

## Optimización de una red de estaciones marinas para monitoreo en una bahía de bolsa

### Optimization of a net of marine stations for monitoring in a bag bay

Gustavo Arencibia,<sup>1</sup> Norberto Capetillo,<sup>1</sup> Mayra Castro<sup>1</sup> y Alfredo Ortega<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Centro de Investigaciones Pesqueras, 5ta. Ave. y calle 246, Santa Fe, Playa, La Habana, Cuba, CP: 19100, Teléfono: (537) 209-7107, E-mail: garen04@gmail.com

<sup>2</sup> Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, Mar Bermejo 195. Col. Playa Palo de Santa Rita, La Paz, B.C.S., México.

#### RESUMEN

Las redes de estaciones de monitoreo o muestreos empleadas en estudios ambientales dentro de amplios ecosistemas marinos, como extensas bahías de bolsa, ocasionan enormes gastos económicos y de tiempo en las campañas de muestreo, además de imprecisiones estadísticas que no las hacen representativas. En este trabajo se emplean una serie de criterios que dan basamento para la recomendación de una nueva red de estaciones a partir de estudios previos de metales pesados, hidrocarburos, pesticidas y del bentos, los cuales permiten elaborar una red de monitoreo óptima. Se tuvieron en cuenta criterios diferentes y pruebas estadísticas de análisis multivariado. La red propuesta para estudios de indicadores biológicos del bentos y contaminantes en sedimentos queda con siete estaciones.

*Palabras clave:* análisis multivariado, sedimentos, bentos, metales pesados, hidrocarburos, pesticidas, diseño de redes de monitoreo.

#### ABSTRACT

The sampling station networks used in environmental studies within large marine ecosystems, and cause large bays bag huge financial and time costs in the sampling campaigns, in addition to statistical uncertainties are not representative. This paper uses a set of criteria that give foundation for the recommendation of a new network of stations from previous studies of heavy metals, hydrocarbons, pesticides and the benthos, since they allow an optimal monitoring network. It took into account different criteria and multivariate statistical tests. The proposed network for studies of biological indicators of contaminants in sediment benthos and left with seven stations, one of them considered as references for their environmental quality.

*Keywords:* Multi-variety Analysis, sediments, benthos, heavy metals, hydrocarbon, pesticides, monitoring network design.

## INTRODUCCIÓN

Las preocupaciones económicas asociadas a las investigaciones ambientales son un problema actual en todo estudio de campo, además de la importancia de brindar resultados fiables y rápidos para la toma de decisiones en las zonas costeras o cualquier cuerpo de agua (Moreno Tovar *et al.*, 2008).

Se piensa en general en que los estudios ambientales son fáciles desde el punto de vista de muestreo, lo cual es algo erróneo (Alcolado, 2002) y es necesario para

detectar cambios que los resultados estén estadística y geoespacialmente sustentados, de aquí la imprescindible tarea de tener una red de estaciones correctamente diseñada y lo más representativa posible, sobre la base de múltiples criterios, como recursos, objetivos de las investigaciones, diseño, frecuencia de muestreo, número de estaciones, etcétera.

Está claro en la literatura que el diseño de una red de estaciones de muestreo para detectar cambios o características de la calidad de agua en un río (Moreno Tovar *et al.*, 2008), no necesariamente debe responder a similares criterios que la diseñada para estudios de

sedimentos en una bahía o en una zona litoral, por eso será necesario considerar las características de la región de estudio, variabilidad y fortaleza de los parámetros a medir, frecuencia, estructura espacial de la red, etc. (Moreno Tovar *et al.*, 2008; Dubois, 2010).

Existe un conjunto de métodos (Clack & Evans, 1954; Mandelbrot, 1982; Morisita, 1959) los cuales, cada uno por separado con diferentes criterios estadísticos analizan la influencia de los esquemas o redes de muestreo, dado que esta distribución y los niveles de irregularidades de las mismas afectan las estadísticas de los resultados, no obstante, su aplicación en todos estos casos no es absoluta y deja aspectos importantes sin debatir, que dependen de los casos particulares donde se apliquen.

El problema de trabajar con redes de muestreo representativas en su cantidad y distribución espacial para un área geográfica, ha sido un tema discutido por los investigadores desde hace varias décadas (Clack & Evans, 1954; Mandelbrot, 1982; Morisita, 1959; Doswell III & Lasher-Trapp, 1997).

Sucede que la red se configura *a priori* sin tener en ocasiones un objetivo preciso de variables de muestreo, como puede ser algunos contaminantes que deben buscarse por preferencia en lugares de sustratos finos que son excelentes trampas para estos compuestos y permiten su determinación óptima. Por lo que el sustrato del fondo o mapa de biotopo es

un factor a tener en cuenta al momento de conformar opiniones para el diseño de la red de muestreo.

El enfoque aquí expuesto, permite se efectuó un análisis complejo de la información disponible, basándose en un mayor número de variables al mismo tiempo (Fernández, 2001), por lo que el objetivo de este artículo es presentar un análisis para la optimización de una red de 39 estaciones empleadas para muestreo durante más de una década de investigaciones en una bahía de bolsa y hacer una propuesta de red de estaciones optimizada.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio: la Bahía de Nipe está ubicada en la costa nororiental de Cuba, provincia de Holguín, a los 20° 50' de latitud norte y los 75° 40' de longitud oeste (Fig. 1). Está considerada una importante bahía de bolsa por sus dimensiones (220 km<sup>2</sup>) y profundidades que oscilan entre 9 y 25 m, el canal de entrada presenta profundidades de hasta 70 m (Beltrán & Palacios, 1993). Se ha calculado para este acuatorio un volumen de agua de 1 700 millones de metros cúbicos que se recambia en un tiempo estimado de aproximadamente 15 días promedio, para una tasa media diaria de recambio del 10 %.



Fig. 1. Ubicación del área de estudio.

Para poder elaborar de la red de estaciones (Fig. 2) se tuvo en consideración los criterios: estadísticos, económicos, principales fuentes de contaminación (Arencibia *et al.*, 2002), geográficos y de expertos.

Además se emplearon datos de investigación de Beltrán & Palacios (1993), Arcencibia *et al.* (2002), Martín *et al.* (2002), Capetillo *et al.* (2006), Arcencibia (2005) y Arcencibia *et al.* (2005), los cuales constituyen una base sólida de información primaria para la toma de decisión.

A partir de los datos primarios recabados, se generó una matriz de 500 observaciones de las variables; metales

pesados, insecticidas e hidrocarburos totales, todas fueron determinaciones en sedimentos.

La matriz fue normalizada mediante la transformación de raíz cuadrada y posteriormente se aplicó una matriz de Bray-Curtis por similitud (Bray & Curtis, 1957). Se aplicaron procedimientos de análisis multivariado (Castillo *et al.*, 1997) y los niveles para la prueba estadística son el 90 y 95 % del porcentaje de agrupamiento como respuesta a la matriz propuesta. También se compiló e interpretó para la matriz, la información referente a la caracterización biológica del bentos (Capetillo *et al.*, 2006).

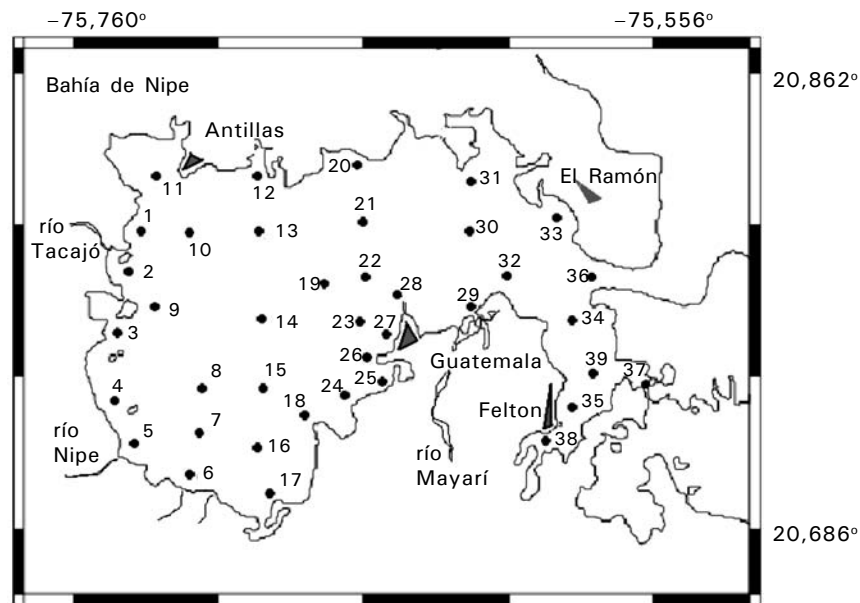


Fig. 2. Red de estaciones primaria, sin optimizar.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El monitoreo se ha definido como la observación repetitiva de los fenómenos dentro de un marco predefinido de tiempo y espacio (Alcolado, 2002; Rogers, 1994) y los trabajos más recientes dedican gran parte del esfuerzo a establecer el grado de deterioro de los ecosistemas y las tendencias de los problemas ambientales, sobre la base de amplias y densas redes de estaciones en los sistemas más diversos, pero es necesario poder definir una optimización en el muestreo, no solo por el tiempo y la economía sino por la calidad de los resultados para poder integrar de manera razonable la mejor respuesta a los cambios que están ocurriendo o aquellos que son de interés para nuestro estudio. La red de muestreo es más sostenible y representativa, cuando muestra el número de estaciones imprescindibles para el muestreo y se define sobre criterios estadísticos, geográficos, climáticos, ambientales, etcétera.

Por otra parte los sedimentos constituyen una matriz de estudio válida y altamente replicable (González *et al.*, 1997, Carballo *et al.*, 2010) por la permanencia y valor de los resultados en el tiempo por encima de los muestreos en agua, que requieren un diseño de muestreo muy riguroso y de alta frecuencia.

Si bien se han empleado diferentes metodologías para la recomendación de red de monitoreo, básicamente

hemos establecido un conjunto de criterios o sistema jerárquico, similares a los que se emplean en la actualidad. Este método empleado en el presente trabajo, permite una lógica retroalimentación en el proceso de análisis y síntesis de la información recogida en distintas escalas (temporales, variables químicas y biológicas).

Mediante el uso del análisis de cluster aplicado a la matriz de datos por media de grupos obtenido (Fig. 3) se pudo obtener un resultado por grupo de estaciones según la información procesada para el espacios que ocupa la red (220 km<sup>2</sup>) y considerando un nivel porcentual del 95 % se obtienen cinco grupos definidos de estaciones que por su ubicación geográfica son dadas a la definición de un punto de muestreo para cada grupo. Estos grupos (I, II, III, IV y V) se pueden observar en la figura 3.

Así tenemos que de los cinco grupos podemos tomar un punto para cada región según su ubicación y en los casos como los grupos divididos geográficamente, tomar uno que sea lo más representativo acorde con los vertimientos, poblados presentes y biotopos. Por lo que nuestro primer intento queda como se muestra en la figura 4, donde encontramos dos estaciones más (29 y 38) elegidas por criterio de expertos y por los niveles de contaminantes que presentaron. La figura 5 muestra las estaciones elegidas por grupo según los criterios mencionados.

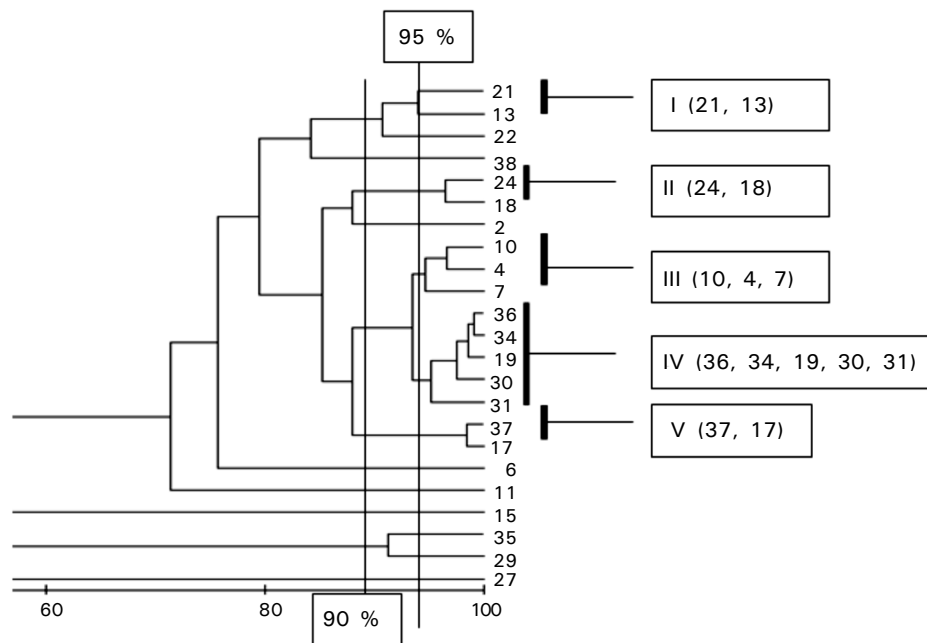


Fig. 3. Dendrograma de análisis cluster para los valores por estaciones de la bahía vs. porcentaje de similitud.

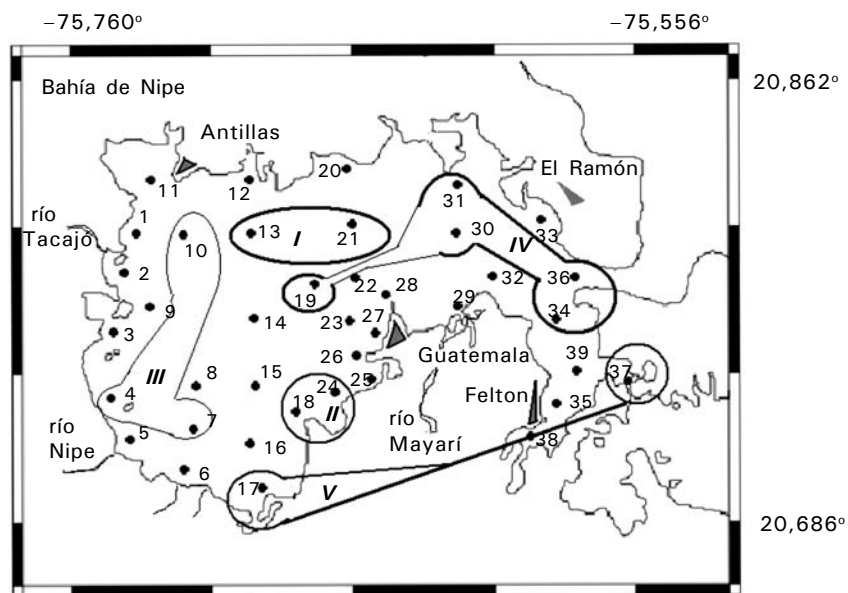


Fig. 4. Grupos formados por estaciones de más de 95 % de similitud según el cluster.

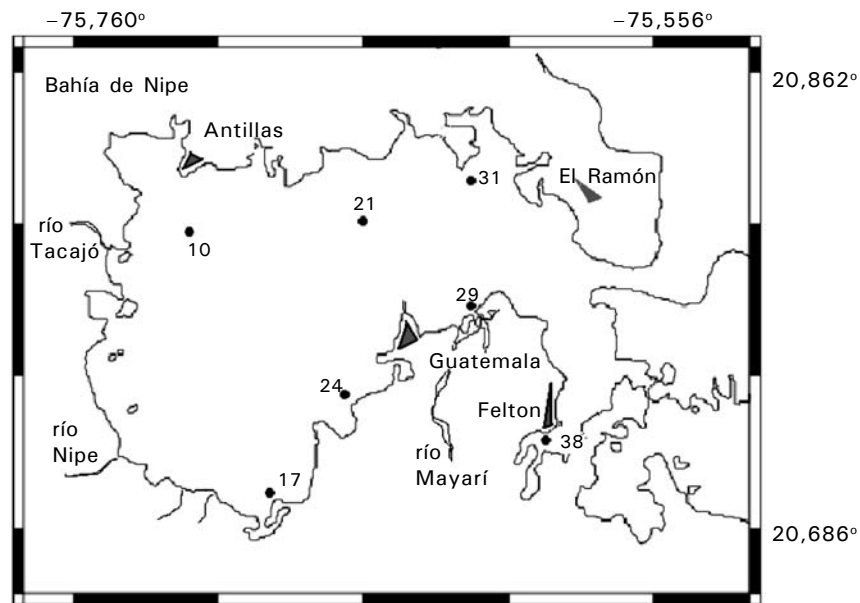


Fig. 5. Red propuesta para estudios ambientales en la Bahía de Nipe.

La séptima estación (38) fue considerada como importante dada su posición y valores de contaminación que presenta por las investigaciones anteriores.

El área central de la bahía es un área de muy poca vegetación y baja densidad de organismos por lo que no

es a nuestro criterio un punto de referencia importante a monitorear para observar cambios por impactos. Estas siete estaciones presentan una densidad por área de estación de 31,4 km<sup>2</sup>. La georeferenciación de esta nueva red de estaciones se presenta en la TABLA 1.

TABLA 1. Localización de las estaciones propuestas para monitoreo de sedimentos marinos superficiales en la bahía

Nuevas estaciones	Antigua estación	Latitud	Longitud
1	10	20° 48' 06,97" N	75° 44' 22,61" W
2	17	20° 41' 58,50" N	75° 42' 26,30" W
3	21	20° 48' 16,03" N	75° 39' 40,46" W
4	24	20° 44' 07,85" N	75° 40' 42,70" W
5	29	20° 46' 19,65" N	75° 37' 44,32" W
6	31	20° 49' 29,73" N	75° 37' 16,56" W
7	38	20° 42' 52,96" N	75° 36' 24,26" W

Es indudable que existe una acción ambiental importante sobre la población, pero se desconoce la forma de actuar o incidir y la escala (interanual, quincenal, decadal, etcétera).

Los criterios aquí discutidos presentan cierto valor de extrapolación a cuerpos de agua muestreados durante un mínimo de años, información de valor y la forma geográfica de la región que es semicerrada. Otros ecosistemas como estuarios, franjas costeras paralelas

a la costa o áreas marinas abiertas, deberán asumir definiciones y consideraciones diferentes y acorde con la dinámica de las áreas objeto de estudio.

Algunos trabajos ubican la red de estaciones según un diseño estratificado respecto a la profundidad (Gutiérrez Galindo *et al.*, 2007) y que fue descrito por Steven (1977), otros consideran la ubicación solo relativa a la ubicación geográfica y su relación con el desarrollo urbano rural, que no siempre resulta importante en

comparación con la ecología y los fondos del ecosistema y el tipo de variable a cuantificar.

## CONCLUSIONES

La red de estaciones optimizada y propuesta debe brindar resultados más representativos para muestreos en sedimentos superficiales, tanto de parámetros abióticos como bióticos en busca de cambios espaciales de las comunidades bentónicas o de impactos de contaminantes en la composición de los sedimentos, con objetivos de monitoreo.

La creación y análisis de una red de estaciones de monitoreo o investigación debe tener en cuenta e incluir factores multiespecíficos como criterios estadísticos, espaciales, geomorfológicos, tipo de parámetros, etc. Los cuales deben brindar una red de representatividad y los criterios aquí usados y el empleo de cluster pueden ofrecer buenos resultados en este propósito.

## REFERENCIAS

- Alcolado, P. M. (2002, junio). Monitoreo Biológico Marino. Conferencia presentada en el VIII Taller de la Cátedra de Medio Ambiente. La Habana, Cuba.
- Arencibia, G., Orta-Arrazcaeta, I., Capetillo, N., Pérez, I., Hernández, R., Gardner, S. C. *et al.* (2005). Organochlorine Insecticide Residues in Nipe Bay, Cuba. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 75 (2), 112-117.
- Arencibia, G., Isla, M., Capetillo, N., Almira, I. & Castillo, D. (2002). Pollution sources of the Nipe Bay, Cuba. *Fopcana*, 1 (2), 42-50.
- Arencibia, G. (2005). Contaminación e impacto ambiental en Bahía de Nipe, Cuba: recomendaciones para su manejo. Tesis de Doctor en Ciencias en el Uso, Manejo y Preservación de los Recursos Naturales (Ecología).
- Beltrán, J. & Palacios, F. (1993). Manejo Ambiental de la Bahía de Nipe. Informe Final. La Habana: CIMAB.
- Bray, J. R. & Curtis, J. T. (1957). An ordination of upland forest communities of southern Wisconsin. *Ecological Monographs*, 27, 325-349.
- Capetillo, N., Arencibia, G., Armenteros, M., Pérez, I., Cuervo, Z. & González, G. (2006). Estructura de las comunidades del meiobentos en relación con la contaminación por metales pesados en la Bahía de Nipe, Cuba. *Revista Cubana de Investigaciones Pesqueras*, 1 (24), 10-14.
- Carballo, O., Arencibia, G., Concepción, J. & Isla, M. (2010). Los bioensayos de toxicidad en sedimentos marinos. *RETEL, Revista de Toxicología* en línea <http://www.sertox.com.ar/retel/default.htm>
- Castillo, W., González, J., Rodríguez, O. & Trejos, J. (1997). Fundamentos de Análisis Multivariado de Datos. Programa de Investigación en Modelos y Análisis de Datos. Centro de Investigaciones en Matemáticas Pura y Aplicada, Escuela de Matemáticas, Universidad de Costa Rica.
- Clack, P. J. & Evans, F. C. (1954). Distance to nearest neighbor as a measure of spatial relationships in populations. *Ecology*, 35, 445-453.
- Doswell III, C. A. & Lasher-Trapp, S. (1997). On measuring the degree of irregularity in an observing network. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 14, 120-132.
- Dubois, G. (2010). How representative are samples in a sampling network? *Journal of Geographic Information and Decision Analysis*, 1 (4), 1-10. [http://publish.uwo.ca/~jmalczew/gida\\_7/Dubois/Dubois.htm](http://publish.uwo.ca/~jmalczew/gida_7/Dubois/Dubois.htm)
- Fernández, F. J. (2001). El uso del análisis multivariado en Antropología, *Boletín Antropológico. Año 20*, 51 (1), 5-18.
- González, H., Ramírez, M. & Torres, I. (1997). Impact of nickel mining and metallurgical activities on the distribution of heavy metals in sediments of Levisa, Carbonico and Nipe Bays, Cuba. *Environmental Geochemistry and Health*, 19 (2), 57-62.
- Gutiérrez Galindo, E. A., Casas, D. A., Muñoz, A., Macías, J. V., Segovia, J. A. & Orozco, M. V. (2007). Spatial distribution and enrichment of mercury in surface sediments off the northwest coast of Baja California, Mexico. *Ciencias Marinas*, 33 (4), 473-482.
- Mandelbrot, B. B. (1982). The fractal geometry of nature. W.H. Freeman & Company (Ed.).
- Martín, A., Arencibia, G., García, O., Ruiz, F., Pérez, I., Tur, A. *et al.* (2002). Control y diagnóstico de la calidad ambiental del ecosistema Bahía de Nipe. Informe Final (70 pp.). La Habana: CIMAB.
- Moreno Tovar, A. A., Toro, M. & Carvajal, L. F. (2008). Revisión de criterios y metodologías de diseño para el monitoreo de la calidad del agua en ríos. *Avances en Recursos Hidráulicos*, 18, 57-68.
- Morisita, M. (1959). Measuring the dispersion and the analysis of distribution patterns. *Memoires of the Faculty of Science, Kyushu University, Series E. Biology*, 2, 215-235.
- Rogers, C. S. (1994). Coral reef monitoring manual for the Caribbean and Western Atlantic. National Park Service, Virgin Islands National Park.
- Steven, D. L. (1977). Variable density grid-based sampling designs for continuous spatial population. *Environmetric*, 8, 167-195.