

ISSN 0325-2809	Rev. Asoc. Cienc. Nat. Litoral, n° 12, p.: 96 - 110	1981
-------------------	---	------

## ANALISIS POR COMPUTADORA DE DATOS HIDROQUIMICOS SECUENCIALES. SU APLICACION PARA EL RIO PARANA MEDIO\*

*Argelia M.L. Lenardón \*\**

INTEC \*\*\*

Casilla de Correo N° 91

3000 - Santa Fe

Argentina

### RESUMEN

El objetivo fundamental del trabajo ha sido desarrollar una metodología que permita analizar, mediante diversos programas de computación digital, conjuntos numerosos de calidad de agua, los cuales han sido obtenidos en forma secuencial.

Las técnicas fueron aplicadas a datos hidroquímicos pertenecientes a cuatro Estaciones de muestreo, próximas a las ciudades de Santa Fe y Paraná.

La estadística básica de los datos hidroquímicos mostró marcadas características log-normales. Los datos transformados logarítmicamente, fueron examinados mediante las técnicas de Análisis de Agrupamiento y Correlación Cruzada, estableciéndose que existen "retardos" entre las Concentraciones y los Caudales que en ningún caso exceden los 25 días.

Se aplicó luego Análisis de Tendencia de Tiempo (Filtrado), obteniéndose mediante esta técnica mejores correlaciones entre las variables, a las cuales se las había eliminado el "ruido".

El análisis de Fourier indicó la periodicidad de las fluctuaciones en las Concentraciones, que en general coinciden con el ciclo hidrológico.

El Análisis de factores permitió apreciar las variables ambientales que controlan las Concentraciones de los componentes determinados.

Esta metodología podrá eventualmente utilizarse en aquellos estudios de calidad de agua donde se requiera obtener una imagen del comportamiento previsible de un río.

---

\* Presentado en las "I Jornadas de Ciencias Naturales del Litoral", Santa Fe, Setiembre 1981. Este trabajo forma parte de la Tesis presentada en la Facultad de Ingeniería Química, U.N.L., setiembre 1979, para optar por el título de Doctora en Química.

\*\* Miembro de la Carrera del Investigador del CONICET.

\*\*\* Instituto de Desarrollo Tecnológico para la Industria Química, dependiente de la Universidad Nacional del Litoral y del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET).

## SUMMARY

### *Computer analysis of sequential hydrochemical data. Application for the middle Paraná River*

The main objective of this work has been to develop a methodology that allows, by means of a package of computer programs, the statistical analysis of large sets of hydrochemical sequences.

The technique have been used in connection with hydrochemical data obtained in four sampling stations located close to the cities of Santa Fe and Paraná River valley.

The statistical distributions of the hydrochemical data were markedly log-normal. The logarithmic transforms examined by Cluster Analysis and Cross-Correlation technique exhibited lags between concentrations and river discharge, never exceeding 25 days.

The sequence of data treated with Filtering Technique (Time-Trend Analysis) showed that the correlations of "noiseless" data were better than those correlations where background noise was not removed of filtering.

Fourier Analysis showed cycles in the concentration sequence in general coincidence with the hydrology of the water bodies.

Finally, Factor Analysis (R-Mode) allowed some considerations on the environmental factor controlling the concentration of dissolved salts.

This methodology could be used with advantage in all situation where an extensive statistical analysis is required for environmental reasons.

## INTRODUCCION

Las precipitaciones atmosféricas constituyen sin duda la principal fuente de agua que alimenta a ríos y lagos. Esta agua de lluvia, penetra en el suelo, atacando física y químicamente los constituyentes minerales, disolviendo los componentes más solubles e incrementando su contenido en sales; luego escurre hacia cuerpos de agua, donde la evaporación aumenta aún más la concentración de dichas sales.

El agua de lluvia normalmente lleva disueltas bajas concentraciones de sales, las cuales constituyen un aporte adicional a los ya mencionados; algunos ríos tropicales, por otra parte, transportan fundamentalmente esta carga de sales de origen atmosférico.

Otros procesos, tales como los de intercambio iónico con partículas de arcilla o su disolución parcial, tienden a alterar nuevamente el contenido de fases disueltas.

A raíz de estos procesos, un río o un lago es un sistema complejo dinámico con características químicas en permanente cambio, razón por la cual la cantidad de datos que se requirieren para obtener una imagen certera sobre el comportamiento de un río es considerable.

Resulta evidente que la investigación hidroquímica de un río debe cubrir un lapso de tiempo cuya extensión garantice no solamente períodos de valores medios, sino también aquellos donde se producen valores extremos.

Los objetivos propuestos fueron:

- a. Desarrollar una metodología para el análisis cuantitativo de un elevado número de datos hidroquímicos secuenciales, basándose en la elaboración y utilización de un conjunto de programas de computación digital.
- b. Aplicar dicha metodología para la evaluación de datos hidroquímicos obtenidos en las inmediaciones de las ciudades de Santa Fe y Paraná.

## MATERIALES

Para desarrollar el trabajo resultó indispensable contar con información analítica que cubriera un período de tiempo significativo. Para ello se recurrió a Obras Sanitarias de la Nación, Seccional Santa Fe, la cual proveyó información analítica de muestras de aguas obtenidas en: Rfo Paraná (Toma Paraná), Rfo Colastiné (Toma Rincón y Toma Colastiné) y Rfo Santa Fe (Toma Santa Fe), donde dicha Institución posee lugares de muestreo.

Las variables incluídas (Cuadros nº 1 y 2) no cubren todos los parámetros de calidad de agua que podrían requerirse para proyectar una imagen precisa. Algunas variables, por otra parte, son sólo informadas hasta el límite de detección del método utilizada, por ejemplo,  $\text{NO}_3$  y  $\text{NO}_2$ , lo cual no permitió el procesamiento de estos parámetros. Pero resulta evidente que dados los objetivos del análisis, el pragmatismo del procedimiento está justificado.

Cuadro nº 1.

### Información analítica disponible. Promedios mensuales.

RIO	ESTACION	PERIODO	Nº DE DATOS	VARIABLES
PARANA	PARANA	1965-1974	120	Alcalinidad-Dureza-Cloruros-Residuos-Turbiedad-Color-pH-Sulfatos-Caudal
			99	Idem + Nitratos-Amonio
COLASTINE	COLASTINE	1951-1974	258	Alcalinidad-Dureza-Cloruros-Residuos-Turbiedad-Color-pH-Caudal
		1965-1974	91	Idem + Sulfatos-Nitratos-Amonio
COLASTINE	RINCÓN	1965-1974	113	Alcalinidad-Dureza-Cloruros-Residuos-Turbiedad-Color-pH-Caudal
			88	Idem + Sulfatos- Nitratos-Amonio
SANTA FE	TOMA SUPLEMENTARIA	1951-1974	286	Alcalinidad-Dureza-Cloruros-Residuos-Turbiedad-Color-pH-Caudal
		1965-1974	119	Idem + Sulfatos
		1965-1974	88	Idem + Nitratos-Amonio

La metodología analítica seguida por el Laboratorio de Obras Sanitarias está descrita en "Métodos para el examen de las aguas y de líquidos cloacales" (O.S.N.).

Los caudales se obtuvieron a partir de las alturas hidrométricas diarias registradas por la Dirección Nacional de Construcciones Portuarias y Vías Navegables del Ministerio de Obras Públicas de la Nación. Se transformaron las alturas hidrométricas en caudales expresados en metros cúbicos por segundo ( $\text{m}^3/\text{s}$ ) utilizando las ecuaciones de regresión polinómica, desarrolladas por la Institución antes mencionada, para cada lugar de muestreo.

A partir de la información publicada para el período 1901-1975, se construyó la curva de Caudales típicos para el río Paraná a la altura de la ciudad de Paraná, la cual posteriormente se utilizó en el desarrollo del trabajo.

## Cuadro nº 2.

## Información analítica disponible. Datos diarios.

RIO	ESTACION	PERIODO	Nº DE DATOS	VARIABLES
		1967	281	Alcalinidad-Turbiedad-Color-pH
PARANA	CIUDAD DE PARANA	1971	251	Alcalinidad-Turbiedad-Color-pH
		1973	252	Alcalinidad-Turbiedad-Color-pH

Tanto la información hidroquímica como hidrológica, fue procesada en su mayor proporción, por una computadora digital PDP 11/40 de Digital Co. con 64 kilo palabras de 16 bits de memoria de acceso directo.

No se incluyen los listados de Programas utilizados por razones de extensión. Con la excepción de los Programas UDATOS e HISTO, toda la información procesada se introduce mediante el mismo subprograma READM variando únicamente los formatos de entrada, cuando se requiera.

## METODOLOGIA

El primer paso en el análisis estadístico de los datos hidroquímicos antes mencionados consistió en procesar, mediante el programa HISTO, el conjunto de variables determinadas en las distintas Estaciones. El programa permite confeccionar histogramas<sup>1,4</sup>, mediante la impresora rápida de la computadora digital, proveyendo además información sobre las características muestrales: por ejemplo, media aritmética, desviación estándar, valores máximos y mínimos, etc.

Al aplicar este procedimiento a los datos originales se puede comprobar, tal como se indica posteriormente, que la mayoría de las variables presentaban distribuciones del tipo log-normal. (Por ejemplo: fig. 1).

El procesamiento de datos con estas características requiere su "normalización"; para ello fueron transformados de forma tal que la nueva distribución revista características Gaussianas. Esto se logró con frecuencia, utilizando el logaritmo (base e ó 10) de los datos para confeccionar las curvas de distribución. La salida de computadora con estos nuevos datos muestran los cambios operados por el tratamiento antes mencionado. Los histogramas, en este caso, sugieren curvas de distribución de frecuencias con notables características normales.

Dada esta necesaria transformación de datos, nuevamente se debió determinar sus características básicas, incluyendo en este caso, la varianza y la media. Esto se realizó a través del Programa UDATOS.

Al análisis de Agrupamiento<sup>8</sup>, se incorporó el estudio con el objeto de obtener una imagen de la asociación existente entre las distintas variables utilizadas. La naturaleza de

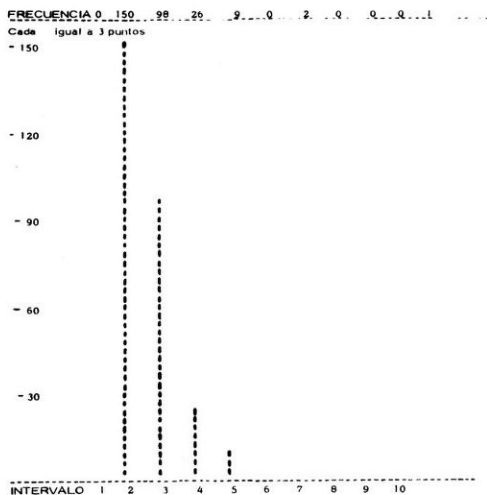


Fig.1: Histograma de frecuencia perteneciente a la variable Dureza, del Rfo Paraná, período 1951-1974, información promedio mensual.

los datos utilizados para la aplicación de esta técnica exige datos logarítmicamente transformados, a los cuales se les aplicó el Programa DENDRO que en salida produce una matriz de coeficientes de correlación y el árbol de similitud o dendrograma. Este gráfico permite apreciar visualmente la asociación entre variables o los niveles de similitud entre ellos. Un ejemplo es la figura n° 2.

Los resultados obtenidos con la aplicación de la técnica mencionada anteriormente, indicaron la necesidad de utilizar otra metodología adicional que permitiera obtener resultados de correlaciones más significativos sobre la estructura multivariada de datos. Asimismo, se hizo evidente la necesidad de someter a la información a un proceso de filtrado.

Para dar medida de la asociación existente entre dos secuencias, se utilizó la técnica de Correlación Cruzada que está estrechamente vinculada a la llamada "autocorrelación" y consiste en la comparación entre dos Series de Tiempo. Por ejemplo,  $I_1$  que se desliza sobre  $I_2$  determinando las correlaciones existentes en cada posición de apareamiento. El objetivo del análisis es, precisamente determinar la posición en que las dos secuencias o series presentan máxima correlación.

El análisis se realizó mediante la utilización del Programa CROSCOR, el cual imprime en salida los valores de  $r_m$ , los respectivos valores de test de significación,  $t$ , y el correlograma correspondiente.

Con frecuencia la relación poco significativa que se presenta entre el caudal de un río y las variables hidroquímicas, se debe a los denominados "retardos" que pueden producirse entre la concentración de un elemento y el caudal registrado en una fecha anterior. Vale decir que la mejor correlación puede darse entre la concentración observada en una fecha y el caudal registrado en otra fecha varios días antes.

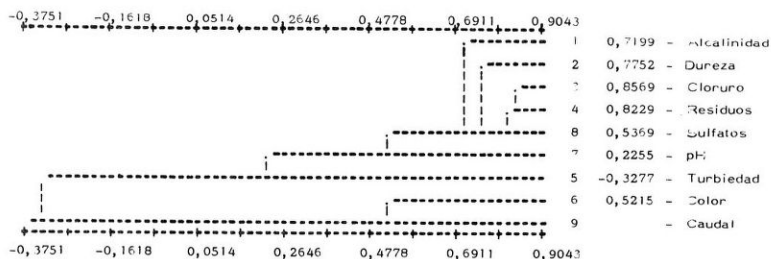


Fig. 2: Dendrograma o árbol de similitud perteneciente al Rfo Paraná, Período 1965-1974

Hay evidencias de que los “retardos” en un sistema hídrico del tamaño del río Paraná, son generalmente inferiores a los 60 días. Por esta razón los datos fueron separados en grupos de 2 meses de longitud y cotejados con los caudales correspondientes.

A raíz de este fenómeno, se procuró determinar tres años que fueran respectivamente representativos de situaciones hidrológicas de aguas altas, medias y bajas. Estos años deberían utilizarse para establecer la existencia de “retardos”, ya que éstos pueden ser inferiores a 30 días. El requisito básico de estas tres condiciones hidrológicas determinadas, sería presentar información analítica obtenida diariamente.

Para determinar estos tres años se utilizó la técnica antes descripta someramente, denominada Correlación Cruzada. En este caso se compara la curva de caudales típicos medios del río Paraná (1901-1975) con los caudales medios mensuales del período comprendido entre 1965-1974.

De esta forma se determinó que el año 1971 es el más similar desde el punto de vista hidrológico al hidrograma típico. De igual forma se determinaron, durante el período analizado, los años 1967 y 1973 como representativos de aguas bajas y altas respectivamente.

Una vez determinados los años que resultarían objeto de análisis más detallados, se recopiló la información diaria para las variables: Alcalinidad, Turbiedad, Color y pH (Cuadro nº 2). A estos parámetros se les aplicó los programas para determinar sus características básicas, observándose nuevamente la necesidad de transformar los datos originales.

Habiendo acondicionado así la información a procesar, se procedió a encarar el Análisis de Correlación con cada variable transformada las que fueron comparadas con los caudales respectivos.

La secuencia de datos hidroquímicos presenta, sin duda, “ruido” superpuesto a lo que podría llamarse una “señal”. Este “ruido” puede deberse a problemas analíticos, errores de distinto origen, o bien a variaciones locales determinadas por fuentes de sólidos disueltos de reducida magnitud. Como la “señal” tiende a variar poco de un grupo a otro cercano, mientras que el “ruido” no, un promedio de varios puntos adyacentes convergen hacia el valor de la “señal”. Esta técnica se denomina “Suavizado y Filtrado” y el proceso de filtrar información natural se denomina Análisis de Tendencia de Tiempo.

Resulta lógico entonces, intentar suavizar la información hidroquímica para determinar si existen componentes cíclicos discernibles y tratar de mejorar las correlaciones entre las distintas variables.

Con tal propósito se utilizó un programa denominado SUAVEM, el cual utiliza un algoritmo para un promedio móvil de  $m$  términos, el cual debe ser establecido por el usuario. El programa provee la información original y un vector de longitud  $n-m+1$  ( $n$  es el número de elementos originales de la secuencia). Una rutina grafica la información, y finalmente un vector computa la varianza del vector original y el porcentaje aproximado de la suma de cuadrados explicado por el "suavizado".

Los procesos naturales, cíclicos por naturaleza, pueden ser descriptos mediante el Análisis de Fourier. En este último, una curva compleja puede ser descompuesta en un agregado de formas ondulatorias simples descriptas por una serie de senos y cosenos. Los datos observados pueden ser expresados como una serie de armónicas fundamentales, que son teóricamente independientes. Cada armónica tiene una longitud de onda ( $\lambda$ ) que es una fracción discreta del período total de observación.

El Programa FOURIER computa los valores de los coeficientes  $a_n, b_n$ , los cuales, conjuntamente con las varianzas ( $S_x^2$  y  $S_y^2$ ) son utilizados para calcular el porcentaje de contribución a la  $n$ -ésima armónica.

La finalidad fundamental del Análisis de Factores y a su vez su ventaja más importante, es que partiendo de un gran número de variables medidas en numerosos individuos (los cuales generan un elevado número de correlaciones e interrelaciones complejas) se obtienen relativamente pocos factores o interrelaciones simples. Finalmente, estos factores se supone están involucrados en la definición de dos o más variables.

El propósito de esta técnica es interpretar la estructura dentro de la matriz de varianza-covarianza de un conjunto de datos multivariados. En este trabajo se utilizó la Moda R, cuyo principal objetivo es develar intercorrelaciones entre los atributos.

Dada la matriz de datos  $X_{Nm}$ , el problema básico es determinar  $m$  combinaciones lineales de las  $n$  variables que describan las entidades originales sin pérdida significativa de información. Estas  $m$  combinaciones son denominadas Factores.

La ecuación siguiente resume el Análisis de Factores:

$$Z_j = A_{1j}F_1 + A_{2j}F_2 + \dots + A_{mj}F_m + A_jF_j$$

la cual indica que cualquier variable (estandarizada por conveniencia)  $Z_j$ , consiste en la combinación de  $m$  factores comunes, más un factor único. El "peso" o "loading" del factor representa el grado de asociación o correlación de la variable con el factor. La varianza total debida a los factores comunes es llamada "comunalidad".

Existe abundante literatura sobre el desarrollo y aplicación de esta técnica; gran parte ha sido resumida por Harman<sup>3</sup>.

Para el procesamiento de los datos se utilizó un Programa denominado FACTOR, el cual analiza la estructura existente en la matriz de correlación de los promedios hidroquímicos.

La Figura n° 3 muestra el diagrama de flujo utilizado en el desarrollo de esta metodología.

## RESULTADOS Y DISCUSION

### 1. Datos Originales - Estadística Básica

Los histogramas obtenidos mediante la aplicación del Programa HISTO permitieron obtener una imagen de las características revestidas por la curva de distribución. En general, los histogramas producidos, lejos de presentar características normales o Gaussianas<sup>6</sup> evidenciaron una tendencia hacia distribuciones del tipo log-normal. Este fenómeno es frecuente en el caso de concentraciones de iones en solución de cuerpos de agua<sup>7,5</sup>.

Mediante este tratamiento de datos se pudo determinar que:

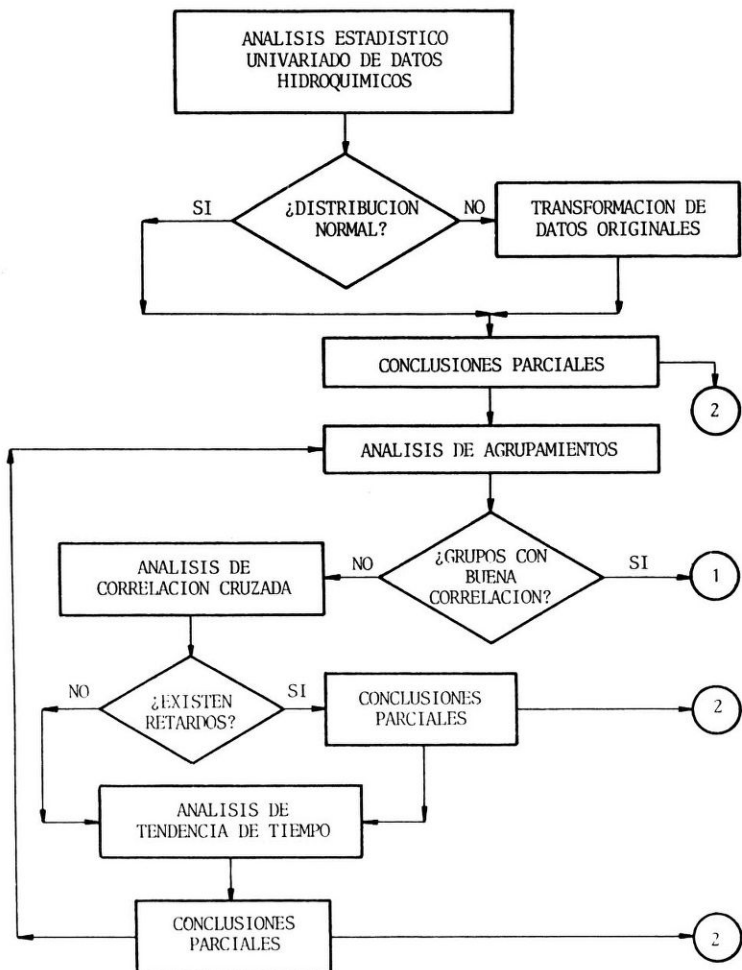
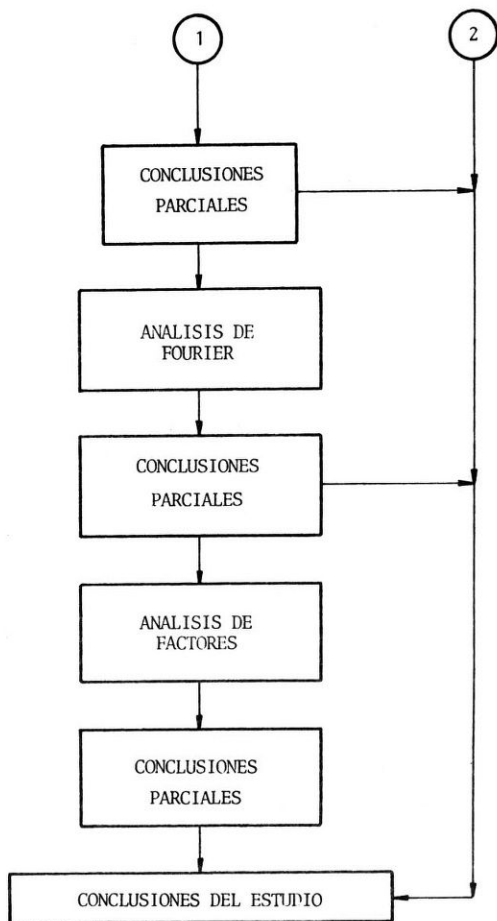


Fig. 3: Diagrama del flujo que representa el desarrollo metodológico del trabajo.





**Figura n° 3 (Continuación).**

- La Toma Colastiné presenta, en general, concentraciones más bajas pudiendo deberse a contribuciones del río Paraná que diluye las aguas captadas en esta Estación. Las determinaciones efectuadas en la Toma Rincón, por el contrario, fueron algo más elevadas, posiblemente a raíz de los aportes salinos de la Región Norte.
- Los valores determinados para el río Paraná y Santa Fe son, respectivamente, los más bajos y los más altos observados en la zona de estudio.
- En contenido de sales disueltas, la relación entre las 4 Estaciones investigadas resultó: Río Paraná < Río Colastiné (T. Colastiné)  $\leq$  Río Colastiné (T. Rincón)  $\leq$  Río Santa Fe.

## 2. Análisis de Agrupamiento - Dendrogramas

El desarrollo de esta técnica permitió establecer:

- Una notable similitud entre los agrupamientos de las variables en las 4 Estaciones y en general se observan bajos niveles de asociación  $r$  no significativos- entre los grupos determinados en los respectivos dendrogramas.
- La concentración de las Sales Disueltas Totales aparecen frecuentemente asociadas con Cloruros (Cl) y Sulfatos (SO<sub>4</sub>) lo que indicó que constituyen la principal fuente de sales disueltas.
- Los dendrogramas sugieren que las asociaciones más claras entre las variables estuvieron en relación directa con el mayor contenido de especies disueltas. Esto significa que los agrupamientos fueron más próximos, mejor correlacionados en el río Santa Fe y en el río Colastiné que en el río Paraná.
- Ciertas variables aparecen constantemente agrupadas de la misma forma, sugiriendo factores comunes en su control, por ejemplo Turbiedad-pH y Color-Caudal.

## 3. Correlación Cruzada

El cuadro n° 3 muestra los días de "retardo" obtenidos, incluyéndose solamente aquellos valores que presentaron una asociación significativa.

La recta de regresión de la figura n° 4 se obtuvo a partir de los datos hidroquímicos que se correlacionan negativamente con el caudal ( $r$  negativo), los cuales se indican en el cuadro n° 3. En relación con la recta de regresión perteneciente a los datos relacionados positivamente con el caudal,  $r$  positivo, no resulta muy clara su interpretación, y hasta el día de la fecha de la presentación de este trabajo no ha sido suficientemente dilucidado.

De la aplicación de la metodología de correlación cruzada y de acuerdo a lo que se puede observar en la recta de regresión obtenida con los resultados, se puede inferir que:

- Los días de "retardo" están estrechamente vinculados, en forma directa, con el aumento en el Coeficiente de Variación de los Caudales; esto ocurre hasta un máximo de 13-14 días y significa que a fluctuaciones crecientes de caudal (aumento en la dispersión) corresponden aumentos en los días de "retardo".
- La situación parece invertirse a partir de los 15 días de "retardo", donde a disminuciones en la dispersión de los caudales (coeficientes de variación bajos) corresponden incrementos en los días de "retardo". Esta situación resulta hidrológicamente más com-

Cuadro nº 3.

Retardos (c/log.) significativos a nivel  $\alpha = 0,01$ 

AÑO	ALCALINIDAD	TURBIEDAD	COLOR	pH	MESES
1967	15 (-)	16 (-)	11 (-)	17 (-)	1-2
1971	7 (+)	n.s.	0 (+)	5 (+)	1-2
1973	n.s.	17 (-)	n.s.	n.s.	1-2
1967	2 (+)	2 (+)	18 (-)	2 (+)	3-4
1971	22 (+)	s.d.	23 (+)	23 (+)	3-4
1973	0 (-)	4 (-)	n.s.	5 (-)	3-4
1967	n.s.	11 (+)	10 (+)	n.s.	5-6
1971	16 (-)	22 (-)	n.s.	15 (-)	5-6
1973	0 (+)	n.s.	n.s.	n.s.	5-6
1967	n.s.	16 (-)	n.s.	n.s.	7-8
1971	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	7-8
1973	23 (+)	n.s.	n.s.	n.s.	7-8
1967	n.s.	18 (-)	21 (-)	19 (-)	9-10
1971	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	9-10
1973	n.s.	n.s.	n.s.	22 (+)	9-10
1967	11 (-)	1 (+)	0 (+)	11 (-)	11-12
1971	11 (-)	2 (+)	8 (+)	n.s.	11-12
1973	n.s.	9 (-)	n.s.	6 (-)	11-12

n.s. = no significativo.

s.d. = sin datos.

(-) = r negativos

(+) = r positivos

pleja, no sobrepasando en ningún caso los 25 días de "retardo". En este caso, el coeficiente de correlación de la recta de regresión ( $r = -0,49$ ), no alcanza un valor que permita asegurar conclusiones.

- La mejor asociación entre "retardos" y coeficientes de variación de caudal se da para el modelo clásico de dilución (coeficientes de correlación negativos), obteniéndose un  $r = 0,93$  hasta los 13 días y un  $r = -0,49$  entre los 15 y 22 días.
- Resulta que a incrementos en el Coeficiente de Variación de Caudal (aumento de fluctuaciones hidrológicas) corresponden "retardos" crecientes, pero la situación opuesta resulta poco clara y difícil de explicar hidrológicamente.
- Investigaciones recientes<sup>2,9</sup> evidenciaron que el "retardo" de las concentraciones de sales en solución con respecto a los caudales es un fenómeno normal en los sistemas hídricos. Más aún, estos "retardos" tienden a incrementarse hacia la desembocadura y están indudablemente asociados con las crecientes de la cuenca.

#### 4. Análisis de Tendencia de Tiempo - Filtrado o Suavizado

La utilización de esta técnica en los ríos Paraná y Santa Fe permitió establecer:

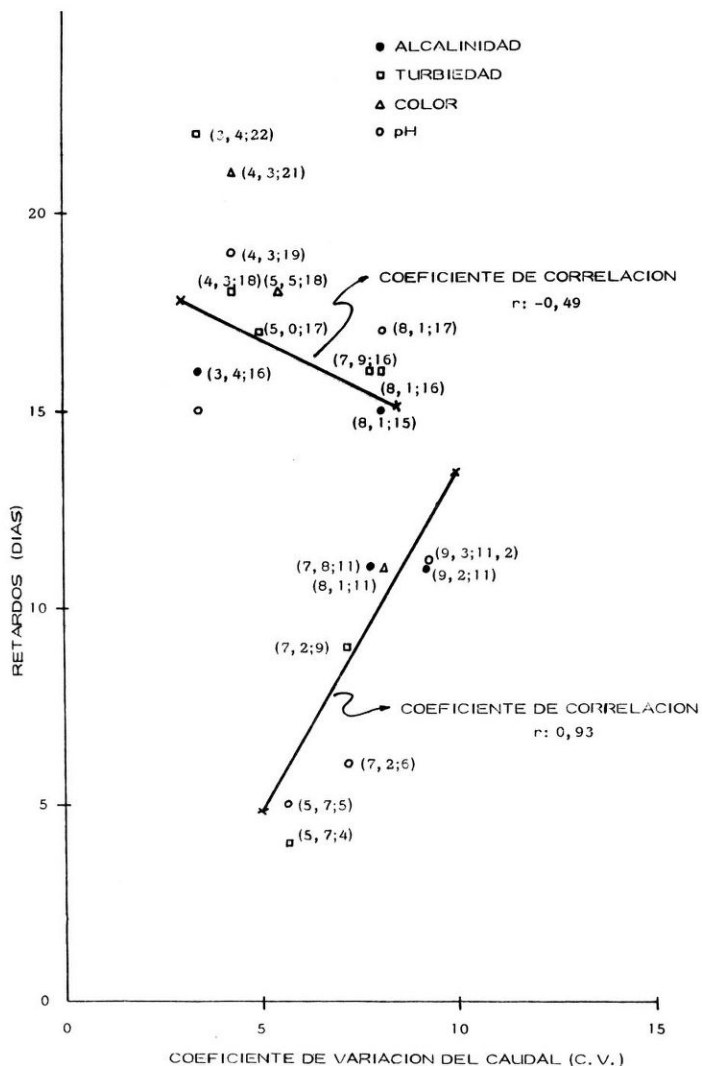


Fig. 4: Recta de regresión perteneciente a datos que se correlacionan negativamente con el caudal.

- En la mayor parte de los casos existe una periodicidad en las fluctuaciones observadas y que éstas tienen una longitud de onda que oscila entre 9-12 meses.
- La utilización del Análisis de Agrupamiento antes mencionado, efectuado a partir de datos filtrados permitió obtener dendrogramas que, manteniendo el agrupamiento observado con los datos originales, establecen niveles de correlación más altos. Esto sugiere que parte del desajuste observado en el análisis de datos originales se debe a "ruido" introducido por diferentes causas y también a los "retardos".
- Corresponde señalar que el manejo estadístico de datos filtrados es dificultoso y su utilización se decide, con frecuencia, en base a los resultados que se obtienen. En este caso su utilización parece recomendable para tratar de evaluar procesos, a pesar de la pérdida de un importante porcentaje de la suma de cuadrados de la información original.

### 5. Análisis de Fourier

La aplicación de esta técnica a las sucesiones de datos permitió establecer:

- La existencia de fenómenos periódicos de longitud de onda notablemente uniforme. La mayor parte de los parámetros investigados mostraron un ciclo básico de 12 meses y otros presentan armónicas de este ciclo (por ejemplo 24 y 36 meses).
- Resultó lógico, luego de la aplicación de estos dos últimos análisis mencionados, interpretar que las fluctuaciones de los parámetros investigados están estrechamente vinculadas a las fluctuaciones hidrológicas que presenta fluctuaciones armónicas de  $\lambda = 12$  meses.

### 6. Análisis de Factores

El análisis comparativo de los resultados obtenidos, extrayendo en todos los casos 4 factores, es de difícil evaluación, pero factible de realizar a partir del Cuadro nº 4, donde se señalan las variables que alcanzan un "peso" importante en cada factor, el signo que le corresponde y el total de su varianza explicada.

Las conclusiones más importantes en este caso fueron:

- Parece existir una relación directa entre el contenido total de sales de los ríos examinados y el porcentaje total de la varianza explicada. El río Paraná totaliza algo más de un 88% con 4 factores y el río Santa Fe con tenores más importantes, supera el 97% de la varianza total, también extrayendo 4 factores.
- Un factor subyacente parece controlar con frecuencia la asociación entre algunas variables. Por ejemplo, el Caudal y el Color aparecieron asociados (como se vio en el Análisis de Agrupamiento) en algunos factores, sugiriendo la existencia de un elemento que controla ambas variables. Del mismo modo aparecen asociados en forma opuesta, la Turbiedad con el Caudal y a menudo vinculados directamente con el pH.
- La comparación de los resultados obtenidos para los ríos Paraná y Santa Fe -los dos tipos químicamente más opuestos- indicaron factores muy diversos que controlan los quimismos. Por ejemplo, en el río Santa Fe, los sólidos disueltos totales estuvieron controlados por el mismo factor que limita los Cloruros, la Alcalinidad y la Dureza.

Cuadro n° 4.

## Cuadro Comparativo de Análisis de Factores

RIO	FACTOR											PORCENTAJE DE VARIANZA TOTAL ACUMULATIVA	
	1			2			3			4			
	VARIABLES	PESOS	% DE VARIANZA TOTAL	VARIABLES	PESOS	% DE VARIANZA TOTAL	VARIABLES	PESOS	% DE VARIANZA TOTAL	VARIABLES	PESOS		% DE VARIANZA TOTAL
PARANA	Turbiedad Caudal Color	0.9688 -0.8595 -0.6695	28.6	Alcalinidad Dureza Color	-0.8528 -0.7504 0.6767	26.21	Residuos Sulfatos	0.8638 0.8587	20.46	pH	0.9057	13.0	88.3
COLASTINÉ (C)	Turbiedad Color pH Caudal	0.8934 -0.7254 0.9364 -0.7885	34.8	Alcalinidad	0.9770	13,1	Cloruros Residuos Sulfatos	0.9355 0.7412 0.8942	31.4	Dureza	-0.9601	14.7	94.0
COLASTINÉ (D)	Alcalinidad Cloruros Residuos	0.9679 0.7034 0.7873	29.1	Turbiedad Color pH	-0.8295 0.9106 -0.9803	39.05	Dureza	-0.8115	12.03	Sulfato	0.7528	16.0	96.18
SANTA FE	Alcalinidad Dureza Residuos	0.9196 0.8824 0.7884	40.48	Color Caudal	0.9522 0.8334	29.2	pH	0.4966	6.12	Turbiedad Sulfatos	-0.6771 -0.6267	21.3	97.1

En el río Paraná, por el contrario, las sales disueltas totales estuvieron asociadas con los Sulfatos y explicando un porcentaje de la varianza muy inferior. El pH conforma en ambos ríos un factor único.

De igual forma, las dos Estaciones ubicadas en el río Colastiné mostraron similitudes y diferencias notables. Las sales disueltas totales en la Toma Colastiné estuvieron asociadas con Cloruros y Sulfatos, pero lo están con la Alcalinidad y Cloruros en la Toma Rincón. En ambas Estaciones pareció existir una fuente que controla la Turbiedad, el Color, el pH y el Caudal. La Dureza conformó factores únicos en ambas Estaciones, de igual forma que los Sulfatos en la Toma Rincón y la Alcalinidad en la de Colastiné.

## BIBLIOGRAFIA

- 1.- Chao, L.N. 1974. *Statistic methods and analysis (2da.Ed.) McGraw Hill*. N.York, (556 p).
- 2.- Glover, B.M. y P. Jonhson. 1974. Variation in the natural chemical flood flows and lag effect. *J. Hydrol.*, 22: 303-316.
- 3.- Harman, H.H. *Modern Factor Analysis. Univ. of Chicago Press.*, Chicago, (471 p).
- 4.- Lindgren, B.W. 1976. *Statistical theory. (3ra.Ed.) McMillan*. N.York, (614 p).
- 5.- Livingstone, D.A. 1963. Data of Geochemistry-Chapter G-Chemical composition of River and Lakes. *Geol. Surv. Professional pap.* 440G, (64 p).
- 6.- Meyer, S.L. 1975. *Data analysis for scientists and engineers. J. Wiley*. N.York, (512 p).

- 7.- Reeder, S.W.; B. Hitchon y A. Levinson. 1971. Hydrogeochemistry of the surface water of the Mackenzie River drainage basin-Canada-Factor controlling inorganic composition, *Geochim. Cosmochim. Acta*, 36: 825-865.
- 8.- Sokal, R.P. y P.H. Sneath. 1963. Principal of numerical taxonomy. *Freeman*, San Francisco, (359 p).
- 9.- Walling, D.E. e I.D. Foster. 1975. Variation in the natural chemical concentration of River water during flood flows, and the lags effects: some further comments. *J. Hydrol.*, 26: 237-244.

#### AGRADECIMIENTOS

- Al Dr. Jorge A. Chichizola, Jefe del Laboratorio de la Regional Santa Fe de O.S.N., Seccional Santa Fe, su inapreciable aporte a la realización de este trabajo, al facilitar los datos hidroquímicos necesarios.
- Al Dr. Pedro J. Depetris, cuyo asesoramiento permitió la realización del trabajo.