

# SLD226 EMPLEO DE HERRAMIENTAS ESTADÍSTICAS INFORMÁTICAS MULTIVARIADAS EN EL MONITOREO DEL RÍO ALMENDARES

## SLD226 EMPLOYMENT OF MULTIVARIATE STATISTICALS-COMPUTED TOOLS IN ALMENDARES'S RIVER MONITORING

Yunier Arpañón Peña<sup>1</sup>, Nidia Rojas Hernández<sup>2</sup>, Mayra Heydrich Pérez<sup>2</sup>, Daisy Lugo Moya<sup>2</sup>

1 Facultad de Estomatología "Raúl González Sánchez", Cuba, yunierar@infomed.sld.cu, Ave. Salvador Allende y G, Vedado, Plaza de la Revolución, La Habana, Cuba. CP: 10600. Telf: (53-7) 878-3886

2 Laboratorio de Ecología de los Ecosistemas Acuáticos, Facultad de Biología, Universidad de La Habana, Cuba, mayra@fbio.uh.cu

**RESUMEN:** El estado de los ecosistemas acuáticos constituye un determinante de salud muy importante y en nuestro país los análisis de las variables que influyen sobre estos se han realizado mediante Análisis de Clasificación Simple, donde se observan dichos parámetros por separado y luego se integran, lo cual implica demoras en dar conclusiones sobre el estado de estos ecosistemas. Es por ello que nos propusimos valorar el empleo de los Análisis de Componentes Principales (ACP) y de Clústeres (AC) durante el monitoreo del agua del río Almendares como herramienta estadística rápida, segura e integradora en la caracterización de la calidad de este y que sea aplicable a otros ecosistemas. Se llevó a cabo un estudio experimental donde se determinaron las concentraciones de parámetros oximétricos, nutrientes inorgánicos, cadmio, plomo y bacterias totales en muestras de agua obtenidas en nueve estaciones de muestreo localizadas en el río Almendares y sus tres afluentes principales. Mediante el ACP se pudo analizar en interacción diez variables a la vez, obteniéndose bajos contenidos de oxígeno disuelto y altas concentraciones de materia orgánica, nitritos, amonio, fosfatos, cadmio, plomo y bacterias totales en la mayoría de las estaciones. A partir del AC se evidenció que existe una estratificación de los puntos de muestreo en tres grupos según las concentraciones de los parámetros analizados. Los análisis multivariados son herramientas estadísticas muy importantes en el monitoreo y vigilancia de los factores que afectan a los ecosistemas dulceacuícolas.

**Palabras Clave:** Determinantes de la salud, Análisis de componentes principales, Factores ambientales

**ABSTRACT:** The state of the aquatic ecosystems constitutes a very important determinant of health and in our country the analyses of the variables that influence on these have been carried out by means of Simple Classification Analysis, where those parameters are observed for separate and later they are integrated, that which implies delays in giving summations on the state of these ecosystems. We intended as objective to value the employment of the principal component analysis (PCA) and clusters analysis (CA) during the monitoring of the Almendares's river water, as quick, sure and integrative tool in the characterization of the quality of this and and it can be applicable to other ecosystems. It was carried out an experimental study where we determined the concentrations of oxymetric parameters, inorganic nutrients, cadmium, lead and total bacteria in water samples coming from nine sampling stations located in Almendares river and their three main tributaries. By means of the PCA it was analyzed at the same time ten variables in interaction, being obtained low content of dissolved oxygen and high concentrations of organic matter, nitrites, ammonium, phosphates, cadmium, lead and total bacteria in most of the stations. Starting from CA it was obtained that a stratification exists, in three groups, of the sampling points according to the concentrations of the analyzed parameters. The Multivariate Analysis are very important statistical tools in the monitoring and surveillance of the factors that affect to the freshwater ecosystems.

**Key Words:** Health determinants, Principal components analysis, Environmental factors

"IX Congreso Internacional de Informática en Salud 2013"

## 1. INTRODUCCIÓN

La protección ambiental y la reducción de los efectos nocivos del ambiente en la salud se han convertido en requisitos inseparables de los esfuerzos para construir un proceso efectivo y sostenido de desarrollo económico y social. La salud ambiental está relacionada con todos los factores físicos, químicos y biológicos externos de una persona, o sea, que engloba factores ambientales que podrían incidir en la salud y se basa en la prevención de las enfermedades y en la creación de ambientes propicios para la salud [1], [2].

Por tanto, es muy importante realizar la caracterización adecuada tanto del aire como de los ecosistemas acuáticos de los cuales depende la población y así poder tener una inferencia del estado de salud de los habitantes, sin olvidar la vigilancia periódica de los factores nocivos para el medio ambiente y por ende de la salud humana [1].

En el caso de los ecosistemas acuáticos se tienen que monitorear parámetros físico-químicos (temperatura, salinidad, pH, sólidos suspendidos, nutrientes inorgánicos, materia orgánica) y microbiológicos (bacterias totales, coliformes totales, coliformes termotolerantes, colifagos, parásitos) que pueden afectar la calidad del agua y que atentan contra la salud de los habitantes que utilizan este recurso de una forma u otra (consumo, pesca, agricultura, recreación) [3]- [5].

Al monitorear los distintos ecosistemas acuáticos se generan matrices de datos muy grandes y complejas, que son muy difíciles de interpretar y poder dar conclusiones satisfactorias. Es por ello que el empleo de diferentes métodos estadísticos multivariados, tales como: Análisis de Clústeres (AC), Análisis de Componentes Principales (ACP), Análisis de Factores (AF) y Análisis Discriminante (AD), ayudan a analizar dichas matrices de datos complejas para un mejor entendimiento de la calidad del agua y del estado ecológico de la región en estudio [6].

Aunque los Análisis Multivariados (AM) están bien descritos en la literatura científica como herramientas muy eficaces en estudios ecológicos exploratorios, [6] en nuestro país se continúan utilizando los análisis de varianza (ANOVA) de clasificación simple, donde el número de variables a interactuar es reducido (dos) [7].

Entre los AM el más popular en las ciencias de la salud es el ACP, en el cual la complejidad de las variables se reducen en matrices de varianza-covarianza o de correlación, pudiéndose interpretar a la vez la interacción de más de 20 parámetros a la vez [6].

El ACP es un método estadístico que se basa en la representación de las medidas numéricas de varias variables en un espacio de pocas dimensiones en el cual se pueden percibir relaciones que de otra manera permanecerían ocultas en dimensiones superiores. Dicha representación debe ser tal que al desechar dimensiones superiores (generalmente de la tercera o cuarta en adelante) la pérdida de información es mínima [6], [8].

Por su parte, el AC se realiza a partir de las propias matrices obtenidas en el ACP e involucra la medición de las relaciones de similitud entre una muestra y el conjunto de datos de origen, agrupando a cada una en clústeres que se representan en un dendograma o "diagrama de árbol" y utilizando el agrupamiento en clústeres (*clustering*) de forma jerárquica. El grado de similitud entre clústeres se representa mediante las distancias Euclidianas, por lo que cada distancia puede estar delimitada a su vez por los valores analíticos provenientes de cada muestra [8].

En La Habana, capital de todos los cubanos, se encuentra el río Almendares, un ecosistema que infiltra sus aguas a la cuenca Almendares-Vento de la cual depende el suministro de agua a gran parte de la población. Además sus aguas son utilizadas en la agricultura y la recreación [9].

En este contexto, nos propusimos como objetivo valorar el empleo de los análisis de Componentes Principales y de Clústeres durante el monitoreo del agua del río Almendares como herramienta estadística rápida, segura e integradora en la caracterización y vigilancia de la calidad de este y que sea aplicable a otros ecosistemas.

## 2. CONTENIDO

### 2.1 Materiales y Métodos

Se realizó un estudio experimental de laboratorio entre los años 2006-2010 (tres muestreos por año), con muestras de agua obtenidas en seis estaciones del río Almendares y en tres en sus afluentes principales (Mordazo, Santoyo y Paila). En la Tabla I se muestran la identificación de estos puntos de muestreo y la ubicación de las coordenadas por geo posicionamiento espacial (GPS).

**Tabla I: Identificación de las estaciones de muestreo y sus coordenadas.**

Estaciones de muestreo	Coordenadas	
	Latitud	Longitud
A- Puente de Hierro	23°07'36.55"	82°24'40.22"
B- Puente Almendares	23°07'07.25"	82°24'32.57"
C- Puente de Piedra	23°06'29.83"	82°24'25.04"
D- Mordazo	23°05'58.64"	82°24'12.58"
E- Puentes Grandes	23°06'09.62"	82°24'26.02"
F- Santoyo	23°05'56.66"	82°24'30.74"
G- 100 y Boyeros	23°04'18.96"	82°24'04.78"
H- Paila	23°03'23.94"	82°24'09.75"
I- Río Cristal	23°01'59.99"	82°24'03.77"

Fueron determinados los parámetros físico-químicos y microbiológicos que se muestran en la Tabla II en todas las muestras de aguas recogidas y tomando como valores referenciales [10-13] para los análisis posteriores los que aparecen en dicha tabla.

**Tabla II: Parámetros determinados, con sus unidades de medidas y valores referenciales.**

Parámetro	UM	VR	Referencia
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DQO)	mg.L <sup>-1</sup>	<4	APHA (2005) [10]
Nitratos (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	mg.L <sup>-1</sup>	<10	
Nitritos (NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> )	mg.L <sup>-1</sup>	<1	
Amonio (NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> )	mg.L <sup>-1</sup>	<0,5	
Fosfatos (PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> )	mg.L <sup>-1</sup>	<0,1	
Oxígeno Disuelto (OD)	mg.L <sup>-1</sup>	>3	NC 22/99 [11]
Demanda Biológica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	mg.L <sup>-1</sup>	<30	
Cadmio (Cd)	µg.L <sup>-1</sup>	<0,02	Martin Whitfield (1983) [12]
Plomo (Pb)	µg.L <sup>-1</sup>	<0,1	
Bacterias Totales (BT)	bac.100 mL <sup>-1</sup>	<1,00E+06	Peduzzi y Schiemer (2006) [13]

UM= Unidad de Medida según el SIU, VR= Valor de Referencia

Todas las muestras (1000 mL) fueron transportadas

en frascos plásticos en refrigeración (4°C) y procesadas antes de las cuatro horas. Para la estimación de la carga bacteriana total, se procesaron en estado puro 9 mL de cada muestra y fijadas con 1mL de formaldehído. Posteriormente se procedió a la filtración del contenido restante de cada muestra a través de filtros de acetato de celulosa Sartorius de 0,45 µm de diámetro de poro, para la determinación de los nutrientes, cadmio y plomo [10].

La DBO<sub>5</sub> fue determinada mediante el método de incubación a 20°C por cinco días en un medio de hidrogenocarbonato de sodio y determinada la concentración de oxígeno residual mediante la sonda MULTI 340i set, con la que se determinó la concentración de OD *in situ* [10].

Las determinaciones de las concentraciones de los nutrientes y DQO se llevaron a cabo por espectrofotometría y, las de cadmio y plomo por espectrometría de emisión atómica con un equipo CCD Simultaneous ICP-OES, con una lámpara específica para cada metal y las longitudes de ondas 228,8 nm para Cd y 217 nm para Pb. Los conteos de bacterias totales se realizaron por epifluorescencia directa utilizando como colorante al DAPI y siguiendo la metodología propuesta por Peduzzi y Schiemer [13]. En todos los casos el procesamiento de las muestras se hizo por triplicado.

Se realizó un análisis multivariados de componentes principales (ACP) y un Análisis de Clústeres (AC) para precisar las variaciones que experimentaron las variables en las distintas estaciones de muestreo de cada ecosistema en estudio, las interacciones entre las mismas, el origen de las fuentes contaminantes y el agrupamiento de los sitios de muestreo, para lo cual se utilizó el programa Statistica StatSoft, Inc.: STATISTICA versión 6.1.

## 2.2 Resultados y Discusión

### 2.2.1 Análisis de las concentraciones de los parámetros evaluados.

Las concentraciones medias de los parámetros determinados correspondientes a las 4050 muestras (10 parámetros X 3 réplicas X 9 estaciones X 15 muestreos) se muestran en la Tabla III, donde se observa que las concentraciones de OD fluctuaron entre 0,67-5,45 mg.L<sup>-1</sup>, lo cual denota un mal estado ecológico de este ecosistema tan importante para los capitalinos.

**Tabla III: Concentraciones medias de los parámetros monitoreados y los valores referenciales**

		OD	DBO <sub>5</sub>	DQO	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	Cd	Pb	BT
	VR	3,00	4,00	30,00	10,00	1,00	0,50	0,1	0,02	0,10	1,00E+06
A	Č	2,89	10,82	95,38	1,13	4,33	5,01	2,00	0,75	60,21	1,57E+08
	DS	0,09	1,02	2,56	0,06	0,24	0,11	0,04	0,04	0,21	100
B	Č	2,78	9,06	106,46	1,22	1,78	6,23	1,02	0,25	42,00	1,42E+08
	DS	0,06	1,56	1,94	0,04	0,14	0,15	0,06	0,03	0,09	223
C	Č	2,73	5,27	44,71	0,95	3,21	5,44	0,77	0,39	7,15	6,03E+07
	DS	0,11	0,97	2,02	0,02	0,11	0,19	0,06	0,08	0,12	265
D	Č	1,38	10,44	125,50	1,74	4,00	7,46	1,66	0,67	nd	1,63E+09
	DS	0,03	1,15	3,26	0,02	0,10	0,10	0,03	0,06	-	300
E	Č	2,21	5,70	96,11	1,33	3,27	4,16	1,33	0,65	0,19	1,05E+08
	DS	0,01	0,22	1,48	0,01	0,15	0,22	0,01	0,07	0,02	200
F	Č	1,47	9,63	117,92	1,20	2,21	4,33	1,20	0,79	0,22	5,40E+07
	DS	0,06	0,35	9,21	0,03	0,11	0,20	0,03	0,11	0,09	149
G	Č	2,42	5,12	86,25	0,84	2,01	5,08	0,65	0,58	nd	6,00E+07
	DS	0,07	0,98	4,84	0,04	0,22	0,30	0,01	0,03	-	122
H	Č	5,45	12,49	238,00	1,38	6,96	9,61	4,00	0,26	0,25	1,62E+10
	DS	0,01	1,47	6,89	0,04	0,11	0,10	0,09	0,02	0,06	334
I	Č	0,67	1,83	21,20	0,63	0,71	1,57	0,61	0,28	4,05	1,57E+08
	DS	0,09	0,21	0,07	0,01	0,06	0,11	0,01	0,05	0,14	224

**Leyenda:** Č= concentración media, DS= Desviación estándar de la media, OD= Oxígeno disuelto, DBO<sub>5</sub>= Demanda Biológica de Oxígeno, DQO= Demanda Química de Oxígeno, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>= nitratos, NO<sub>2</sub><sup>-</sup>= nitritos, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>= amonio, PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>= fosfatos, Cd=Cadmio, Pb=Plomo, nd= No detectado, VR= Valor referencial

En este contexto se evidenció además que existe una alta carga de materia orgánica en las aguas monitoreadas, pues la DBO<sub>5</sub> y la DQO fueron superiores a los límites establecidos por las normas consultadas, siendo ambos parámetros más elevados en la estación H, correspondiente al afluente Paila.

Se ha estipulado que un ecosistema dulceacuícola no contaminado debe tener una proporción menor o igual de 10:1:0.5 entre las concentraciones de nitrato (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>), nitrito (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>) y amonio (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) respectivamente [14], sin embargo en el río Almendares se observa una tendencia al aumento en las concentraciones de las formas reducidas del nitrógeno (nitritos y amonio), lo cual indica la presencia de procesos de desnitrificación [15], pues en todas las estaciones la concentración media de nitratos es inferior a las de las de nitritos y amonio, respectivamente, encontrándose estas dos últimas por encima de los valores de referencia establecidos para aguas con fines recreativos [10], [11]. Las estaciones más afectadas son la B, C, E y H.

Las altas concentraciones de fosfatos y compuestos nitrogenados, han provocado que en diversas zonas de este ecosistema, exista una sobrepoblación de plantas acuáticas, principalmente de las especies *Eichornia crassipes* (malangüeta) y *Pistia stratioides* (culantrillo de agua).

Algunos autores plantean que estos vegetales consumen gran cantidad de oxígeno disuelto en el agua, lo cual le confiere características de hipoxia al agua, situación que empeora cuando estas plantas mueren, por la gran cantidad de sólidos en suspensión que aportan, por lo que se incrementan las concentraciones de materia orgánica y el agua se vuelve eutrófica [16].

En la tabla 2 se muestran además las concentraciones medias de cadmio y plomo en la fase disuelta donde se puede observar que en todas las estaciones las concentraciones de cadmio fluctuaron entre 0,25-0,79 µg.L<sup>-1</sup>, superiores al valor de referencia propuesto por Martin y Whitfield [12]. Respecto a las concentraciones de plomo no se pudo detectar

este metal en las muestras correspondientes a las estaciones D (Mordazo) y G (Elevados de 100 y Boyeros), mientras que en las muestras obtenidas en el resto de las estaciones se obtuvieron valores medios entre 0,19-60,21 µg/L, superiores a las establecidas.

Por su naturaleza química, los metales tóxicos son muy semejantes a los metales esenciales y no se les conoce actividad fisiológica alguna por lo que generalmente entran a las células por mecanismos de transporte constitutivos no específicos utilizados para la incorporación de los metales esenciales y ejercen su toxicidad de varias formas. Las altas concentraciones de metales pesados pueden afectar la estructura, actividad y biomasa de las comunidades microbianas induciendo a una selección de poblaciones con propiedades de tolerancia o resistencia a estas condiciones del medio ambiente [17], [18].

Se observó una alta carga microbiana con un conteo total por epifluorescencia directa con DAPI entre  $1,57 \times 10^8$  -  $1,62 \times 10^{10}$  bacterias.100 mL<sup>-1</sup> (Tabla 2), obteniéndose los conteos más elevados en la estación de muestreo H correspondiente al arroyo Paila.

Se plantea que en ríos eutróficos (contaminados) la cantidad de bacterias totales puede superar la concentración de  $2,4 \times 10^7$  bacterias.100 mL<sup>-1</sup> [19], mientras que investigadores encontraron concentraciones de bacterias totales inferiores a los obtenidos en el presente estudio en el lago Loosdrecht (Holanda) el cual presenta un alto grado de eutrofización, con valores hasta de  $12 \times 10^4$  bacterias/100 mL [20]. Otros investigadores han planteado que en aguas superficiales la cantidad de bacterias va a ser más alta si el acuífero se encuentra afectado por las actividades antrópicas y estas provienen principalmente de contaminantes de origen albañal [7].

### 2.2.2 Análisis de Componentes Principales.

Debido a que el "efecto de retroalimentación" depende de las características particulares de cada ecosistema, los comentarios que se han señalado anteriormente teniendo en cuenta los valores intrínsecos de los datos analíticos, no son suficientes para realizar una valoración correcta del estado trófico de un cuerpo de agua [6].

Es por ello que en esta sección examinamos cómo mediante la aplicación del Análisis de Componentes Principales (ACP), usando los coeficientes de correlación, se pueden describir los varios estados tróficos de dicho río Almendares y sus afluentes, resultados que se muestran en la Tabla IV, donde se puede observar que a partir de esta investigación

se obtuvo una varianza acumulada aproximada de 93,97% a través de la selección de dos componentes principales. Aquellos componentes que explican el 6,03% restante de la varianza se han desechado.

Así mismo, es importante precisar que las varianzas acumuladas con un porcentaje igual o superior al 90% se consideran aceptables para que sean definidas como componentes principales [21]. En este trabajo dicho valor fue superior, por tanto la selección de los componentes principales fue correcta.

En el primer componente (Tabla IV) se agruparon a los nutrientes inorgánicos y bacterias totales por tener una conducta similar en la distribución de los mismos. Sin embargo, en el segundo componente fueron incluidos los metales tóxicos y los parámetros oximétricos, con una carga negativa bien marcada para el OD.

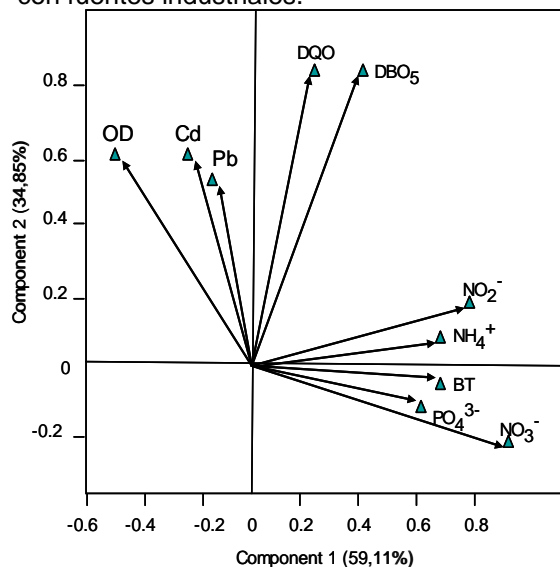
**Tabla IV: Matriz de correlación y cargas por componentes del ACP**

Parámetros	Componente Principal	
	1	2
Valores propios	3,023652	1,256539
Varianza explicada (%)	59,112568	34,854781
Valores acumulados (%)	59,112568	<b>93,967349</b>
<b>Variables</b>	<b>Cargas por componentes</b>	
OD	-,412764	<b>,600621</b>
DBO <sub>5</sub>	,417684	<b>,810001</b>
DQO	,201448	<b>,807285</b>
Nitratos	<b>,948756</b>	-,325817
Nitritos	<b>,721256</b>	,323543
Amonio	<b>,686523</b>	,254569
Fosfatos	<b>,564562</b>	-,106365
Cadmio	-,115697	<b>,612056</b>
Plomo	-,123374	<b>,563522</b>
Bacterias Totales	<b>,691157</b>	-,080365

Del análisis gráfico (Figura 1) se puede inferir que existe una correlación fuerte entre los nutrientes inorgánicos y bacterias totales, y que estas pueden verse afectadas por los metales tóxicos y la materia orgánica en exceso presente en estos cuerpos de agua. Sin embargo, era de esperar que las concentraciones de nitratos y nitritos tuvieran vectores de sentidos contrarios, lo cual indica que su relación es inversa, o sea que los nitritos pueden estar formándose a expensas de los nitratos por procesos de desnitrificación.

Las cargas positivas de los nutrientes inorgánicos, la DBO<sub>5</sub> y DQO, sugieren que existe un esta trófico desfavorable en estos ecosistemas, lo cual repercute en las concentraciones de OD, determinadas por cargas negativas elevadas, que a su vez determinan estados reductores en el agua y por ende se ven favorecidos los procesos de reducción desasimilativa de los compuestos nitrogenados. Todo esto

sugiere que las fuentes de contaminación de este ecosistema son fundamentalmente de origen antrópico, debido a la descarga de desechos domésticos; aunque las elevadas concentraciones de metales tóxicos y de la DQO, demuestran el efecto cruzado con fuentes industriales.



**Figura 1. Biplot del análisis de componentes principales de las concentraciones de nutrientes en muestras de agua del río Almendares y afluentes.**

Según lo planteado por algunos investigadores, cuando los miembros de un mismo componente principal se encuentran agrupados, su origen es el mismo, [22] por lo que con este análisis se comprueba que las fuentes de contaminación para los nutrientes nitritos, amonio y fosfatos es la misma, en este caso de origen doméstico e industrial y que la presencia de nitratos depende de otra fuente, de ahí las bajas concentraciones existentes de este último en dicho cuerpo de agua.

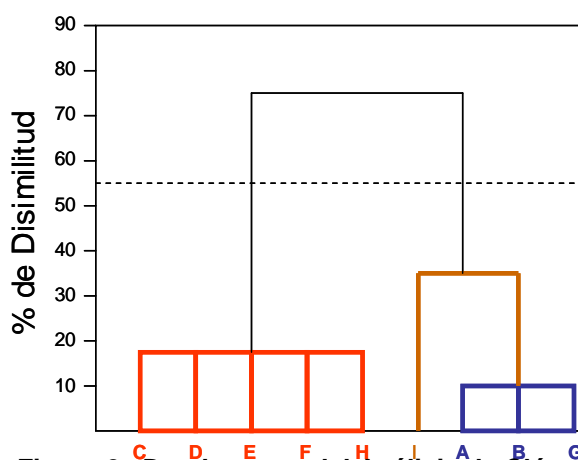
### 2.2.3 Análisis de Clústeres.

Los resultados del Análisis de Clústeres (AC), basado en el ACP, se muestran en la Figura 2, donde podemos observar la relación que existe entre los puntos de muestreo, respecto al par de componentes principales CP-1 y CP-2. Derivado del cálculo de las distancias Euclidianas y las combinaciones de los clústeres, se pueden clasificar a los puntos de muestreo en tres grupos o clústeres:

**Primer grupo:** Representado por el agua obtenida de la estación I (río Cristal). Las muestras de esta zona del área de estudio tienen concentraciones mínimas de los nutrientes monitoreados.

**Segundo grupo:** Representado por las estaciones de muestreo A, B y G (Puente de Hierro, Puente Almendares y Elevados de 100 y Boyeros, respectivamente), se caracteriza por presentar concentraciones medias de estos nutrientes.

**Tercer grupo:** Se agrupan las estaciones C, D, E, F y H, que corresponden con las muestras tomadas en Puente de Piedra, Arroyo Mordazo, Puentes Grandes, Arroyo Santoyo y Arroyo Paila respectivamente, lo cual evidencia que en estas estaciones están las máximas concentraciones de los nutrientes estudiados; así como la contribución de los afluentes a la contaminación de río Almendares.



**Figura 2. Dendrograma del Análisis de Clústeres basado en el ACP. El porcentaje de disimilitud se definió por las distancias Euclidianas y las combinaciones de clústeres.**

Todo esto implica que para la valoración rápida de la calidad del agua en la vigilancia de este ecosistema nos puede servir un sitio de estos como bueno para la valoración espacial de toda la red fluvial. Es evidente que la técnica de AC es una herramienta muy útil porque ofrece con claridad y fiabilidad el comportamiento de todo el ecosistema y por ende hace posible la valoración espacial de una forma óptima. Así, el número de sitios a monitorear y los costos se reducen sin perder importancia en los resultados. Estos aspectos son informados además por otros investigadores [23].

## 3. CONCLUSIONES

Los métodos estadísticos multivariados son de gran utilidad para el análisis e interpretación de los conjuntos de datos complejos, así como en la identificación de las fuentes de contaminación y entendi-

miento de las variaciones en la calidad del agua durante el monitoreo o vigilancia de los ecosistemas acuáticos.

#### 4. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen la fuente de financiamiento proporcionada por la Universidad Libre de Brucelas, Bélgica, y a todos aquellos que de una forma u otra han contribuido al desarrollo de esta investigación.

#### 5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. **Romero Placeres, M.; Álvarez Toste, M. y Álvarez Pérez, A.:** "Los factores ambientales como determinantes del estado de salud de la población", *Rev Cubana Hig Epidemiol* v.45 n.2 Ciudad de la Habana Mayo.-ago. 2007.

2. **Álvarez Pérez, A.; García Fariñas, A. y Bonnet Gorbea, M.:** "Pautas conceptuales y metodológicas para explicar los determinantes de los niveles de salud en Cuba". *Rev Cubana Salud Pública* v.33 n.2 Ciudad de La Habana abr.-jun. 2007.

3. **Gómez, A. y colaboradores-** "Calidad del agua en la parte alta de las cuencas Juan Cojo y El Salado (Girardota - Antioquia, Colombia)". *Rev. Fac. Nal. Agr. Medellín*. 60 (1), ISSN: 0304-2847. 2007.

4. **Campos-Pinilla, C.; Cárdenas-Guzmán, M. y Guerrero-Cañizares, A.:** "Comportamiento de los indicadores de contaminación fecal en diferente tipo de aguas de la sabana de Bogotá (Colombia)". *Univ. Sci.* vol.13 no.2 Bogotá May/Aug. 2008.

5. **Gikas, G.; Tsihrintzis, V.; Akrotos, C. y Haralambidis, G.:** "Water quality trends in Polyphytos reservoir, Aliakmon River, Greece". *Environ Monit Assess.* 149(1-4):163-81. 2009

6. **Kazi, T.G.; Arain, M.B.; Jamali, M.K.; Jalbani, N.; Afridi, H.I.; Sarfraz, R.A.; Baig, J.A. y Shah, A.:** "Assessment of water quality of polluted lake using multivariate statistical techniques: A case study". *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 72: 301–309. 2009.

7. **Larrea, J; Rojas, M; Romeu, B; Lugo, D y Heydrich, M:** "Empleo del medio agar Chromocult en la evaluación de la calidad microbiológica en ecosistemas acuáticos tropicales" *Higiene y Sanidad Ambiental*, 10: 535-543. 2010.

8. **Gong, L; Yang, X; Xiong, B; Zhou, M y Chen, X.:** "Study of water physical and chemical indexes of lakes in Wuhan City in summer by means

of principal components analysis and clusters analysis" *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 6:8-10. 2009.

9. **Centro Nacional de Hidrología y Calidad de las Aguas (CENHICA):** "Informe técnico del estado de la calidad de las aguas en el Río Almendares". Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos, Cuba. 2003.

10. **American Public Health Association (APHA) –** "Standard Methods for the Analysis of Water and Wastewater". 21<sup>st</sup> Edition. Joint publication of the American Public Health Association, American Water Works Association, and Water Environment Federation. 2005.

11. **Norma Cubana (NC):** "Lugares de baño en costas y en masas de aguas interiores. Requisitos higiénicos sanitario's. Primera Edición. Oficina Nacional de Normalización. Cuba. 1999.

12. **Martin, J. M. y Whiffeld, M.:** "The significance of the river input of chemical elements to the ocean". *Proceedings of the NATO Advanced Research Institute*. pp 265-296. 1983

13. **Peduzzi, P. y Schiemer, F.:** "Bacteria and viruses in the water column of tropical freshwater reservoirs". *Environmental Microbiology*. 6(7):707. 2004.

14. **Organización Mundial de la Salud (OMS):** "Contaminación del agua para el consumo". Anuario de la OMS. pp-107-109. 2005

15. **Mitchell, M. J.; Piatek, K. B.; Christopher, S. F.; Mayer, B.; Kendall, C. y McHale, P. J.:** "Solute sources in stream water during consecutive fall storms in a northern hardwood forest watershed: A combined hydrological, chemical and isotopic approach" *Biogeochemistry*, 78(2):217– 246. 2006.

16. **Torbick, N.; Hu, F.; Zhang, J.; Qi, J.; Zhang, H. y Becker, B.:** "Mapping Chlorophyll-a Concentrations in West Lake, China using Landsat 7 ETM+". *Journal of Great Lakes Research*, 34(3):559-565. 2008.

17. **Aktar, M. W.; Paramasivam, M.; Ganguly, M.; Purkait, S.; Sengupta, D.:** "Assessment and occurrence of various heavy metals in surface water of Ganga river around Kolkata: a study for toxicity and ecological impact". *Environ. Monitor. Assess.*, 160(1-4):207-213. 2010.

18. **Vishnivetskaya, T; Mosher, J.; Palumbo, A; Yang, Z; Podar, M; Brown, S; Brooks, S; Gu, B; Southworth, G; Drake, M; Brandt, C y Elias, D:** "Mercury and Other Heavy Metals Influence Bacterial Community Structure in Contaminated Tennes-

see Streams." *Appl. Environ. Microbiol.*, 77(1): 302-311. 2011.

**19. Freese, HM; Karsten, U y Schumann, R:** "Bacterial abundance, activity, and viability in the eutrophic River Warnow, northeast Germany". *Microb Ecol.*, 51(1):117-27. 2006

**20. Tijdens, M.; Hoogveld, H.; Kamst-van, M.; Simis, S.; Baudoux, A.; Laanbroek, H. y Gons, H.:** "Population Dynamics and Diversity of Viruses, Bacteria and Phytoplankton in a Shallow Eutrophic Lake. *Microb Ecol.*, 56(1): 29-42. 2007

**21. Polo, C.** Estadística multivariable aplicada. Editorial EPOP, Terrassa, p-143. 2000.

**22. Tsai, L. J.; Yu, K. C.; Chang, J. y Ho, S.:** "Fractionation of heavy metals in sediments cores from the Ell-Ren river Taiwan" *Water science Technology*, 37, 217-224. 1998.

**23. Kim, J.H., Kim, R.H., Lee, J., Cheong, T.J., Yum, B.W., Chang, H.W.:** "Multivariate statistical analysis to identify the major factors governing groundwater quality in the coastal area of Kimje, South Korea." *Hydrol. Process* 19, 1261-1276. 2005.

## 6. SÍNTESIS CURRICULAR DE LOS AUTORES

**MSc. Lic. Yunier Arpajón Peña-** Licenciado en Microbiología (1996) y Máster en Microbiología Mención Ecología Microbiana (2011) en la Facultad de Biología de la Universidad de La

Habana. Profesor Asistente de Microbiología de la Universidad Médica de La Habana, y de las Maestrías: Procederes Diagnósticos en el Primer Nivel de Atención en Salud y Microbiología. Miembro de la Sociedad Cubana de Microbiología. Ostenta varios Premios, publicaciones y distinciones. **Contacto:** Ave. Salvador Allende y G, Vedado, Plaza de la Revolución, La Habana, Cuba. CP: 10600. Telf: (53-7) 878-3886 ([yunierar@infomed.sld.cu](mailto:yunierar@infomed.sld.cu))

**DrC Lic. Nidia Rojas Hernández-** Doctora en Ciencias Biológicas. Profesora Auxiliar. Profesora Principal de Microbiología Clínica. Miembro del Consejo Científico y Profesora de la Maestría en Microbiología de la Facultad de Biología de la Universidad de La Habana. Miembro de la Sociedad Cubana de Microbiología. Miembro del comité de expertos de la Revista de Medicina Tropical. Miembro de la Comisión Nacional de Acreditación de Maestrías. Ostenta varios Premios, publicaciones y distinciones ([nidia.rojas@infomed.sld.cu](mailto:nidia.rojas@infomed.sld.cu))

**DrC Lic. Mayra Heydrich Pérez-** Doctora en Ciencias Biológicas. Profesora Auxiliar. Profesora Principal de Ecología Microbiana. Miembro del Consejo Científico y Profesora de la Maestría en Microbiología de la Facultad de Biología de la Universidad de La Habana. Jefa del Laboratorio de Ecología de los Ecosistema Acuáticos de la facultad de Biología de la Universidad de La Habana. Ostenta varios Premios, publicaciones y distinciones ([mayra@fbio.uh.cu](mailto:mayra@fbio.uh.cu))

**Téc. Daysi Lugo Moya-** Técnico en Microbiología. Auxiliar Técnico Docente. Ha colaborado y participado en el desarrollo docente-investigativo del Laboratorio de Ecología de los Ecosistema Acuáticos de la facultad de Biología de la Universidad de La Habana. Ostenta varios Premios, publicaciones y distinciones. ([daysi@fbio.uh.cu](mailto:daysi@fbio.uh.cu))