

DINÁMICA FÍSICOQUÍMICA Y CALIDAD DEL AGUA EN LA MICROCUENCA EL VOLCAN, MUNICIPIO DE PAMPLONA, COLOMBIA

Alberto Ramírez ¹
Nelson Fernández ²
Fredy Solano ³

¹ Facultad de Estudios Ambientales y Rurales. Universidad Javeriana
alberto.ramirez@javeriana.edu.co

² Departamento de Biología. Centro de Hidroinformática.
Universidad de Pamplona.
nfernandez@unipamplona.edu.co

³ Vicerrectoría de Investigaciones Universidad de Pamplona
viceinves@unipamplona.edu.co

RESUMEN

El presente estudio se refiere a la caracterización de un ciclo anual de estudio sobre la microcuenca de El Volcán, curso que hace parte de la red de abastecimiento del municipio de Pamplona (Norte de Santander). Para ello se tomaron tres estaciones de estudio las cuales fueron evaluadas a través de cuatro períodos, cubriendo los períodos de sequía, transición a lluvias y lluvias. Para el análisis de los datos se emplearon índices de contaminación y componentes principales, técnicas complementarias que permiten evaluar la condición de calidad, por un lado, y de similitud, por el otro. Los resultados encontrados denotan condiciones fisicoquímicas excelentes y buenas para el curso estudiado, así como disimilitudes espaciales y temporales entre las estaciones y épocas. La parte baja de la cuenca muestra la menor condición de calidad, así como las mayores variaciones en el tiempo, en particular en lo que atañe a los sólidos suspendidos y a la mineralización de las aguas. En contraposición, la parte media exhibe la mejor condición y la mayor constancia en sus valores.

ABSTRACT

In this study an annual cycle physico-chemical characterization of "El Volcán" microriver basin is referred. This stream is located at Colombian northeastern region in Pamplona municipality. Three different sites (High, middle and low microriver basin zones) in four climatic periods (Dry, rain transition and rain periods) were monitored. For data analysis, Water Pollution Indices (WPIs) and Principal Component Analysis (PCA) technique were applied. Results denoted the excellent and good water quality conditions of "El Volcán" stream, as well as, temporal/spatial variations between sites and periods. The low microriver basin zone showed a minor water quality conditions and more large variations in time, especially on suspended solids and water mineralization variables. In contrast the middle zone showed a better physico-chemical and water quality conditions due its constant variables values.

INTRODUCCION

Para propósitos de gestión, los ríos pueden ser clasificados dependiendo de la cantidad, calidad y modo de utilización del agua en diferentes puntos de su recorrido. De acuerdo con Ning y Chang (2004), el monitoreo de la calidad del agua en sistemas acuáticos, debe coleccionar tanto información temporal como espacial, de modo que permita realizar comparaciones con respecto de situaciones de referencia y bajo diferentes escenarios.

La evaluación espacio-temporal de la dinámica fisicoquímica y la variación de la calidad del agua en sistemas epicontinentales, estuarios y marinos, puede ser llevada a cabo por medio de la utilización de técnicas estadísticas univariadas y multivariadas. Dichas técnicas han constituido una práctica regular en diferentes partes del mundo y parten de las extensas y complejas matrices de datos obtenidos durante las jornadas del monitoreo.

El objetivo de los análisis multivariados, es reducir la dimensionalidad de grandes conjuntos de datos en busca de unas cuantas variables que sean representativas e indicadoras de las variaciones en la calidad del agua y, a su vez, lograr una fácil interpretación espacio-temporal sobre la red de monitoreo (Simeonov et al., 2003). Con ellos se pretende

lograr una gestión y un control de la contaminación de los recursos hídricos más efectivos.

Dentro de las técnicas multivariadas de aplicación preferencial en estudios de la valoración de la calidad del agua, es común hallar los análisis de clasificación (Cluster), los análisis de factores/componentes principales (FA/PCA) y los análisis discriminantes (DA), principalmente (Wunderlin et al., 2001; Singh et al., 2004).

De las anteriores técnicas, el análisis de componentes principales (ACP) ha sido extensamente probado y aplicado con excelentes resultados en investigaciones de tipo limnológico en nuestro país. Entre los casos de aplicación destacables, se hallan, por ejemplo, los estudios de Ocenso-Ecotest y BP Exploration-Ecotest a partir de monitoreos realizados en el área de influencia del Oleoducto Cusiana-Coveñas y los Campos Petroleros de Cusiana y Bloque Piedemonte (Viña y Ramírez, 1997; Ramírez y Viña, 1998), cuyo análisis e interpretación se vio enormemente simplificado gracias a esta técnica.

En el PCA, los datos son "factorizados", para la extracción de relaciones lineales dentro del

conjunto de variables existentes y su visualización se da a partir de graficas tridimensionales (Boxplots) o bidimensionales (Biplots) en las que se conjugan muestreos y variables (Iyer et al., 2003). Su principal ventaja está en que permite agrupar las variables seleccionadas según sus rasgos comunes, a la vez que evalúa la incidencia de cada grupo sobre el cambio total de la calidad de agua, sobre todo durante el análisis de cambios temporales (Wunderlin et al., 2001).

En general, el ACP puede ser usado para: (1) extraer los factores asociados con la variabilidad hidroquímica y (2) obtener los cambios espaciales y temporales en la calidad del agua (Bengraïne y Marhaba, 2003).

En cuanto a la valoración de la calidad del agua a través de indicadores de calidad y contaminación, es reconocido que éstos han sido desarrollados para evaluar la conveniencia del uso del agua para diferentes actividades. El concepto de un indicador de calidad o contaminación está basado en la comparación de la concentración de contaminantes con sus respectivos estándares ambientales, de tal manera que el índice refleja el número, la frecuencia y la magnitud por el cual el estándar ambiental para un grupo de variables específicas es o no alcanzado en un periodo determinado (Khan et al., 2003).

Desde la generación en 1970 del primer índice general de la calidad del agua por Brown et al. (1970), los índices de calidad (ICAs) y de contaminación (ICOs) del agua han jugado un papel importante en la interpretación de la información de la tendencia espacio-temporal de la calidad de los cuerpos de agua (Tyagi et al., 2003), más aún, cuando la calidad del agua de los ríos ha decaído considerablemente en las últimas décadas y la sociedad es cada día más exigente en cuanto a la indicación de problemas de contaminación y al incremento de demandas de agua para la agricultura, la industria y el

abastecimiento (Flores y Navar, 2002).

La utilidad comparativa de los ICAs e ICOs, ha sido objeto de estudio por diferentes autores que han considerado su estructura matemática, fórmula de agregación y comportamiento frente a conjuntos de datos iguales, en ambientes tanto dulceacuícolas como marinos (Ramírez y Viña, 1998; Gupta et al., 2003; Stambuk-Giljanovic, 2003; Fernández et al., 2004a; Said et al., 2004).

En este contexto, el actual estudio tuvo como finalidad caracterizar mediante análisis multivariados y a través de indicadores e índices de contaminación, la calidad del agua de la microcuenca El Volcán, la cual hace parte de la red de abastecimiento del acueducto de la ciudad de Pamplona (Colombia). Para ello se evaluaron tres estaciones (parte alta, media y baja), durante cuatro periodos de estudio que van desde la transición de la época seca del 2003 a la de lluvias del 2004. El estudio incluyó la toma de información relativa a ocho variables fisicoquímicas.

ASPECTOS METODOLÓGICOS

Descripción del Área

La microcuenca El Volcán hace parte de la Cuenca alta del Río Pamplonita, ubicada sobre la Cordillera Oriental de Colombia, al Sureste del Departamento de Norte de Santander, entre las coordenadas planas X1-300.000 a X1-420.000 y Y1-150.000 a Y1-190.000, y las coordenadas geográficas 72°25' a 72°45' de Longitud Oeste y 7°20' a 8°25' de Latitud Norte.

El curso principal que da nombre a la microcuenca, es la quebrada El Volcán, que nace al sur oriente de la región del municipio de Pamplona a 3.210 m.s.n.m (Fig. 1 ; en rojo y dentro del círculo azul). en el punto denominado el "Chorro de las Pavas", ubicado en la finca las pavas. Sus aguas fluyen hacia el

noreste para conformar, junto con la quebrada Monteadentro, el Río Pamplonita a 2.340 m.s.n.m. En su recorrido de 5,2 kilómetros tiene como afluentes principales las quebradas, Teorama, Cepeda, Cerrajones, Piñuelal y Corcova (Figura 2).

Su importancia para la ciudad de Pamplona, radica en que constituye una de las principales redes hídricas de abastecimiento para las veredas de la zona norte del municipio.

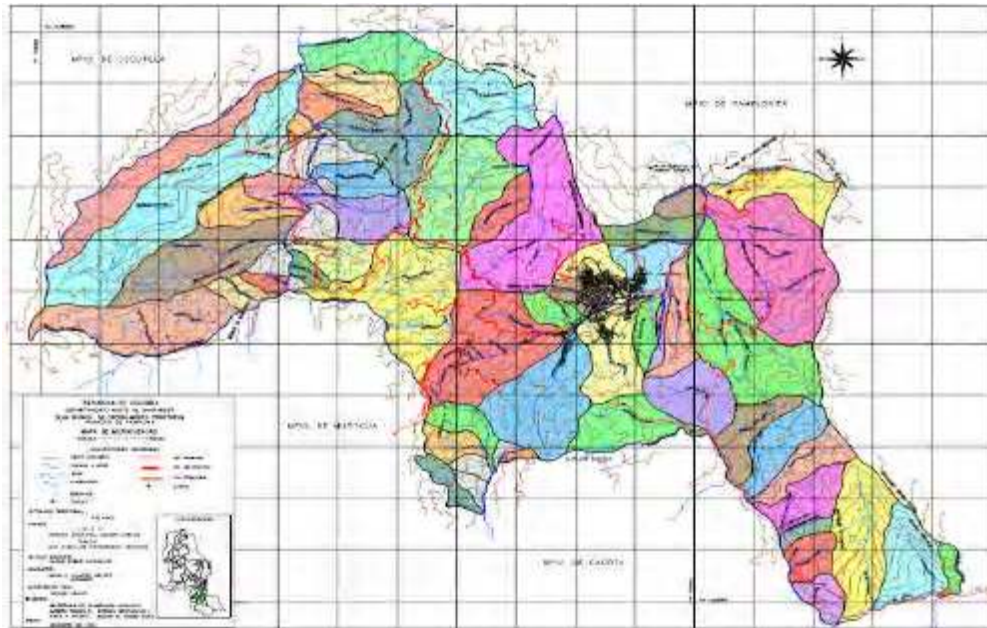


Figura 1. Mapa de Microcuencas del Municipio de Pamplona (En el Círculo: Microcuencia El Volcán). Fuente alcaldía de Pamplona (2002).

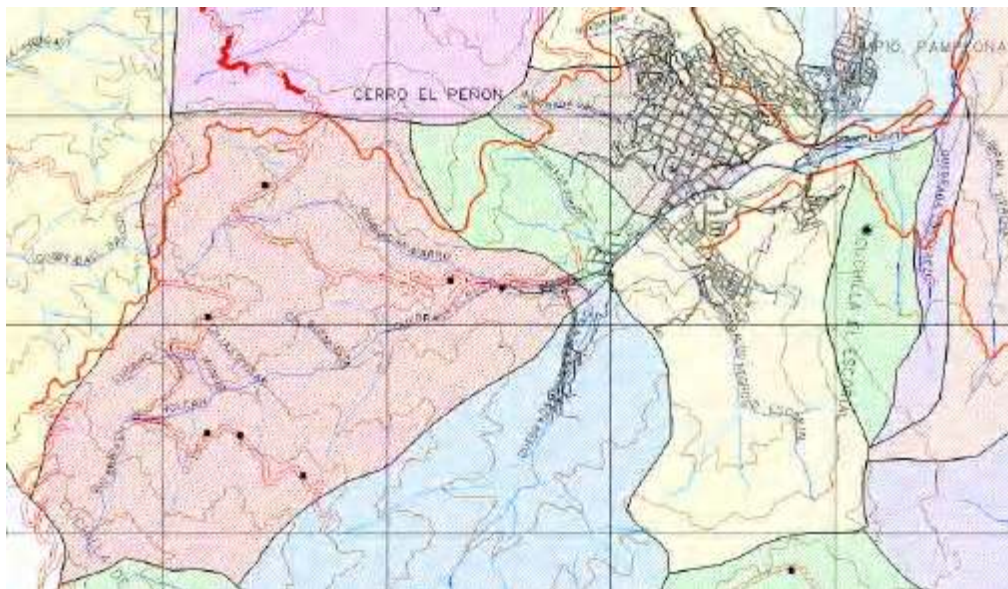


Figura 2. Red Hidrológica de la Microcuencia El Volcán. Fuente: Alcaldía de Pamplona (2002)
 En Rojo Microcuencia el Volcán; En Azul: Estaciones de Monitoreo
 Al nororiente área urbana de la ciudad de Pamplona.

Los aspectos morformétricos más importantes de la microcuenca se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1. Morfometría de la Microcuenca de la Quebrada El Volcán.

| Característica | Medida |
|-------------------------|--------|
| Área (Km ²) | 12,57 |
| Longitud Axial (Km) | 5,85 |
| Ancho Promedio (Km) | 2,37 |
| Perímetro (Km) | 15,9 |
| Longitud Máxima (Km) | 6,12 |
| Ancho Mayor (Km) | 3,75 |

Fuente: (Alcaldía de Pamplona, 2002).

El régimen pluviométrico en la zona es de carácter bimodal, es decir, se presentan dos periodos de mayor pluviosidad entre los meses de Marzo a Junio y de Septiembre a Noviembre (Fig. 3). En los meses restantes predominan los periodos secos. Históricamente, los mayores valores de precipitación se han presentado en Abril y los menores en Enero.

En general, la temperatura se mantiene constante a lo largo del año y sufre variaciones ligeras inferiores a 2°. El mayor valor de temperatura se presenta en el mes de Mayo (15,5°C) y el menor en el mes de Enero (13,2°C). Los valores máximos de temperatura se relacionan con los periodos húmedos y los mínimos con los períodos secos, debido al escape de la radiación nocturna en las épocas de baja nubosidad. El promedio multianual de temperatura para la zona es de 14,6°C.

La relación precipitación : evapotranspiración potencial es de 1:1, por lo que se mantiene una tendencia seca con algunos enclaves húmedos. Durante el período seco, la evapotranspiración supera ampliamente los valores de precipitación (diciembre a marzo), el resto del año, los valores se mantienen muy cercanos, por lo que el suelo sólo llega a la capacidad de campo.

La demanda del agua en la microcuenca se da principalmente por las actividades agrícolas, seguida por la doméstica (Tabla 2), con un porcentaje muy pequeño para la actividad pecuaria.

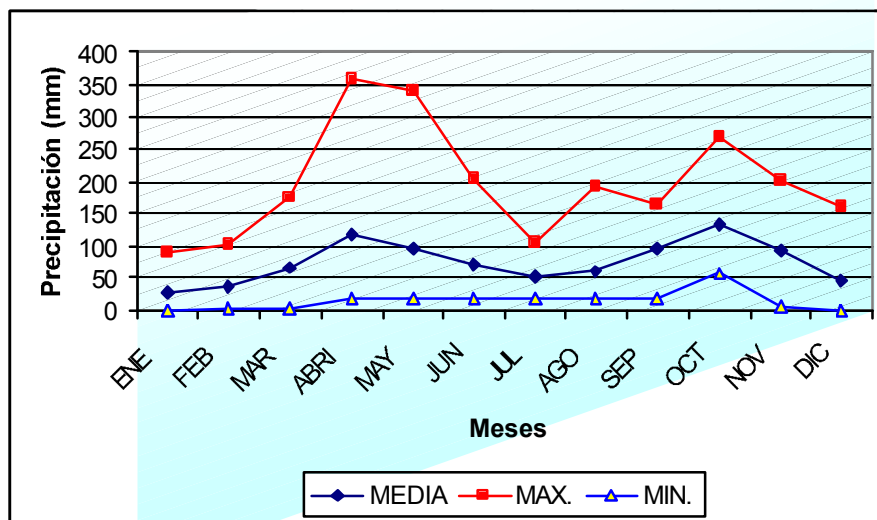


Figura 3. Precipitación media, máxima y mínima en Pamplona. Serie Histórica 1972-2003. Fuente IDEAM área Operativa 8. Santanderes y Arauca.

Tabla 2. Demanda del Agua

| Uso | m ³ /AÑO | Porcentaje |
|--------------|---------------------|------------|
| Doméstico | 1.131.500 | 48,81 |
| Pecuario | 5.980,4 | 0,26 |
| Agrícola | 1.180.660,5 | 50,93 |
| Total | 2.318.140,9 | 100 |

Fuente Alcaldía de Pamplona, (2002).

En la microcuenca predominan los predios con áreas hasta de cinco (5) hectáreas, con poca cantidad de latifundios. Los predios están dedicados principalmente a la agricultura, en su mayoría con el establecimiento de cultivos de papa, morón, maíz, hortalizas, arracacha, curuba, arveja, frijol y fresa; en menor escala se encuentran cultivos como café, caña, tomate de árbol, cebolla junca y brevo.

La población en la microcuenca es de 210 habitantes con una densidad poblacional de 0,284 Hb/Km². Cuenta con un índice de natalidad de 1,8 % y un coeficiente de mortalidad de 0,5 %, lo que proporciona un factor de crecimiento anual del 1,3% (la población se incrementa en 1,3 individuos por cada 100 habitantes).

Muestreo y Determinación de las Variables Físicoquímicas

Las variables físicoquímicas objeto de estudio fueron: Potencial de Hidrogeno (pH), Conductividad (Cond), Turbidez (Tz), Sólidos Suspendidos (SS), Dureza Total (DzT), Alcalinidad (Alc), Coliformes Totales (CF) y Coliformes Fecales (CT). Tales variables fueron registradas al final de la segunda temporada de lluvias del 2003 (noviembre-1), la transición lluvias- época seca (Febrero-2) y la primera temporada de lluvias del 2004

(Marzo-3, Abril-4), en las partes alta (PA), media (PM) y baja (PB) de la microcuenca El Volcán. En total se obtuvieron 96 registros al establecer la matriz de muestras por zonas para cada una de las 8 variables; a partir de las cuales se llevó a cabo el análisis de la dinámica físicoquímica y de calidad del agua.

Las muestras fueron tomadas de acuerdo con lo expresado en APHA-AWWA-WPCF (2002). Su determinación se realizó en el laboratorio de control de calidad del la Universidad de Pamplona, bajo el seguimiento de métodos normalizados para cada caso.

Análisis de la Información

Análisis Multivariado de Componentes Principales (ACP)

El ACP se realizó en concordancia con las recomendaciones de Ramírez y Viña (1998), a partir del establecimiento de una matriz de estaciones-períodos vs. variables (ver anexo de tablas), para lo cual se aplicó el software Kplot V2.0. La secuencia metodológica llevada a cabo fue la siguiente: (1) cálculo de las correlaciones entre variables por medio del coeficiente de Pearson; (2) determinación de los valores propios y porcentaje de la variación explicada por cada uno de los componentes; (3) obtención de los vectores propios; (4) cálculo de las coordenadas de las variables físicoquímicas y de las estaciones; (5) graficación.

Valoración de la Calidad del Agua a través de Índices de Contaminación (ICOs)

Para tal fin se implementó el Software ICATEST V1.0 (Fernández et al., 2004b), por medio del cual fue posible llevar a cabo un análisis comparativo a partir de la aplicación de los índices de contaminación propuestos por Ramírez y Viña (1999), como fueron: ICOMO (Índice de Contaminación por Materia

Orgánica); ICOMI (Índice de Contaminación por Mineralización); ICOSUS (Índice de Contaminación por Sólidos Suspendidos) e ICOPH (Índice de Contaminación por pH).

RESULTADOS Y DISCUSION

Análisis de Componentes Principales -ACP-

Como se explicó en el apartado metodológico, el ACP se llevó a cabo mediante una matriz de correlaciones dado que se conjuga información con diferentes unidades y magnitudes. Dicha matriz (Tabla 3) partió de las correlaciones entre todas las variables físicas y químicas.

De los anteriores, se encontraron 3 coeficientes de correlación lineal significativos (95% de confianza, en negrita) que fueron los siguientes:

Turbiedad - sólidos suspendidos: 0,8676

Dureza - conductividad: 0,7714

Dureza - alcalinidad: 0,6802

La primera correlación se produce por cuanto las dos variables miden, aunque de forma distinta, los sólidos suspendidos en el agua. Las otras dos correlaciones son muy comunes en aguas dulces y se refieren a su proceso de mineralización representado en la ganancia de iones o, lo que es igual, al incremento de sólidos disueltos, característica que se traduce en una relación directa con la alcalinidad, la dureza y la conductividad, entre otras.

El conjunto de correlaciones encontradas entre estas variables, lleva a que la variación explicada por cada componente varíe tal como se ilustra en la tabla 4.

Por lo anterior, se aprecia que los 2 primeros componentes acumulan el 63% de la información y los 4 primeros componentes el 89%. La figura 4 ilustra los 2 primeros componentes y revela las altas correlaciones entre las variables previamente referidas, dada la gran proximidad entre ellas.

Tabla 3. Matriz de correlaciones entre variables fisicoquímicas.

| | pH | Cond. | Tz | S.S. | DzT. | Alc. | C.F. | C.T. |
|---------------------|---------|---------------|---------------|---------|---------------|---------|--------|------|
| pH | 1 | | | | | | | |
| Conductividad | 0,2822 | 1 | | | | | | |
| Turbidez | -0,3294 | -0,2689 | 1 | | | | | |
| Sólidos Suspendidos | -0,4144 | -0,0903 | 0,8676 | 1 | | | | |
| Dureza Total | 0,1364 | 0,7714 | -0,3428 | -0,2141 | 1 | | | |
| Alcalinidad | 0,2146 | 0,5503 | 0,0558 | -0,1571 | 0,6802 | 1 | | |
| Coliformes Fecales | -0,4837 | -0,4612 | 0,2626 | 0,0225 | -0,3629 | -0,1261 | 1 | |
| Coliformes Totales | -0,3707 | -0,1893 | -0,2229 | -0,1517 | -0,1663 | -0,2398 | 0,4621 | 1 |

Tabla 4. Contribución de cada componente a la variación explicada.

| | Comp. 1 | Comp. 2 | Comp. 3 | Comp. 4 | Comp. 5 | Comp. 6 | Comp. 7 | Comp. 8 |
|----------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Valor propio | 3,12 | 1,88 | 1,36 | 0,77 | 0,44 | 0,27 | 0,14 | 0,006 |
| Varianza | 0,39 | 0,23 | 0,17 | 0,10 | 0,06 | 0,03 | 0,02 | 7E-04 |
| Var. acumulada | 0,39 | 0,63 | 0,80 | 0,89 | 0,95 | 0,98 | 0,999 | 1 |

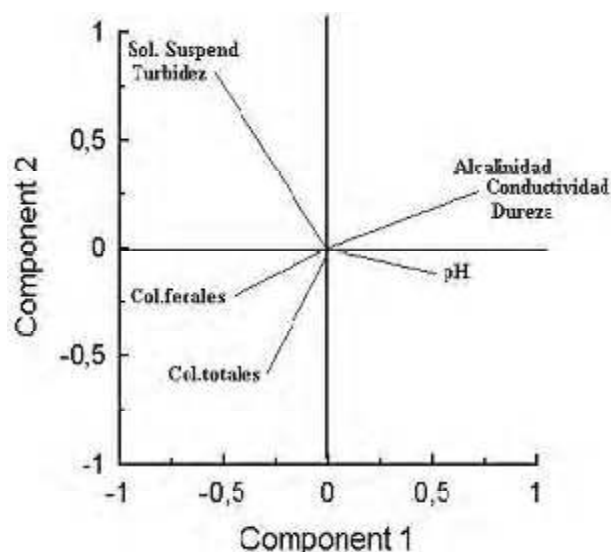


Figura 4. Distribución de las Variables Físicoquímicas en los 2 Primeros Componentes Principales

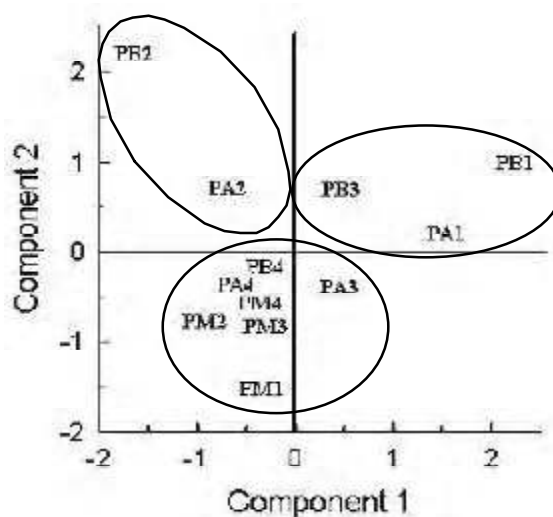


Figura 5. Distribución de las Estaciones-períodos Físicoquímicos en los 2 primeros Componentes Principales.

Al contrastar la información de las variables junto con la de las estaciones-períodos (Figs. 4 y 5), se aprecian los siguientes aspectos:

- La estación ubicada en la parte alta muestra una variación intermedia a lo largo del ciclo de muestreo (nótese el cambio sobre los cuadrantes para PA1, PA2, PA3, PA4). En el primer período se asocia a las variables de mineralización; en el segundo período se

reduce la mineralización y se incrementan los sólidos suspendidos; en el tercer período se reducen los sólidos suspendidos; y en el cuarto período se observa un repunte de los coliformes fecales.

- La estación correspondiente a la parte media se encuentra muy próxima entre sí en el plano cartesiano (PM1, PM2, PM3, PM4), hecho que denota que su condición ambiental

permanece constante a lo largo del período de estudio. Su principal característica es que muestra las concentraciones más elevadas de coliformes totales y, a su vez, bajas concentraciones de mineralización.

· Contrariamente, la estación correspondiente a la parte baja (PB1, PB2, PB3, PB4), muestra las mayores variaciones en el plano cartesiano, hecho que señala gran variabilidad fisicoquímica en los diferentes regímenes climáticos. Es así como en el primer período expone los mayores registros de mineralización; en el segundo período los niveles mayores de sólidos suspendidos; en el tercer período se reducen los sólidos suspendidos y nuevamente tiende a incrementarse la mineralización, aunque con concentraciones menores a las registradas en el primer período; en el último período se incrementan los coliformes totales.

· Por lo anterior, la estación ubicada sobre la parte baja exhibe los mayores cambios fisicoquímicos seguida de la parte alta durante los períodos 1 y 2.

Valoración de la Calidad del Agua a través de Índices de Contaminación

Como se observa en los resultados expuestos en la tabla 5, figuras 6 y 7, la calidad del agua para todas las estaciones y épocas de estudio es excelente o buena, mostrando la parte baja, aunque de forma puntual en el tiempo, las menores condiciones en lo atinente a sólidos suspendidos y a mineralización, el primero asociado posiblemente a las primeras escorrentías con el inicio de las lluvias y, el segundo, a los menores caudales propios de la época seca del año.

Tabla 5. Índices de contaminación para cada estación y época de estudio.

| PARTE ALTA | Nov-03 | Feb-04 | Mar-04 | Abr-04 |
|--------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| ICOSUS | 0.00 | 0.14 | 0.00 | 0.00 |
| ICOMI | 0.20 | 0.09 | 0.08 | 0.08 |
| ICOMO | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| ICOpH | 0.01 | 0.00 | 0.01 | 0.00 |
| PARTE MEDIA | Nov-03 | Feb-04 | Mar-04 | Abr-04 |
| ICOSUS | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| ICOMI | 0.16 | 0.10 | 0.08 | 0.09 |
| ICOMO | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| ICOpH | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| PARTE BAJA | Nov-03 | Feb-04 | Mar-04 | Abr-04 |
| ICOSUS | 0.02 | 0.32 | 0.00 | 0.03 |
| ICOMI | 0.38 | 0.11 | 0.17 | 0.11 |
| ICOMO | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| ICOpH | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.01 |

| | | | | | |
|---------------|------|------|-------|------|----------|
| Contaminación | Nula | Baja | Media | Alta | Muy alta |
|---------------|------|------|-------|------|----------|

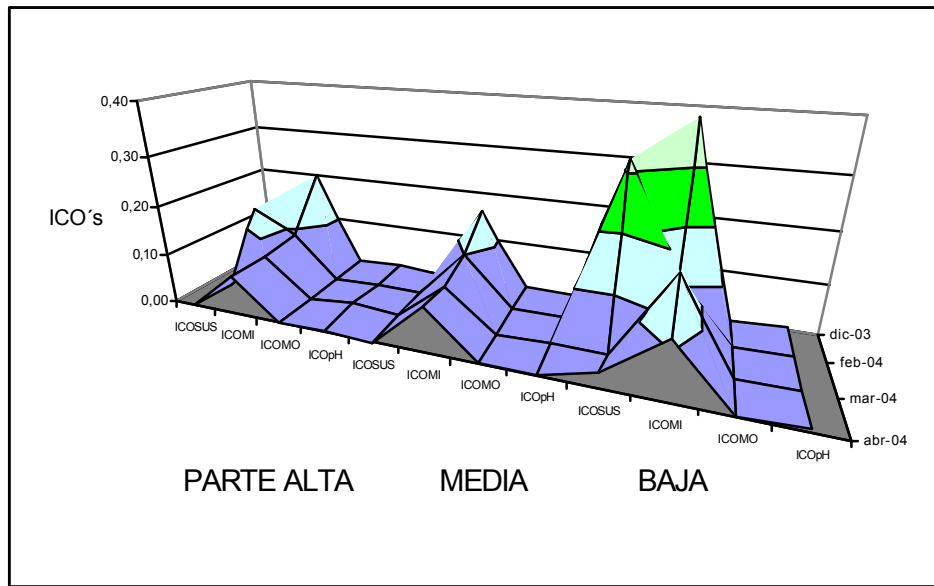


Figura 6. Evolución de la calidad del agua en cada estación a lo largo del ciclo anual.

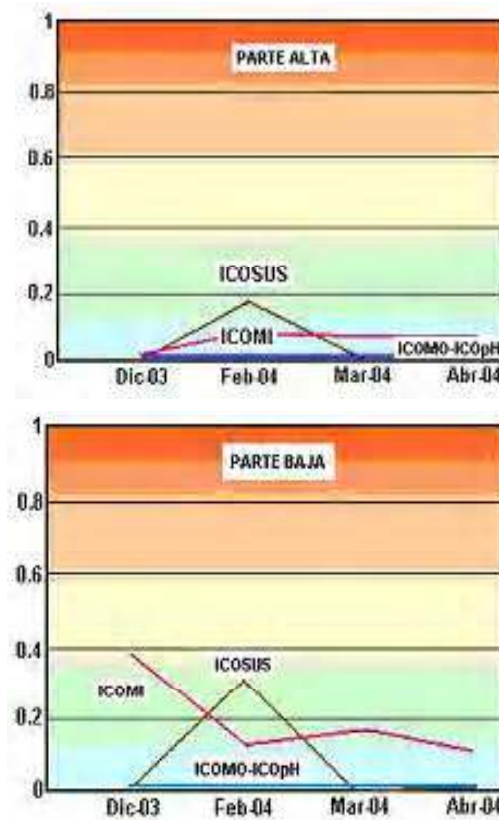


Figura 7. Evolución de la calidad del agua en cada estación a lo largo del ciclo anual.

CONCLUSIONES

Las herramientas estadísticas utilizadas ilustran claramente diversas características relativas a las condiciones fisicoquímicas del área de estudio. Es así como los índices de contaminación claramente señalan condiciones excelentes y buenas para todos los períodos y estaciones de estudio, mostrando la parte baja de la cuenca los valores de menor calidad, en particular, respecto a la mineralización y a los sólidos suspendidos. Así mismo, la cuenca baja es la estación que muestra la mayor variabilidad sobre el ciclo anual, en contraposición a la

cuenca media donde las condiciones fisicoquímicas permanecen casi constantes mostrando muy pocos efectos por los cambios en la precipitación.

Para el período de estudio, es el mes de febrero el que muestra los efectos de la escorrentía sobre los sólidos suspendidos, presumiblemente a causa del arrastre de material ocasionado por el inicio de las lluvias, mientras que la concentración de iones muestra su mayor incremento durante diciembre, mes de menor precipitación y posiblemente caudal.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alcaldía de Pamplona. 2002. Plan Básico de Ordenamiento Territorial.

APHA (American Public Health Association)- AWWA (American Water Works Association) - WPCF (Water Pollution Control Federation). 1992. Métodos Normalizados. Diaz de Santos. Madrid.

Bengraine, K., Marhaba, T.F. 2003. Using principal component analysis to monitor spatial and temporal changes in water quality. *J. Hazard Mater.* Jun 27;100(1-3):179-95.

Brown, R., McClelland, N., Deininger, R., Tozer, R. 1970. A water quality index-Do we dare? *Water and Sewage Works.* October. P. 339-343.

Fernández, N., Ramírez, A., Solano, F. 2004a. Physicochemical water quality Indices - A comparative review. *Revista Bistua.* Vol. 1 No. 1 2004. pp 19-30.

Fernández, N., Solano, F., Ramos, A. 2004b. ICATEST V 1.0 - Una herramienta Informática para el análisis y valoración de la calidad del Agua. *Revista Bistua.* Vol 2. No.1. pp. 88-97.

Flores, L., Navar J. .2002. An assessment of stream water quality of the Rio San Juan, Nuevo Leon, Mexico, 1995-1996. *J Environ Qual.* Jul-Aug;31(4):1256-65.

Gupta, A.K., Gupta, S.K., Patil, R.S. 2003. A comparison of water quality indices for coastal water. *J Environ Sci Health A Tox Hazard Subst Environ Eng.* 38(11):2711-25.

Iyer, C.S., Sindhu, M., Kulkarni, S.G., Tambe, S.S., Kulkarni, B.D. 2003. Statistical analysis of the physico-chemical data on the coastal waters of Cochin. *J Environ Monit.* Apr;5(2):324-7

Khan, F., Husain, T., Lumb, A. 2003. Water quality evaluation and trend analysis in selected watersheds of the Atlantic region of Canada. *Environ Monit Assess.* Oct-Nov;88(1-3):221-42.

Ning, SK., Chang, N.B. 2004. Optimal expansion of water quality monitoring network by fuzzy optimization approach. *Environ Monit Assess.* Feb;91(1-3):145-70

Said, A., Stevens, D.K., Sehlke, G. 2004. An innovative index for evaluating water quality in streams. *Environ Manage.* Sep;34(3):406-14. Epub Aug 24.

Simeonov, V., Stratis, J.A., Samara, C., Zachariadis, G., Voutsas, D., Anthemidis, A., Sofoniou, M., Kouimtzis, T. 2003. Assessment of the surface water quality in Northern Greece. *Water Res.* Oct;37(17):4119-24.

Singh, K.P., Malik, A., Mohan, D., Sinha, S. 2004. Multivariate statistical techniques for the evaluation of spatial and temporal variations in water quality of Gomti River (India)-a case study. *Water Res.* Nov;38(18):3980-92.

Stambuk-Giljanovic, N. 2003. Comparison of Dalmatian water evaluation indices. *Water Environ Res.* Sep-Oct;75(5):388-405.

Ramírez, A., Viña, G. 1998. *Limnología colombiana. Aportes a su conocimiento y estadísticas de análisis.* BP-Exploration, Bogotá.

Tyagi, A., Sharma, M.K., Bhatia, K.K. 2003. The study of temporal and spatial trends of water quality of river Kshipra using water quality index. *Indian J Environ Health.* Jan;45(1):15-20.

Viña, G., Ramírez, A. 1997. Criterios de calidad del agua y su relación con el bentos en el área de influencia del Oleoducto Cusiana (Bases para un programa de monitoreo a largo plazo). En: *Memorias Seminario Internacional sobre Macro-Invertebrados Bentónicos como Bioindicadores de Calidad del Agua.* Universidad del Valle, Cali-Colombia.

Wunderlin, D.; Díaz, M., Amé, M.V., Pesce, S., Hued, A., Bistoni, M. 2001. Pattern Recognition Techniques for the Evaluation of Spatial and Temporal Variations in Water Quality. A case Study: Suquia River Basin (Córdoba, Argentina). *Water Research* 35 (12), 2881-2894.

ANEXOS

Muestreo Noviembre 18 de 2003

| Variable | Unidades | Parte Alta | Parte Media | Parte Baja | Promedio |
|---------------------|-------------|------------|-------------|------------|----------|
| pH | Un. De pH | 7,51 | 7,2 | 7,43 | 7,38 |
| Conductividad | mS/cm | 182 | 158 | 341 | 227 |
| Turbidez | UNT | 4,5 | 4,13 | 8,08 | 5,57 |
| Sólidos Suspendidos | mg/l | 8 | 2 | 14 | 8 |
| Dureza Total | mg/l | 29 | 21 | 31 | 27 |
| Alcalinidad | mg/l | 46,44 | 35,5 | 80 | 53,98 |
| Coliformes Fecales | Bac/ml | 1,5 | 3,6 | 1,5 | 3,13 |
| Coliformes Totales | Bac/ 100 ml | 9,2 | 93* | 3,6 | 35,26* |

Nota: 1.5 equivale a <3

Muestreo Febrero 28 de 2003

| Variable | Unidades | Parte Alta | Parte Media | Parte Baja | Promedio |
|---------------------|-------------|------------|-------------|------------|----------|
| pH | Un. De pH | 7,05 | 7,07 | 7,11 | 7,08 |
| conductividad | mS/cm | 98 | 108 | 117 | 107,67 |
| Turbidez | UNT | 16,7 | 9,98 | 37,8 | 21,49 |
| Sólidos Suspendidos | Mg/l | 54 | 6 | 114 | 58,00 |
| Dureza Total | Mg/l | 16 | 12 | 13 | 13,67 |
| Alcalinidad | Mg/l | 23,55 | 26,97 | 28,92 | 26,48 |
| Coliformes Fecales | Bac/ml | 1,5 | 3,6 | 3,6 | 3,36 |
| Coliformes Totales | Bac/ 100 ml | 23 | 43 | 23 | 29,67 |

Muestreo Marzo 03 de 2003

| Variable | Unidades | Parte Alta | Parte Media | Parte Baja | Promedio |
|---------------------|-------------|------------|-------------|------------|----------|
| pH | Un. De pH | 7,6 | 7,4 | 7,3 | 7,43 |
| conductividad | mS/cm | 95 | 96 | 104 | 98,33 |
| Turbidez | UNT | 10 | 9,2 | 21,1 | 13,43 |
| Sólidos Suspendidos | mg/l | 5 | 6 | 8 | 6,33 |
| Dureza Total | mg/l | 11 | 13 | 22 | 15,33 |
| Alcalinidad | mg/l | 23,2 | 26 | 97,4 | 48,87 |
| Coliformes Fecales | Bac/ml | 1,5 | 3,5 | 3,6 | 3,33 |
| Coliformes Totales | Bac/ 100 ml | 17 | 26 | 20 | 21,00 |

Muestreo Abril de 2003

| Variable | Unidades | Parte Alta | Parte Media | Parte Baja | Promedio |
|---------------------|-------------|------------|-------------|------------|----------|
| pH | Un. De pH | 7,08 | 7,3 | 7,51 | 7,30 |
| Conductividad | mS/cm | 92 | 105 | 115 | 104,00 |
| Turbidez | UNT | 10,3 | 8,92 | 16,2 | 11,81 |
| Sólidos Suspendidos | mg/l | 7 | 9 | 15 | 10,33 |
| Dureza Total | mg/l | 19 | 15 | 10 | 14,67 |
| Alcalinidad | mg/l | 20,54 | 23,9 | 27,48 | 23,97 |
| Coliformes Fecales | Bac/ml | 1,5 | 3,1 | 3,1 | 3,08 |
| Coliformes Totales | Bac/ 100 ml | 20 | 30 | 21 | 23,67 |