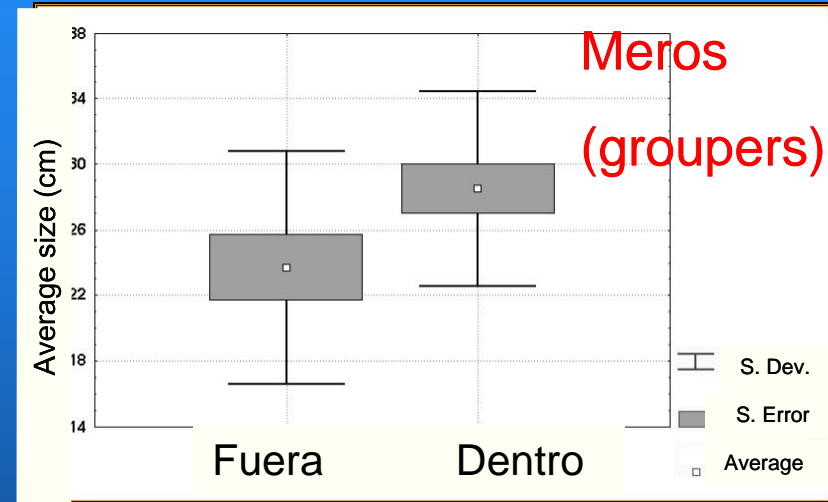
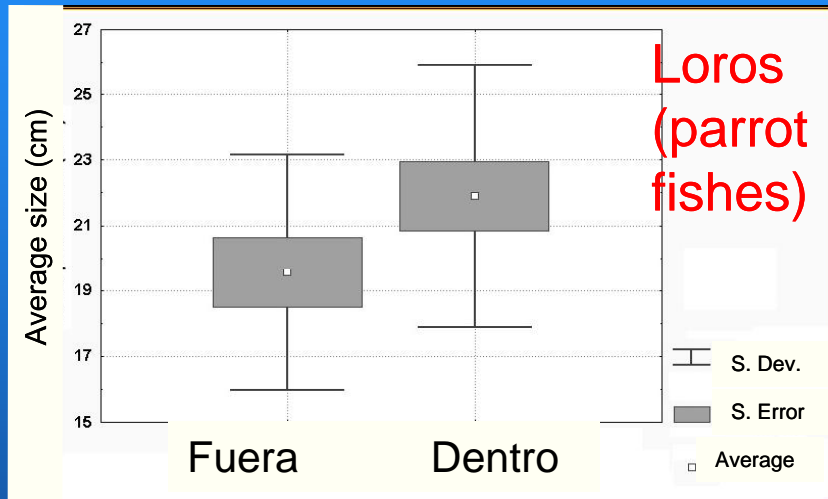
(Base de datos de AGRRA)



Cuba-9907 = extremo W; Cuba-0103 = SW; Cuba-0105 = N-Central; Cuba-0108 = SE

Talla de peces fuera y dentro del área protegida del Archipiélago Jardines de la Reina

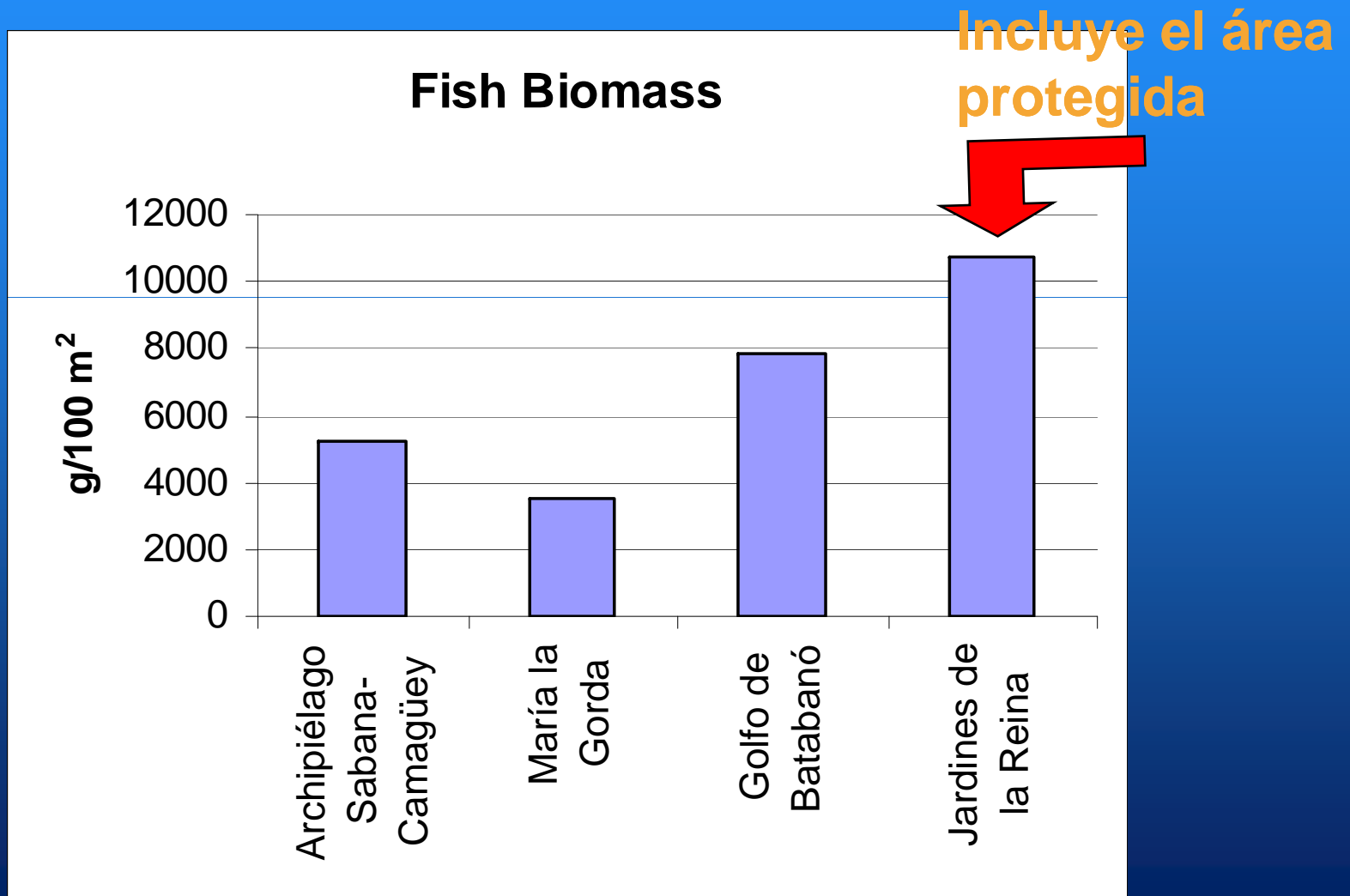
Talla de los peces (cm)



En área y estación de desove

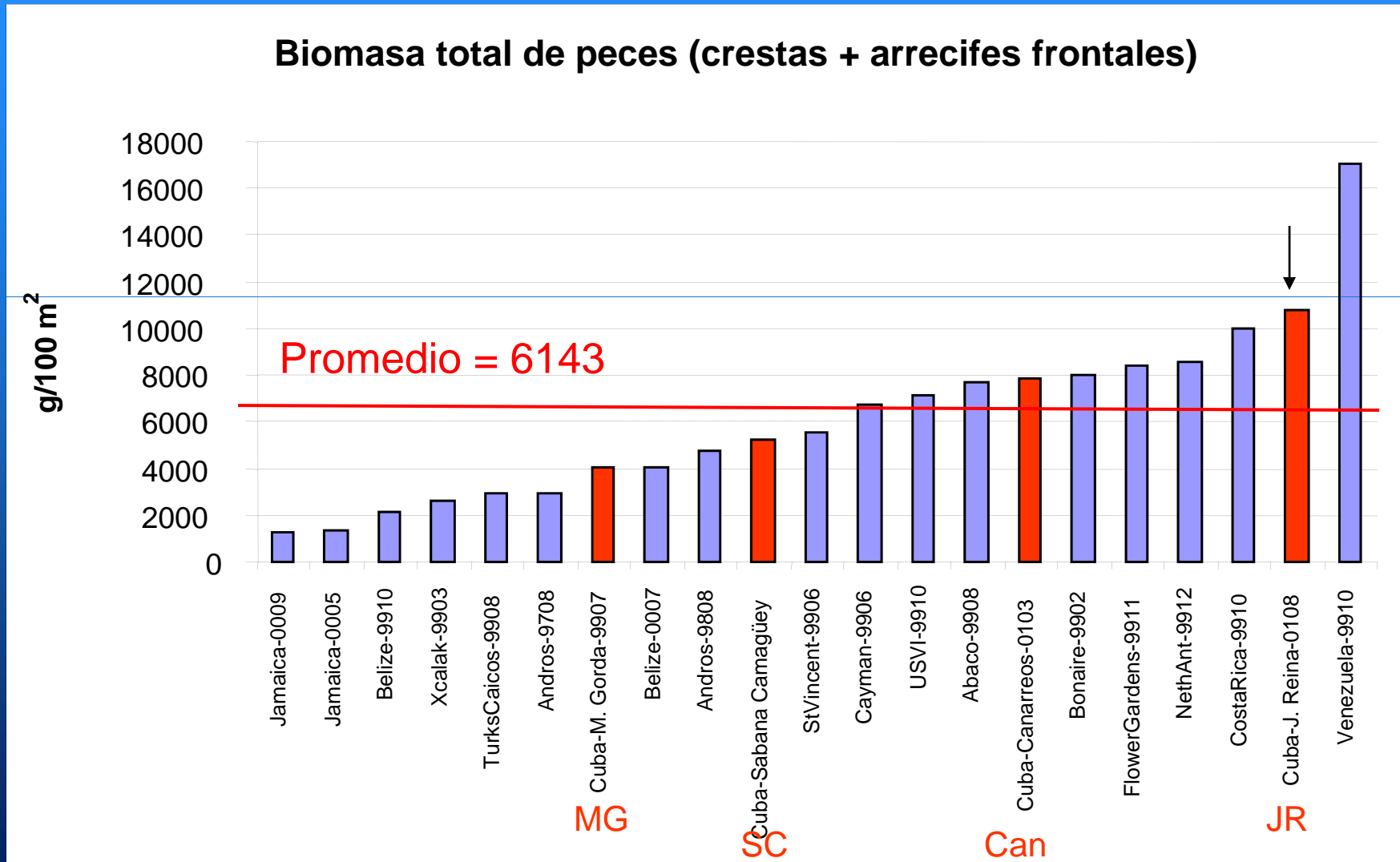
Cantelar et al. (2002)

Comparación de biomasa de peces (CUB-AGRRA)



Comparación de biomasa de peces en el Gran Caribe (AGRRA)

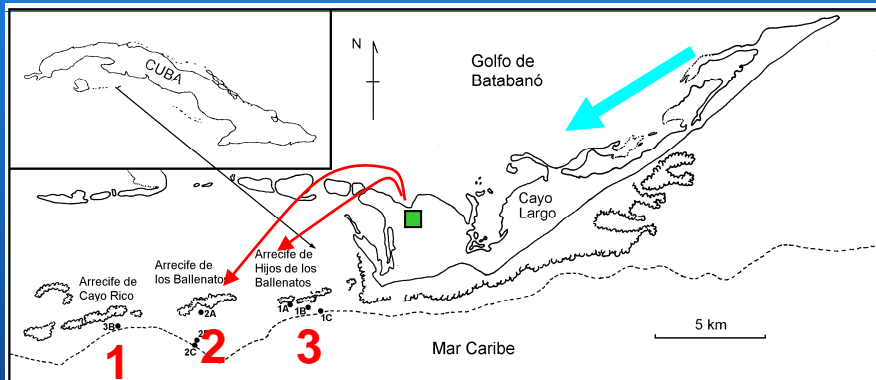
Base de datos de AGRRA



Índices multicriterios de integridad o estrés en comunidad

Índices multicriterios de estrés

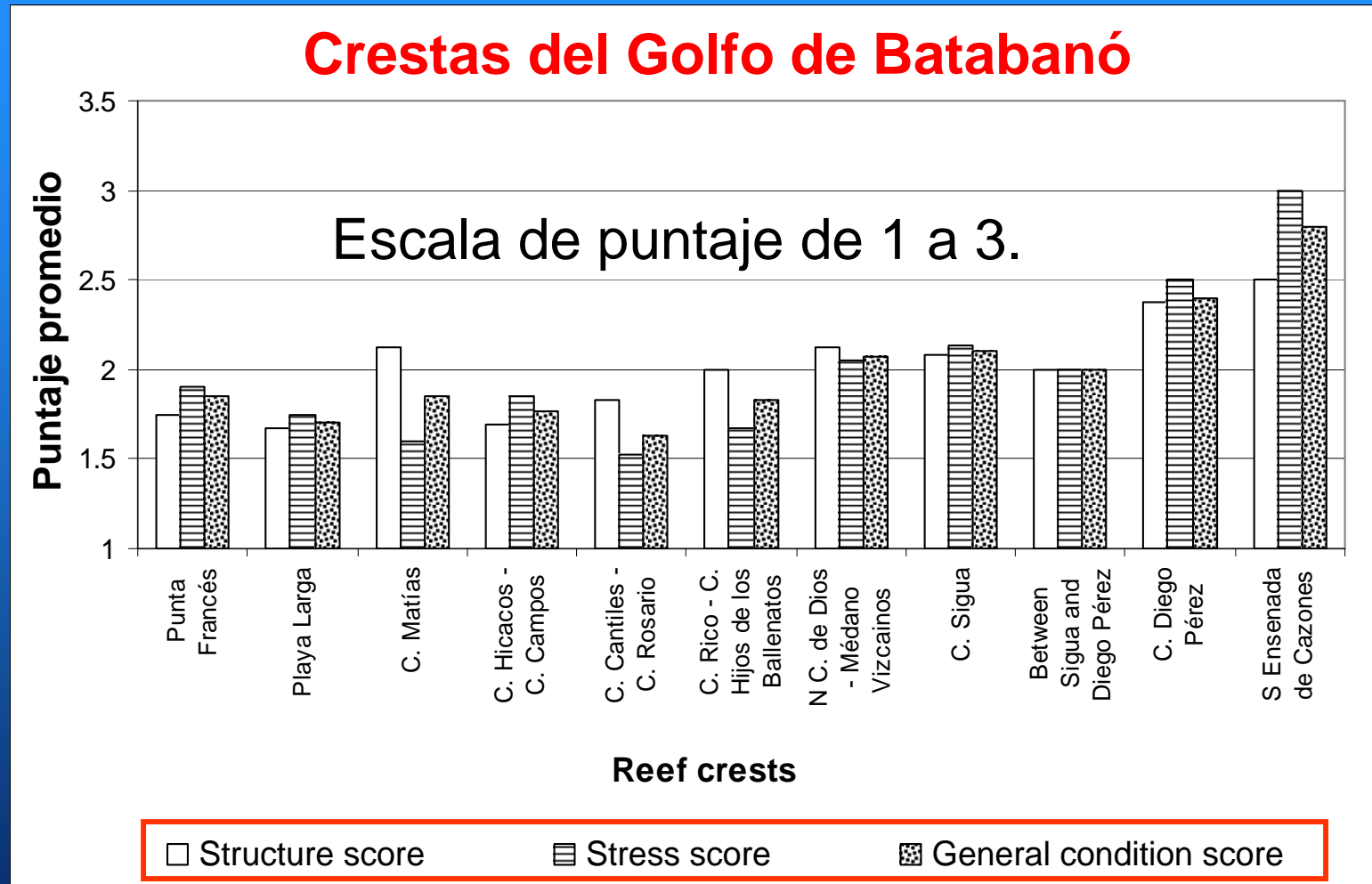
Nivel de estrés inferido por rangos promediados
(Ej. **Cayo Largo**)



Jameson, C.C., M.V. Erdmann, J.R. Karr, G.R. Gibson Jr. and K.W. Potts. In press. Charting a course towards diagnostic monitoring: A continuing review of coral reef attributes and a research strategy for creating coral reef indexes of biotic integrity. *Bull. Mar. Sci.*

Indicadores	Estaciones		
	1	2	3
% macro-algas carnosas	2	3	1
% cubrimiento por felpa algal	3	2	1
% cubrimiento algas costrosas	3	2	1
% cubrimiento por cianobacterias	3	2	1
% esponjas perforantes	3	2	1
% cubrimiento por corales	1.5	3	1.5
Índice de talla promedio corales	2	3	1
% corales sanos y casi sanos	1.5	3	1.5
Reducción de talla de los corales	1	3	2
Daño reciente en corales	2	2	2
Corales con cubrimiento algal	1	2.5	2.5
Aspergilosis en gorgonias	3	2	1
Diversidad de corales (R_{1A})	3	2	1
Diversidad de gorgonias (H')	2	3	1
Diversidad de esponjas (H')	1	2	3
Diversidad de peces (H')	1.5	3	1.5
Biomasa de peces	1	2	3
Biomasa de peces herbívoros	1	2	3
Abundancia de erizos	1	2.5	2.5
Sedimentos sobre los corales	2	2	2
Índice de turbulencia	1	2	3
Nivel de estrés promedio	1.88	2.38	1.74

Integridad biológica por puntajes promediados (Ej. CUBAGGRA I, 2001)



Estructura:

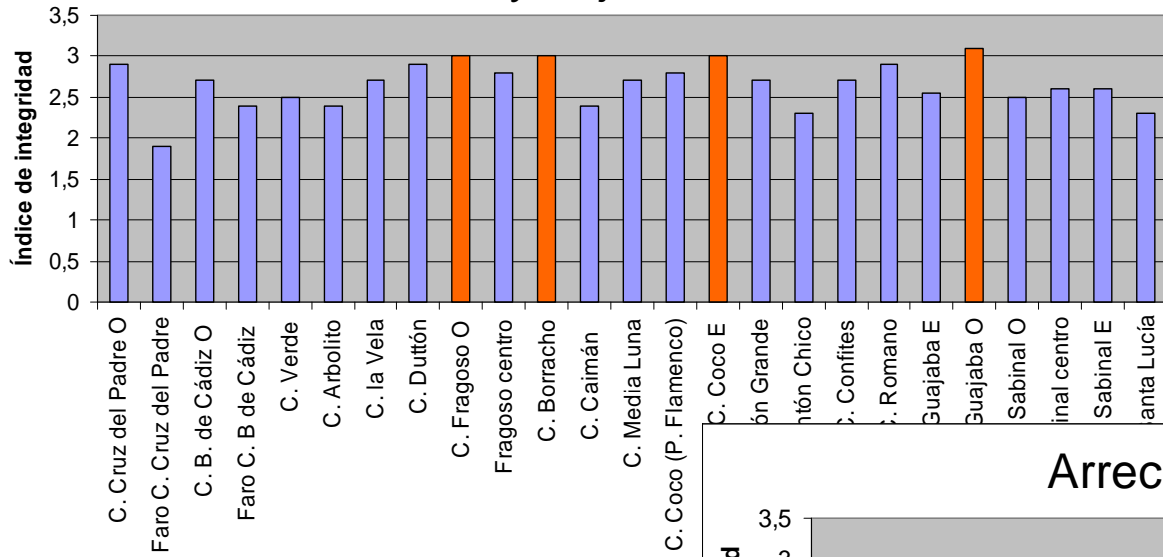
% cubrimiento
 Diámetro
 Reclutamiento
 Diversidad

Estrés:

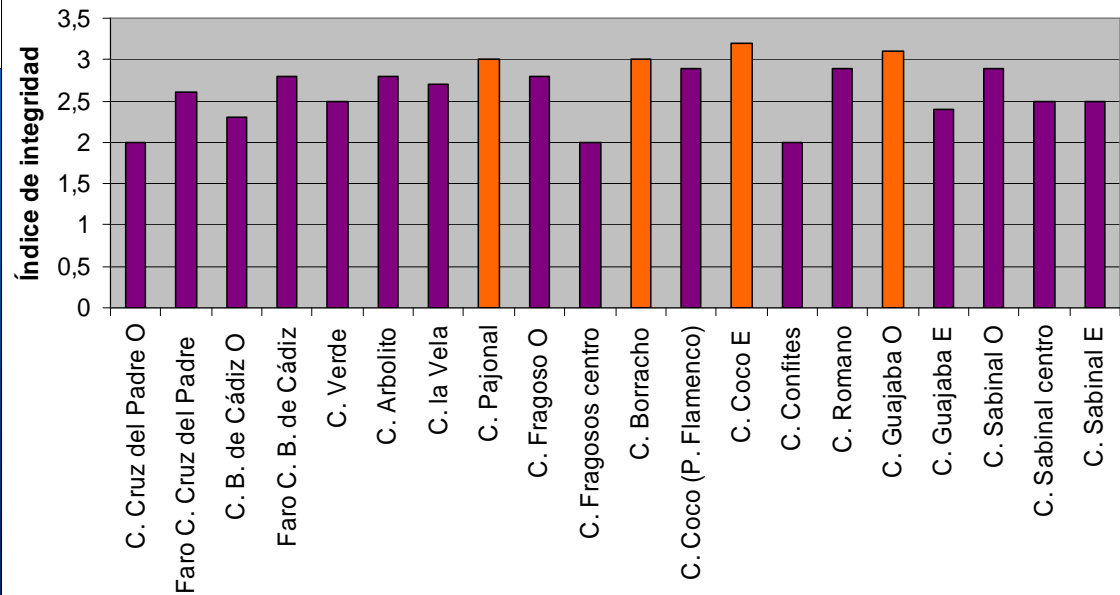
% mortalidad
 % enfermos
 Macroalgas
 Diadema

Índice de integridad del bentos (AGRRA)

Crestas y bajos coralinos



Arrecifes frontales



Archipiélago
Sabana-Camagüey

(2001 y 2003)

An underwater photograph of a coral reef. The scene is dominated by several large, branching sea fans (gorgonians) with long, thin, vertical polyps. The water is a deep, clear blue. In the foreground, there are smaller, more rounded coral structures and some green algae. The overall lighting is soft and natural, typical of an underwater environment.

¡GRACIAS!