

Propuesta de un Sistema de Clasificación para los Tipos de Fondo del Parque Nacional Arrecife Alacranes Compatible con una Imagen Landsat TM

J. BELLO PINEDA and M. A. LICEAGA-CORREA

Cinvestav-IPN

Apartado postal 73, Córdemex. 97310

Mérida, Yucatán, México

RESUMEN

La clasificación de una imagen Landsat-TM para determinar los tipos de fondo arrecifal, separa patrones espaciales relacionados con la distribución y cobertura de los diferentes organismos que conforman este ecosistema. Para describir cada clase espectral se propone un Sistema de Clasificación consistente con el trabajo de verificación en campo. En este sistema se consideran las formas biológicas, cobertura y agregación de los organismos más que las relaciones taxonómicas de los mismos. Los datos se manejan a dos niveles de descripción para determinar el grado de discriminación alcanzado con el análisis de la imagen.

PALABRAS CLAVE: Tipos de fondo, arrecifes coralinos, clasificación multispectral

Bottom Types Classification System for the Parque Nacional Arrecife Alacranes Compatible with a Landsat TM Imagery

ABSTRACT

The objective of this study was classification of a Landsat - TM image to determine reef bottom types, identify spatial patterns related with the distribution and cover of the organisms present in this ecosystem. In order to describe spectral classes, we propose a classification system compatible with the field verification method. In this system we included the organisms biological forms, aggregation and cover, instead of their taxonomic relationships. Data were analyzed at two levels to determine the cover discrimination with the image analysis method practiced.

KEY WORDS: Bottom types, coral reefs, multispectral classification

INTRODUCCIÓN

Los arrecifes coralinos exhiben patrones distintivos de zonación, determinados por las variaciones espacio temporales de procesos hidrodinámicos, geomórficos y ecológicos (Ahmad and Neil, 1994). Algunos autores han

propuesto sistemas de clasificación o zonificación y una terminología básica para describir estas formaciones arrecifales, sin que hasta ahora se haya logrado establecer un sistema único de clasificación de tipos de fondo (Jones and Edean, 1977). El uso de sensores remotos en la clasificación de fondos arrecifales, ha permitido en diversos estudios (Bour, 1988; Ahmad and Neil, 1994; Finkl, 1993; Kuchler, 1986), elaborar mapas temáticos con distinto grado de detalle, dependiente de los objetivos perseguidos, el sensor utilizado y los datos de campo disponibles; de modo que encontramos asignaciones de clases muy variadas, que van desde descripciones muy generales de características geomorfológicas hasta descripciones a nivel de especie (Green, 1996).

Para el caso particular del Arrecife Alacranes también se cuenta con varios estudios que incluyen dentro de sus objetivos identificar los tipos de substratos que caracterizan esta formación arrecifal (Flores, 1984; Hoskin, 1966; De la Cruz *et al.*, 1993; Folk and Robles, 1964; Kornicker y Boyd, 1962). Los criterios de clasificación varían de acuerdo a los fines de cada estudio y se restringen a las observaciones hechas en sitios muy particulares del arrecife por lo que es difícil extenderlas a la totalidad de este complejo arrecifal.

Debido a la carencia de un lineamiento universalmente aceptado para la designación de clases arrecifales, en este trabajo se adoptó un sistema propio de clasificación para los distintos tipos de fondo que caracterizan al arrecife Alacranes, el cual aporta información general sobre el tipo de fondo, cobertura, agregación y distribución de los componentes biológicos, pero que además es compatible con la resolución de la imagen de satélite utilizada.

ÁREA DE ESTUDIO

El Parque Nacional "Arrecife Alacranes", declarado así el 5 de junio de 1994 por el gobierno de la República (Diario oficial 1994), se localiza al Norte de Puerto Progreso, Yucatán, entre los 22° 21' 45" - 22° 34' 55" Norte y los 89° 36' 47" y 89° 47' 53" Oeste. Está constituido por una plataforma que se levanta desde los 50 m de profundidad. Sus características morfológicas más sobresalientes las constituyen el Cantil y la Barrera de Barlovento; el Cantil Norte; el Cantil de Sotavento; la Meseta o Zócalo Arrecifal y las islas arenosas de pequeñas dimensiones conocidas como Isla Pérez, Pájaros, Chica, Muertos, Desterrada y Desaparecida (De la Cruz *et al.*, 1993).

MATERIALES Y MÉTODOS

Procesamiento de la imagen y trabajo de campo

La imagen Landsat-TM del 13 de marzo de 1986, fue corregida geoméricamente (Liceaga y Hernández, 1997), analizada visualmente y clasificada de manera no supervisada con el programa TNT-Mips Microimágenes,

Inc. La imagen se clasificó con el algoritmo de K-means, usando las bandas del visible e infrarojo cercano. Cada punto o estación que se visitó fue ubicado en un pixel, cuya vecindad (8 pixels) se encontrara también dentro de la clase espectral. Navegando con un GPS, se localizaron las estaciones, en donde se hizo un reconocimiento de los tipos de fondo mediante buceo autónomo o libre (Kenchington, 1978), siguiendo una trayectoria en dirección a la corriente de aproximadamente 30 m de longitud, que corresponde al largo de un pixel de la imagen (Jupp, 1986). En la estación se llevó a cabo el registro de la profundidad con una ecosonda, se hizo una estimación visual del tipo de fondo dominante y su cobertura aparente (Rogers *et al.*, 1994), así como del tipo de agregación que presentaban los organismos, además se tomaron de 2 a 9 fotografías para transparencias, que incluyen tomas verticales y horizontales de los organismos visualmente dominantes o substratos desnudos (Done, 1981).

Sistema de clasificación

Para la verificación en campo se llevó a cabo un método de estimación visual rápida, del cual se pudiera obtener una descripción con una baja resolución taxonómica pero que permitiera cubrir grandes áreas (Done 1981; Kenchington 1978). Para este estudio se consideraron las siguientes variables:

- i) El tipo de fondo y su cobertura aparente, que incluye:
 - i-a) La cobertura viva, considerando a los organismos visualmente dominantes (OVD) en el área (Done 1981).
 - i-b) El tipo de substrato no vivo presente y su proporción con respecto al componente biológico.
- ii) El tipo de "agregación" que presentan los organismos.
- iii) La profundidad de cada estación.

El registro de los OVD, se hizo en categorías de acuerdo a "formas biológicas" (Human, 1994; Sorokin, 1993; Preobrazhensky, 1981; Done, 1981) y descritos a dos niveles, uno general que nombramos grandes grupos y otro mas fino que nombramos tipos de fondo, de manera similar se describió el substrato no vivo (Tabla 1).

El registro de la cobertura aparente se hizo en una escala ordinal de 6 puntos (modificada y adaptada de Done, 1981 y 1977): 0 = 0%, 1 = 1 - 10%, 2 = 11 - 30%, 3 = 31 - 50%, 4 = 51 - 80%, 5 = 81 - 100%, para ambos niveles.

La variable que denominamos agregación, se refiere esencialmente a la forma en que los organismos se encuentran dispuestos de manera aparente en cada estación y se optó por utilizar la siguiente escala nominal, y registrarlas con sus claves (En paréntesis):

1.- Substrato desnudo (D), 2.- Manchones (M), 3.- Camas (C), 4.- Cabezas (Ca), 5.- Parches (Pa), 6.- Pináculos (Pi), 7.- Microatolones (MA), 8.- Pared (PD).

La otra variable considerada en la descripción es la profundidad, la cual fue

codificada en la siguiente escala ordinal por rangos arbitrarios de profundidad : 1 = 0.1 - 1.0 m, 2 = 1.1 - 2.0 m, 3 = 2.1 - 5.0 m, 4 = 5.1 - 10.0 m, 5 = 10.0 - 20.0 m, 6>20m.

Para nombrar las clases, se incluyen dos términos: agregación + grupo general o tipo de fondo(s) visualmente dominante(s). En todos los casos la cobertura viva fue considerada prioritaria y utilizada para nombrar la clase siempre que su cobertura aparente fuera mayor al 30% respecto a la cobertura no viva (Dobson *et al.*, 1995).

Tabla 1. Nombres y claves para las formas biológicas utilizados para el registro de grandes grupos y tipos de fondo.

Grandes Grupos	Tipos de fondo
i. Substrato Desnudo (D):	I.1 - Arena(A) I.2 - Grava(Gr). I.3 - Escombros(E) I.4 - Coral Muerto(C M)
ii. Algas (Al):	II.1.- CAFÉS (C) II.2.- VERDES (V) II.3.- ROJAS (R)
iii. Pastos (P):	III.1.- THALASSIA (Th). III.2.- Syringodium.(S)
iv. Corales Duros (Cd):	IV.1.- Ramosos (R): IV.2.- Masivos (M) : IV.3.- Cerebros (C) : IV.4.- Planos (P) :
v. Corales Blandos(Cb):	V.1.- Ramosos (Br) : V.2.- Extendidos (Be)
vi. Coral Cubierto De Algas (Cc):	VI.1.- Coral Cubierto De Algas (Cc)
vii. Otros (O):	VII.1- Otros (O)

Análisis de datos

Las transparencias de cada estación fueron proyectadas y con ayuda de claves de identificación visual, se precisó a mayor detalle los tipos de fondo o grandes grupos, para hacer una descripción final de cada estación, estas fueron denominadas en base al sistema de clasificación, para los dos niveles de descripción.

Los datos de cobertura aparente codificados (tipos de fondo y grandes grupos), la agregación y profundidad fueron analizados estadísticamente, para observar tendencias de agrupamiento entre las estaciones e identificar posibles clases, mediante un método de agrupamiento jerárquico, utilizando el índice de similaridad de Gower y la estrategia de agrupamiento de promedios por grupos (UPGMA) (Jingman *et al.*, 1987; Digby y Kempton, 1987).

Las clases obtenidas fueron nominadas tomando en cuenta los nombres previamente asignados al 50% + 1 de las estaciones de cada clase. Las clases a los dos niveles descriptivos, obtenidas con este método de agrupamiento fueron consideradas como las observadas. Estas clases fueron confrontadas mediante tablas de frecuencias con las clases obtenidas del análisis digital (Dobson *et al.*, 1995), con la finalidad de dar nombre a las clases espectrales.

Una vez establecido el nombre de las clases espectrales estas se ordenaron y codificaron numéricamente de nuevo y fueron sometidas a un nuevo análisis mediante matrices de error, para estimar el nivel de descripción más apropiado para el análisis digital utilizado.

RESULTADOS

El análisis del gráfico de dendrograma de las imágenes Landsat clasificadas de manera no supervisada (algoritmo K Means) dio como resultado una imagen con 15 clases espectrales (Figura 1) que consideramos un número razonable para esta fase exploratoria del proyecto, las cuales fueron codificadas por números y colores. Se calcularon sus áreas y se determinó el número de píxeles a visitar por clase tratando de mantener una proporcionalidad de acuerdo a esta área.

Se visitaron un total de 176 estaciones (Figura 1) en cuatro salidas durante los meses de febrero, abril, junio y agosto de 1997. Dichas estaciones se localizaron en solo 10 de las clases espectrales (Tabla 2), las otras 5 clases no fueron visitadas, debido a que su profundidad en campo excedía los 35 m de profundidad o se encontraban sobre las islas.

Cada estación fue denominada y codificada en base a los datos de agregación y cobertura, de acuerdo al sistema de clasificación propuesto para los dos niveles descriptivos, utilizando los registros fotográficos para designar organismos difíciles de identificar en campo.

Tabla 2. Frecuencia de visitas a clases espectrales

Número de la Clase	Número de visitas
4	6
5	9
6	12
7	26
8	4
10	1
11	19
12	50
13	15
14	34
Total	176

El análisis de los dendogramas obtenidos del procesamiento de los datos de campo, permitió separar 14 clases "de campo" para el nivel de tipos de fondo y 9 para el nivel de grandes grupos. Las clases, fueron delimitadas localizando los nodos de los grupos de estaciones que se separaban a simple vista, los cuales aparecían generalmente a una similaridad cercana al 80% (Digby y Kempton, 1987). Las clases obtenidas fueron denominadas considerando el nombre asignado al $50 \pm 1\%$ de las estaciones agrupadas en ella.

Las clases de campo, fueron confrontadas con las clases espectrales mediante tablas de frecuencia. En estas tablas se identificó el número más alto de coincidencias entre clases espectrales y clases de campo, y se utilizó este criterio para nominar las clases espectrales a los dos niveles (Tabla 3). Al analizar las tablas de frecuencias se pudo apreciar que no existía una relación uno a uno entre clases de campo y clases espectrales, algunas clases espectrales tenían su mayor coincidencia con un tipo de fondo o gran grupo en particular, pero otras tenían mayor heterogeneidad. Por otra parte se pudo apreciar que varias clases espectrales coincidían con una misma clase de campo.

Para hacer una estimación del error de clasificación a los dos niveles descriptivos, se optó por utilizar matrices de error simétricas, para esto tanto las clases de campo, como las espectrales fueron agrupadas en 4 clases mas grandes con las que se obtenía una mayor similaridad (Digby y Kempton, 1987), dichas clases fueron recodificadas y renombradas de manera muy general resaltando

solamente los elementos mas importantes. Las nuevas "super"clases fueron confrontadas mediante matrices de error, obteniéndose los resultados de la Tablas 4 y 5.



Figura 1. Distribución de estaciones visitadas en el Arrecife

Las matrices de error que comparan las super clases obtenidas de los dos niveles descriptivos utilizados, muestran un error de asignación del $38 \pm 7.38\%$ a un intervalo de confianza del 95 % para los datos de las super clases al nivel de grandes grupos que es mayor al $36 \pm 7.31\%$ a un intervalo de confianza del 95% obtenido para los datos de las super clases de tipos de fondo, se hizo una prueba Z para un 95% de confianza, para determinar si había diferencias significativas entre los errores de las dos matrices y no se encontró diferencia significativa entre ellos, por lo que se optó por utilizar solo uno de los dos niveles descriptivos, y se re clasificó la imagen considerando solamente las super clases al nivel de tipos de fondo (Figura 2). Todos los datos en formato digital e impreso quedaron disponibles para ser integrados como una capa dentro del sistema de información geográfica para el arrecife, junto con la información a nivel más fino por clases y por estaciones individuales. Cada estación cuenta además con un archivo fotográfico que también será integrado al SIG.

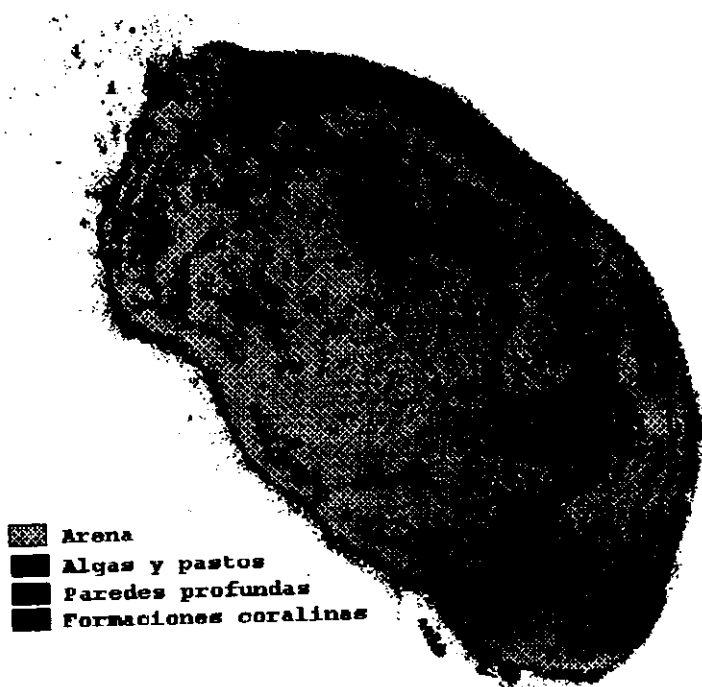


Figura 2. Superclases para tipos de fondo

Tabla 3. Denominación de las clases espectrales para los dos niveles descriptivos utilizados de acuerdo a sus máximas coincidencias.

Clase espectral	Clave y Nombre para Tipos de Fondo	Clave y Nombre para Grandes Grupos
4	C - th = Cama de Thalassia	C - p = Cama de pastos
5	C - th = Cama de Thalassia	C - p = Cama de pastos
6	C - th = Cama de Thalassia	C - p = Cama de pastos
7	D - a = Substrato desnudo arena	D - d = Substrato desnudo
8	Pd - m = Pared de coral masivo	Pd - cd = Pared de coral duro
10	Pa-m, c, br y cc = Parches de coral duro masivo, cerebros, blando ramoso y coral cubierto de algas.	Pa - cd y cc = Parche de coral duro y coral cubierto de algas
11	D - a = Substrato desnudo arena	D - d = Substrato desnudo
12	Pa - m y cc = Parche de Coral duro masivo y coral cubierto de algas	Pa - cd y cc = Parche de coral duro y coral cubierto de algas
13	D - a = Substrato desnudo arena	D - d = Substrato desnudo
15	D - a = Substrato desnudo arena	D - d = Substrato desnudo

Proceedings of the 50th Gulf and Caribbean Fisheries Institute

Tabla 4. Matriz de error entre super clases espectrales y para tipos de fondo.

Espectrales	1	2	3	4	TOT	Error omisión
Tipos de fondo	4+5+6	10 + 12	7 + 11 +13+15	8		
1	19	9	13	0	41	0.53
1+2+3+9+10						
2	3	26	16	1	46	0.43
13+5+6+7+8						
3	1	12	58	0	71	0.18
4+11						
4	1	0	4	3	8	0.62
12+14						
TOTAL	24	47	91	4	166	
Error comisión	0.20	0.44	0.36	0.25		0.3

Tabla 5. Matriz de error entre super clases espectrales y para grandes grupos.

Espectrales	1	2	3	4	TOT	Error omisión
Grandes grupos	4+5+6	10 + 12	7 + 11 +13	8		
1	18	9	13	0	40	0.55
1+7+8						
2	4	25	19	1	49	0.48
3+6+5						
3	1	12	57	0	70	0.18
2						
4	1	1	2	3	7	0.57
4						
TOTAL	24	47	91	4	166	
Error comisión	0.25	0.46	0.37	0.25		0.38

DISCUSIÓN

La percepción remota requiere de métodos de verificación de campo que hagan una estimación general de la cobertura a la escala de la denominada unidad mínima discernible en la imagen (Bainbridge and Reichelt, 1988), para el caso de la imagen Landsat-TM el área de un pixel es de 900m². El uso de un método de estimación visual rápida permitió cubrir grandes áreas y obtener una descripción general con una baja resolución taxonómica muy valiosa en esta fase del proyecto (Done, 1981; Kenchington, 1978). Por otro lado el uso de "formas biológicas" en nuestro método de verificación se basó en la consideración de que la morfología externa es la representación más general del resultado de las interacciones de los organismos con su medio, de modo que el reconocimiento de estas formas aunado al de las condiciones ambientales locales, permite caracterizar un sitio de manera muy específica. Niveles similares de descripción han sido utilizados anteriormente en la caracterización de paisajes sumergidos y en la evaluación de recursos (Done, 1981) bajo distintas designaciones (Human, 1994; Sorokin, 1993). Además, para los fines de la percepción remota el agrupamiento de unidades se basa en características espectrales similares, que se relaciona, entre otros factores, más con la forma que con las relaciones taxonómicas de los organismos (Bainbridge and Reichelt, 1988).

Fue muy útil el uso de una técnica no supervisada de clasificación para esta fase del análisis de la imagen multiespectral, ya que se pudo obtener una primera aproximación sobre la presencia y distribución de clases espectrales, además, esta imagen sirvió como punto de partida para planear el trabajo de campo que nos permitiera identificar los tipos de fondo que caracterizan al arrecife.

El proceso de verificación en campo se convirtió en la herramienta que permitió identificar y dar nombre a las clases espectrales obtenidas (Chuvienco, 1990; Lillesand and Kiefer, 1979). El análisis de las tablas de frecuencias fue muy útil en este proceso, pues permitió identificar los tipos de fondo o grandes grupos con los que cada clase espectral presentaba las mayores coincidencias, de manera que se pudo tener una idea general de la heterogeneidad en los tipos de cobertura que están representados por cada clase, y apreciar también, que varias clases espectrales representan un mismo tipo de cobertura, para los niveles descriptivos utilizados.

Los niveles descriptivos propuestos en nuestro sistema de clasificación no nos permitieron nominar el total de las clases espectrales de manera individual, tal vez debido a que un factor muy importante que influye en la separación de clases espectrales es la profundidad, el cual fue utilizado en el análisis de los datos, pero no en la nominación de las estaciones. Al no encontrar una relación uno a uno entre clases espectrales y de campo, surgió la necesidad de agrupar las clases espectrales y de campo en "super"clases heterogéneas (Digby and Kempton, 1987) para hacer estimaciones del error de asignación (Dobson *et al.*, 1995). Este

procedimiento llevó a una generalización de la información pues todas las clases tuvieron que ser resumidas en cuatro clases generales, que aunque son discernibles entre sí poseen una heterogeneidad intraclase grande, por ejemplo la super clase arena podría ser separable de acuerdo a varias profundidades.

Tanto en el terreno como en las imágenes multispectrales, existe dificultad para establecer fronteras entre un tipo de cobertura y otro, ya que dichas fronteras no están delimitadas abruptamente sino que presentan cambios graduales entre ellas (Dobson *et al.*, 1995). La generalización obtenida nos sugiere la necesidad de revisar por un lado el número de clases espectrales utilizado, cuyo replanteamiento podría disminuir el error de asignación y por otro lado, la necesidad de probar otros algoritmos de clasificación no supervisados pero preferentemente algoritmos supervisados, ya que se cuenta con información de campo suficiente para la fase de entrenamiento de este proceso. En este sentido, el análisis de los datos de campo fue muy útil, pues permitió identificar estaciones candidatas para ser utilizadas como "semillas", dentro del proceso de clasificación supervisada, de cuyos resultados se espera obtener mapas temáticos de mayor precisión.

Este trabajo cumple satisfactoriamente la primera etapa de reconocimiento, pues aportó información muy valiosa sobre la naturaleza y distribución de los tipos de fondo que caracterizan al arrecife a un nivel muy general (4 clases) y nos indica pautas a seguir en la siguiente fase del proyecto.

Hasta esta fase no es posible señalar, cuál de los dos niveles descriptivos utilizados en la verificación en campo, presenta mayor compatibilidad con el análisis digital de una imagen Landsat TM, ya que esto dependerá en gran medida del tipo de procesamiento que se haga a la imagen. La estimación del error de asignación obtenidos en las matrices de error son solo aplicables para los datos de las super clases y para el algoritmo no supervisado utilizado. Los errores encontrados para ambas matrices no son significativamente diferentes, por lo que no había diferencia entre utilizar los resultados de cualquier matriz, por lo que se decidió utilizar solo los datos de las super clases para tipos de fondo. La información a ambos niveles descriptivos se seguirá manejando en fases posteriores del proyecto, hasta tener mayor información que nos permita decidir por el uso de un nivel en particular.

LITERATURA CITADA

- Ahmad, W. and D. T. Neil. 1994. An evaluation of Landsat TM digital data for discriminating coral reef zonation: Heron Reef (GBR). *International Journal of Remote Sensing*. 15:2583 - 2597.
- Alberotanza, L. 1986. Sea - truth data. In: Istituto Studio Dinamica Grandi Masse . Venezia, Italy.
- Bainbridge S. and R. Reichelt. 1988. Pages 439 - 444 in: An assessment of

- ground truth methods for coral reef remote sensing data. Proc. 6th International Coral Reef Symposium. Townsville, Australia.
- Biña, R., K. Carpenter, W. Zacher, R. Jara and J. Lim. Coral reef mapping using Landsat Data: Follow-up studies 1978. III Proc. 12th Int. Symp. On Remote Sensing of the Environment. ERIM. Ann Arbor, Michigan. 2051 - 2070.
- Bour, W., L. Loubersac and P. Rual. 1986. Thematic mapping of reefs by processing of simulated SPOT satellite data: application to the *Trochus niloticus* biotope on Tetembia Reef (New Caledonia). *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 34:243 - 249.
- Bour, W. 1988. SPOT images for coral reef in New Caledonia. A fruitful approach for classic and new topics. In: 6th International coral reef symposium, Australia.
- Bour, W. and M. Pichon. 1996. Can a SPOT image help to discriminate scleractinian - dominated communities? An attempt at using the coral - index method at Yonge Reef (GBR Australia). In press.
- Carpenter, D. 1986. Marine remote sensing. Pages 50 - 57 in: *The application of digital remote sensing techniques in coral reef, oceanographic and estuarine studies*. UNESCO: Townsville, Australia.
- Chuvieco, E. 1990. Fundamentos de teledetección espacial. RIALP,s.a . Madrid. 453 p.
- De la Cruz, G.,E. Martínez y R. Muñoz. 1993. Propuesta de zonificación del Arrecife Alacranes, Yucatán. CINVESTAV. Unpubl. Ms.
- De la Cruz, G.,E. Martínez y R. Muñoz. 1993. Propuesta para decretar al Arrecife Alacranes, Yucatán como Reservado de la Biosfera., CINVESTAV, Unpubl. Ms.
- Diario Oficial de la Federación, Junio 1994. 73 - 77.
- Digby P. and R. Kempton, 1987. *Multivariate analysis of ecological communities*. Chapman and Hall. London.
- Dobson, J. , E. Bright, R. Ferguson, D. Field, L. Wood, K. Haddad, H. Iredale, J. Jensen, V. Klemas, R. Orth and J. Thomas. 1995. NOAA Coastal Change Analysis Program (C-CAP) : Guidance for Regional Implementation. NOAA Technical Report NMFS 123., USA. 92 p.
- Done, T. 1977. A comparison of units of cover in ecological classifications of coral communities. Pages 9 - 14 in: Proc. 3rd Int. Coral Reef Symposium Miami, USA.
- Done, T. 1981. Rapid, large area, reef resource surveys using a manta board. Pages 299 - 308 in: Proc. 4th International coral reef symposium. Manila, Philippines.
- Finkl, C.W. and G. W. 1993. Delineation and distribution of nearshore reefs in subtropical southeast Florida coastal environments using Thematic

- Mapper imagery. in MTS 93. Long Beach, California.
- Flores, J.S. 1984. Dinámica de emersión del suelo y sucesión de la vegetación en el Arrecife Alacranes del Canal de Yucatán. *Biotica* 9:41 - 63.
- Folk, R. and R. Robles. 1964. Carbonate sands of Isla Perz, Alacran Reef Complex, Yucatan. *The Journal of Geology* 72: 255 - 292..
- Green E.P., A.J. Edwards. and C.D. Clark. 1996. A review of remote sensing for assessment and management of tropical coastal resources. *Coastal management* 24:1- 40.
- Hardy, J.T., F.E. Hoge, J.K. Yungel, R.E. Dodge. 1992. Remote detection of "bleaching" using pulsed - laser fluorescence spectroscopy. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 88:247 - 255.
- Hoskin C. 1966. Coral pinnacle sedimentation, Alacran Reef Lagoon, Mexico. *Journal of Sedimentary Petrology* 36:1058 - 1074.
- Human P. 1994. *Reef Coral Identification*. New Wold Publications, Inc., Florida.
- Jingman, R., C. Braak and O. van Tangeren. 1987. Data analysis in community and Landscape ecology. Pudoc Wageningen.
- Jones O. and R. Endean. 1977. *Biology and Geology of coral reefs. Vol. I*. New York.
- Jones O. and R. Endean. 1977. *Biology and Geology of coral reefs. Vol. IV*. New York.
- Jupp, D. 1986. The physical basis for remote sensing of coastal waters by Landsat. Pages 24 - 35 in: *The application of digital remote sensing techniques in coral reef, oceanographic and estuarine studies*. UNESCO: Townsville, Australia..
- Jupp, D. 1986. Review of applications. In: *The application of digital remote sensing techniques in coral reef, oceanographic and estuarine studies*. UNESCO, Editor., UNESCO: Townsville, Australia.
- Jupp D.L.B., K.K.Mayo, S.W. Kendall, J.R. Bolton and B.A. Harrison. 1985. *The BRIAN Handbook*. Institute of biological resources 3:1 - 44. Commonwealth Scientific and Industrial research organization. Australia: Natural resources series, division of water and land resources.
- Kennington, R. 1978. Visual surveys of large areas of coral reefs Pages 149 - 161 in: Stoddart, D., R. Johannes (eds.) *Coral Reefs Research Methods*. UNESCO, Paris.
- Kornicker L. and D. Boyd. 1962. Shallow-water Geology and environments of Alacran Reef Complex, Campeche Bank, Mexico. *Bull. Am. Asoc. P. Geol.* 46:640 - 673.
- Kornicker L., F. Bonet, R. Cann and C. Hoskin. Alacran Reef, Campeche Bank, Mexico.
- Kuchler, D. 1986. Verification of Landsat MSS data on Heron Reef. Pages 43 -

- 49 in: The application of digital remote sensing techniques in coral reef, oceanographic and estuarine studies. UNESCO: Townsville, Australia.
- Lillesand T.M. and R.W. Kiefer. 1979 Remote sensing and image interpretation.. U.S.A. 612 p.
- Mumby, P., P. Raines, D. Gray and J. Gibson. 1995. Geographic Information Systems: A tool for Integrated Coastal Zone Management in Belize. *Coastal Management*. **23**:111 - 121.
- Pirazzoli, P.A. 1985. Bathymetric mapping of coral reefs and atolls from satellite. In: 5th International Coral Reef Congress, Tahiti.
- Rogers C., G. Garrison, R. Grober, Z. Hillis and M. Franke. 1994. Coral Reef Monitoring Manual for the Caribbean and Western Atlantic. Virgin Island National Park.
- Simonett, D. 1983. *Manual of remote sensing*. American Society of Photogrammetry. USA.
- Sorokin Y. 1993. *Coral Reef Ecology*. Springer - Verlag. Berlin.
- Stoffle, R., D. Halmo, T. Wagner and J. Luczkovich. 1994. Reefs from Space: Satellite Imagery, Marine Ecology, and Ethnography in the Dominican Republic. *Human Ecology* **22**:355 - 378.