

## CARACTERIZACIÓN ESPACIAL DE VARIABLES FISICOQUÍMICAS EN CIÉNAGA DE LAS QUINTAS UBICADA EN CARTAGENA, COLOMBIA

DAIRA LUZ VELANDIA<sup>1</sup>, ILIANA MARÍA PATERNINA<sup>2</sup>, ALESSANDRA FARIÑAS<sup>3</sup>  
Y JUAN CARLOS VALDELAMAR<sup>4</sup>

<sup>1</sup> *Docente. Facultad de Ciencias Básicas. Universidad Tecnológica de Bolívar. Cartagena-Colombia. Estudiante de doctorado. Departamento de Estadística. Universidad de Valparaíso. Valparaíso-Chile*

<sup>2</sup> *Docente Cátedra. Facultad de Ciencias Básicas. Universidad Tecnológica de Bolívar. Cartagena-Colombia*

<sup>3</sup> *Estudiante de doctorado. Departamento de Estadística. Universidad de Valparaíso. Valparaíso-Chile*

<sup>4</sup> *Docente Investigador. Fundación Universitaria Tecnológico Comfenalco. Cartagena-Colombia*

dairavm@gmail.com

alessach@gmail.com

### RESUMEN

Con el propósito de caracterizar el comportamiento espacial de algunas variables fisicoquímicas en la ciénaga de las Quintas de Cartagena, Caribe Colombiano, se efectuaron jornadas de muestreo, en el que se obtuvieron observaciones que posteriormente fueron analizadas mediante técnicas geoestadísticas. Se evaluó la estructura de correlación espacial de las variables mediante la construcción de semivariogramas experimentales, se aplicó la técnica de kriging con el fin de predecir valores de las variables en lugares no muestreados y se planteó un modelo donde se evidenciara el efecto de las variables fisicoquímicas medidas con la calidad del agua (oxígeno disuelto). Las variables salinidad y conductividad presentaron un comportamiento homogéneo a lo largo de la ciénaga, mientras que para el oxígeno disuelto y la transparencia el comportamiento fue heterogéneo, mostrándose un gradiente de distribución en sentido creciente desde el mercado de Bazurto hacia la Bahía de Cartagena, lo cual pone en evidencia la influencia de las actividades antrópicas que se desarrolla en este sector, sobre las condiciones ambientales de este humedal.

**Palabras claves:** mapas de distribución, kriging, correlación espacial, semivariogramas.

### Introducción

La heterogeneidad espacial que se presenta en los ecosistemas, es una característica que ha sido reconocida desde el comienzo del desarrollo de la misma ecología, sin embargo la cuantificación del grado y escala espacial que se presentan en algunos hábitats o conjunto de variables biológicas, ecológicas o físicas no había sido necesario hallarlas debido a que a simple vista esta heterogeneidad era percibida, prediciéndose el comportamiento espacial de las mismas de manera visual (Gallardo 2006). El tratamiento geoestadístico de datos ambientales, es una labor que tiene sus fundamentos en la naturaleza de dependencia espacial implícita que hay dentro de este tipo de datos permitiendo describir la continuidad espacial de fenómenos naturales (Morai 2004). Hoy en día ya se poseen muchas de estas herramientas, bien estructuradas y de fácil utilización impulsado también por el desarrollo de los sistemas de Información geográfica (SIG), cuyo avance ha hecho posible la visualización

y manipulación relativamente sencilla de datos georeferenciados (Gámez-Martínez *et al* 2000).

En Colombia se han adelantado varias Investigaciones de estudios medioambientales que evidencian el uso de las herramientas geoestadísticas con el fin de encontrar patrones que relacionen la ubicación geográfica de las variables de interés y la presencia y/o ausencia de las mismas (Giraldo *et al* 2000, Mejía *et al* 2007).

### **Métodos**

El conjunto de datos utilizados en el presente análisis fue tomado en la ciénaga las Quintas, ubicada al suroccidente de la ciudad de Cartagena de Indias, el 1 de mayo del año 2012. Los datos recolectados a nivel superficial de la ciénaga, corresponden a las variables físico-químicas oxígeno disuelto (mg/l), pH, temperatura (°C), conductividad (mS/cm), sólidos totales disueltos (mg/l) y salinidad (ppm); estas variables se midieron con ayuda de un multiparámetro Hanna HI 9828. Igualmente en cada uno de los 103 puntos muestreados, se registró la profundidad (cm) y transparencia (cm) con ayuda de un disco Secchi, siguiendo la metodología propuesta por Rueda-Delgado (2002). Las coordenadas geográficas de cada punto se registraron mediante el GPS Garmin eTrex Vista. Posterior al registro de las variables, los datos obtenidos se tabularon en hojas electrónicas del programa computacional Excel de Microsoft, para luego procesarlos mediante el paquete estadístico R; a través del cual se generaron análisis exploratorios de los datos, identificación de tendencias y características de las variables de interés que pudieran, de alguna manera, evidenciar un comportamiento global en el sistema, seguidamente para la descripción de la estructura espacial, se realizaron los semivariogramas experimentales buscando el modelo de mejor ajuste (Cressie 1991, Mancera-Pineda *et al* 2003). Finalmente, con las variables que evidenciaron estructura de correlación espacial, se aplicó la técnica de kriging adecuada (Stein 1999), cuyos resultados se usaron como soporte para elaborar los mapas de distribución, que proporcionaron evidencias del comportamiento espacial de las variables medidas.

### **Resultados**

En el resumen estadístico realizado se observó que las variables pH, temperatura, conductividad, sólidos totales disueltos y salinidad presentan un coeficiente de variación relativamente bajo, evidenciando un comportamiento homogéneo en el sistema, contrario a ello las variables profundidad, transparencia y oxígeno disuelto reflejan una mayor variación, indicando heterogeneidad en el comportamiento de las mismas.

Las variables conductividad y salinidad respecto a las coordenadas geográficas de latitud y longitud muestran una menor tendencia a lo largo de las direcciones lo que da indicación de que sus valores promedio pueden mantenerse constantes en el sistema.

Los dispersogramas rezagados se construyeron para las variables que evidenciaron una mayor heterogeneidad a lo largo del cuerpo de agua y relevantes para la caracterización del mismo. Estos dispersogramas mostraron un mayor coeficiente de correlación lineal  $r$ , a distancias de 0 a 10 m, siendo la transparencia y el oxígeno disuelto los de mayor magnitud. Lo anterior permite prever los resultados del cálculo de los semivariogramas experimentales y así mismo proporcionar las variables de mayor relevancia en el momento de establecer el comportamiento espacial en el sistema.

Se seleccionaron las variables, transparencia, oxígeno disuelto y sólidos totales disueltos por su importancia en la caracterización del sistema, y teniendo en cuenta los resultados antes mencionados. Los semivariogramas experimentales sugieren una estructura de dependencia espacial, debido a que la semivarianza no se mantiene constante a medida que la distancia varía. Además, los modelos ajustados son acotados garantizando que la varianza de los incrementos es finita (Samper & Carrera 1990, Blau *et al* 1997 citado en Giraldo *et al* 2000). Los rangos obtenidos indican una fuerte estructura de correlación espacial para distancias próximas a los 7m, considerando tan sólo las variables

transparencia, oxígeno disuelto y sólidos totales disueltos, y justo estas tres son las que presentan el mayor porcentaje de varianza explicada por el espacio (Gallardo 2006), de manera que estas variables son relevantes para caracterizar a nivel espacial el sistema.

Finalmente, la técnica de kriging pudo ser usada debido a la presencia de estructuras de correlación espacial, y por ser los modelos ajustados acotados se puede afirmar que las variables transparencia, oxígeno disuelto y sólidos totales disueltos cumplen con el supuesto de estacionariedad fuerte (Blau et al 1997 citado en Giraldo 2009), los resultados de la interpolación espacial, se muestran en los mapas de distribución espacial de las variables seleccionadas los cuales muestran una clara tendencia en el espacio.

### **Bibliografía**

- BIAU, G., E. ZORITA, H. STORCH & H. WACKERNAGEL. 1997. Estimation of Precipitation by Kriging in EOF Space of the Sea Level Pressure Field. *Journal of climate* 12:1070-1085.
- CRESSIE, N. 1991. *Statistics for Spatial Data*. John Wiley & Sons, Iowa. 990p.
- GÁMEZ-MARTÍNEZ, M., J. MONTERO-LORENZO & N. GARCÍA-RUBIO. 2000. Kriging methodology for regional economic analysis: Estimating the housing price in Albacete. *International advances in economic research* 6: 438-450.
- GIRALDO, R., W. TRONCOSO, J. MANCERA & N. MÉNDEZ. 2000. Geoestadística: una herramienta para la modelación en estuarios. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales XXIV*: 59-72.
- MEJÍA-RIVERA, O., T. BETANCUR-VARGAS & L. LONDOÑO-CIRO. 2007. Aplicación de técnicas geoestadísticas en la hidrogeología del bajo Cauca antioqueño. *Revista Dyna* 74: 137-149.
- SAMPER, F. & J. CARRERA. 1990. *Geoestadística: Aplicaciones a la hidrología subterránea*. Universidad Politécnica de Catalunya, Barcelona. 484p.
- STEIN, M. 1999. *Interpolation of spatial data: some theory for kriging*. Springer. New York. 257p.