

CARACTERIZACION FISICO-QUIMICA DE AMBIENTES ACUATICOS PERMANENTES Y TEMPORARIOS DEL CHACO ORIENTAL

Hugo G. LANCELE(\*); Alba C. LONGONI(\*); Abel O. RAMOS(\*) y Julio R. CACERES(\*)

SUMMARY

Physico-chemical characteristics of 17 streams and 3 tropical swamps -so called "esteros"- were studied in the provinces of Santa Fe, Chaco and Formosa in the eastern Chaco (Argentina). This study was done in order to gather suitable information about the availability of regional hydric resources, to determine the possible utilization and to contribute to the improvement of the landscape management.

In the initial stage, samples were analyzed in three different opportunities during the hydrologic cycle, including dry and flooded seasons.

The paper describes seasonal variations of the salinity, major ion composition, expressed as the percentage of equivalent sum of total cations or anions, their geographical distribution and some other features, as the nutrient levels, hardness and aptitude for irrigation. On this basis, a characterization of the different habitats is given also considering the most distinctive physico-chemical features.

Analysis have been made according with the methodology described in Standard Methods (APHA, 1975) and Golterman and Clymo (IBP, 1978).

Among the obtained records, the most relevant was the one concerning with the salinization phenomena being frequent in the Salado, Saladito, Saladillo and Palmeta streams. In low water periods, they increased the conductivity to  $10^3$   $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ , with the correlative increment in the sodium, chloride and sulfate concentration which determined changes in the ionic typology.

INTRODUCCION

El Chaco Argentino es una región que presenta en su sector oriental una intrincada red de avenamiento, constituida por arroyos y ríos que desembocan en el eje potámico Paraguay-Paraná y encierra importantes extensiones de "esteros" y áreas anegables.

Los cursos de agua se desarrollan en un complejo sistema de escurrimiento, sometidos en muchos casos a desbordes y transfluencias bajo la acción de un régimen de precipitaciones pluviales de definida estacionalidad que condiciona la dinámica hidrológica. El período de aguas altas se inicia generalmente en noviembre-diciembre, pudiendo extenderse hasta mayo-junio, con derrames críticos en los meses de mayores lluvias (marzo-abril), en tanto la fase de estiaje corresponde al invierno con los menores caudales en agosto-setiembre (12).

La estacionalidad térmica y pluviométrica aludida, determina marcados cambios en las características físicas y químicas, acorde con los apo-

(\*) Centro de Ecología Aplicada del Litoral (CECOAL), Casilla de Correo 291 - 3400 Corrientes, ARGENTINA-

tes de agua de lluvia y de escorrentía, las pérdidas por evaporación, y el balance resultante entre ingresos y egresos de sustancias en solución y sus pérdidas en las aguas.

La energía de los aportes pluviométricos y térmicos hace posible que los atributos químicos, edáficos, mineralógicos y biológicos resulten fuertemente relacionados a través de los procesos hidrológicos, con gran incidencia del tiempo de residencia y el patrón de escurrimiento.

El estudio de las características de estos cuerpos de agua, a la vez que permite la obtención de información de base con el propósito de determinar la calidad de los recursos hídricos existentes en el Chaco Oriental, y evaluar sus potenciales usos, brinda la posibilidad de detectar indicaciones para interpretar el funcionamiento del paisaje, observando las modificaciones que experimentan sus propiedades y determinando el origen de las mismas.

#### AREA DE ESTUDIO

Los ríos, arroyos y esteros estudiados se encuentran en las provincias de Santa Fe, Chaco y Formosa, en el Chaco Oriental Argentino (Fig. 1) que constituye parte de la gran planicie que con el nombre de Chaco se extiende en territorios de Argentina, Paraguay, Bolivia y Brasil (9,10).

La región presenta una pendiente poco pronunciada, orientada de noroeste a sureste, hacia el eje fluvial Paraná-Paraguay. Los suelos dominantes son planosoles, solonetzicos, aluviales y salinos, con una distribución en la que alternan aquellos de carácter salino o alcalino con suelos normales, en tanto que en los valles de los ríos Paraná y Paraguay son aluviales recientes e hidromórficos (6,9,10,11).

#### METODOLOGIA

Los cursos seleccionados fueron muestreados en mayo, agosto y octubre de 1984, meses en los cuales el régimen pluviométrico presentó facies más contrastadas (Fig. 2), con clara repercusión en el ciclo hidrológico de los mismos.

Las muestras fueron tomadas en la intersección de la ruta nacional N° 11, que une las ciudades de Santa Fe (Pcia. de Santa Fe), Resistencia (Pcia. del Chaco) y Formosa (Pcia. de Formosa), con los cursos elegidos.

Se llevaron a cabo distintas determinaciones in situ, tales como pH, conductividad, profundidad y lecturas con el disco de Secchi, y en algunos casos oxígeno disuelto. Las muestras de agua para los análisis se recogieron a unos 20 cm por debajo de la superficie libre y se transportaron en bidones plásticos refrigerados hasta el laboratorio del Centro de Ecología Aplicada del Litoral (CECOAL) en la ciudad de Corrientes. Las alícuotas para determinaciones de nutrientes se recogieron en botellas de vidrio manteniéndose refrigeradas hasta su análisis.

Las determinaciones de pH se efectuaron empleando un potenciómetro portátil con electrodo de vidrio; las mediciones de conductividad con un conductímetro portátil y las de oxígeno disuelto con equipo portátil con electrodo de membrana.

La metodología de conservación y análisis de las muestras se ajustó en general a lo señalado por el Standard Methods for Analysis for Water and Wastewater (1) y en casos particulares a las propuestas por Golterman & Clymo (4).

La alcalinidad total se valoró empleando un potenciógrafo de laboratorio; de igual forma se valoraron bicarbonatos y carbonatos. Los cloruros fueron dosados volumétricamente empleando nitrato mercúrico e indicador de difenilcarbazona y los sulfatos por el método turbidimétrico con cloruro de bario. El calcio se valoró con EDTA y murexida como indicador, aunque también se lo cuantificó espectrofotométricamente por absorción atómica, al igual que el magnesio, sodio y potasio.

El nitrógeno de nitritos fue cuantificado por formación del colorante azoico con naftiletildiamina, en tanto que el correspondiente a nitratos por reducción previa de los mismos mediante columna de cadmio y posterior medición como nitritos. Para el nitrógeno amoniacal se empleó la nesslerización directa luego de destilación. El fósforo reactivo de ortofosfatos se determinó por el método del molibdato de amonio y reducción con ácido ascórbico, en tanto que el fósforo total filtrable como de la muestra entera, se obtuvo por digestión húmeda con persulfato en autoclave y valoración como fósforo reactivo. Las determinaciones de materia orgánica disuelta y total, se efectuaron empleando la oxidación con permanganato, así como con dicromato en medio ácido en caliente.

Con excepción de la oxidabilidad de la muestra entera, fósforo total, carbonatos, bicarbonatos y alcalinidad total, las determinaciones se hicieron sobre muestras filtradas con filtros de membrana de 0,45  $\mu$  de poro. Los sólidos en suspensión se separaron y pesaron empleando filtros de fibra de vidrio GF/C, luego de secados a 105°C.

## RESULTADOS

### RIOS Y ARROYOS

El régimen de lluvias en el período de estudio se ajustó en general al comportamiento observado para el intervalo 1956-1983 en los registros correspondientes a las localidades ubicadas dentro del área de estudio (Basal y Las Palmas, 1956-1983; Colonia Benitez, 1984), con un total anual de 1365 mm. Los mayores volúmenes acumulados correspondieron a enero, marzo, abril, mayo, octubre y noviembre, y el mínimo (10 mm) a julio de 1984 (Fig. 2). Como consecuencia los cursos redujeron gradualmente sus dimensiones y caudal durante los meses de invierno: 13-17 % el ancho y 35-88 % la profundidad, registrándose en agosto las menores profundidades. Unos pocos continuaron en bajante durante octubre: He-He Grande, Monte Lindo y Guaycurú, cuando los restantes ya experimentaban aumentos debido al inicio de un nuevo período de lluvias.

En mayo de 1984 las aguas de la mayoría de estos cursos fueron ligeramente alcalinas (tabla 1), con pH comprendido entre 6,90-7,85, encontrándose el 65% de las mismas en el rango 7,50-7,85. En la fase de estiaje el carácter básico aumentó, desplazándose el intervalo a 7,40-9,00 con la presencia de carbonatos en solución. Las lluvias de primavera provocaron una ampliación del intervalo a 7,00-8,95, reduciendo a poco menos del 50% los cursos con pH superior a 8,00 en octubre.

Las fluctuaciones estacionales de la salinidad de la mayoría de los cursos estudiados fue muy amplia (tabla 1). Así en mayo de 1984 la concentración de sales no superó los 310  $\text{mg.l}^{-1}$ , en tanto que durante el período de escasas precipitaciones alcanzó un máximo de 9.879,5  $\text{mg.l}^{-1}$  (río Saladito, mes VIII) (Fig. 1). Estas variaciones significaron incrementos del orden de hasta 10.000%. El comportamiento descripto fue general en aquellos cursos ubicados al sur del río Guaycurú, en tanto que en los que se encuentran al noroeste fue más variado, registrándose incluso disminución salina en unos pocos casos. En el mes de octubre sólo cuatro mantuvieron valores superiores a 10<sup>3</sup>  $\text{mg.l}^{-1}$ , como consecuencia de la dilución provocada por el aumento de las precipitaciones durante septiembre y octubre. La disminución observada osciló entre 17-95% de los valores correspondientes al mes de mayo, comprobándose, no obstante, que unos pocos cursos aumentaron su salinidad (He-He Grande, Inglés, Monte Lindo y Cangü Chico).

La conductividad eléctrica reflejó las variaciones de las concentraciones salinas comentadas, acusando un muy amplio intervalo (82-15500  $\text{uS.cm}^{-1}$ ). En agosto de 1984 los registros de conductividad fueron los más elevados, y su rango el más amplio del período (200-15500  $\text{uS.cm}^{-1}$ ) (Fig. 1), comprobándose en el mes de octubre una marcada caída en la mayoría de los cursos, con excepción de cuatro que permanecieron por encima de 1000  $\text{uS.cm}^{-1}$ , por encontrarse aún en su fase de aguas bajas (tabla 1).

Las concentraciones de los iones mayores, que comúnmente se encuentran presentes en las aguas superficiales, variaron marcadamente, con ten-

dencia estacional, observándose en general su aumento durante el invierno en la fase de estiaje. Los intervalos de concentración fueron particularmente amplios para cloruros y sulfatos, entre los aniones, y para el sodio entre los cationes. Las variaciones que acompañaron a los cambios de estación adquirieron considerable magnitud en la mayoría de los casos analizados, con situaciones de mayor contraste en los cursos ubicados al sur del río Tragadero, y en el He-He Grande al noroeste de Formosa, como puede apreciarse en la tabla 2. Entre éstos, el río Saladito experimentó los cambios más acentuados con incrementos del orden de 10000% para los cloruros y 25000% para los sulfatos.

Esta tendencia quedó de manifiesto en los intervalos encontrados para estos iones en el mes de mayo de 1984: 8,2-70  $\text{mg.l}^{-1}$  cloruros; 2,5-60  $\text{mg.l}^{-1}$  sulfatos; y los correspondientes a agosto: 16,3-2600  $\text{mg.l}^{-1}$  cloruros y 8-3500  $\text{mg.l}^{-1}$  sulfatos.

La alcalinidad fluctuó entre 0,40-8,39  $\text{meq.l}^{-1}$  para la totalidad de los ambientes, en las distintas oportunidades de muestreo, en tanto que considerados individualmente, los distintos cursos el rango absoluto de variación fue 0,09-7,99  $\text{meq.l}^{-1}$ . Como era de esperar, con el aumento del pH se detectó una más alta concentración de carbonatos, con la correlativa mayor contribución a la alcalinidad total.

El sodio fue el catión de más alto tenor con un máximo de 2700  $\text{mg.l}^{-1}$  (Saladito, mes VIII) para un intervalo que se extendió desde unos pocos miligramos por litro hasta el máximo citado. Las cantidades más altas correspondieron en general al mes de agosto de 1984, y con menor frecuencia a octubre, con aumentos de hasta 15700% respecto de los valores de mayo del mismo año, lo que determinó los siguientes rangos: 12-55  $\text{mg.l}^{-1}$  en el mes V de 1984; 20-2700  $\text{mg.l}^{-1}$  en el mes VIII y 10-1550  $\text{mg.l}^{-1}$  en el mes X. El calcio alcanzó un máximo de 330  $\text{mg.l}^{-1}$  en el arroyo Saladillo, en agosto, cuando el intervalo para el conjunto fue 12,4-330  $\text{mg.l}^{-1}$ , superando los registros de mayo comprendidos entre 3,0-38  $\text{mg.l}^{-1}$ . También para el magnesio las concentraciones halladas en agosto (5-255  $\text{mg.l}^{-1}$ ) fueron más altas que las de mayo (0,8-14  $\text{mg.l}^{-1}$ ), con valores en ocasiones superiores a 100, pero con mayor frecuencia inferiores a 50  $\text{mg.l}^{-1}$ .

No obstante la gran variabilidad mencionada para estos cationes, en ningún caso los mismos estuvieron en menor concentración que el potasio, que no superó en estas aguas a 10  $\text{mg.l}^{-1}$ , valor sensiblemente inferior a los promedios hallados por Maglianesi para algunos de estos cursos (7).

Los cambios estacionales en las cantidades de bicarbonatos, cloruros y sulfatos, y de sodio, calcio y magnesio (especialmente en la fase de aguas bajas) permitieron distinguir (Figs. 3 y 3') aquellos ubicados al noroeste -con excepción del He-He Grande- de los que se encuentran al sur del río Tragadero. Estos últimos se concentran en sales durante la bajante, particularmente en cloruros y sulfatos, con un comportamiento común a ríos y lagos localizados en regiones cálidas y áridas (3,5,8), lo que da lugar a un cambio en la tipología iónica, como se verá más adelante.

La relación entre las concentraciones de los cationes bivalentes Mg: Ca, se mantuvo sin embargo entre 0,1-0,9 en mayo y agosto, no obstante los cambios que experimentó la salinidad, y en general aumentó en octubre, ubicándose en el intervalo 0,4-1,3, si bien algunos cursos se apartaron de esa tendencia con una disminución de los valores al iniciarse el nuevo período de lluvias (arroyo Salado, río Salado, río Palometa y río Amores).

En razón de que la salinidad y la concentración de los distintos iones en solución es muy variable estacionalmente en estos cursos, se determinó la composición iónica relativa para todos los ambientes en cada oportunidad de muestreo. La integración de los distintos iones en los campos respectivos, determinó 22 tipos con predominio de tres: Cl-Na,  $\text{HCO}_3\text{-Na}$  y  $\text{SO}_4\text{-Cl-Na}$  (tabla 3). El sodio fue el ión predominante en los cursos al sur del río Guaycurú, en los que representó entre 51-79% de la suma de cationes, en tanto que en los ubicados al noroeste en oportunidades el calcio y el magnesio ocuparon los mayores porcentajes.

También la fracción aniónica presentó mayores similitudes en aquellos cursos localizados al sur, puesto que siendo predominantemente bicarbonatados en mayo, cambiaron a clorurados y sulfato-clorurados durante los meses

secos. Los cambios ocurridos pueden apreciarse en los correspondientes diagramas para el arroyo Negro y el riacho Monte Lindo, al noroeste, y los arroyos Saladito y Saladillo y el río Amores al sur (Figs. 4 y 5).

El arroyo He-He Grande, al noroeste, se mantuvo clorurado-sódico, no obstante las importantes variaciones experimentadas en el contenido de sales como se puede apreciar en la tabla 1 y Fig. 4.

#### APTITUD PARA RIEGO

Considerando la elevada salinidad de muchos de estos cursos y las altas concentraciones de sodio, calcio y magnesio, así como de cloruros y sulfatos en sus aguas, y la posibilidad que en determinadas circunstancias se recurra a ellas para riego, se consideró conveniente calcular la razón adsorción sodio (RAS) y carbonato de sodio residual (CSR), puesto que la presencia de elevadas concentraciones de sodio en las aguas de riego afecta en forma adversa la estructura del suelo y su permeabilidad, al reemplazar al calcio y al magnesio (2), a la vez que genera limitaciones al desarrollo de la rizósfera.

Los resultados obtenidos para la RAS y los registros correspondientes a la conductividad, llevados al diagrama propuesto por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de Norteamérica, para los estudios de aceptabilidad de aguas para propósitos de riego, permitieron determinar que, en fase de creciente, la totalidad se distribuía entre los tipos C<sub>1</sub>-S<sub>1</sub> y C<sub>2</sub>-S<sub>1</sub> es decir de bajo a mediano peligro de salinidad y bajo peligro de sodio. Con la disminución de los caudales y el aumento de salinidad, en la estación seca, la mayoría de los cursos cambió a aguas de alto a muy alto riesgo de salinidad (tipos C<sub>3</sub> y C<sub>4</sub>), si bien sólo el 50% presentó peligro de sodio (tipos S<sub>2</sub> y S<sub>4</sub>). Los cambios posteriores en conductividad y contenido en sodio, hicieron que al iniciarse otro ciclo hidrológico con las lluvias, la mayoría recuperara condiciones de aguas de bajo a mediano peligro de sodio y salinidad, manteniendo sin embargo condiciones adversas el He-He Grande, Monte Lindo, Salado, Saladito y Saladillo. Por otra parte, los valores calculados para el CSR no superaron en ningún caso 2.5 meq.l<sup>-1</sup> (peligro de alcalinización alto), y sólo el río de Oro, en agosto de 1984, estuvo por encima de 1.25 (peligro de alcalinidad medio) (2).

#### MATERIA ORGANICA Y NUTRIENTES

La materia orgánica en solución, en términos de oxidabilidad de la muestra filtrada, tratada con MnO<sub>4</sub><sup>-</sup> en medio ácido, promedió en mayo 19,7 mg.l<sup>-1</sup>, con valores desde 8,4 a 48,8 mg.l<sup>-1</sup> (tabla 3), encontrándose con mayor frecuencia entre 10-20 mg.l<sup>-1</sup>. En los meses siguientes experimentó una disminución que bajó el promedio a 11,9 mg.l<sup>-1</sup> y determinó el intervalo comprendido entre 3,8-34,5 mg.l<sup>-1</sup>. Este fenómeno se acentuó en algunos cursos al comenzar la primavera, en tanto otros mostraban un variable grado de aumento, de forma tal que en octubre el valor promedio fue 13,5 y el intervalo 1,2-30,1 mg.l<sup>-1</sup>. La oxidabilidad de la muestra entera promedió 24,8 mg.l<sup>-1</sup> en mayo, y 18,2 mg.l<sup>-1</sup> en agosto de 1984, por lo que la fracción en solución representó en el mes V entre 62-97% (promedio 87,7) de aquella, en iguales condiciones de ataque, y entre 3-100% (promedio 73,9) para el mes VIII, lo que indica una disminución durante el estiaje de los compuestos menos refractarios en la carga sestónica. A su vez, la relación (promedio) de oxidabilidad dicromato/permanganato para la materia en solución pasó de 1,6 en agosto a 2,2 en octubre de 1984. La correlación entre la concentración de materia orgánica (oxidabilidad permanganato) de la muestra entera y cantidad de sólidos en suspensión, resultó inferior a la encontrada entre la oxidabilidad por dicromato y sólidos en suspensión (coeficientes de correlación 0,664 y 0,854, respectivamente).

Los tenores de fósforo de ortofosfatos en solución (P-PO<sub>4</sub>) fueron en general superiores a 100 ug.l<sup>-1</sup>, con valores promedios de 223, 195 y 249 ug.l<sup>-1</sup>, para los meses V, VIII y X, respectivamente. La tendencia general observada fue de disminución de la concentración de ortofosfatos durante los meses secos (tabla 4), comprobándose en algunos cursos, caídas superiores a 50%, en tanto unos pocos mostraron incrementos llamativos, como por ejemplo Guaycurú y Cangui Chico.

En octubre se registraron aumentos importantes de la concentración de  $\text{PO}_4^{3-}$  en más del 60% de los ambientes, lo que dio lugar a un valor promedio superior al correspondiente a mayo, probablemente debido a las lluvias en la región, que aportarían flujos enriquecidos en fósforo por lavado de suelos y el arrastre de materia orgánica en descomposición. Coincidentemente, el fósforo total en solución, aunque determinado sólo en los meses de agosto y octubre de 1984 en la mitad de los cursos, también experimentó un aumento con la llegada de las lluvias de primavera.

El P- $\text{PO}_4$  reactivo en solución representó en agosto entre 7-94% del fósforo disuelto, en tanto que en octubre significó entre 12-79%, por lo que la consideración de las relaciones entre las distintas fracciones de fósforo permitió comprobar, para el mes de octubre, que entre el 50 y 77% del fósforo total se encontraba en solución, y de éste entre 12 y 79% esta ba como ortofosfato reactivo.

Los compuestos nitrogenados (nitratos, nitritos y amonio) tuvieron en general sus concentraciones más bajas durante los meses de escasas precipitaciones ( $\text{N-NO}_3$ :15-500  $\text{ug.l}^{-1}$ ;  $\text{N-NO}_2$ :hasta 5  $\text{ug.l}^{-1}$ ;  $\text{N-NH}_4$ :10-630  $\text{ug.l}^{-1}$ ) y los valores máximos en primavera ( $\text{N-NO}_3$ :20-1200  $\text{ug.l}^{-1}$ ;  $\text{N-NO}_2$ :hasta 110  $\text{ug.l}^{-1}$ ;  $\text{N-NH}_4$ :60-750  $\text{ug.l}^{-1}$ ), cuando fue particularmente notable el incremento, en algunos casos, de los tenores de  $\text{N-NO}_3$ , correspondiendo al riachón Monte Lindo el valor más alto (1200  $\text{ug.l}^{-1}$ ) (tabla 3). Las concentraciones de  $\text{N-NO}_3$  y  $\text{N-NH}_4$  resultaron en buena correlación con la cantidad de sólidos en suspensión, con coeficientes de correlación 0,968 y 0,926, respectivamente.

Lo observado respondería al régimen de lluvias que en la región aumenta notablemente durante la primavera y el verano, incorporando inmediatamente en algunos casos y con algún retardo en otros, aguas enriquecidas en compuestos nitrogenados, particularmente nitratos, generados y acumulados en los suelos durante la época seca, como fuera observado en otras regiones (13,14).

#### ESTEROS

Las aguas de los esteros seleccionados presentaron en general un carácter muy próximo a la neutralidad, con valores de pH 6,5-7,1 y salinidad moderada a baja, con variaciones en las proporciones relativas de los iones presentes que dio lugar a distintas tipologías, ninguna de las cuales se mantuvo durante todo el ciclo.

En estos esteros el pH fue ligeramente inferior a 7,0 al iniciarse los estudios, y en el período considerado no experimentó cambios de importancia, manteniéndose en la proximidad del punto neutro (tabla 5). Las lluvias de primavera redujeron aún más las pequeñas diferencias observadas inicialmente, de manera tal que el intervalo en octubre resultó 6,9-7,0.

La concentración de sales en solución varió entre 55,2 y 112,2  $\text{mg.l}^{-1}$  con fluctuaciones estacionales moderadas a bajas en el Lobo y el Morocho (7-32%) y más acentuadas en el Patí (18-91%), en el que la salinidad en octubre, en condiciones de aguas bajas, fue el doble de la correspondiente a mayo. Concordante con esto, la conductividad en el Lobo y Morocho osciló entre 78-100  $\text{us.cm}^{-1}$ , mientras que en el Patí lo hizo entre 78-145  $\text{us.cm}^{-1}$  con variaciones estacionales entre 5-15% en los dos primeros y entre 10-86% en el último.

El elemento dominante en estas aguas es el sodio, como puede apreciarse en los diagramas correspondientes a la Fig. 6, oscilando entre 42-63% de la suma de cationes, en tanto la cantidad de calcio presente varió entre 18-31% y la de magnesio entre 10-25%, mientras que la contribución del potasio en ningún caso superó el 9% de dicha suma. Así la importancia relativa de estos cuatro iones dentro del campo catiónico fue:  $\text{Na} > \text{Ca} > \text{Mg} > \text{K}$  en el estero Morocho;  $\text{Na} > \text{Ca, Mg} > \text{K}$  y  $\text{Na} > \text{Ca} > \text{Mg} > \text{K}$  en el Patí;  $\text{Na} > \text{Mg} > \text{Ca} > \text{K}$  y  $\text{Na} > \text{Ca} > \text{Mg} > \text{K}$  en el Lobo.

En el Lobo predominaron los cloruros, y en el Morocho y Patí los bicarbonatos, por lo cual el orden resultante fue  $\text{Cl} > \text{HCO}_3 > \text{SO}_4$  en el primero, y  $\text{HCO}_3 > \text{Cl} > \text{SO}_4$  en los restantes.

Consecuentemente, la tipología iónica fue variable y correspondió a los tipos  $\text{HCO}_3\text{-Na}$ ,  $\text{Cl-Na}$ ,  $\text{HCO}_3\text{-Cl-Na}$ ,  $\text{Cl-HCO}_3\text{-Na}$  y  $\text{HCO}_3\text{-Na-Ca-Mg}$ , aprecián

dose el predominio del carácter bicarbonatado-sódico en el Morocho y clorurado-sódico en el Lobo (Fig. 6).

La dureza de estas aguas resultó baja en todos los casos (13-28 mg  $\text{CaCO}_3 \cdot \text{l}^{-1}$ ), ubicándolas en la categoría de muy blandas, aunque con ligeros incrementos al progresar la época seca

## CONCLUSIONES

Los cursos estudiados experimentan una gran variabilidad en sus caracteres físico-químicos, especialmente en su conductividad y tipología iónica. En general, sufren marcados cambios en la salinidad como resultado de las fluctuaciones en caudal y por el desborde y recaptura de aguas, generado por las lluvias en la región, así como en el transporte de materiales en suspensión.

Se comprobó la importante concentración de sales que tiene lugar durante los meses secos en muchos de estos cursos, particularmente en aquellos al sur del río Tragadero, con incrementos notables en el contenido de cloruros, sulfatos y sodio, y el cambio en la tipología química resultante.

Las variaciones observadas en el contenido de electrolitos en solución y los referidos cambios en la conductividad, junto con los de la tipología iónica, acreditan validez a los muestreos realizados como representativos de fases claramente contrastadas del sistema en estudio y evidencian la importancia de los distintos cursos de agua como vehículos de las respuestas del extenso sistema en el que se insertan, poniendo de manifiesto la gran perturbación que en términos de masa y energía introducen las lluvias en los distintos subsistemas que lo integran.

Por otra parte, las tendencias detectadas en el incremento de las concentraciones de determinados iones y su consecuente repercusión en la integración iónica relativa, indican la posibilidad de diferenciar subconjuntos compuestos por cuerpos de agua con semejanzas funcionales, aunque los límites no resulten aún totalmente definidos. Asimismo señalan la incidencia de los suelos y la relevancia de la forma de escurrimiento, en relación al tiempo de residencia y a la dinámica del desplazamiento del material transportado, sean éstos de origen mineral u orgánico.

Así pueden señalarse analogías entre los cursos ubicados al sur del río Tragadero: Salado, Saladito, Palometa, Saladillo, Tapenagá y Amores, diferenciados de los restantes que, con excepción del He-He Grande, podrían conformar uno o más subconjuntos cuyas posibles similitudes aún no resultan claras, y otro subconjunto integrado por los esteros. Este deslinde ha sido también formulado al analizarse las características geomorfológicas y edáficas del Chaco Oriental (12).

En general, los cursos de esta región drenan hacia los grandes colectores (Paraná y Paraguay) una alta concentración de sales, sin que estos aportes alcancen niveles que afecten marcadamente la calidad de las aguas del río Paraná, que es el receptor último. No obstante, debe destacarse que la salinidad de estos cursos autóctonos es muy superior a la de los afluentes de la margen izquierda del Paraná en igual latitud (7).

## AGRADECIMIENTOS

A los señores Nicolás Roberto y Luis A. Benetti, por su colaboración en la toma de muestras y provisión de información de campo.

BIBLIOGRAFIA

1. APHA, AWWA, WPCF, 1975. Standard Methods for Examination of Water and Wastewater. APHA, Washington (USA).
2. BOLT, S.H. & M.G.M. PRUGGENWERT (Ed.), 1978. Oil Chemistry. A Basic Elements. Elsevier Scientific Publishing Co., Amsterdam.
3. GIBBS, R.J., 1970. Mechanisms Controlling World Water Chemistry. Science, Vol. 170: 1088-1090.
4. GOLTERMAN, H. & R. CLYMO, 1969. Methods for Physical and Chemical Analysis of Fresh Waters. IBP Handbook N°8. Blackwell Scientific Publications. Oxford, Londres.
5. HUTCHINSON, G.E., 1957. A treatise on Limnology. Vol. 1. John Wiley & Sons. New York.
6. INSTITUTO NACIONAL DE TECNOLOGIA AGROPECUARIA -MINISTERIO DE AGRICULTURA Y GANADERIA (CHACO), 1973. Introducción al conocimiento de los suelos del Chaco. Informe de divulgación de la 1° etapa. INTA (Bs. As.).
7. MAGLIANESI, R., 1972. Fuente de potasio en el Paraná Medio y Paraguay Inferior. Physis, tomo XXXI, N°83, Bs.As.
8. MARGALEF, R., 1983. Limnología. Ed. Omega SA. Barcelona.
9. MORELLO, J., 1983. El Gran Chaco: el proceso de expansión de la frontera agrícola desde el punto de vista ecológico ambiental. En: Expansión de la frontera agropecuaria y medio ambiente en América Latina. CEPAL-CIFCA, 10: 343-396.
10. MORELLO, J. y J. ADAMOLI, 1973. Subregiones ecológicas de la provincia del Chaco. Ecología, Asoc.Arg. de Ecología, 1(1): 29-33, Bs.As.
11. PAPADAKIS, J., 1973. La región chaqueña. Ecología, suelos, posibilidades agropecuarias. Ciencia e Investigación, 29 (7-8-9-10); Asociación Argentina para el Progreso de la Ciencia, Bs.As.
12. PATINO, C.A. y O. ORFEO, 1986. Aproximación al conocimiento del proceso de erosión del suelo en el Chaco Oriental. Ambiente Subtropical, 1 (en prensa).
13. RAI, H., 1974. Limnological observation on the different rivers and lakes in the Ivory Coast. Hydrobiología, 44 (2-3).
14. RIVEIRO, J.S.B.; S.R.B. BRINGEL y A. SANTOS, 1978. Hidrobiología na Amazonia Central. II. Fluctuações no fluxo de saída de nitrogênio e fósforo em dois ecossistemas na Amazonia. Acta Amazônica 8(3): 409-416.

Tabla 1: Valores de algunos parámetros estudiados para cursos del Chaco Oriental.

	pH		Conductividad ( $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ )		Sales en solución ( $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ )	
	VIII	X	VIII	X	V	VIII
	V	X	V	X	V	X
A° Negro	7,15	7,25	260	200	168,7	169,3
A° He-He Grande	7,05	8,90	390	9500	250,3	4321,5
A° Inglés	7,70	8,60	470	720	302,7	264,1
R° Monte Lindo	7,90	8,95	460	2400	305,8	1073,0
R° Pilagá	7,50	7,30	230	125	144,6	188,5
A° San Hilarrio	7,55	7,30	82	95	69,8	-
A° Salado	7,85	8,50	350	900	260,6	533,3
A° Cangui Chico	7,60	7,30	250	110	184,6	169,3
Río de Oro	7,85	7,00	315	1250	222,0	911,9
Río Guaycurú	7,80	8,45	430	380	310,0	281,6
Río Tragadero	7,65	8,00	92,5	230	79,0	1438,7
Río Salado	7,65	7,65	145	7600	99,6	5004,1
Río Saladito	7,15	8,05	130	15500	90,3	9879,5
Río Palometa	7,05	7,75	90	4500	75,5	2665,5
A° Saladillo	6,90	8,00	160	13000	120,0	8125,5
Río Tapenagá	7,85	8,20	110	1900	93,0	1154,0
Río Amores	7,30	7,50	195	1600	148,9	1010,0
						296,7

Tabla 2: Concentración de iones mayores en las aguas de los cursos estudiados

	Alcalinidad (mg.l <sup>-1</sup> )		Cloruros (mg.l <sup>-1</sup> )		Sulfatos (mg.l <sup>-1</sup> )		Calcio (mg.l <sup>-1</sup> )		Magnesio (mg.l <sup>-1</sup> )		Sodio (mg.l <sup>-1</sup> )		Potasio (mg.l <sup>-1</sup> )								
	V	VIII	X	V	VIII	X	V	VIII	X	V	VIII	X	V	VIII	X						
A° Negro	1,08	1,32	1,20	43	38,4	14	10	12	15	14,0	12,4	9,6	5,8	7	8	24	25	18	6,0	4,0	2,4
A° He-He Grande	0,98	5,10	5,40	70	1850	2600	40	680	600	20,0	220	210	2,0	158	164	55	1100	1550	3,5	5,5	7,8
A° Inglés	1,61	1,51	2,26	54	50	105	60	45	100	33,0	28	33	11,5	13	23	40	30	80	6,0	6,0	7,0
R° Monte Lindo	1,90	3,56	3,26	50	240	400	55	300	380	38,0	80	72	14	68	70	25	165	300	7,8	6,0	7,8
A° Pilagá	0,75	1,48	0,52	30	25	14	25	18	15	8,0	10	2,4	4,8	5	3,2	25	35	18	6,0	5,2	4,8
A° San Hilario	0,53	-	0,44	12	-	11,7	5	-	10	3,1	-	4,8	0,8	-	2,0	13,6	-	14	3,0	-	3,0
A° Salado	1,87	3,83	3,83	42	71	115	30	80	100	25,6	48	50	14	17	18	28	80	110	7,0	6,6	7,0
A° Canguí Chico	1,56	1,64	0,95	26	16,3	8,2	12	8	6	14,4	13	8,2	9	6	5	22	20	10	6,0	6,0	5,2
Río de Oro	2,03	6,32	0,64	28	115	5,0	10	150	12	25,0	76	6,0	9	12	3,4	20	180	10	6,0	5,5	4,0
Río Guaycurú	2,21	2,45	2,23	58	30	12	25	25	10	32,0	35	18	10	9	10	40	30	25	10	7,0	5,0
Río Tragadero	0,69	3,91	0,89	12	460	25	2,5	280	40	4,2	64	4	2,2	46	5	12	350	36	4,0	7,5	5,0
Río Salado	0,42	4,21	0,75	26	1300	55	18	1800	100	5,0	170	10,8	4,0	140	4,4	18	1350	76	3,0	8,0	5,5
Río Saladito	0,40	8,39	2,95	24	2600	670	14	3500	950	4,4	320	78	3,0	255	67	17	2700	750	3,5	4,8	6,0
Río Palometa	0,71	3,44	0,82	8,2	740	15	4	850	30	3,0	100	3,5	2,0	80	2,2	12	680	30	3,0	5,5	5,0
A° Saladillo	0,82	7,87	1,29	21	2000	180	15	3000	240	8,5	330	25	3,0	230	22	19	2100	190	3,5	4,8	5,0
Río Tapenagá	0,82	3,36	1,39	12	300	85	5	280	100	4,0	76	17	2,0	27	10	15	260	95	5,0	6,0	4,8
Río Amores	1,06	1,87	1,08	32	290	76	5,5	270	55	4,8	30	10	2,4	18	4,8	34	280	80	5,5	8,0	5,0

Tabla 3: Niveles de nitrógeno, fósforo y materia orgánica en los cursos estudiados.

	FOSFORO ( $\mu\text{g.l}^{-1}$ )				NITROGENO ( $\mu\text{g.l}^{-1}$ )				OXIDABILIDAD ( $\text{mgO}_2.\text{l}^{-1}$ )														
	Ortofosfatos ( $\text{P-PO}_4$ )		Total filtable ( $\text{P-PO}_4$ )	Total	Nitratos ( $\text{N-NO}_3$ )		Nitritos ( $\text{N-NO}_2$ )		Amonio ( $\text{N-NH}_4$ )		Permanganato		Dicromato										
	V	VIII	X	V	VIII	X	V	VIII	X	V	VIII	X	V	VIII	X	VIII	X						
	entera	filtrada	entera	filtrada	entera	filtrada	entera	filtrada	entera	filtrada	entera	filtrada	entera	filtrada	entera	filtrada							
A° Negro	140	30	10	-	-	10	20	1,5	-	nd	410	35	60	22,7	16,2	11,6	23,5	20,2	19,6	37,0	25,8		
A° He-He Grande	125	15	190	220	240	310	40	20	88	3,0	1,0	10	365	44	160	25,0	7,2	6,6	25,9	8,4	10,7	14,1	14,7
A° Inglés	135	55	70	-	-	-	10	425	354	2,0	1,2	110	425	14	200	13,8	5,6	14,2	14,4	12,5	20,6	28,2	-
R° Monte Lindo	280	170	160	810	120	2220	130	20	1200	1,3	1,0	nd	285	15	80	12,8	9,0	4,0	15,2	9,8	15,6	-	16,6
R° Pilagá	310	140	40	-	-	-	100	320	322	2,3	nd	22	100	48	315	16,6	19,6	24,3	17,3	33,4	22,7	28,2	39,6
A° San Hilarario	20	-	50	-	-	450	60	-	414	15	-	10	75	-	85	19,0	-	23,2	22,4	-	-	24,6	-
A° Salado	230	390	305	805	815	1630	20	190	448	15	nd	16	262	10	200	18,4	9,8	8,7	20,0	10,6	17,8	15,8	22,1
A° Cangui Chico	720	865	670	-	-	-	60	15	120	2,0	1,0	5	355	35	200	17,6	10,5	9,3	19,2	12,4	21,7	32,0	23,0
Río de Oro	960	225	400	240	590	920	90	500	180	2,5	nd	nd	135	82	100	20	4,6	30,1	31,2	10,6	4,8	31,3	10,7
Río Guaycurú	130	660	900	-	-	-	20	90	218	15	nd	nd	270	150	425	28,8	12,2	11,6	32,6	13,6	13,4	47,5	18,1
Río Tragadero	60	115	330	120	560	855	20	480	480	10	nd	5	200	630	-	28,4	12,4	22,8	38,4	17,0	17,9	-	39,4
Río Salado	110	20	60	25	510	850	50	200	200	1,0	nd	12	164	150	300	10,1	7,1	1,2	-	10,4	7,1	3,9	11,0
Río Saladito	100	50	215	-	-	-	20	-	240	1,2	nd	32	135	190	750	10,4	4,1	9,2	-	4,1	13,0	29,2	-
Río Palometa	210	85	290	150	600	980	40	-	224	1,0	2,0	20	180	175	250	8,4	14,0	17,5	10,4	18,0	-	-	-
A° Saladillo	75	45	145	-	-	-	20	-	120	1,0	nd	10	165	105	80	17,6	3,8	4,6	-	5,0	4,0	12,3	5,3
Río Tapenagá	340	170	160	210	450	-	70	-	490	1,2	5,0	30	190	360	490	16,0	20	14,8	25,6	26	22,4	16,2	44,5
Río Amores	20	85	240	90	1170	1990	90	-	160	2,0	2,4	28	215	540	-	48,8	34,5	17,0	51,2	79,0	37,3	26,4	81,0

Referencia: nd = no detectable.

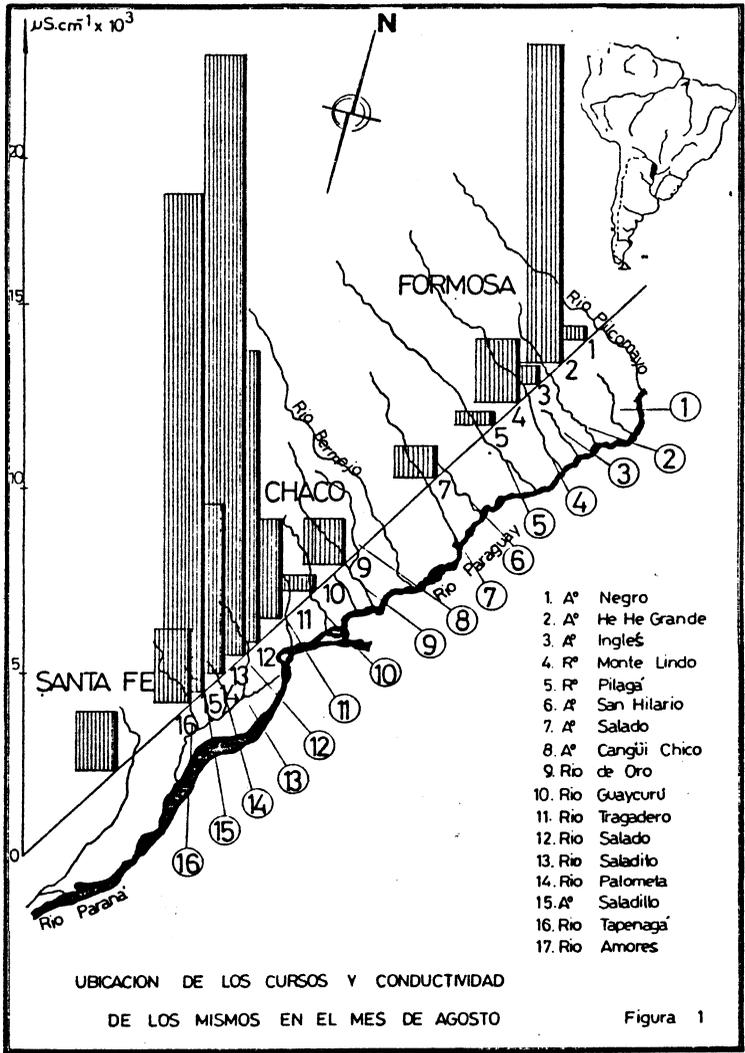
Tabla 4: Similitud y variación de la tipología iónica de los cursos estudiados.

	V		VIII		X	
	Cl-HCO <sub>3</sub>	Na-Ca	HCO <sub>3</sub>	Na-Ca	HCO <sub>3</sub>	Na-Mg
A° Negro	Cl	Na	Cl	Na	Cl	Na
A° He-He Grande	HCO <sub>3</sub> -Cl-SO <sub>4</sub>	Na-Ca	HCO <sub>3</sub> -Cl	Ca-Na-Mg	Cl-HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub>	Na-Mg
A° Inglés	HCO <sub>3</sub> -Cl-SO <sub>4</sub>	Ca-Mg-Na	Cl-SO <sub>4</sub>	Na-Mg	Cl	Na
R° Monte Lindo	Cl-HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub>	Na	HCO <sub>3</sub>	Na	HCO <sub>3</sub> -Cl-SO <sub>4</sub>	Na
R° Pilagá	HCO <sub>3</sub>	Na	--	--	HCO <sub>3</sub> -Cl	Na
A° San Hilario	HCO <sub>3</sub>	Na	HCO <sub>3</sub>	Na-Ca	HCO <sub>3</sub> -Cl	Na
A° Salado	HCO <sub>3</sub>	Ca-Na-Mg	HCO <sub>3</sub>	Na-Ca	HCO <sub>3</sub> -Cl	Na
A° Cangui Chico	HCO <sub>3</sub>	Na-Ca-Mg	HCO <sub>3</sub>	Na-Ca	HCO <sub>3</sub> -Cl-SO <sub>4</sub>	Na-Ca-Mg
Río de Oro	HCO <sub>3</sub>	Ca-Na-Mg	HCO <sub>3</sub> -Cl-SO <sub>4</sub>	Na	HCO <sub>3</sub>	Na-Ca-Mg
Río Guaycurú	HCO <sub>3</sub>	Ca-Na	HCO <sub>3</sub>	Ca-Na	HCO <sub>3</sub>	Na-Ca-Mg
Río Tragadero	HCO <sub>3</sub>	Na	Cl	Na	HCO <sub>3</sub> -Cl-SO <sub>4</sub>	Na
Río Salado	Cl-HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub>	Na	Cl-SO <sub>4</sub>	Na	Cl-SO <sub>4</sub>	Na
Río Saladito	Cl-HCO <sub>3</sub>	Na	Cl-SO <sub>4</sub>	Na	Cl-SO <sub>4</sub>	Na
Río Palometa	HCO <sub>3</sub>	Na	Cl	Na	HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub>	Na
A° Saladillo	HCO <sub>3</sub> -Cl	Na	Cl-SO <sub>4</sub>	Na	Cl-SO <sub>4</sub>	Na
Río Tapenagá	HCO <sub>3</sub>	Na	Cl-SO <sub>4</sub>	Na	Cl-SO <sub>4</sub>	Na
Río Amores	HCO <sub>3</sub>	Na	Cl	Na	Cl-HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub>	Na

Tabla 5: Características físico-químicas de los esteros estudiados.

	Pati		El Lobo		El Morocho	
	V	VIII	V	VIII	V	VIII
pH	6,85	7,10	6,9	6,95	6,95	7,00
Conductividad ( $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ )	78	145	130	95	78	98
Alcalinidad ( $\text{meg}\cdot\text{l}^{-1}$ )	0,51	1,00	0,50	0,35	0,42	0,46
HCO <sub>3</sub> ( $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ )	31,1	61,0	30,5	21,4	25,6	28,1
Cl ( $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ )	8,2	11,0	17,0	15,0	12,0	14,0
SO <sub>4</sub> ( $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ )	4	10	15	1	2,5	6
Ca ( $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ )	3,6	6,2	5,6	4,6	3,4	4,8
Mg ( $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ )	2,2	2,5	3,4	2,0	1,0	2,0
Na ( $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ )	7,0	18,0	16,0	10,0	12,0	14,0
K ( $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ )	2,5	3,5	4,0	1,2	2,2	1,2
Salinidad ( $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ )	58,6	112,2	91,5	55,2	58,7	70,1
Dureza ( $\text{mgCaCO}_3\cdot\text{l}^{-1}$ )	18	26	28	20	13	20
Color (uPT-Co)	-	1200	-	450	-	180
Oxidabilidad MnO <sub>4</sub> K						
muestra filtrada	-	26,3	-	12,0	-	17,0
muestra entera	-	62,2	-	14,0	-	27,2
Oxidabilidad Cr <sub>2</sub> O <sub>7</sub> K <sub>2</sub>						
muestra filtrada	-	42,7	-	27,7	-	18,1
muestra entera	-	62,0	-	29,4	-	29,4
N-NO <sub>3</sub> ( $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ )	-	150	72	-	140	72

Referencia: nd = no detectable.



# REGIMEN PLUVIOMETRICO DEL AREA ESTUDIADA

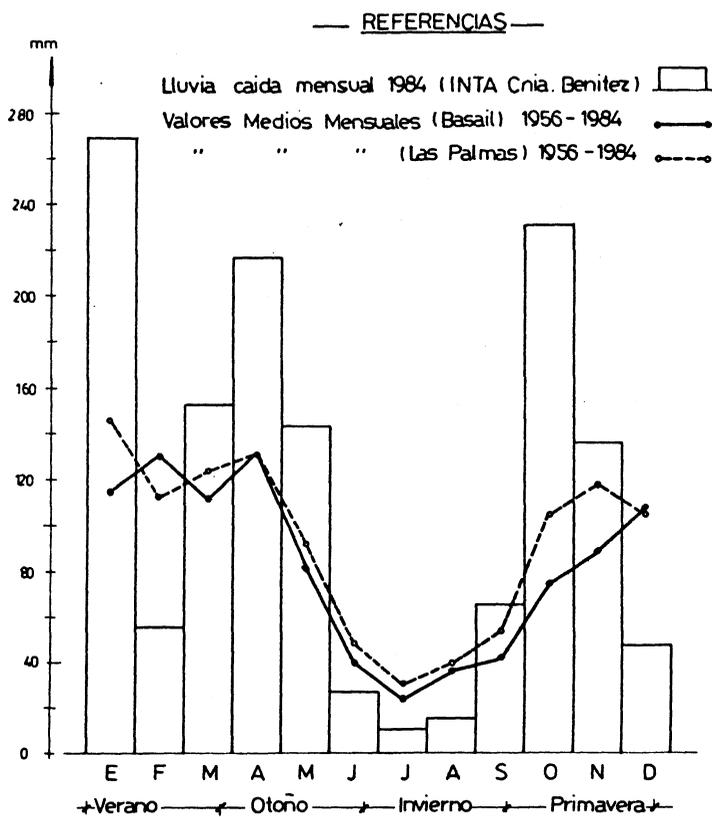


Figura 2

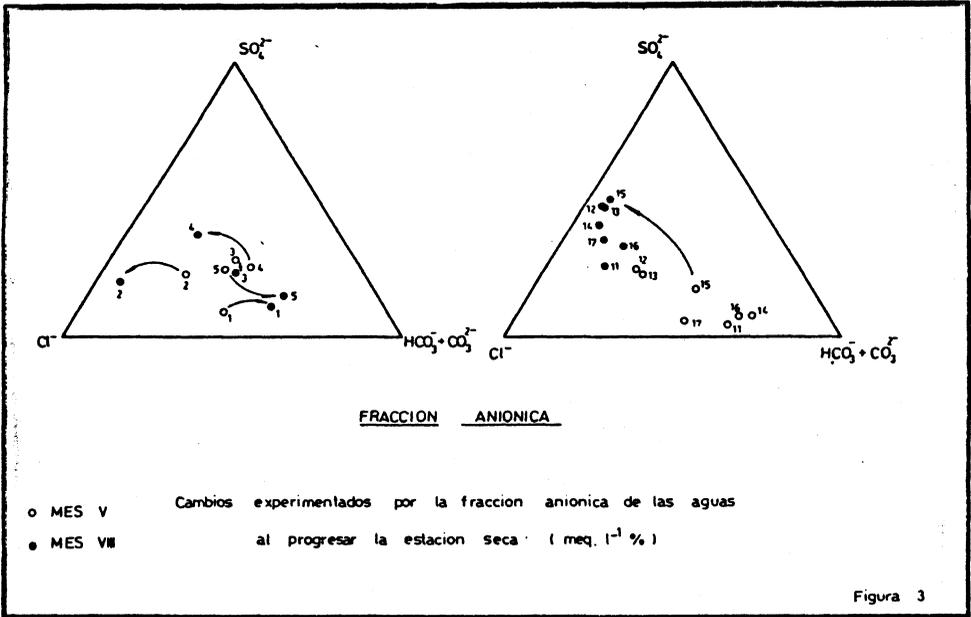


Figura 3

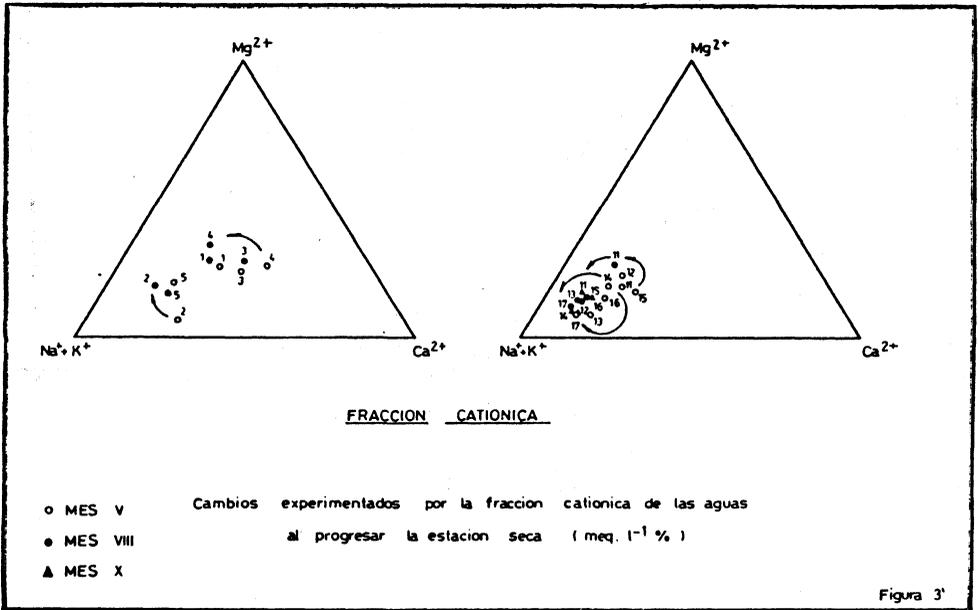
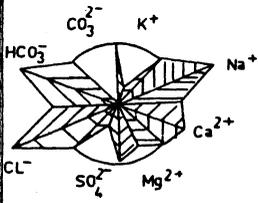
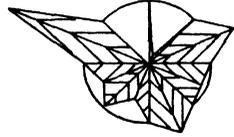
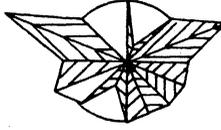


Figura 3'

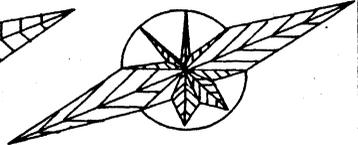
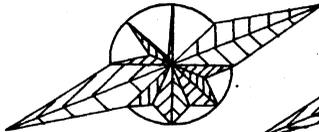
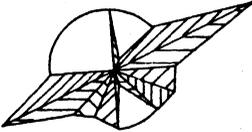
VARIACIONES EN LA TIPOLOGIA IONICA  
DE ALGUNOS CURSOS ESTUDIADOS



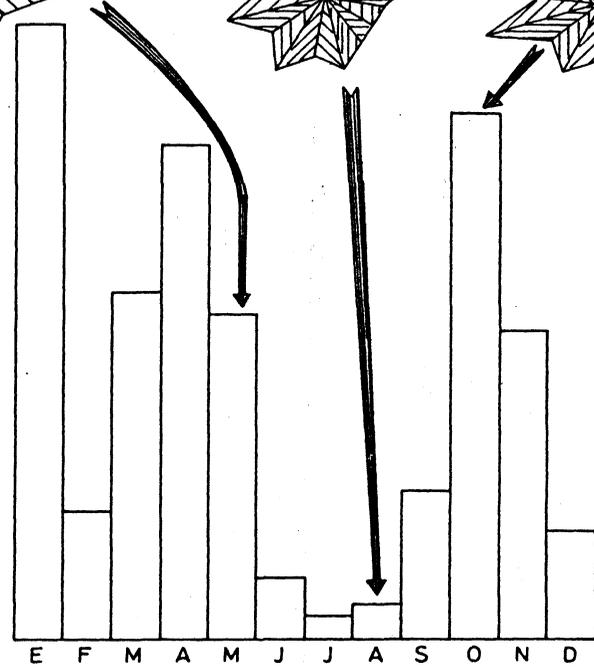
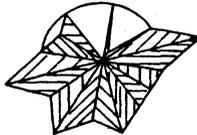
ARROYO NEGRO



ARROYO HE-HE



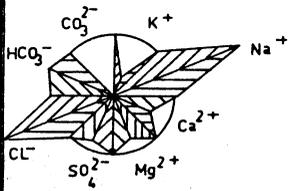
ARROYO MONTE LINDO



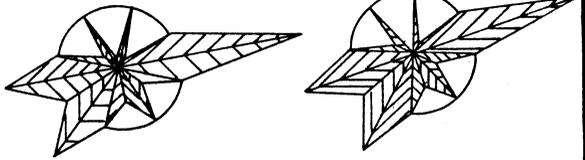
←VERANO←←OTOÑO←←INVIERNO←←PRIMAVERA←

Figura 4

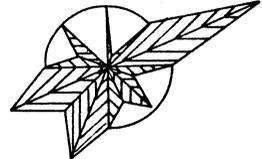
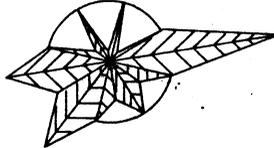
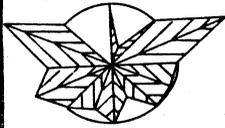
VARIACIONES EN LA TIPOLOGIA IONICA  
DE ALGUNOS CURSOS ESTUDIADOS



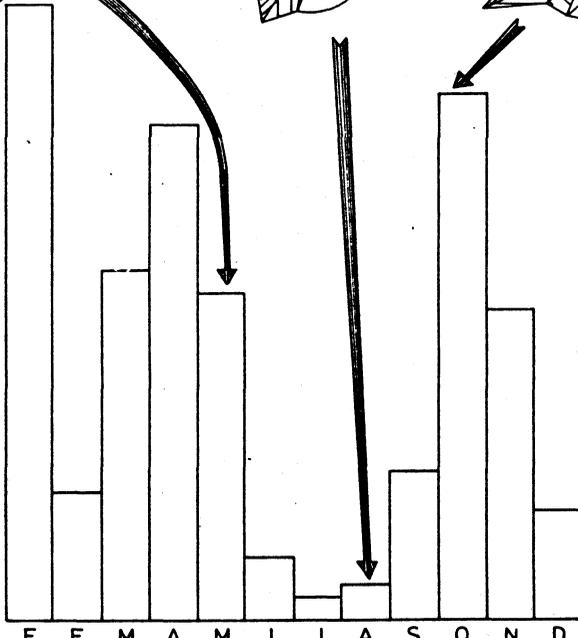
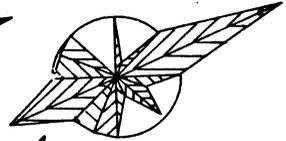
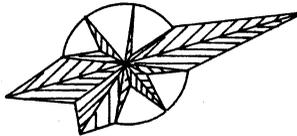
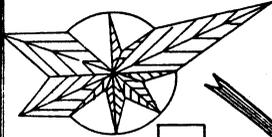
ARROYO SALADITO



ARROYO SALADILLO



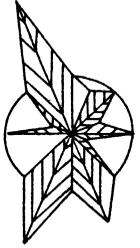
RIO AMORES



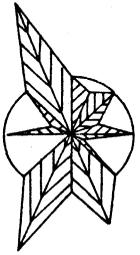
VERANO —+ OTONO —+ INVIERNO —+ PRIMAVERA —+

Figura 5

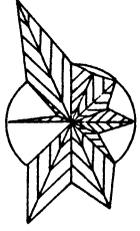
ESTERO EL MOROCHO



V  
 $\text{HCO}_3 - \text{Na}$

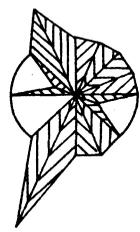


VII  
 $\text{HCO}_3 - \text{Na}$

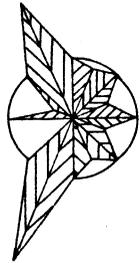


X  
 $\text{HCO}_3 - \text{Cl} - \text{Na}$

ESTERO PATIL



V  
 $\text{HCO}_3 - \text{Na} - \text{Ca} - \text{Mg}$



VIII  
 $\text{HCO}_3 - \text{Na}$



X  
 $\text{HCO}_3 - \text{Cl} - \text{Na}$

COMPOSICION IONICA DE AGUAS DE ESTEROS

Figura 6