UNIVERSIDAD DE BUENOS AIRES

FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES

Limnología de los ambientes lóticos pertenecientes a la Alta Cuenca del río Bermejo (Argentina)

" Tesis presentada para optar al título de Doctor en Ciencias Biológicas"

Autora:

Lic. Liliana Beatriz Moraña

Director:

Dr. Guillermo Tell

Cátedra de Calidad de Aguas. Escuela de Biología. Facultad de Ciencias Naturales – UNSa.

Laboratorio de Limnología. Departamento de ecología, genética y evolución – UBA

2005

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue realizado gracias al apoyo económico de las siguientes instituciones: Consejo de Investigaciones de la Universidad Nacional de Salta (CIUNSa) y Facultad de Ciencias Naturales.

Agradezco a mi director de tesis Dr. Guillermo Tell, por sus acertadas correcciones y sus valiosas sugerencias y enseñanzas, que contribuyeron en gran medida a mi formación académica. Deseo destacar además, su excelente disposición y eficiencia a la hora de corregir el manuscrito, ¡Muchas gracias!

Mi más profundo agradecimiento a la M.Sc. María Mónica Salusso, que siempre estuvo a mi lado ayudándome y alentándome a seguir adelante. Fue quien me introdujo en la temática limnológica, y es la amiga con la que comparto diariamente el placentero juego de investigar.

Deseo dar las gracias a todo el Personal de Apoyo Universitario que hacen más fácil y llevaderos mis pasos y le imprimen un toque de calidez a nuestra querida facultad. En particular, a mi entrañable amiga Nancy Aparicio que me brinda lo mejor de sí para que me refleje, y pueda percibir el brillo de su cariño y bondad.

Y mi más sincero agradecimiento a todas aquellas personas, colegas, compañeros de trabajo, amigos), que de alguna manera contribuyeron a la realización del presente trabajo.

DEDICATORIA

...Y en ese mismo momento, las dos comenzaron a correr. La Reina avanzaba a tanta velocidad que tenía que esforzarse enormemente para poder seguirla.
_ ¡Más rápido! ¡Más rápido! – gritaba la Reina.
Pese a toda la velocidad que llevaban, todas las cosas permanecían en el mismo sitio, respecto a ellas dos.
_ Me gustaría saber si todas esas cosas se están moviendo con nosotras – pensó asombrada la pobre Alicia. Y la Reina pareció adivinar sus pensamientos, porque le gritó:
_ ¡Más rápido! ¡No trates de hablar!
_ ¿No hemos llegado todavía? - alcanzó a jadear Alicia por último.
_ ¿Si no hemos llegado? – repitió la Reina - ¡Hace diez minutos que pasamos por el lugar! ¡Más rápido!
Y las dos siguieron corriendo por un rato, en silencio.
_ ¡Ahora! ¡Ahora! – gritó la Reina - ¡Más rápido! ¡Más rápido!
Y a tal velocidad avanzaron que parecían andar por el aire, tocando apenas el suelo con los pies, hasta que de pronto, cuando Alicia estaba por caer rendida, se detuvieron y la niña se encontró sentada en el césped, jadeante y aturdida.
_ Puedes descansar un poco ahora – dijo la Reina.
Alicia miró a su alrededor con gran sorpresa.
_ Pero..., ¡me parece que hemos estado bajo este árbol todo el tiempo! ¡Todo está como antes de empezar a correr!
_ ¡Así es! – dijo la Reina - ¿qué es lo que pretendías?
_ Bueno..., en "nuestro" país – dijo Alicia – se llega a otra parte..., si se corre muy ligero durante un tiempo como acabamos de hacerlo nosotras.
_ Oh, ¡debe ser un país muy lento! – dijo la Reina. Ya ves cómo es aquí. Toda esta carrera es para mantenerte en el mismo sitio. ¡Si quieres pasar a otra parte, tienes que correr dos veces más rápido de lo que lo hemos hecho!

"Alicia tras el espejo" de Lewis Carrol

Aveces, sentimos que corremos y corremos para no llegar a ningún lado y eso nos entristece. Esta Tesis está dedicada a Mónica Salusso, que me enseñó, con su hacer diario, que no es tan importante "llegar" como disfrutar del camino recorrido y por recorrer. Es tan importante el camino como la meta. Gracias "Moni"por acompañarme a recorrer nuestros caminos con alegría y plenitud.

Limnología de los ambientes lóticos pertenecientes a la Alta Cuenca del río Bermejo (Argentina)

La Alta Cuenca del río Bermejo, situada en la región tropical y subtropical de Sudamérica, representa un caso de heterogeneidad ambiental cuya dinámica global no ha sido motivo de estudios limnológicos integrados. El presente trabajo evalúa la calidad del agua y la integridad ecológica de sus cursos lóticos, y establece ecorregiones (zonas de relativa homogeneidad basadas en características climáticas, fitogeográficas, geomorfológicas, edáficas y limnológicas relevantes). Se estudiaron 37 sistemas lóticos en distintas situaciones hidrológicas mediante el análisis de la comunidad fitoplanctónica, bacterias coliformes y parámetros fisicoquímicos.

Los múltiples patrones geológicos y climáticos de la Alta Cuenca del Río Bermejo, se reflejaron en una importante variación espacial y temporal de las características fisicoquímicas y biológicas de sus sistemas lóticos. Se detectó un desmejoramiento de la calidad del agua durante el estiaje debido al efecto de concentración de contaminantes; y durante las lluvias debido a la elevada concentración de sólidos suspendidos provenientes del lavado de los suelos.

Existen diferencias significativas en los parámetros limnológicos entre las diferentes ecorregiones. Las ecorregiones II y III se encuentran emplazadas en polos de desarrollo agroindustrial, con industrias azucareras, fábricas de papel, procesamiento de cítricos, etc., de modo que esta intensa actividad antropogénica se refleja en las variables limnológicas. La ecorregión V es la que posee sus cursos lóticos con aguas de buena calidad durante los tres períodos hidrológicos estudiados.

Palabras Claves: limnología, fitoplancton, ecorregiones, ambientes lóticos, calidad del agua.

Limnology of Lotic Environments of the High Basin of Bermejo River (Argentina)

The High Basin of Bermejo River, sited on the tropical and subtropical portion of South-America, represents a case of environmental heterogeneity which global dynamic has not studied yet in a comprehensive form. The aims of this work are to evaluate the water quality and the ecological integrity of its lotic courses and to establish ecoregions (zones with relative homogeneity based on outstanding climatic, phytogeographical, geomorphological, edaphic and limnological characteristics). Thirty seven lotic systems were studied on different hydrological situations through the analysis of the phytoplankton community, coliform bacteria and physical-chemistry parameters.

The numerous geologic and climatic patterns of the High Basin of Bermejo River were reflected in a significant temporal and spatial variation of physical chemistry and biological characteristics of its lotic systems. During the low water level, the pollutant concentration made worse the water quality. The same situation occurred during the rainy season owing to the high concentration of suspended solids from the soil washed.

The limnological parameters between the different ecoregions showed significant differences. The limnological variables of eco-regions II and III reflected the intense anthropogenic activity resulting of their location on agro-industrial focuses represented by sugar industry, paper mill, citrus processing, etc. During the three hydrologic studied periods, the ecoregion V showed a good quality of water in all of its lotic courses.

Keywords: limnology, phytoplankton, ecoregions, lotic environments, water quality.

CONTENIDO

INTRODUCCION..... 3
OBJETIVOS E HIPÓTESIS..... 7
Objetivo General..... 7
Objetivos particulares..... 7
Hipótesis..... 7
DESCRIPCION DE LA ALTA CUENCA DEL BERMEJO..... 7
1. HIDROGEOGRAFIA..... 9
1.1. Subcuenca Tarija-Bermejo..... 9
1.2. Subcuenca Grande-San Francisco..... 9
2. CLIMATOLOGIA..... 12
3. REGIMENES FLUVIALES Y SEDIMENTOLOGICOS..... 16
4. SUELOS..... 19
5. GEOLOGIA Y GEOMORFOLOGIA..... 25
6. FITOGEOGRAFIA..... 28
6.1. Provincia de las Yungas..... 29
6.2. Provincia Chaqueña..... 32
6.3. Provincia de la Prepuna..... 32
6.4. Provincia Puneña..... 32
6.5. Provincia Altoandina..... 33
SITIOS Y METODOLOGIA DE ESTUDIO..... 33
1.- Elección de los sitios de estudio..... 33
2.- Período de muestreo..... 34
3.- Parámetros estudiados..... 40
4.- Análisis estadístico de los datos..... 42
5.- Indice de Calidad de Agua (ICA)..... 45
6.- Método de Pantle & Buck..... 46
7.- Indice de Diversidad..... 47
RESULTADOS Y DISCUSION..... 48
ANALISIS DE LOS PARAMETROS FISICOQUÍMICOS..... 49
1. Epoca de lluvias..... 49
1.1. Generalidades y distintos usos del agua:..... 49
1.2. Diferencias entre subcuencas:..... 51
..... 56
1.3. Indice de Calidad de Agua (ICA) en la época de lluvias:..... 57
2. Epoca de transición lluvia – estiaje..... 61
2.1. Generalidades y distintos usos del agua:..... 61
2.2. Diferencias entre subcuencas:..... 63
2.3. Indice de Calidad de Agua (ICA) en la época de transición lluvias- estiaje:..... 70
3. Epoca de estiaje..... 73
3.1. Generalidades y distintos usos del agua:..... 73
3.2. Diferencias entre subcuencas:..... 74
3.3. Indice de Calidad de Agua (ICA) en la época de estiaje:..... 81
4. DIFERENCIAS ENTRE PERIODOS HIDROLOGICOS..... 83
4.1. Generalidades:..... 84
4.2. Caso particular de la Cuenca del Río Grande:..... 86
5. ANALISIS DE METALES PESADOS Y ELEMENTOS MINORITARIOS..... 90
5.1. En la columna de agua:..... 90
5.2. En los sedimentos:..... 93
ANALISIS DE LOS PARAMETROS BIOLOGICOS..... 97
1. Fitoplancton..... 98
1.1. Composición de la ficoflora..... 98
1.2. Densidad, riqueza de especies y diversidad fitoplantónica:..... 107
1.3. Indices de saprobiedad fisicoquímicos y Pantle & Buck:..... 118
1.4. Relaciones con las variables físico-químicas:..... 122
2. Análisis Bacteriológicos..... 127
2.1. Generalidades y comparación con valores guía:..... 127
2.2. Relaciones con las variables físico-químicas:..... 133
ANALISIS POR ECORREGIONES..... 136
Caracterización fisicoquímica..... 140
Ecorregión I:..... 141

Ecorregión II: 142
Ecorregión III: 143
Ecorregión IV: 144
Ecorregión V: 145
Caracterización de las ecorregiones en función de las comunidades fitoplanctónicas..... 148
Proyecciones antrópicas..... 151
CONCLUSIONES..... 156
REFERENCIAS..... 158

INTRODUCCION

La Alta Cuenca del río Bermejo se encuentra situada en la región neotropical y subtropical de Sudamérica y por la complejidad de ecosistemas que atraviesa desde su cuenca de captación en la región andina del sur de Bolivia y noroeste de Argentina, pasando por las yungas hasta su entrada en la llanura chaqueña, representa un caso único de heterogeneidad ambiental, cuya dinámica global no ha sido motivo de estudios limnológicos integrados.

La limnología tropical y subtropical en Sudamérica no ha logrado al presente un grado de conceptualización e integración al nivel que presentan las regiones templadas, salvo estudios realizados en los últimos años en Colombia (Roldán Perez, 1992; Ramírez González y Viña Vizcaíno; 1998) y en el Brasil (Tundisi 1981; Branco, 1984; Hill y Rai, 1982; Esteves, 1988; Lewis, 1988), entre otros países.

En la Argentina, si bien existen estudios de ríos pertenecientes al área subtropical como lo son el Alto Paraná (Pedrozo y Bonetto, 1989) ó el río Paraguay (Bonetto et al., 1991), la mayoría de los trabajos realizados se focalizaron en los grandes ríos de la región templada, tal como la serie de estudios sobre el Paraná Medio (García de Emiliani, 1981; Emiliani, 1981; José de Paggi, 1984), Paraná-Paraguay (Zalocar, 2000), Paraguay Inferior (Bonetto et al., 1981; Bonetto et al., 1987), Bajo Paraná (O'Farrell et al., 2003; Izaguirre et al., 2003), Salado (O' Farrel, 1993), Uruguay (O'Farrel y Izaguirre, 1994) y río de la Plata (Guarrera, 1950).

También el río Bermejo ha sido estudiado antes de su confluencia con el Paraguay en relación a la dinámica de nutrientes (Pedrozo y Bonetto, 1987; Bonetto et al., 1991), pero no se conocen al presente estudios de calidad de aguas a nivel de la cuenca que contemplen su interpretación en un marco ambiental, incluido el análisis de bioindicadores microalgales válidos para el monitoreo del recurso hídrico.

Según Margalef (1983), "...Toda ecología es incompleta, a veces irremediablemente incompleta, si no se toman en consideración las regiones tropicales. En el caso de la limnología, cualquier tipología desarrollada con referencia a la región templada no puede pretender ser universal. Los organismos de las zonas tropicales son mucho más variados con representación de numerosos grupos que faltan en la zona templada."

A efectos de una localización geográfica, se entiende por neotrópico la región comprendida entre el Trópico de Cáncer en el hemisferio norte y el Trópico de Capricornio en el sur. Comprende desde el norte de México hasta el norte de Argentina, de Chile y parte del sur del Brasil.

La planificación de los recursos hídricos de la Alta Cuenca del río Bermejo tiene implicancias diversas, que exceden de hecho la obtención de información básica para realizar el aprovechamiento hidráulico de los recursos, y se entronca en la problemática del desarrollo sostenible de la región.

El área de la Cuenca comprende regiones biogeográficas diversas, que van desde el Dominio Amazónico al Chaqueño y Andino Patagónico, los que a su vez se dividen en cinco provincias biogeográficas: Yungas, Chaqueña, Prepuna, Puna y Altoandina.

En la actualidad, puede considerarse que dentro de las Yungas, la región incluida en el Distrito de las Selvas Pedemontanas es la que ha sufrido la mayor deforestación, con los problemas concomitantes que derivan de ésta, tales como la erosión de los suelos y degradación de las cuencas por el desmonte progresivo (Vervoorst, 1979, 1982; Brown y Grau, 1995). La contaminación progresiva proveniente de diversas fuentes, como lo son la creciente actividad de explotación petrolera, minera, así como la propia actividad agrícola (cultivo de caña de azúcar, cítricos, producción de otros cultivos) contribuyen en alta proporción a devastar una amplia región de la Alta Cuenca del Bermejo.

Por su parte, el distrito de las Selvas de Transición ha alcanzado una población permanente de alrededor de 2 millones de habitantes sobre una superficie original de 7500 km^2 , con una densidad poblacional media de 267 hab/km^2, lo que torna visible que el inadecuado planeamiento ambiental, asociado al incremento poblacional en áreas pedemontanas, constituye en la actualidad una de las amenazas a la biodiversidad (Brown y Grau, 1995). De la misma manera, la expansión de la agricultura intensiva en los sectores de pedemonte, plantea también serios riesgos ambientales. La modificación del área de captación de agua en las cabeceras de los ríos, como el río Blanco, en la Selva y Bosque Montano podría disminuir su caudal con altos perjuicios económicos, dado que sus aguas riegan prácticamente todas las tierras bajas cultivadas (Hilgert, 1997).

La regulación de los caudales del Bermejo mediante la construcción de un sistema de presas, cuya concreción está orientada a la inversión privada, implicaría la incorporación futura de 600.000 hectáreas al riego, y produciría como efecto la conformación de un polo de desarrollo con la ocupación poblacional del chaco argentino, y la integración de la región a la Hidrovía Paraguay-Paraná-Río de la Plata (COREBE, 1994; 2000). Dicho proyecto plantea una problemática compleja y multisectorial que tiene un marco político, y de integración binacional con Bolivia, donde se prevén políticas energéticas, de recursos hídricos y de promoción social de los habitantes del área chaqueña. Además contempla la evaluación de los impactos ambientales y el control de sedimentos aportados por la alta cuenca, lo que generará

sustanciales modificaciones en los cursos hídricos y en sus componentes intrínsecos (Pérez Ayala, 1994).

En ese marco, los problemas detectados son, a modo de rápido diagnóstico, la demostración de una problemática que plantea un serio desafío a las generaciones implicadas en el uso sostenible del patrimonio ambiental; más aún al ser el Bermejo, uno de los ríos del mundo más afectados por la degradación terrestre por unidad de superficie (OEA, 1971).

Wiken (1986) definió la regionalización como una herramienta básica para el manejo de los recursos ambientales y como un método para reducir o eliminar detalles que en promedio no tienen peso en grandes áreas. Existen evidencias crecientes de que para los propósitos de monitoreo no es necesario realizar un completo inventario de todos los niveles de especie de cada comunidad (Gallant et al., 1989).

El análisis de un sistema puede abarcar una primera etapa de determinación de ***unidades de estudio***, que se realiza en este caso en función de las condiciones naturales básicas y de las fuentes principales de contaminantes, y tiene como meta, caracterizar de manera consistente, en escala geográfica amplia, las condiciones de distribución estacional de la calidad del agua, para permitir su inserción en el marco de una planificación regulatoria global.

El presente trabajo de tesis tiene como meta evaluar la ***integridad ecológica*** de los cursos lóticos en las diferentes ***subcuencas***, consideradas éstas como unidades ambientales naturales existentes en la Alta Cuenca del Bermejo, y establecer ***ecorregiones***, regiones de relativa homogeneidad sobre la base de sus características limnológicas relevantes. Se evaluaron según biocriterios a partir de mediciones estructurales (abundancia, composición de especies, diversidad, etc. de algas fitoplanctónicas y densidad de bacterias coliformes) y por criterios de concentración de constituyentes fisicoquímicos, y estado representativo de la calidad del agua presumible para soportar un uso particular.

La evaluación de la ocurrencia y distribución de *unidades de estudio*, es el mayor y más importante componente en la fase de análisis intensivo de un sistema que, en el sentido de Gilliom et al. (1994), se realiza en relación a las fuentes principales de contaminantes y condiciones naturales descriptas, teniendo como meta la caracterización, en escala geográfica amplia, de las condiciones de distribución estacional de la calidad del agua, inserta en el marco de una planificación global.

Los estudios ecológicos de las comunidades acuáticas y de las características de sus hábitats, realizados para evaluar los efectos de los factores físicos y químicos del agua y de

las condiciones hidrológicas sobre la misma biota, permiten determinar diferencias entre los ambientes de las diversas unidades de estudio.

El término ecorregión fue acuñado por Crowley (1967) y mapeado por Bailey (1980, 1998) y se acepta que es una región de relativa homogeneidad en los sistemas ecológicos o en las relaciones entre organismos y su ambiente (Omernik, 1987). La definición del tamaño y grado de homogeneidad de las unidades ambientales en esta etapa diagnóstica, posee un enfoque estrictamente limnológico de: calidad fisicoquímica del recurso hídrico en función de sus posibles usos actuales y su caracterización en función de la variación en los parámetros biológicos estudiados.

El conjunto descriptivo – valorativo así obtenido representa el primer paso en la obtención de una representación regional según los usos actuales de los cursos de agua, y está sustentado en el criterio de protección biológica ambiental más que en base a criterios toxicológicos, químicos o en la protección de las fuentes puntuales de contaminación.

OBJETIVOS E HIPÓTESIS

Objetivo General

Evaluar la calidad de los recursos hídricos superficiales de la Alta Cuenca del Río Bermejo (Argentina).

Objetivos particulares

- *Estimar el grado de impacto antrópico que han recibido los diferentes cursos lóticos que aportan a la cuenca.*

- *Estimar la disponibilidad actual y potencial futuro del recurso hídrico superficial para usos agropecuarios, recreativos, de captación para potabilización y para supervivencia de la vida acuática.*

- *Deducir, mediante las comunidades algales bioindicadoras, posibles perturbaciones existentes en la historia reciente del sistema.*

- *Comparar similitudes y diferencias ecológicas entre las ecorregiones definidas.*

- *Establecer la significación de los parámetros biológicos, físicos y químicos seleccionados, y de los criterios de calidad del recurso a nivel regional.*

- *Determinar sitios de muestreo representativos, que puedan ser utilizados en el futuro monitoreo continuo de la cuenca.*

Hipótesis

La enorme heterogeneidad ambiental que caracteriza a la Alta Cuenca del Río Bermejo se encuentra reflejada tanto en la variabilidad de la calidad fisicoquímica de sus cursos lóticos, como en la organización estructural de su comunidad fitoplanctónica.

DESCRIPCION DE LA ALTA CUENCA DEL BERMEJO

La Alta Cuenca del Río Bermejo o Cuenca Activa se halla situada en el extremo NO de la Argentina y extremo SSE de Bolivia (mapa 1). Tiene la forma aproximada de una elipse con su eje mayor, de 430 Km de largo, orientado de norte a sur. Su ancho, medido en la latitud de la Junta de San Francisco, es de 170 Km.

La Cuenca es atravesada por el Trópico de Capricornio y sus coordenadas geográficas extremas son 21º 13' - 25 º 02' de latitud sur y 63º 47' – 65º 46' de longitud oeste.

Las divisorias de agua que limitan la Alta Cuenca forman en general parte de la faja subandina, siendo en algunos sectores estribaciones de la misma cordillera. Al norte, las serranías de Tarija, con alturas máximas de 3.000 msnm, dividen aguas con la cuenca del río Pilcomayo. Al oeste, limitando con varias cuencas cerradas del altiplano, se encuentra la Serranía de Sama prolongándose en territorio argentino por las serranías de Santa Victoria, Aguilar y Chañi, cuyos puntos culminantes son los cerros Azul Casa (5.009 m), Aguilar (5.125 m) y el Nevado de Chañi (6.200 m). Finalmente, hacia el sur, las sierras dividen aguas con la cuenca del río Juramento-Salado y sus alturas disminuyen gradualmente hasta el Cerro de los Dos Morros (1.140 m) situado en el límite meridional de la Alta Cuenca.

El área de la cuenca abarca una superficie total de 50.550 km^2. Comprende dos subcuencas: la norte denominada de Tarija-Bermejo que colecta el 75% del total de los aportes de la cuenca, y la sur o subcuenca del río Grande-San Francisco que se une a la anterior en la Junta de San Francisco. Esta última subcuenca abarca los principales asentamientos humanos y centros productores de la región, en las provincias de Salta y Jujuy; constituyendo las ciudades de Salta, San Salvador de Jujuy, San Pedro y Güemes, el actual polo de desarrollo. Dicha subcuenca está prácticamente al borde de la demanda del recurso hídrico superficial para riego, con un déficit anual promedio entre 150 y 560 mm, más acentuado aún en la región del Río Grande Superior (Quebrada de Humahuaca hasta su confluencia con el río Reyes) y en la región del Río San Francisco-Lavallén (desde la unión del río Grande con el Lavallén para formar el río San Francisco) (OEA, 1974).

No obstante, la región del río San Francisco posee una amplia disponibilidad de zonas ricas en acuíferos subterráneos, susceptibles de explotación. En toda la Subcuenca Grande-San Francisco, la ampliación del parque industrial y la conformación de zonas francas en la región de influencia, incidirán en nuevos asentamientos urbanos y ampliación de impactos en la cuenca. La regulación de recursos hídricos en la Alta Cuenca, producirá indudablemente las mayores modificaciones del recurso superficial. Si bien se han efectuado estudios de

prefactibilidad ambiental, y se están propiciando estudios básicos climatológicos, topográficos, geológicos, geomorfológicos, hidrológicos y edafológicos, el desarrollo de investigaciones básicas en lo atinente al conocimiento limnológico integral de las subcuencas, es también una prioridad, donde se conjugan estudios interdisciplinarios y acciones de diferentes organismos de injerencia nacional y provincial.

1. HIDROGEOGRAFIA

1.1. Subcuenca Tarija-Bermejo

El río Tarija se origina en los ríos Chamata, Vermillo, Trancas y otros que nacen próximos a la ciudad de Tarija (Bolivia), toma luego el nombre de Guadalquivir, confluye con el río Camacho llamándose a partir de allí río Tarija. En este tramo, recibe numerosos aportes, hasta su confluencia con el río Itaú, para pasar a denominarce río Grande de Tarija. En este tramo sólo recibe arroyos que bajan de las sierras del río Seco, y por la margen derecha la Quebrada de San Telmo (CFI, 1962).

También nacen en Bolivia, el río Orosas y después de su confluencia con el Condado, toma el nombre de río Bermejo, corre con dirección NO-SE hasta su confluencia con el Tarija., recibiendo por el margen derecho los ríos Toldos y Lipeo y por la izquierda los ríos Emborozú y Guandacaya Grande. El río Grande de Tarija se une al río Bermejo en la Junta de San Antonio (CFI, 1962).

A partir de la Junta de San Antonio, el río Bermejo, recibe los aportes por su margen derecha, siendo los más importantes el río Pescado (que nace en las Sierras de Santa Victoria a 4.000 msnm) con su afluente principal el río Iruya; el río Blanco o Zenta y el Santa María-Colorado (mapa 1).

1.2. Subcuenca Grande-San Francisco

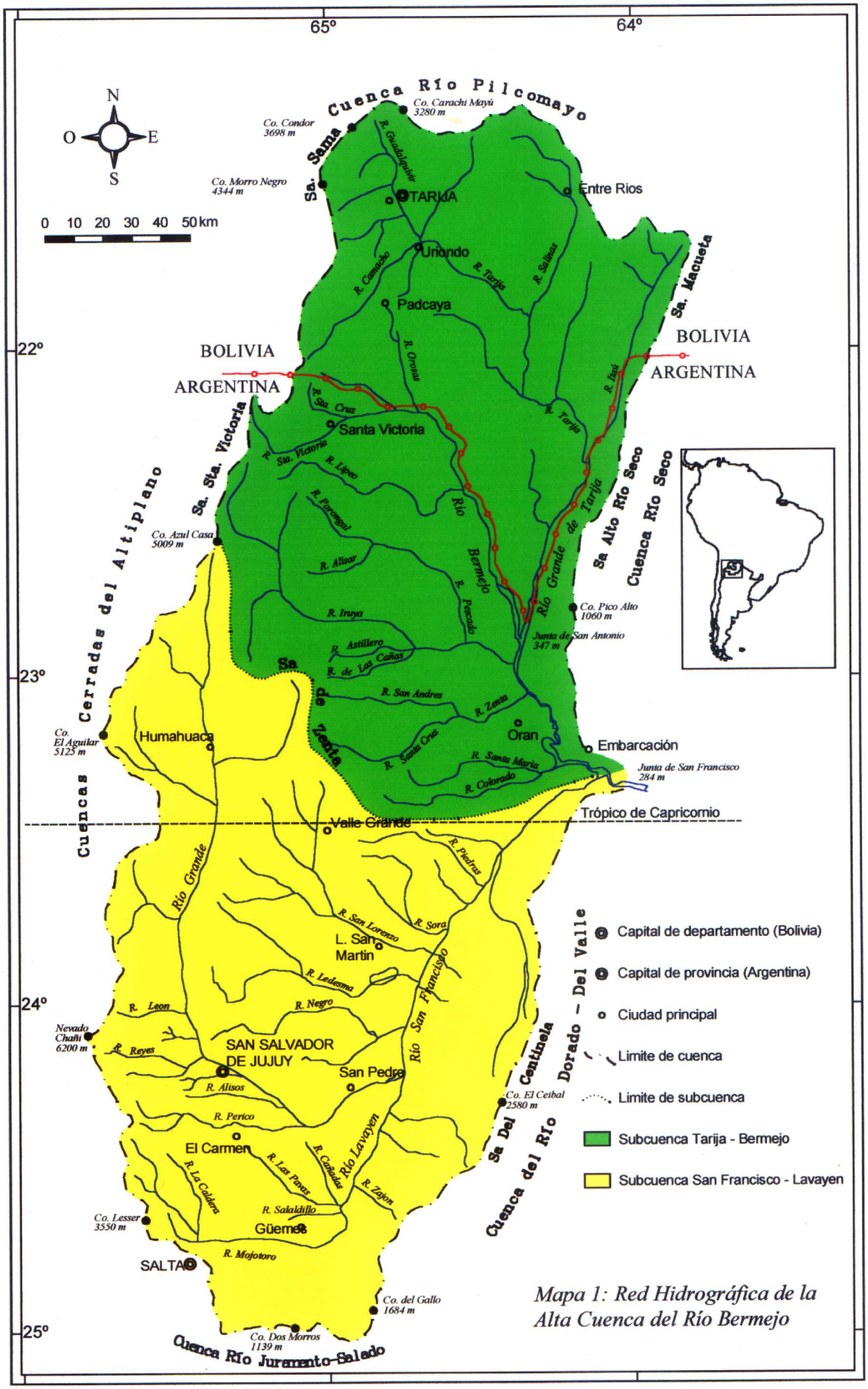
El río Grande de Jujuy se origina por la unión de los arroyos de La Cueva y Tres Cruces en la localidad de Iturbe (a 3.400 msnm), y transcurre en dirección N-S por 144 Km, en la Quebrada de Humahuaca hasta su confluencia con el río Reyes (a 1.350 msnm). Recibe en este tramo numerosos afluentes, de los cuales sólo tienen cauces permanentes los ríos Lozano, León, Yala y Reyes (CFI, 1962).

A partir de la confluencia con el río Reyes, el río Grande cambia de recorrido al S-E, y recibe por los aportes del río Chico (Xibi-Xibi), los Alisos; De los Blancos y Zapla; luego se une al río Perico y toma dirección NE hasta su confluencia con el río Lavayén., en donde cambia de nombre por el de río San Francisco y en su curso sigue la dirección NNE hasta su confluencia con el río Bermejo.

Por su parte, el río La Caldera, confluye con el río Wierna y el río Vaqueros, para originar el Mojotoro, que corre de oeste a este hasta Güemes, donde gira de rumbo al noreste recibiendo el río Saladillo, y luego Las Pavas y el Arroyo Las Cañadas, que desagua en el punto donde el Mojotoro pasa a constituir el río Lavayén (CFI, 1962).

El río San Francisco desde su confluencia con el río Bermejo en la Junta de San Francisco, recibe por la margen izquierda varios afluentes, entre los cuales los ríos Negro, Ledesma, San Lorenzo y Sora se destacan por sus caudales (mapa 1).

En el área de la Subcuenca Grande-Tarija se encuentra emplazado el Parque Nacional Baritú, sitio de conservación de la alta diversidad biológica y heterogeneidad ambiental características, donde tiene lugar un intenso proceso de erosión geológica (Dalla Salda, 1985; Marconi, 1994). Por su parte, en la subcuenca del Grande-San Francisco, se emplaza el Parque Nacional Calilegua que también representa área de Yungas, de alto interés para la conservación de sus recursos biológicos.



Mapa 1: Red Hidrográfica de la Alta Cuenca del Río Bermejo

2. CLIMATOLOGIA

La Alta Cuenca del Río Bermejo se encuentra en una zona de "falla" o rápida transición climática, en la que a corta distancia las características varían considerablemente, desde las propias del clima subtropical húmedo a las del desértico, en un ancho de no más de 150 Km.

La causa de estos grandes contrastes climáticos se atribuye a la topografía muy quebrada de la cuenca, con diferencias de altura mayores de 5.000 m en una distancia de sólo 70 Km, a la orientación de las sierras y valles respecto de las corrientes predominantes de la atmósfera libre, y a la exposición de las faldas respecto del sol. Importantes efectos desde mayor distancia producen el altiplano o puna y, sobre todo, la Cordillera de los Andes (OEA, 1973).

Los centros básicos de acción, que condicionan el desarrollo de los procesos en la cuenca, son los anticiclones subtropicales semiestacionarios del Pacífico y sobre todo del Atlántico, así como un centro de baja presión llamado "baja térmica del noroeste argentino" que se forma al este de los Andes con una ubicación media sobre las provincias argentinas de La Rioja, Catamarca, Tucumán, Salta y Jujuy y sur de Bolivia.

Teniendo en cuenta las características de precipitación, temperatura, y heliofanía teórica, como así también las características morfológicas de la cuenca, estudios anteriores realizaron una división en "ocho zonas climáticas" (mapa 2) cuyo resultado tiene valor regional (ya que fuera realizado con el fin de facilitar el análisis de las posibilidades agropecuarias de la cuenca, en particular del riego y de los cultivos agroecológicamente posibles), las caracterizaciones de dichas regiones en función de los datos climatológicos antes mencionados se observan en las tablas 1, 2 y 3 (OEA, 1973).

Tabla 1: Datos de temperaturas correspondientes a las zonas climáticas de la Alta Cuenca del Río Bermejo.

Zonas	T E M P E R A T U R A ºC			
	Invierno (junio – julio)		Verano (diciembre – febrero)	
	Media	Mínimas extremas	Media	Máximas extremas
1. Lavayén	12/15	-5/-8	22/26	38/42
2. Maderas	10/13	-8/-10	20/21	35/38
3. Ramal	13/14	-4	25/26	45/46
4. Valle Grande	14	-6/-7	25/26	35
5. Quebrada	8/10	-10/-13	16/18	34/36
6. Orán	14/15	-4	25/28	44/46
7. Bermejo-Tarija	13/15	0	26/27	45
8. Santa Victoria	12	-8/-10	17/21	35

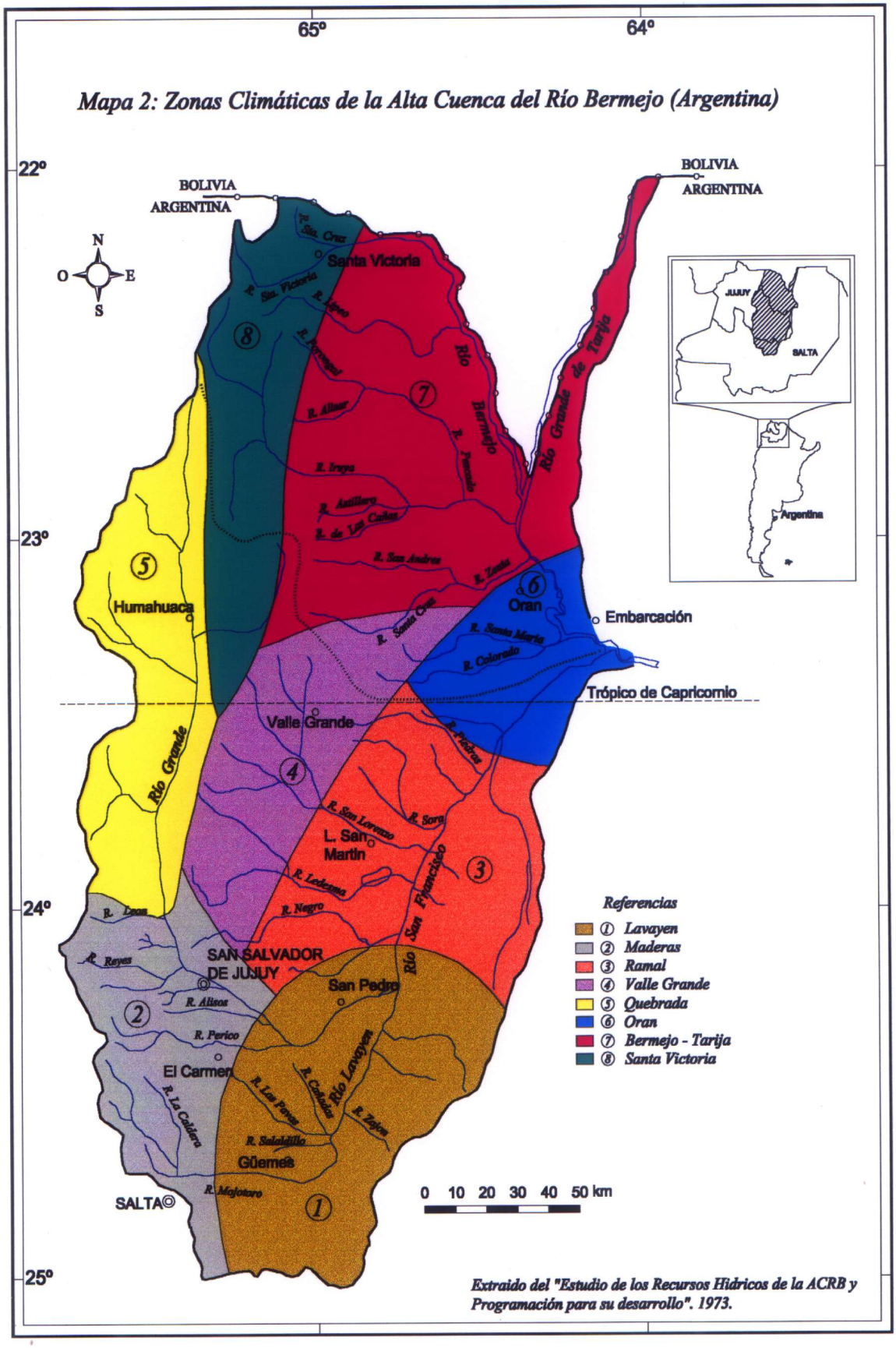
La temperatura en la cuenca está fuertemente condicionada por la orografía, la exposición y la latitud. En el trayecto desde Jujuy hacia la Quebrada de Humahuaca, entre los 2.150 y 2.500 m de altitud aproximadamente, se produce un fenómeno climatológico denominado "inversión térmica", se debe subir el valle del río Grande entre León y Volcán en forma brusca desde 1.600 m a casi 2.100 en una distancia de 15 Km; desde Volcán el cielo cerrado con densa nubosidad se abre bruscamente y aproximadamente 20 Km hacia delante las nubes se disipan completamente, es en éste punto en donde se entra en la "inversión térmica" antes mencionada, que se ubica sobre una falla pluvial, donde la precipitación se reduce de 900 mm anuales en León (perteneciente a la zona climática 2.Maderas) a 200 mm anuales en Tumbaya (de la zona 5.Quebrada).

Tabla 2: Datos de precipitaciones correspondientes a las zonas climáticas de la Alta Cuenca del Río Bermejo.

Zonas	P R E C I P I T A C I O N mm	
	Media anual	Meses de máxima
1. Lavayén	500/900 de este a oeste	100 enero y 160 febrero
2. Maderas	900/1300	200 enero
3. Ramal	720	150 enero y 160 febrero
4. Valle Grande	900	190 enero y 200 febrero
5. Quebrada	200	40 enero y 60 febrero
6. Orán	800	130 diciembre y 150 enero
7. Bermejo-Tarija	1.400 zona central hasta 700 periferia	240 enero y 260 febrero
8. Santa Victoria	400/600	80 enero y 100 febrero

El régimen pluvial de la Alta Cuenca del Bermejo queda definido por dos períodos bien diferenciados. El período lluvioso se extiende entre los meses de noviembre a marzo y en él se concentra el 85 % del total de la precipitación anual. La estación seca se da entre los meses de mayo a setiembre, con una precipitación inferior al 15 % del total anual, correspondiendo los meses de abril y octubre a épocas de transición. Durante el período seco, la ocurrencia singular de un lapso de muy poca precipitación, entre junio y agosto, condiciona fuertemente la posibilidad del uso del recurso agua.

En el mapa 2 se destacan dos zonas de máxima precipitación, una hacia el norte de la cuenca, se presenta como una franja orientada en dirección NE-SO y abarca las subcuencas de los ríos Lipeo, Pescado llegando hacia el sur hasta el río Blanco, esta zona presenta registros pluviométricos superiores incluso a los 1.300 mm anuales. La segunda región de máxima precipitación abarca las subcuencas de los ríos Yala, Reyes, Guerrero, hasta la cabecera del


Mapa 2: Zonas Climáticas de la Alta Cuenca del Río Bermejo (Argentina)
65º
64º
22º
23º
24º
25º
BOLIVIA
ARGENTINA
N
O
E
S
Santa Victoria
Humahuaca
Oran
Embarcación
Trópico de Capricornio
Valle Grande
L. San Martin
SAN SALVADOR DE JUJUY
San Pedro
El Carmen
Güemes
SALTA
Río Bermejo
Río Grande de Tarija
Río Grande
Río San Francisco
Río Lavayen
JUJUY
SALTA
Argentina
0 10 20 30 40 50 km
Referencias
① Lavayen
② Maderas
③ Ramal
④ Valle Grande
⑤ Quebrada
⑥ Oran
⑦ Bermejo - Tarija
⑧ Santa Victoria
Extraido del "Estudio de los Recursos Hídricos de la ACRB y Programación para su desarrollo". 1973.

río Mojotoro, esta zona posee una orientación N-S y una altura que oscila entre los 1.900 y 2.400 msnm.

Es importante señalar la variación de la precipitación con la altura, observándose en general, que los valores aumentan hasta los 2.400 m, disminuyendo notablemente por encima de este nivel.

La región de la Quebrada de Humahuaca constituye la zona de menor precipitación, con valores que oscilan entre los 150 y 200 mm anuales en el valle, aun cuando en las laderas de las montañas llega a más de 300 mm.

Tabla 3: Datos de evapotranspiración anual media y deficiencia anual media de agua de las diferentes zonas climáticas pertenecientes a la Alta Cuenca del Río Bermejo.

Zonas	Evapotranspiración potencial mm	Deficiencia anual media de agua en mm.
1. Lavayén	1.000, con máximos entre 130 y 140 en diciembre y enero.	400 a 500 de abril a diciembre.
2. Maderas	800, con máximos entre 105 y 110 de diciembre a febrero.	150 de abril a octubre.
3. Ramal	1.000/1.100, con máximos entre 120 y 150 de diciembre a febrero.	300 de abril a diciembre.
4. Valle Grande	670, con máximos de 95 en diciembre y enero.	Prácticamente despreciable.
5. Quebrada	700, con máximos entre 80 y 100 en diciembre y enero.	560 al sur y 470 al norte, con máximos entre 60 y 65 de octubre a diciembre.
6. Orán	1.050	300 de marzo a diciembre (de setiembre a octubre valores medios de 60).
7. Bermejo-Tarija	1.100	40 entre agosto y setiembre.
8. Santa Victoria	720, con máximos de 80 de diciembre a febrero.	400 de marzo a diciembre (en abril y agosto-setiembre 45 a 50 por mes).

La evapotranspiración potencial anual media muestra un máximo de 1.000 y más en los valles del río San Francisco, Lavayén y en los cursos inferiores de los ríos Bermejo y Grande de Tarija. La región 1.Lavayén y 5.Quebrada son las zonas con mayores problemas de deficiencia anual media de agua.

3. REGIMENES FLUVIALES Y SEDIMENTOLOGICOS

Se entiende por régimen fluvial a las variaciones normales del caudal a lo largo del año, en las regiones tropicales las mayores crecientes corresponden a la época del verano en coincidencia con la ocurrencia de las máximas precipitaciones, produciéndose el estiaje en la época invernal (Roldán Pérez, 1992). Tienen éste régimen los ríos pertenecientes a la cuenca motivo del presente estudio.

El caudal anual medio en la Alta Cuenca del Río Bermejo es de 430 m^3/s. Considerando además el agua utilizada, principalmente para riego, y que por lo tanto no se registra en las estaciones hidrométricas, éste valor alcanzaría a 490 m^3/s.

El río Bermejo se ubicaría en el tercer lugar entre los ríos de la Argentina (excluyendo los ríos Paraná, Paraguay y Uruguay) en relación a los valores de caudal, después del río Negro (1.000 m^3/s en Paso Roca) y del río Santa Cruz (710 m^3/s en Charles Fuhr).

La Alta Cuenca del Río Bermejo, se compone de dos subcuencas principales: la del tramo superior del río Bermejo (Tarija-Bermejo) cuyo caudal medio anual es de 350 m^3/s, o sea el 71 % del total de la cuenca, y la subcuenca de los ríos Grande-San Francisco, que aporta el 29 % restante del caudal producido, unos 140 m^3/s aproximadamente (OEA, 1973).

Los ríos de la Alta Cuenca presentan características semejantes en cuanto a su estacionalidad. Existe un período de elevados caudales, correspondiente a los meses de verano, que culmina en febrero-marzo, cuando ocurren las máximas precipitaciones; y un período de estiaje de abril a octubre con valores mínimos generalmente en este último mes.

Como es natural, el caudal es mayor durante los meses de lluvias (verano) y menor durante los meses de sequía (invierno), existiendo un ligero desplazamiento con relación a la precipitación, por retraso de la escorrentía y la infiltración. Por tal razón, los caudales se mantienen aún altos durante la transición lluvias – sequía (abril – mayo) y bajos durante la transición sequía – lluvias (octubre – noviembre). La mayor probabilidad de ocurrencia en todos los ríos de la Alta Cuenca del Río Bermejo se presenta uniformemente en el mes de febrero (figuras 1, 2, 3 y 4).

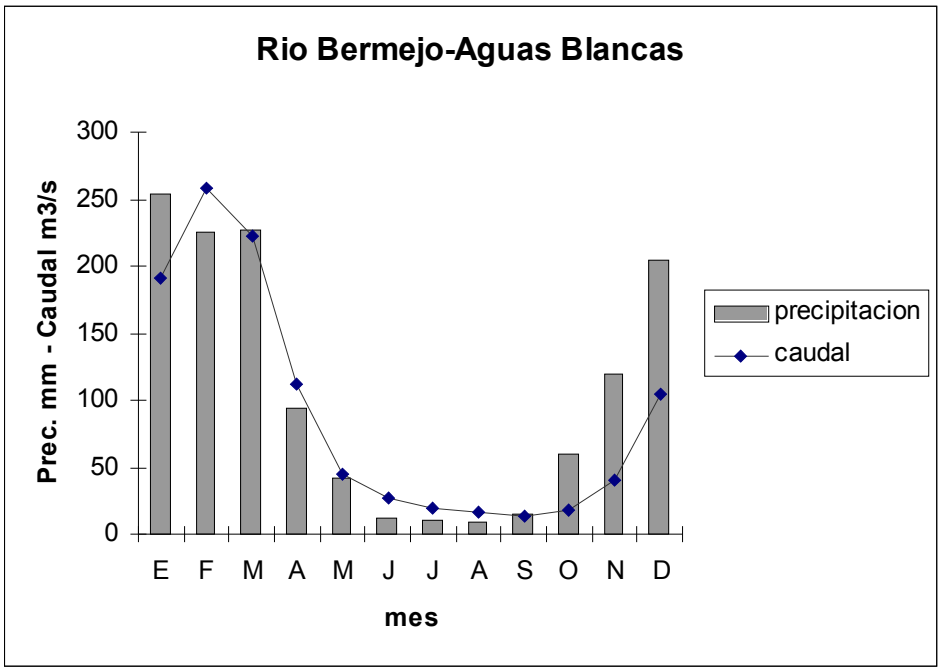


Fig. 1: Relación entre los registros mensuales de precipitación y los de caudal del río Bermejo en Aguas Blancas (Subcuenca Tarija – Bermejo).

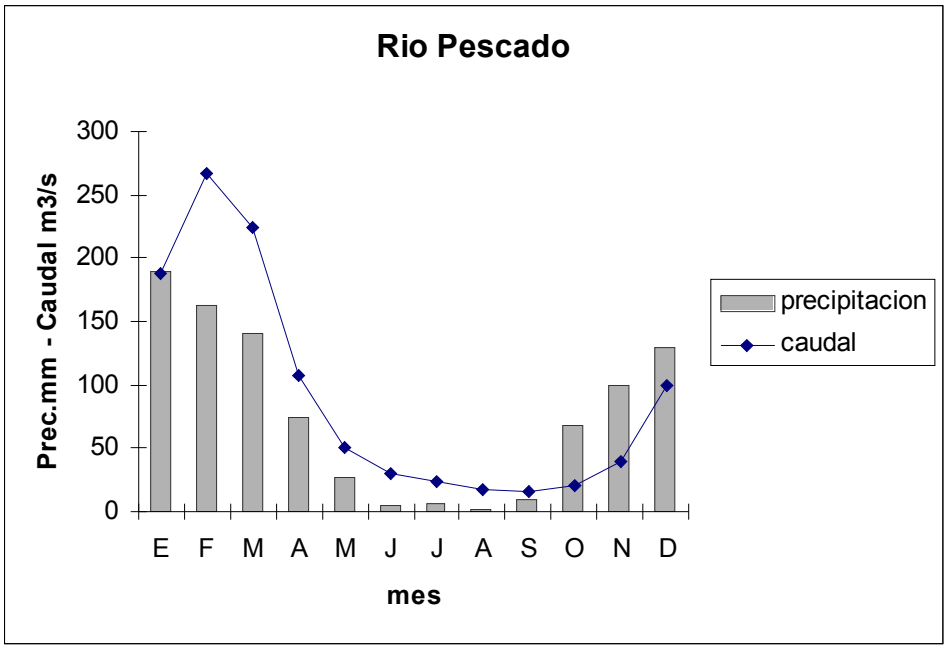


Fig. 2: Relación entre los registros mensuales de precipitación y los de caudal del río Pescado (Subcuenca Tarija – Bermejo).

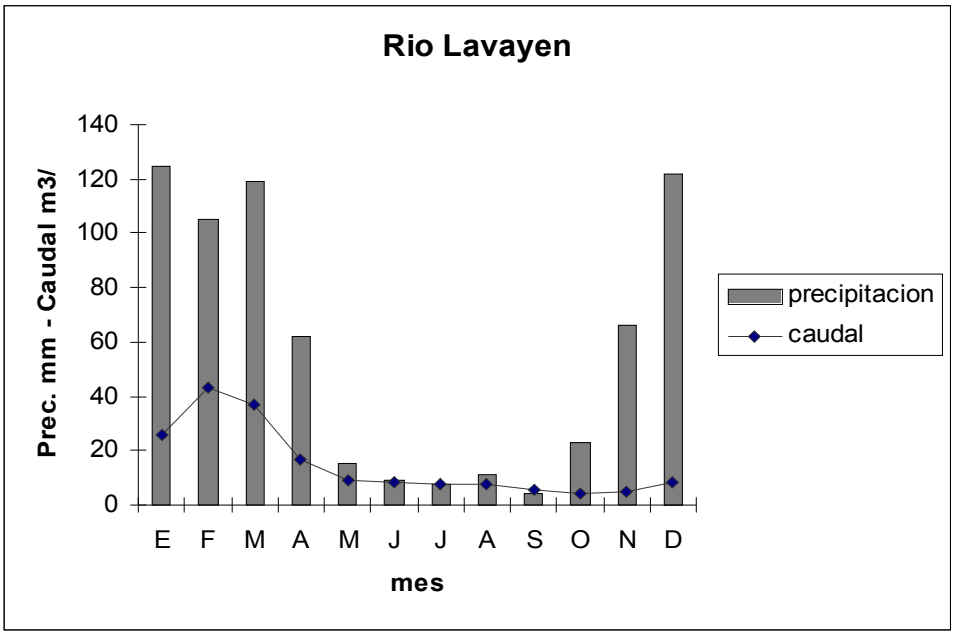


Fig. 3: Relación entre los registros mensuales de precipitación y los de caudal del río Lavayén (Subcuenca Grande – San Francisco).

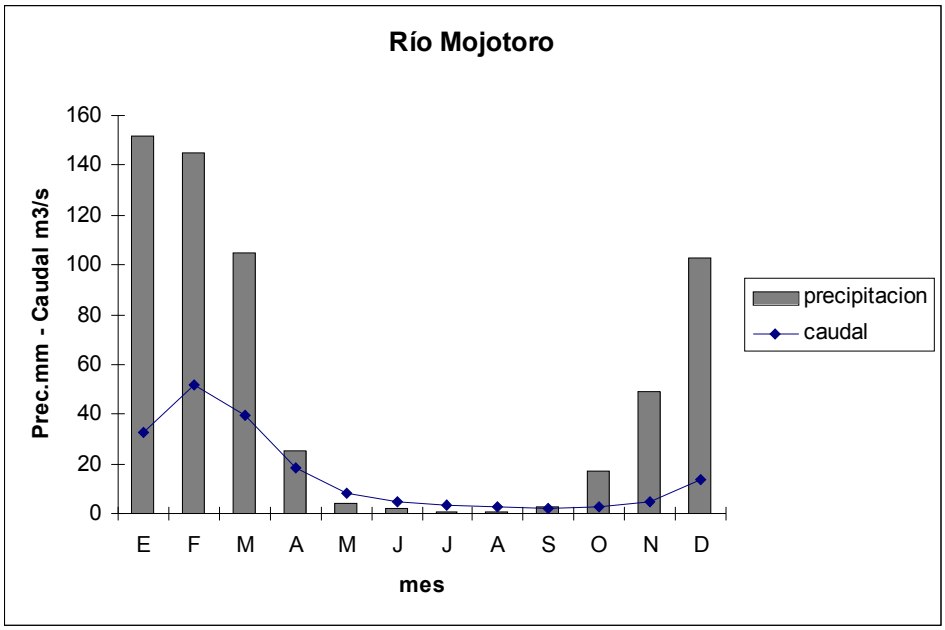


Fig. 4: Relación entre los registros mensuales de precipitación y los de caudal del río Mojotoro (Subcuenca Grande – San Francisco).

La Alta Cuenca del Río Bermejo sufre un proceso de intensa erosión hídrica, que se manifiesta fundamentalmente por la extraordinaria carga de sólidos, una de las más elevadas del mundo, transportada por su red hidrográfica. Se calcula que produce aproximadamente 95 millones de toneladas de sedimento anual (siendo el mayor productor de sedimentos del continente americano), de acuerdo con la siguiente distribución:

Subcuenca	Area km^2	Sedimento 10^6 tn/año
Tarija – Bermejo	25.450	67,5
Grande – San Francisco	25.100	27,5

El río Bermejo aporta, por sí sólo, el 75 % del total de sedimentos transportados por el gran sistema fluvial de los ríos Paraguay y Paraná, hasta el río de la Plata. Esta carga sólida es la responsable de los sedimentos depositados en los canales navegables del curso, que obligan a una continua y costosa labor de dragado. Es asimismo una de las principales causantes del progresivo avance del delta del río Paraná en Río de la Plata.

Este fenómeno responde a una serie de causales interrelacionadas, tales como la fisiografia del terreno (de elevadas pendientes y escasa vegetación), las características geológicas, el deficiente manejo de suelos y bosques y las intensas precipitaciones que caracterizan al período de lluvias.

4. SUELOS

Entre los factores que más interesa considerar en una cuenca hidrográfica se encuentran: la naturaleza geológica del terreno y el estado de los suelos superficiales, ya que éstos son la fuente del tipo de materiales que arrastran las corrientes. Por lo tanto, la naturaleza físico-química de las aguas de una cuenca de drenaje, al igual que su productividad biológica, están en función de la naturaleza de sus suelos, su uso y su estado de conservación (Roldán Pérez, 1992).

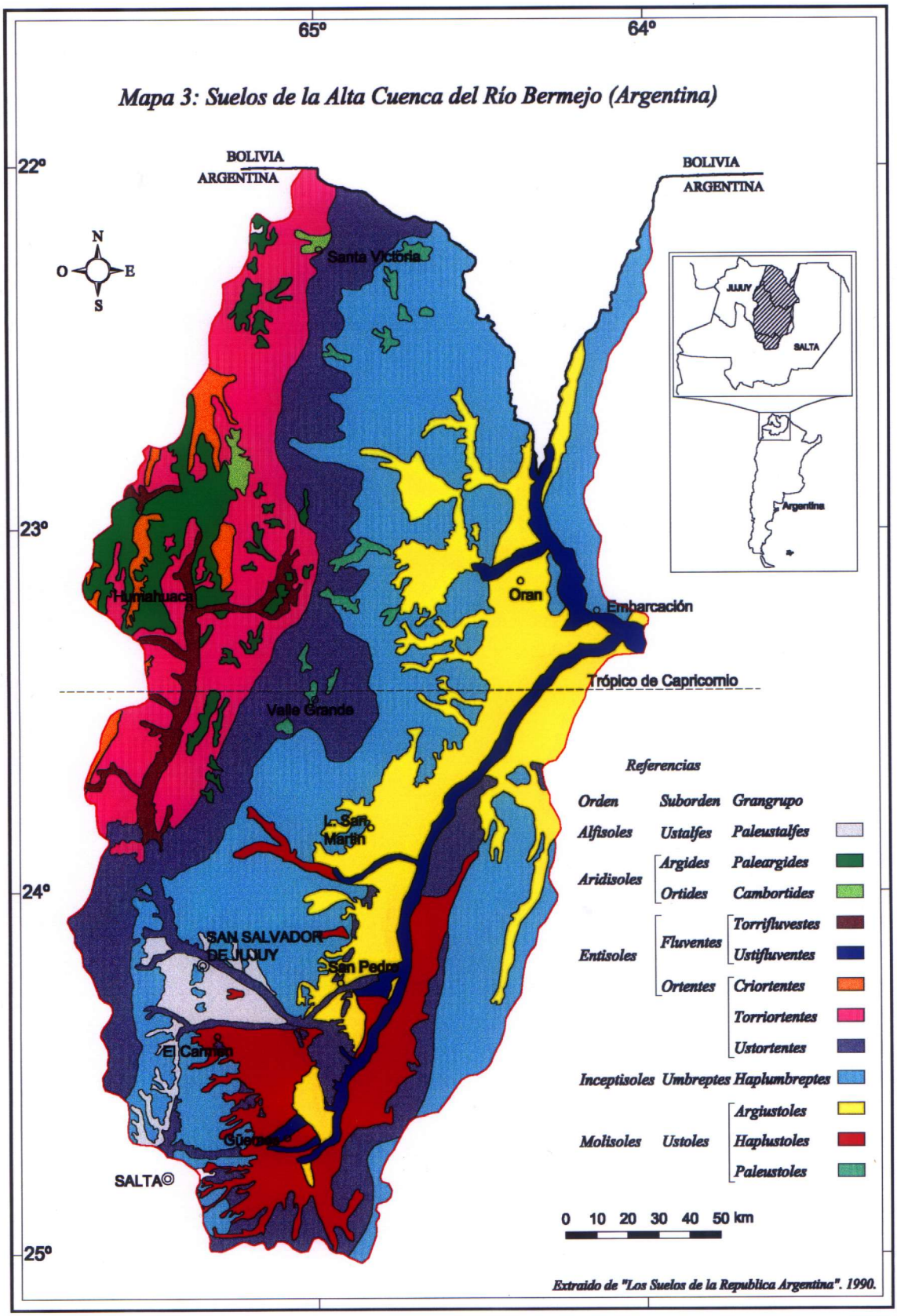
La Alta Cuenca del Bermejo presenta una gran variedad de suelos, en lo que hace a características y propiedades de los mismos. Esta variedad es consecuencia de la interacción de los factores de formación que son extremadamente variables en la cuenca.

Datos de análisis realizados en años anteriores, sugieren que la mayoría de los suelos presentan alta saturación con bases, reacción neutra a ligeramente ácida y contenidos medios de materia orgánica (Informe OEA, 1974).

Los principales grandes grupos de suelos reconocidos en la cuenca son, en orden de importancia según su difusión, Entisoles, Inceptisoles, Molisoles, Aridisoles y Alfisoles (mapa 3) (Atlas de Suelos de la República Argentina, 1990).

Alfisoles: se encuentran en piedemontes y conos aluviales estabilizados, en tierras de altura intermedia, en la zona de la subcuenca de los ríos Perico, Los alisos y Aº los Cedros, y en la margen derecha del río Grande de Jujuy. Son suelos que se caracterizan por presentar un horizonte subsuperficial de enriquecimiento secundario de arcillas, generalmente pobre en materia orgánica y alta saturación con bases en todo el perfil. El tipo característico encontrado en el área de estudio corresponde a los *Alfisoles ustalfes paleustalfes*, que son característicos de ambientes subhúmedos o semiáridos. Están asociados a condiciones climáticas en las cuales las lluvias estivales rara vez alcanzan magnitud como para que la humedad penetre en el perfil del suelo hasta las capas más profundas. Son suelos que suelen estar sujetos a sequías periódicas de intensidad y duración variadas. Usualmente poseen un horizonte fuertemente cementado con carbonatos, la permeabilidad es muy lenta y abundan signos de hidromorfismo. Son suelos de aptitud agrícola limitada por deficiencias de drenaje.

Aridisoles: son los suelos de climas áridos ya sean fríos o cálidos, que no disponen durante largos períodos de agua suficiente para el crecimiento de cultivos o pasturas polifíticas. Los procesos involucrados en su génesis incluyen la migración y acumulación de sales solubles, carbonatos y arcillas silicatadas, con un horizonte superficial pobre en materia orgánica y ricos en carbonatos, por lo general presentan coloraciones rojizas. Estos suelos se encuentran asociados a una vegetación xerófita escasa que no cubre completamente la superficie del suelo. Dentro de este gran grupo se encuentran los *Aridisoles argides paleargides*, característicos de formas estabilizadas antiguas: piedemontes, conos de deyección y planicies de la puna jujeña, más específicamente se encuentra en la zona de las cabeceras del río Grande a la altura de Humahuaca. Estos suelos están asociados a una condición de balance hídrico deficitario la mayor parte del año.


65º
64º
Mapa 3: Suelos de la Alta Cuenca del Río Bermejo (Argentina)
22º
23º
24º
25º
BOLIVIA
ARGENTINA
BOLIVIA
ARGENTINA
N
O
E
S
Santa Victoria
Humahuaca
Oran
Embarcación
Trópico de Capricornio
Valle Grande
L. San Martín
SAN SALVADOR DE JUJUY
San Pedro
El Carmen
Güemes
SALTA
JUJUY
SALTA
Argentina
Referencias
Orden
Suborden
Grangrupo
Alfisoles
Ustalfes
Paleustalfes
Aridisoles
Argides
Paleargides
Ortides
Cambortides
Entisoles
Fluventes
Torrifluvestes
Ustifluventes
Ortentes
Criortentes
Torriortentes
Ustortentes
Inceptisoles
Umbreptes
Haplumbreptes
Molisoles
Ustoles
Argiustoles
Haplustoles
Paleustoles
0 10 20 30 40 50 km
Extraido de "Los Suelos de la Republica Argentina". 1990.

Entisoles: en este Orden se incluyen los suelos que no evidencian o tienen escaso desarrollo de horizontes pedogenéticos. La mayoría de ellos solamente tiene un horizonte superficial claro, de poco espesor y generalmente pobre en materia orgánica. Los Entisoles se han desarrollado en distintos regímenes de humedad, temperatura, vegetación, materiales parentales y edad. En la Cuenca están presentes dos subórdenes con características diferentes: los *Entisoles fluventes* y los *Entisoles ortentes:*

Los *Entisoles fluventes* se desarrollan principalmente en las planicies de inundación, derrames y deltas de ríos y arroyos en sedimentos depositados recientemente por las aguas. Están afectados frecuentemente por inundaciones, pero no están permanentemente saturados con agua. Los materiales que componen su perfil de estratificación provienen, en su mayor parte, de la erosión de áreas altas y contienen una apreciable cantidad de materia orgánica. En la zona comprendida por los planos aluviales del río Grande (y sus tributarios), y hasta la altura de Tumbaya (mapa 3), se encuentra un tipo característico denominado *"Entisol fluvente torrifluvente típico"*, corresponde a los Fluventes de clima árido que no están inundados frecuentemente por largos períodos. La mayoría son alcalinos y calcáreos y en ciertos sitios salinos. La vegetación natural es de carácter xerófito o halófito. Su contrapartida de climas subhúmedos los *"Entisoles fluventes ustifluventes tipicos"* se encuentran en los planos aluviales de los ríos Bermejo – San Francisco – Lavayén (mapa 3), estos suelos generalmente están anegados en la época de lluvias, la sucesión de capas aluviales representativa de estos suelos es variable en textura, espesor y composición mineralógica.

Los *Entisoles ortentes* son los formados, básicamente, en superficies recientemente erosionadas. Pueden ocurrir en cualquier clima y esta variedad climática es la que determina las diferencias entre los grandes grupos encontrados: Los *"Entisoles ortentes criortentes líticos"* corresponden a paisajes de alta montaña, ocupando las laderas empinadas a alturas mayores a los 4000 msnm, la mayoría está en pendientes donde la roca se encuentra a poca profundidad, se encuentran en el ambiente puneño. Los *"Entisoles ortentes torriortentes líticos y típicos"*, son los suelos secos y salinos de regiones áridas, frías o cálidas, la mayoría son neutros o calcáreos y se encuentran en formas de transición submontañosa de relieve quebrado, extremadamente recortadas por erosión hídrica y en bajadas aluviales, vías de escurrimiento y llanuras aluviales. Por último, nos resta considerar a los *"Entisoles ortentes ustortentes líticos y típicos"*, se encuentran en climas semiáridos, en relieves de sierras y colinas de la región natural de selva y pastizales de altura, como así también en cauces y llanuras aluviales que fueron abandonados en épocas recientes por desplazamiento progresivo de los cursos de agua.

Inceptisoles: son suelos inmaduros característicos de las regiones subhúmedas y húmedas del país, que muestran horizontes alterados que sufrieron pérdida de bases, hierro y aluminio, pero conservan considerables reservas de minerales meteorizables. Los *"Inceptisoles umbreptes haplumbreptes énticos"* incluyen a los Inceptisoles ricos en materia orgánica, ácidos, bien drenados y de coloración rojiza oscura a parda, están vinculados a áreas de montaña con altas precipitaciones, en la región de selva y pastizales de altura. Son suelos desarrollados sobre material rico en cenizas volcánicas que soporta un colchón de restos vegetales parcialmente humificados, rico en materia orgánica y de baja saturación en bases.

Molisoles: son básicamente suelos negros o pardos que se desarrollaron a partir de sedimentos minerales en climas templado-húmedos a semiáridos. La incorporación sistemática de los residuos vegetales y su mezcla con la parte mineral ha generado en el transcurso del tiempo un proceso de oscurecimiento del suelo debido a la incorporación de materia orgánica. Podemos mencionar algunas de las propiedades típicas de éste tipo de suelos tales como: una estructura granular que facilita el movimiento del agua y del aire, dominancia del catión calcio en el complejo de intercambio catiónico que favorece la fluctuación de los coloides, dominancia de arcillas, moderada a alta capacidad de intercambio y la elevada saturación con bases. Los Molisoles son utilizados por el hombre para la producción de alimentos (agricultura – ganadería), poseen los más altos rendimientos y no requieren del aumento de cantidades significativas de fertilizantes integrales.

Los *"Molisoles ustoles argiustoles ácuicos"*, son los suelos afectados por exceso de agua, lo que origina signos de hidromorfismo en el perfil, los perfiles de los mismos se ubican en áreas de derrame, bajadas de cauce y vías de escurrimiento sin cauce formado, situándose en las áreas más expuestas a anegamiento de las tierras bajas del río San Francisco, Lavayén y Bermejo, la aptitud de éstos suelos es agrícola aunque muy limitada por sus deficiencias de drenaje.

Los *"Molisoles ustoles argiustoles údicos"*, son suelos desarrollados sobre sedimentos loéssicos y aluviales; se encuentran en un paisaje muy variado, sierras piedemontes, conos y terrazas estabilizados y en piedemontes y conos de reciente formación. Geográficamente se encuentran en tierras de altura intermedia y bajas del río San Francisco y Bermejo. Son suelos aptos para la realización de cultivos con riego y de secano.

Los *"Molisoles ustoles haplustoles énticos y típicos ",* se encuentran en paisajes variados, dentro del ambiente de sierras se encuentran en la región de selva y pastizales de altura, el

perfil tiene mantillo en superficie, en los Haplustoles típicos usualmente aparecen carbonatos libres y están desarrollados sobre un material loéssico.

5. GEOLOGIA Y GEOMORFOLOGIA

La geomorfología de la Cuenca Activa del Bermejo es bastante variada, presenta cumbres de hasta 6.200 msnm, valles profundos, valles amplios y extendidas planicies en las confluencias de los ríos principales. La tabla 4 muestra los valores de la pendiente de los principales ríos de la Alta Cuenca, cabe señalar el elevado valor de la pendiente en la parte media y alta de todos los ríos (OEA, 1974).

Tabla 4: Valores de pendientes en ríos pertenecientes a ambas subcuencas de la Alta Cuenca del Río Bermejo.

Subcuenca	Río	Tramo	Pendiente o/oo	Cotas extremas M
Tarija - Bermejo	**Bermejo**	Superior	40,2	4.250 – 1.134
		Medio	7,8	1.134 – 450
		Inferior	1,1	450 – 280
	Pescado	Superior	214,0	3.500 – 2.000
		Medio	39,6	2.000 – 950
		Inferior	6,3	950 – 327
	Blanco	Superior	82,4	3.600 – 1.500
		Medio	28,2	1.500 – 540
		Inferior	5,1	540 – 322
Grande– San Francisco	**Grande - San Francisco**	Superior	13,5	3.775 – 1.630
		Medio	11,9	1.630 – 425
		Inferior	0,8	425 – 280
	Mojotoro - Lavayén	Superior	118,0	3.250 – 1.600
		Medio	14,8	1.600 – 700
		Inferior	2,4	700 – 425
	Ledesma	Superior	116,0	3.500 – 1.700
		Medio-inferior	11,9	1.700 – 359

En la superficie abarcada por la cuenca, las características morfológicas y geológicas aparecen íntimamente ligadas al tectonismo que imprime los rasgos diferenciales.

A pesar de que en un área tan extendida la geomorfología resulta muy variada, se puede dividir la cuenca en tres zonas o fajas orientadas de NNE a SSO atendiendo al relieve dominante, al predominio de ciertas formaciones geológicas respecto a otras y a los procesos erosivos de modelización prevalecientes en cada una (mapa 4).

Zona Occidental: al oeste de la cuenca se destaca un relieve alto, escarpado y continuo donde asoman formaciones geológicas antiguas, vinculadas al levantamiento andino. Los picos más elevados pertenecientes a las serranías de Santa Victoria y Chañi se encuentran en esta zona.

Principalmente la componen secuencias del Precámbrico, Cámbrico y Cambro-Ordovícico constituyendo el núcleo de las serranías. En forma dispersa y en menor proporción afloran componentes del Triásico-Cretácico (Pirgua y Grupo Salta) relacionados por lo general con fallas paralelas provocadas por el empuje de oeste a este.

Lentejones del Terciario y Cuartario asoman ocasionalmente rellenando relieves bajos intermontanos o riberas de ríos muy encajonados. Manifestaciones graníticas se encuentran por excepción al norte de la zona Occidental.

Zona Central: paralelamente a la faja anterior, presenta un relieve variable y discontinuo medianamente alto, donde de norte a sur, se suceden miembros devónicos, Permo-Carboníferos, Graníticos, Cambro-Ordovícicos, Cámbricos, Triásico-Cretácicos, Terciarios, Silúricos y Cuartarios.

En la tectónica activa que afecta a esta zona, entran en combinación líneas de grandes fallas con estructuras plegadas, orientadas casi siempre de NNE a SSO.

La pendiente todavía fuerte a algo menor se mantiene de oeste a este en las partes septentrionales y medias de la zona, mientras que varía de NNO a SSE en la parte meridional de la misma.

Zona Oriental: con un relieve quebrado y discontinuo en sus extremos norte y sudeste, en la parte intermedia predominan formas suaves y bajas, las cuales recogen y concentran el agua superficial a lo largo de los ríos que la cruzan.

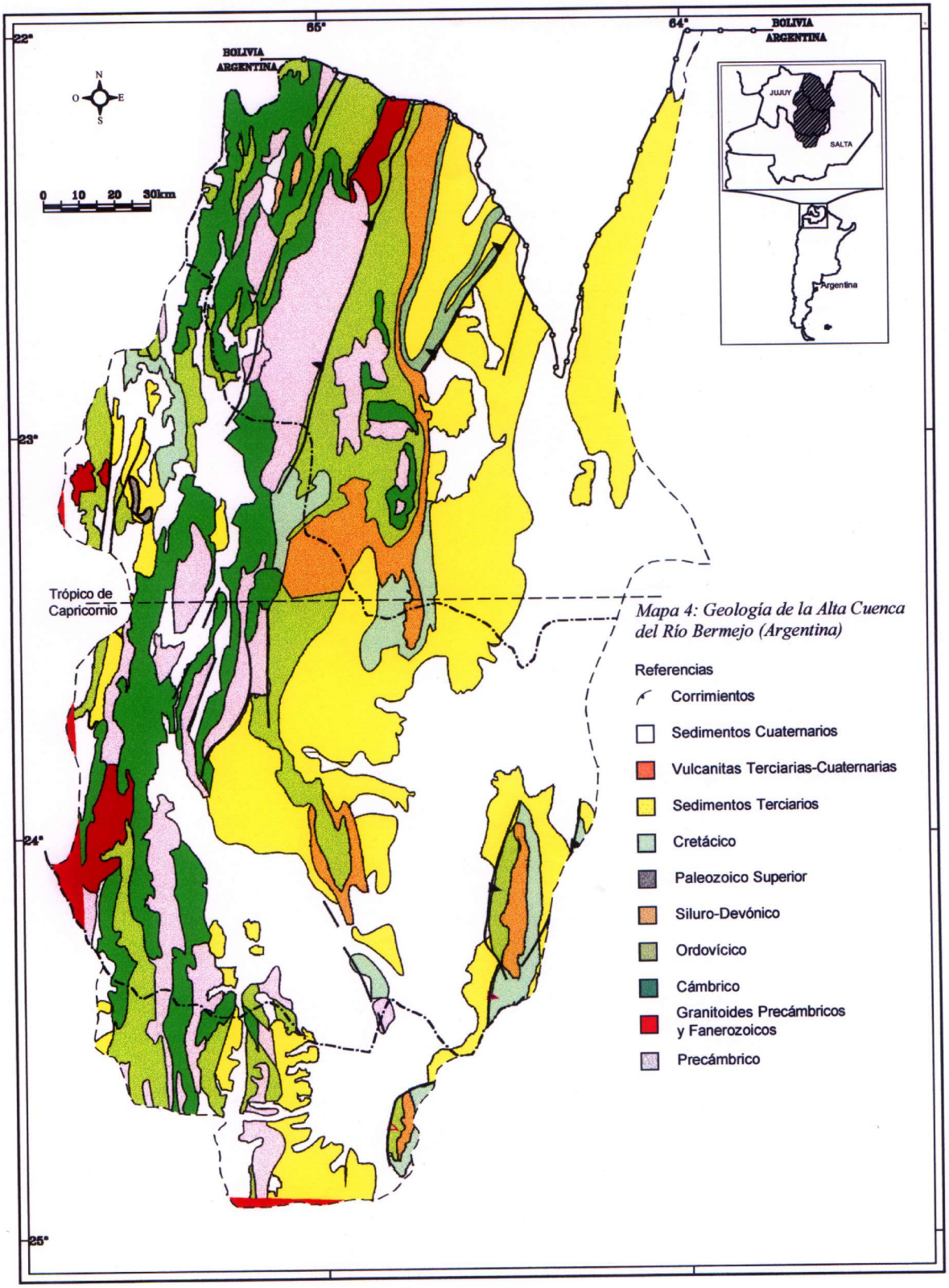
Los miembros geológicos prevalentes en su parte septentrional son Permo-Carboníferos (Gondwana) con núcleos Devónicos y rellenos laterales Cretácicos, Terciarios y Cuartarios. Priman en este sector las estructuras plegadas en las cuales la sucesión anticlinal-sinclinal y

fallas al este de sus ejes, tienen gran influencia sobre las pendientes. Las mismas, repartidas de NNO a SSE a casi N-S, producen un cambio en la circulación y derrame del agua y en la dirección de ataque de la erosión fluvial.

Las partes media y sur de la Zona Oriental aparecen rellenadas por un gran cono de deyección constituido por formaciones aluvionales Cuartarias marginadas- en su límite oeste- por series Terciarias plegadas. Las pendientes cambian de SSO a NNE.

Las serranías del extremo SSE (Sistema de Santa Bárbara) de esta zona, con componentes del Ordovícico, Devónico, Cretácico, Terciario y Cuartario, muy tectonizados, los cuales circundan el perímetro de la cuenca, provocan un nuevo cambio de pendientes que, en este caso, es de este a oeste. La diversidad litológica a lo largo y ancho de la cuenca se proyecta de diferente manera sobre la susceptibilidad a la erosión de algunos sectores respecto a otros, al igual que sobre la transmisibilidad del agua.

En cuanto al recurso geológico-minero, es en las zonas occidental y central donde se explotan yacimientos metalíferos y no metalíferos. En la zona oriental, la producción de petróleo y gas representa su principal actividad.


22°
23°
24°
25°
65°
64°
BOLIVIA
ARGENTINA
BOLIVIA
ARGENTINA
N
O
E
S
0 10 20 30km
JUJUY
SALTA
Argentina
Trópico de Capricornio
Mapa 4: Geología de la Alta Cuenca del Río Bermejo (Argentina)
Referencias
Corrimientos
Sedimentos Cuaternarios
Vulcanitas Terciarias-Cuaternarias
Sedimentos Terciarios
Cretácico
Paleozoico Superior
Siluro-Devónico
Ordovícico
Cámbrico
Granitoides Precámbricos y Fanerozoicos
Precámbrico

6. FITOGEOGRAFIA

El área de la Alta Cuenca del Río Bermejo se encuentra enmarcada en la siguiente caracterización de unidades fitogeográficas (Cabrera, 1976; Cabrera y Willink, 1980) (mapa 5).

Región Neotropical

Dominio Amazónico: 1) Provincia de las Yungas

Dominio Chaqueño: 2) Provincia Chaqueña
3) Provincia de la Prepuna

Dominio Andino-Patagónico: 4) Provincia Puneña
5) Provincia Altoandina

6.1. Provincia de las Yungas

El clima es cálido y húmedo, con lluvias principalmente estivales y heladas durante el invierno. La precipitación alcanza los 2.500 mm anuales, las diferencias en latitud, altura, relieve y exposición determinan considerables variaciones en los datos pluviométricos en puntos relativamente próximos. En los valles y zonas bajas el clima es más cálido y menos lluvioso, pero las heladas son más frecuentes que en las laderas, debido al deslizamiento del aire frío. En las laderas la temperatura es inferior y la precipitación es más abundante. En las zonas más elevadas de ésta provincia fitogeográfica el clima es templado y húmedo, con inviernos fríos. En Baritú, al oeste del río Bermejo, a 1.500 msnm, en los bosques de Podocarpus nieva copiosamente.

El relieve se compone de montañas escarpadas, quebradas, valles y llanuras onduladas al pié de las montañas.

El tipo de vegetación característico corresponde a la "selva nublada". Otros tipos de vegetación son las selvas de transición, bosques montanos, praderas, entre otros.

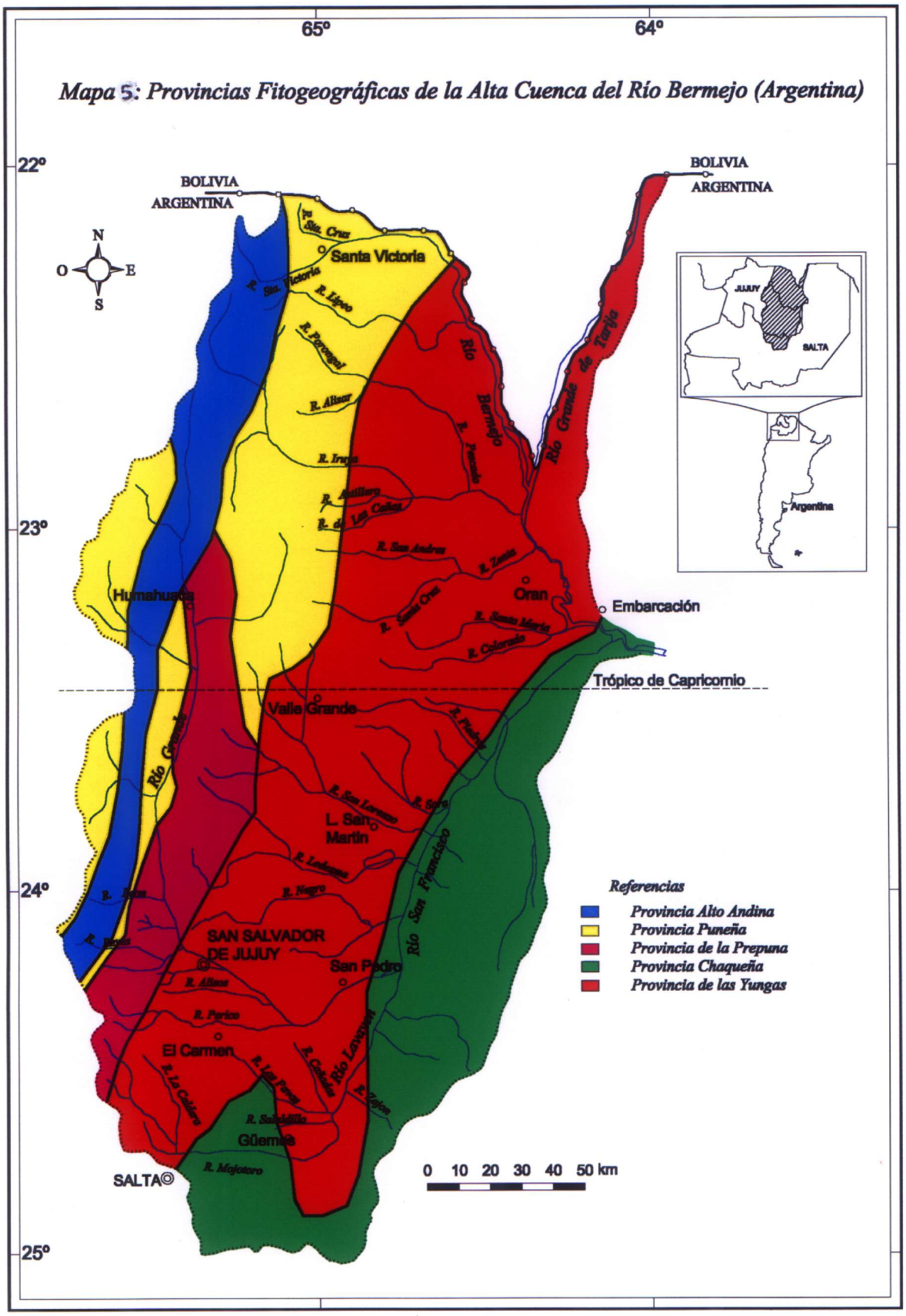
6.1.a. Distrito de las selvas de transición: forma una zona muy irregular a lo largo de las llanuras y montañas bajas inmediatas a los primeros contrafuertes de la cordillera, entre los 350 y los 500 msnm, se extiende desde Pocitos a Orán en el norte de Salta, y por el valle del río San Francisco en la provincia de Jujuy. La precipitación varía de 700 a 1.000 mm anuales.

Este distrito habría ocupado originariamente el 25% de la superficie de las Yungas (Brown y Grau, 1995). En la actualidad de éste bosque sólo queda la tercera parte de la superficie presente a principios de siglo y, de continuar la tendencia y ritmo actuales, la selva del Palo Blanco habrá desaparecido completamente dentro de los próximos 20 años. En las Yungas, la actividad forestal estuvo principalmente concentrada en este distrito. En el pasado reciente, antes de ser casi completamente reemplazadas por cultivos, estas selvas tenían una gran importancia forestal tanto por las especies de alto valor comercial (cedro, nogal, roble, etc.), como de aquellas de valor comercial más reducido (palo blanco, palo amarillo, pacará, cebil, etc.) (Brown y Grau, 1995).

El distrito se explotó primero por la madera, luego fue desmontado, al comienzo en pequeña escala luego a gran escala, para su transformación en campos de cultivo (agricultura intensiva de caña de azúcar, banana, cítricos y tabaco entre otros); pero el suelo luego de 4 o 5 años de buena cosecha, pierde su productividad lo cual lleva al desmonte otra franja de bosque. Al producirse el progresivo desmonte, la explotación va ascendiendo a los primeros contrafuertes de la montaña, acelerando la erosión de los suelos y la degradación de las cuencas (Vervoorst, 1979).

6.1.b. Distrito de las selvas montanas: ocupa las laderas orientales de las primeras cadenas de montañas del noroeste de la Argentina, desde el límite con Bolivia hasta el este de Catamarca, entre los 550 y los 1.600 msnm aproximadamente. Constituye esta selva una densa y casi impenetrable masa de vegetación cubierta casi permanentemente por las nubes durante los meses de verano y principios de otoño. La principal problemática de este distrito es la deforestación.

6.1.c. Distrito de los bosques montanos: se sitúa en la parte superior de la provincia de las Yungas, entre los 1.200 y los 2.500 msnm aproximadamente. Su clima es más frío que el de los distritos selváticos, con precipitaciones en forma de nieve durante la estación húmeda. Además entre éstos bosques y por encima de ellos existen praderas que ascienden hasta los 3.000 m de altura donde se funden en un amplio ecotono con la estepa puneña. El principal problema ambiental de ésta área es el sobrepastoreo.


65º
64º
Mapa 5: Provincias Fitogeográficas de la Alta Cuenca del Río Bermejo (Argentina)
22º
23º
24º
25º
BOLIVIA
ARGENTINA
N
O
E
S
Santa Victoria
Humahuaca
Valle Grande
L. San Martín
SAN SALVADOR DE JUJUY
San Pedro
El Carmen
Güemes
SALTA
Oran
Embarcación
Trópico de Capricornio
Río Bermejo
Río Grande de Tarija
Río Grande
Río San Francisco
Río Lavayen
JUJUY
SALTA
Argentina
Referencias
Provincia Alto Andina
Provincia Puneña
Provincia de la Prepuna
Provincia Chaqueña
Provincia de las Yungas
0 10 20 30 40 50 km

6.2. Provincia Chaqueña

El clima es cálido, con precipitaciones estivales, escasas en la zona occidental y abundantes en la porción oriental. Relieve compuesto por llanuras con ligeras depresiones o con cauces de ríos. En su porción occidental serranías de poca elevación. Suelos generalmente sedimentarios, de origen fluvio-lacustre, formados por materiales finos: arena fina, limos y arcillas. El tipo de vegetación predominante son los bosques caducifolios xerófilos. Hay además palmares, sabanas, pajonales, estepas halófilas, etc. El distrito Chaqueño Serrano, suele ocupar las laderas bajas de cerros y quebradas, formando un amplio ecotono con la provincia de las Yungas. Altitudinalmente llega hasta los 1.800 msnm. Presenta una problemática ambiental dada por la deforestación, luego de la cual se somete el área a sobrepastoreo y finalmente los suelos sufren el efecto de la solifluxión por el pisoteo del ganado (Vervoorst, 1982). En esta región la erosión hídrica se debe al efecto combinado del desmonte indiscriminado y los posteriores cultivos de escarda.

6.3. Provincia de la Prepuna

Se extiende por las laderas y quebradas secas de las montañas del noroeste de la Argentina, en la Alta Cuenca del Bermejo ocupa por lo general zonas entre las provincias de las Yungas y la Provincia Puneña, aproximadamente entre los 2.000 y los 3.400 msnm. El relieve está compuesto por laderas de cerros, conos de deyección y quebradas. Los suelos son característicos de montaña, inmaduros, pedregoso-arenosos, sueltos y muy permeables. El clima es seco y cálido, con lluvias escasas y exclusivamente estivales. La vegetación está compuesta por estepas arbustivas, cardonales, bosquecillos enanos etc.

6.4. Provincia Puneña

Compuesta por las altas montañas y mesetas del noroeste de Argentina, entre los 3.400 y 4.500 msnm. Relieve de altiplanicies, cerros y quebradas. Con suelos inmaduros, muy pobres en materia orgánica, frecuentemente arenosos o pedregosos. El clima del altiplano es frío y seco, con gran amplitud térmica diaria, lluvias casi exclusivamente estivales y falta de nieve casi todo el año. Las lluvias disminuyen de norte a sur y de este a oeste. El tipo de vegetación dominante compuesto por estepas arbustivas, además se encuentran estepas herbáceas, halofilas, etc. Los factores ambientales negativos más importantes son: déficit de agua durante la mayor parte del año, irregularidad en las precipitaciones, humedad atmosférica muy baja, gran radiación solar, suelos muy sueltos, gran amplitud térmica diaria, abundancia de sales solubles y presencia de herbívoros en una región pobre en vegetación.

6.5. Provincia Altoandina

En la República Argentina se extiende por las altas montañas del oeste del país. El relieve característico de alta montaña, con laderas suaves, laderas escarpadas, mesetas y detritus de falda. El suelo es rocoso, pedregoso o arenoso, generalmente suelto e inmaduro; en las depresiones donde se acumula humedad hay suelos de turbera. Frecuentes fenómenos de solifluxión. Clima típico de alta montaña, frío y seco, con precipitación en forma de nieve o granizo en cualquier época del año. Humedad relativa muy baja, vientos muy fuertes. Vegetación compuesta por estepas graminosas y estepas de caméfitos.

SITIOS Y METODOLOGIA DE ESTUDIO

1.- Elección de los sitios de estudio

Se estudiaron ambientes lóticos (ríos y arroyos) pertenecientes a las dos subcuencas (Grande-San Francisco y Tarija-Bermejo) de la Alta Cuenca del río Bermejo. Dada la inmensa heterogeneidad ambiental que posee la cuenca, se procuró que la elección de los sitios de muestreo esté acorde a la misma, razón por la cual se tomaron muestras representativas de las diferentes regiones (mapa 6) (láminas 1 a 6).

2.- Período de muestreo

Se realizaron 4 campañas de muestreo. La primera, correspondiente a estiaje (octubre de 1998), debió interrumpirse dado que las lluvias comenzaron 15 días antes de lo normal según promedios históricos (debido a irregularidades climáticas producidas por El Niño), en consecuencia sólo se tomaron muestras en 12 sitios (correspondientes a la Cuenca del Río Grande), por lo que el muestreo completo correspondiente a la época de bajos caudales se repitió en octubre de 1999 (tabla 5).

El segundo muestreo, llevado a cabo en febrero de 1999, correspondió al período de máximos caudales. Se pudo acceder a 37 sitios, tal como se reproduce en la tabla 5.

En mayo de 1999 se realizó una campaña de muestreo, hacia fines del período de lluvias (que corresponde a la época de transición lluvia-estiaje), no prevista en la formulación original del Plan de Tesis. Dada la imposibilidad de evaluar la densidad algal en la mayor parte de las muestras obtenidas en febrero de 1999 a causa del exceso de material abiosestónico, se consideró de importancia efectuar esta campaña complementaria a los efectos de tener una aproximación (en lo atinente a densidad algal y demás parámetros físico-químicos) de lo que ocurre hacia el final de la época de altos caudales.

En octubre de 1999 se llevó a cabo la última campaña de recolección de muestras, y debido la pronunciada baja en los caudales un alto porcentaje de los sitios no pudieron ser muestreados dado que sus cauces estaban secos.

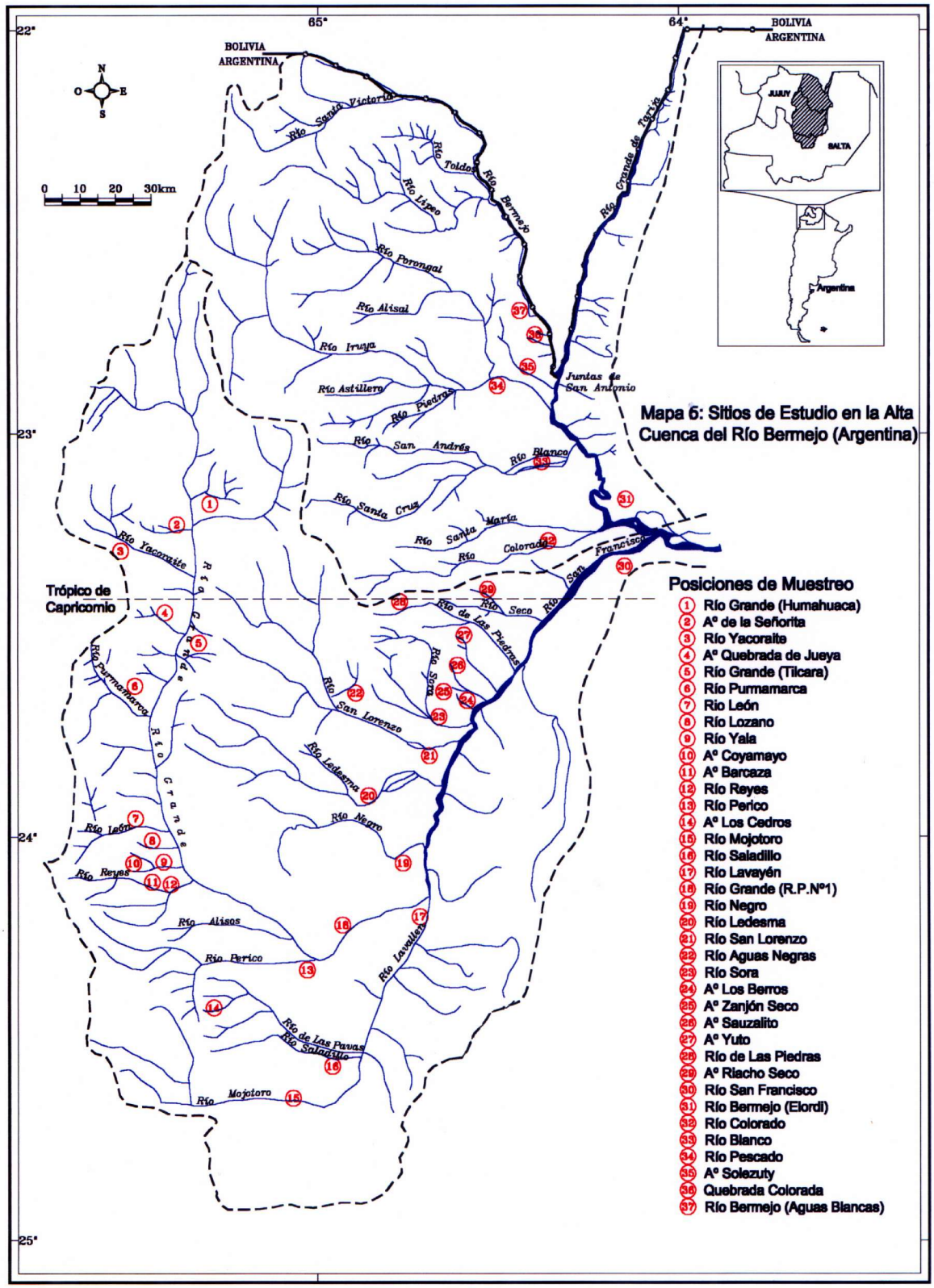

Mapa 6: Sitios de Estudio en la Alta Cuenca del Río Bermejo (Argentina)
BOLIVIA
ARGENTINA
65°
64°
22°
23°
24°
25°
N
O
E
S
0 10 20 30km
JUJUY
SALTA
Argentina
Río Santa Victoria
Río Toldos
Río Bermejo
Río Grande de Tarija
Río López
Río Porongal
Río Alisal
Río Iruya
Río Astillero
Río Piedras
Juntas de San Antonio
Río San Andrés
Río Blanco
Río Santa Cruz
Río Santa María
Río Colorado
Río San Francisco
Río Yacoraite
Río Grande de Tilcara
Trópico de Capricornio
Río Seco
Río de Los Piedras
Río Purmamarca
Río Sora
Río San Lorenzo
Río Ledesma
Río Negro
Río León
Río Reyes
Río Alisos
Río Perico
Río Lavayén
Río de Las Pavas
Río Saladillo
Río Mojotoro
Posiciones de Muestreo
1 Río Grande (Humahuaca)
2 Aº de la Señorita
3 Río Yacoraite
4 Aº Quebrada de Jueya
5 Río Grande (Tilcara)
6 Río Purmamarca
7 Río León
8 Río Lozano
9 Río Yala
10 Aº Coyamayo
11 Aº Barcaza
12 Río Reyes
13 Río Perico
14 Aº Los Cedros
15 Río Mojotoro
16 Río Saladillo
17 Río Lavayén
18 Río Grande (R.P.Nº1)
19 Río Negro
20 Río Ledesma
21 Río San Lorenzo
22 Río Aguas Negras
23 Río Sora
24 Aº Los Berros
25 Aº Zanjón Seco
26 Aº Sauzalito
27 Aº Yuto
28 Río de Las Piedras
29 Aº Riacho Seco
30 Río San Francisco
31 Río Bermejo (Elordi)
32 Río Colorado
33 Río Blanco
34 Río Pescado
35 Aº Solezuty
36 Quebrada Colorada
37 Río Bermejo (Aguas Blancas)

Lámina 1: a) Río Bermejo en Aguas Blancas
b) Quebrada Colorada
c) Arroyo Solazuty
d) Río Pescado
e) Río Blanco
f) Río Colorado
g) Río Bermejo en Elordi

Lámina 2: a) Río San Francisco
b) Arroyo Sauzalito
c) Arroyo Riacho Seco
d) Arroyo Zanjón Seco
e) Río de las Piedras
f) Arroyo Yuto

Lámina 3: a) Arroyo Los Berros, b) Río Sora, c) Río Aguas Negras, d) Río San Lorenzo, e)Río Ledesma y f) Río Negro III.

Lámina 4: a) Río Grande R.P.Nº1
b) Río Lavayén
c) Río Saladillo
d) Río Mojotoro
e) Río Reyes
f) Arroyo Barcaza

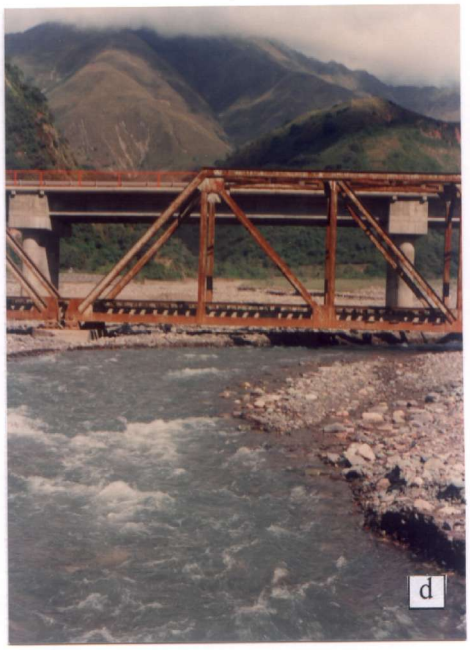


Lámina 5: a) Arroyo Coyamayo, b) Río Yala, c) Río Purmamarca, d) Río León.

Lámina 6: a) Río Lozano
b) Río Grande en Humahuaca
c) y e) Río Grande en Tilcara
d) Río Yacoraite
f) Extracción de áridos en el río Reyes

Tabla 5: Detalle de los sitios de estudio, la subcuenca a la que pertenecen y las fechas en que fueron muestreados (mes y año).

Lugar de muestreo	Código	Subcuenca	Fecha de muestreo (mes/año)
1. Río Grande (Humahuaca)	F1	Grande-San Fco	10/98, 2/99, 5/99 y 10/99
2. Aº de la Señorita	F2	Grande-San Fco	10/98, 02/99 y 05/99
3. Río Yacoraite	F3	Grande-San Fco	2/99, 5/99 y 10/99
4. Aº Quebrada de Jueya	F4	Grande-San Fco	10/98, 2/99, 5/99 y 10/99
5. Río Grande (Tilcara)	F5	Grande-San Fco	10/98, 2/99, 5/99 y 10/99
6. Río Purmamarca	F6	Grande-San Fco	10/98, 2/99, 5/99 y 10/99
7. Río León	F7	Grande-San Fco	10/98, 2/99, 5/99 y 10/99
8. Río Lozano	F8	Grande-San Fco	10/98, 2/99, 5/99 y 10/99
9. Río Yala	F9	Grande-San Fco	10/98, 2/99, 5/99 y 10/99
10. Aº Coyamayo	F10	Grande-San Fco	10/98, 2/99, 5/99 y 10/99
11. Aº Barcaza	F11	Grande-San Fco	10/98, 2/99, 5/99 y 10/99
12. Río Reyes	F12	Grande-San Fco	10/98, 2/99, 5/99 y 10/99
13. Río Perico	F13	Grande-San Fco	2/99
14. Aº Los Cedros	F14	Grande-San Fco	2/99
15. Río Mojotoro	F15	Grande-San Fco	2/99 y 5/99
16. Río Saladillo	F16	Grande-San Fco	2/99 y 5/99
17. Río Lavayén	F17	Grande-San Fco	2/99, 5/99 y 10/99
18. Río Grande (R.P.Nº1)	F18	Grande-San Fco	2/99, 5/99 y 10/99
19. Río Negro	F19	Grande-San Fco	2/99 y 5/99
20. Río Ledesma	F20	Grande-San Fco	2/99 y 5/99
21. Río San Lorenzo	F21	Grande-San Fco	2/99 y 5/99
22. Río Aguas Negras	F22	Grande-San Fco	2/99, 5/99 y 10/99
23. Río Sora	F23	Grande-San Fco	2/99, 5/99 y 10/99
24. Aº Los Berros	F24	Grande-San Fco	2/99, 5/99 y 10/99
25. Aº Zanjón Seco	F25	Grande-San Fco	2/99 y 5/99
26. Aº Sauzalito	F26	Grande-San Fco	2/99 y 5/99
27. Aº Yuto	F27	Grande-San Fco	2/99, 5/99 y 10/99
28. Río de las Piedras	F28	Grande-San Fco	2/99, 5/99 y 10/99
29. Aº Riacho Seco	F29	Grande-San Fco	2/99 y 5/99
30. Río San Francisco	F30	Grande-San Fco	2/99, 5/99 y 10/99
31. Río Bermejo (Elordi)	B31	Tarija-Bermejo	2/99, 5/99 y 10/99
32. Río Colorado	B32	Tarija-Bermejo	2/99, 5/99 y 10/99
33. Río Blanco	B33	Tarija-Bermejo	2/99 y 5/99
34. Río Pescado	B34	Tarija-Bermejo	2/99, 5/99 y 10/99
35. Aº Solazuty	B35	Tarija-Bermejo	2/99, 5/99 y 10/99
36. Aº Quebrada Colorada	B36	Tarija-Bermejo	2/99, 5/99 y 10/99
37.Río Bermejo(Ag.Blancas)	B37	Tarija-Bermejo	2/99, 5/99 y 10/99

3.- Parámetros estudiados

En cada sitio de estudio se determinaron "in situ" los siguientes parámetros: pH con peachímetro portátil marca Hanna Checker; conductividad eléctrica (µS/cm) con conductímetro marca Schoh-Geräte modelo CG 857; oxígeno disuelto (mg/l y %) y temperatura (ºC) del agua con oxímetro de campo marca ORION modelo 835 y turbidez (NTU) con turbidímetro portátil marca Hach.

Se obtuvieron muestras de agua para los análisis químicos de laboratorio, siguiendo la metodología de APHA (1989, 1992). Fósforo total y ortofosfatos: para el primero se realizó una digestión previa con persulfato y luego por determinación de ortofosfatos con el método del ácido ascórbico. Nitrógeno inorgánico: los nitratos se determinaron por la técnica de brucina; los nitritos utilizando N-1-naftil etilendiamino dihidroclorato de NED y el amonio por nesslerización directa. Además se cuantificaron: calcio y magnesio, por titulación con EDTA 0,02 N; el anión sulfato, por el método del cloruro de bario y posterior lectura en espectrofotómetro; cloruros, con la técnica del nitrato mercúrico; alcalinidad, carbonatos y bicarbonatos, por titulación con ácido sulfúrico 0,02 N y la dureza total, por titulación con EDTA 0,02 N y se expresó en mg de $CaCO_3$ /l.

Los métodos de análisis usados en las determinaciones de metales pesados y elementos minoritarios en aguas superficiales fueron: espectrometría de absorción atómica en llama con preconcentración por evaporación para cinc, plomo, cadmio y cromo; generación de hidruro para arsénico; de vapor frío para mercurio y espectrometría molecular con Azometín H como reactivo para boro.

Los análisis geoquímicos, composición química de los sedimentos, se llevaron a cabo en el Acme Analytical Laboratories S.A. Se analizaron en sedimento los siguientes elementos: cobre, plomo, cinc, niquel, cobalto, manganeso, arsénico, boro, cadmio y cromo. Se enviaron a dicho laboratorio 5 gramos de cada una de las muestras de ríos, previamente tratadas, presecadas y pulverizadas hasta lograr un tamaño de partículas de 106 micrones. El análisis en laboratorio consiste en digerir 0,5 gramos de muestra durante una hora en baño de agua con Agua Regia y determinar en ICP-ES simultáneo. Debido a los costos de dichos análisis, se realizaron solamente en 18 de los 37 sitios estudiados.

Para la determinación de los pigmentos fotosintéticos se tomaron muestras de agua en bidones oscuros para evitar la fotooxidación de la clorofila, posteriormente en el laboratorio se realizó su cuantificación mediante la técnica de Scor-Unesco modificada (en: Cabrera Silva, 1984).

De cada sitio se colectaron muestras enteras de 250 ml para el recuento del fitoplancton, las que se fijaron “in situ” con solución ácida de Lugol (Jones, 1979). En el laboratorio se colocaron a sedimentar alícuotas de volumen variable debido a la densidad sestónica (2,5 – 50 mL), en cámaras combinadas siguiendo la metodología de Utermöhl (1958). Después de 24 horas se contaron las algas sedimentadas bajo un microscopio invertido marca OLYMPUS a 430 x. Los datos resultantes se expresaron como medida de la densidad, en org./mL.

Para el análisis cualitativo del fitoplancton se tomaron muestras con red de 30 µm de tamaño de poro. El material fue colocado en frascos plásticos y fijado con solución de formaldehído al 4%. Para el estudio de las diatomeas, a fin de eliminar todo resto de materia orgánica de los ejemplares, se realizó una oxidación con ácido sulfúrico, permanganato de potasio y ácido oxálico (Hasle y Fryxell, 1970).

El análisis bacteriológico se llevó a cabo siguiendo la metodología la APHA (1989). La prueba estándar para el grupo coliforme se realizó mediante la "técnica de fermentación en tubos múltiples", a través de las fases presuntiva y confirmatoria, o prueba completa. Los resultados del estudio de los tubos y diluciones replicados se comunicaron en terminos de Número Más Probable de microorganismos existentes en cien mililitros (NMP/100mL). Este número, basado en determinadas fórmulas de probabilidad, es un cálculo de la densidad media de coliformes en la muestra.

En el caso del análisis de coliformes totales (CT) se utilizó el medio de cultivo Mac Conkey que contiene en su formulación púrpura de bromocresol que es un indicador de pH ácido, en los tubos de fermentación se introdujeron campanitas "Durham" para observar la producción de gas. El medio de cultivo empleado para el análisis de los coliformes fecales (CF) fue el EC, ya que la prueba para coliformes fecales (con medio EC) es aplicable al estudio de la contaminación de corrientes, aguas naturales, sistema de tratamiento de aguas residuales, aguas de baño, aguas marinas y para el control general de la calidad de todo tipo de aguas. Las temperaturas de incubación de los tubos sembrados fueron de 35 ºC ± 0,5 y de 44,5 ºC ± 0,2 respectivamente.

4.- Análisis estadístico de los datos

El análisis de los datos se llevó a cabo utilizando el programa SYSTAT bajo WINDOWS.

A fin de contrastar diferencias entre medias de dos muestras independientes, tales como las comparaciones llevadas a cabo entre las subcuencas Tarija-Bermejo vs Grande-San Francisco, se utilizó T-test (estadístico *t de Student*), previa comprobación del cumplimiento de los siguientes supuestos:

1º) La variable dependiente debe ser cuantitativa.

2º) Los datos deben distribuirse normalmente.

3º) Las varianzas deben ser homogeneas.

El segundo supuesto no es muy importante (aún así fue verificado en el presente estudio), ya que se ha podido constatar que cuando las poblaciones no son normales, el

estadístico T apenas se ve afectado. Con respecto al tercer supuesto, si los tamaños muestrales son iguales, tampoco tiene mucha importancia su incumplimiento, pero si son diferentes (y es el caso entre el N de las dos subcuencas estudiadas), y además pequeños, el estadístico T no se distribuye según una ley *t de Student* con $n_1 + n_2 - 2$ grados de libertad, lo que provoca una perturbación en los niveles de probabilidad. El paquete estadístico SYSTAT propone una solución a este problema, "la aproximación propuesta por Satterthwaite" (cf. Winer, 1971), que consiste en estimar el error típico de la diferencia sumando las varianzas de las distribuciones muestrales por separado, y en corregir los grados de libertad de la distribución t con las varianzas de las distribuciones muestrales de las dos medias.

En aquellos casos donde el conjunto de datos a analizar no cumplía con los supuestos para realizar la prueba paramétrica *t de Student*, se utilizó la prueba de Mann-Whitney (U) que es una de las pruebas (de contraste de dos muestras independientes) no paramétricas más poderosas y constituye la alternativa más útil ante la prueba paramétrica t.

Cuando se realizaron comparaciones múltiples, es decir se confrontaron más de dos muestras entre sí (tal es el caso de las comparaciones entre los distintos períodos hidrológicos *estiaje* vs *transición estiaje-lluvia* vs *lluvias*, o al analizar si existían diferencias en los distintos parámetros estudiados entre las cinco ecorregiones), se realizó ANOVA (análisis de la varianza), previamente se testeó que los datos se distribuyeran normalmente y se realizó el cálculo de la prueba de Barttlet a fin de comprobar la homogeneidad de las varianzas.

Para aquellos casos en donde los datos no cumplían con alguno de los supuestos que exige el Análisis de la Varianza convencional, se recurrió a la estadística no paramétrica a través del *Análisis de Varianza de un factor de Kruskal-Wallis* (H). El estadístico H de Kruskal-Wallis ordena por rangos los valores muestrales y "determina si la desigualdad entre las sumas de rangos es tan grande que probablemente no procedan de muestras tomadas de la misma población" (Siegel, 1972).

Posteriormente al análisis de varianza, es necesario realizar comparaciones Post-Hoc (o a posteriori) a fin de particularizar entre que grupos hay diferencias, para lo cual se realizó la *Prueba de la Diferencia Honestamente Significativa de Tukey*, HSD (Honestly Significant Difference) a la que se le aplicó el ajuste de Tukey-Kramer por ser diferentes los tamaños muestrales.

En aquellos casos en donde se utilizó estadística no paramétrica en las comparaciones múltiples (Kruskal-Wallis), se usó como prueba a posteriori el *Grafico de Cajas Hendidas* (Notched Boxplots), este procedimiento gráfico posee características exploratorias y

confirmatorias, es una técnica que se encuentra a mitad de camino entre las pruebas paramétricas y no paramétricas y fue desarrollada por McGill, Tukey y Larsen (1978).

Con el objeto de sintetizar la información aportada por los parámetros físico-químicos estudiados y lograr una mejor aproximación al conocimiento del comportamiento de los mismos, es decir, tener una idea de la importancia de cada uno de ellos en la explicación global de las diferentes situaciones, se emplearon las siguientes técnicas de análisis multivariados:

I) *Análisis de Componentes Principales*, cuyo objetivo es describir la variación de un conjunto de observaciones en términos de un conjunto de variables no correlacionadas, llamadas componentes, que son combinaciones lineales de las variables originales. Por lo tanto, es una técnica de reducción de la dimensionalidad estadística, ya que los componentes son combinaciones lineales ponderadas de las variables observadas.

II) *Análisis de Correlación Canónica* (ACC), en este análisis disponemos de dos conjuntos de variables *X*, *Y*. El conjunto de variables *Y* o variables dependientes o también denominadas variables a explicar, serán las abundancias de los distintos grupos de algas presentes en los sitios de estudio. Y el conjunto de variables predictoras *X*, serán las variables independientes, que en el presente trabajo corresponden a los parámetros fisicoquímicos de calidad del agua analizados.

Para relacionar estos dos conjuntos de variables (dependientes e independientes) se utilizó el método multivariado de Correlación Canónica que consiste en la construcción de pares sucesivos de variables, que son combinaciones lineales de las originales, de modo que cada par represente la mejor explicación de cada conjunto respecto al otro que no haya sido ya obtenida por los pares anteriores. Por tanto en la primera etapa del ACC se construyen las variables canónicas A y B como sigue:

$$A = \alpha 1\ Y1 + \alpha 2\ Y2 + \ldots \alpha q\ Yq = Y\alpha$$

$$B = \beta 1\ X1 + \beta 2\ X2 + \ldots \beta k\ Xk = X\beta$$

La correlación canónica está dada por:

$$r_{A,B} = \frac{Cov\ (A, B)}{\sqrt{Var\ (A)}\ \sqrt{Var\ (B)}} = \frac{\alpha \sum_{XY} \beta}{(\alpha \sum_{YY} \alpha)^{1/2}\ (\beta \sum_{XX} \beta)^{1/2}}$$

De forma tal que la correlación entre estas dos variables sea la mayor de entre todas las combinaciones lineales posibles de los dos grupos de variables.

5.- Indice de Calidad de Agua (ICA)

Existen numerosos índices de calidad del agua que se han desarrollado en los últimos veinticinco años, uno en particular fue utilizado en la presente tesis, se trata del (ICA) *Indice de Calidad del Agua* WQI (Water Quality Index) desarrollado en 1970 por la Fundación de Sanidad Nacional de los Estados Unidos.

Esta categorización mediante un índice, que engloba las características más importantes asociadas a efectos nocivos de ciertos parámetros que inciden sobre los usos priorizados, resume e integra bastante información proveniente de ecuaciones matemáticas que integran los datos monitoreados en función de la relevancia de estos para los distintos usos. De forma que el ICA puede ser utilizado para definir de una manera simple el grado de "polución" de una estación o tramo del curso superficial relevado.

Asumiendo como hipótesis generalizada, que un buen nivel en la calidad del agua es un atributo básico general, inherente a cualquier recurso hídrico, independientemente del uso para el cual el agua que por él circula sea destinada en forma prioritaria, el río no debe naturalmente estar contaminado y si tiene influencia antrópica ésta no debería afectarle. Para estas situaciones hipotéticas se utilizan los ICA conocidos como "Indices Generales". Estos son muy útiles en los estudios de base tales como los que afronta la presente tesis.

Se trabajó con un *ICA multiplicativo no ponderado* (ICA_{np}), dado que no se le asignó un peso especial de importancia a cada variable, la conveniencia de utilizar índices no ponderados está dada por el escaso conocimiento que se tiene de la cuenca, ya que el presente corresponde al primer estudio limnológico integral de base del que se tiene conocimiento. El trabajar, de una manera seria, con índices ponderados requeriría un conocimiento previo del comportamiento de las variables involucradas tanto espacialmente como estacionalmente.

Se utilizaron a los fines de la confección del índice las siguientes variables: oxígeno disuelto, pH, nitratos, fosfatos, temperatura, turbidez y sólidos totales. Con los datos de cada una de éstas variables se obtuvo el (sub i) o nivel de aptitud, al confrontarlos con curvas que definen la calidad del agua (100% a 0%) versus la concentración del poluente. La fórmula utilizada para obtener el ICA fue:

$$ICA_{np} = \left(\prod_{i=1}^{7} sub\ i \right)^{1/7}$$

Estos índices toman valores de 0 a 100 que indican calidades del agua de pésima a excelente respectivamente. Se aplicaron los índices para todos los sitios relevados en los diferentes períodos hidrológicos estudiados, confeccionándose mapas del grado de calidad de aguas observado.

Calidad de Agua	Valor de la Ecuación
Excelente	91 a 100
Buena	71 a 90
Regular	51 a 70
Mala	26 a 50
Pésima	0 a 25

6.- Método de Pantle & Buck

El monitoreo de las variables fisicoquímicas proporciona una medida instantánea de la calidad del agua, en tanto que el monitoreo biológico hace posible la detección e integración de la polución tanto continua como intermitente. En el biomonitoreo se utilizan como herramientas fundamentales diversos índices ecológicos a fin de evaluar el grado de polución de los cuerpos de agua, los que deben reunir dos condiciones primarias básicas: su sensibilidad y representatividad del gradiente temporo-espacial que se produce a nivel de la cuenca, al mismo tiempo que una reducción en el tiempo y costos que demandan su implementación (Lobo et al., 1996).

El empleo de algas pertenecientes a la Clase Bacillariophyceae como bioindicadoras de polución orgánica y de eutrofización, ha alcanzado amplia difusión por disponerse tanto de metodologías estandarizadas como del suficiente conocimiento de los requerimientos específicos de los grupos presentes en cada grado de polución (Descy y Coste, 1990; Watanabe et al., 1990; Whitton, 1991; Whitton y Kelly, 1995, entre otros).

Saprobiedad es sinónimo de tasa de descomposición. Puede ser considerado como el complejo de propiedades fisiológicas de un organismo que condicionan su habilidad de desarrollarse en el agua con cierto contenido de materia orgánica (Cyrus y Sládecek, 1965).

El método de Pantle y Buck (1955) modificado por Liebmann (1962), derivado del sistema de los saprobios, permite evaluar el grado de polución orgánica en los distintos sitios de estudio, esta evaluación está basada en el cálculo del **"índice sapróbico"** (**S**), según la siguiente fórmula:

$$\mathbf{S} = \frac{\Sigma\,(hs)}{\Sigma\,h}$$

donde "s" es la "valencia sapróbica" de cada especie "indicadora" (varía de 1 a 4 según el grado de saprobiedad: 1=oligosaprobia, 2=betamesosaprobia, 3=alfamesosaprobia y 4=polisaprobia) y "h" es la frecuencia estimada de cada organismo (1= poco frecuente, 3 = frecuente, 5 = abundante). El valor de **S** es una estimación del grado de saprobiedad de un cuerpo de agua determinado, de forma tal que se establecen las siguientes correspondencias:

Rangos de Indice de Saprobicidad

Valor de S	Zona de saprobiedad
1 –1,5	Oligosaprobia (no poluído)
1,5 – 2,5	Betamesosaprobia (ligera polución)
2,5 – 3,5	Alfamesosaprobia (fuerte polución)
3,5 - 4	polisaprobia (muy fuerte polución orgánica)

En el presente estudio se trabajó con aquellas especies que aparecían en al menos el 10 % de los sitios estudiados. Se realizó una modificación al índice, dado que la escala de estimación de frecuencias "h" de la propuesta original, debería presentar mayor número de subdivisiones, ya que la importancia de las especies abundantes o frecuentes está subestimada con relación a las especies raras, por lo que se estimó sería preferible emplear una medida real, tal como la frecuencia relativa (expresada en %), de cada alga indicadora en la muestra, tal como fuera expresado oportunamente por Descy (1979).

7.- Indice de Diversidad

Se calculó en base al índice de Shannon – Weaver H´ (1949), quienes desarrollaron la siguiente fórmula para averiguar el índice de diversidad de especies de una comunidad determinada:

$$H' = -\sum_{i=1}^{s} (ni/n) \times \log_2 (ni/n) = -\sum p_i \times \log_2 p_i$$

donde: H' = índice de diversidad

ni = número de individuos por especie en una muestra de una población

n = número total de individuos en una muestra

El índice de Shannon y Weaver (1949), está basado en la teoría de la información y, constituye una medida del grado medio de "incertidumbre" en la predicción de la especie a la que pertenecerá un individuo escogido al azar de un conjunto de especies e individuos. Esta "incertidumbre" se incrementa a medida que el número de especies aumenta y la distribución de los individuos entre las especies llega a balancearse. El índice tiene dos propiedades que lo han convertido en una medida de la diversidad de especies empleada frecuentemente: (1) H´= 0 si sólo existe una especie en la muestra, y (2) H´es máxima sólo cuando todas las especies (S) están representadas por el mismo número de individuos, lo que significa una distribución de abundancias perfectamente balanceada (Ludwig y Reynolds, 1988).

Otro parámetro estructural interesante a tener en cuenta en la evaluación de la calidad del agua es la equitatividad (E). El análisis pormenorizado del mismo nos permite reconocer cómo varía la distribución del número de organismos en función de las especies existentes en una muestra. Es conocida la disminución de especies en ambientes impactados por la polución y por lo tanto es esperable que en esos casos se hallen valores bajos de equitatividad (Rodriguez Capítulo y Gómez, 2003).

La fórmula más corrientemente utilizada para su cálculo es la siguiente:

$$E = \frac{H'}{H\,max} \qquad Hmax = \log_2 S \qquad \longrightarrow \qquad E = \frac{H'}{\log_2 S}$$

E = equitatividad

H´= índice de diversidad de Shannon – Weaver (1949)

S = número de especies

RESULTADOS Y DISCUSION

Dada la cantidad de información obtenida y la complejidad requerida para el análisis de los datos, se resolvió presentar los mismos discriminados por ítems, lo que permitió profundizar el análisis de cada situación en particular. Así, primero se describen en función de los parámetros físico-químicos las diferentes situaciones hidrológicas a saber: lluvias, transición lluvia – estiaje y estiaje, y dentro de cada una de estas situaciones, además del comportamiento en general de los datos (comparación con los valores guías propuestos para los distintos usos del agua), la particularización de lo que ocurre entre ambas subcuencas (Tarija-Bermejo y Grande –San Francisco). Del análisis anterior se desprende naturalmente la necesidad de conocer si existen diferencias en el comportamiento de las variables analizadas entre los distintos períodos hidrológicos. Posteriormente se realiza el análisis de la información provista por los parámetros biológicos y, finalmente, se dividió la cuenca en ecorregiones en función de las características morfoclimáticas y del grado diferencial de desarrollo (tanto industrial como agrícola), y se analizó si existían diferencias entre las mismas en función de los parámetros registrados.

ANALISIS DE LOS PARAMETROS FISICOQUÍMICOS

1. EPOCA DE LLUVIAS

1.1. Generalidades y distintos usos del agua:

La Alta Cuenca del Río Bermejo, en función de los datos de febrero de 1999, presentó una importante variación en sus características físico-químicas (tabla 6), como cabría esperarse, por los múltiples patrones de relieve, suelos, climas y geología como por el efecto de arrastre y dilución, de partículas provenientes de los suelos, generado por las intensas lluvias.

Sin embargo, comparando los datos obtenidos con los niveles guías de calidad del agua en función del uso (SRH, 1994), reproducidos en la tabla 7, pueden realizarse las siguientes observaciones:

- Los valores de pH, cloruros y sulfatos indican que los ambientes estudiados se consideran aptos para todos los usos del agua.

- Las concentraciones de nitratos no excedieron los valores permitidos propuestos para el uso de agua para consumo humano previo tratamiento convencional. Idéntica observación puede hacerse con respecto a los registros de nitritos y amonio, excepto en el río Mojotoro (0,18 mg/l de nitritos) y el Arroyo de la Señorita (0,57 mg/l de amonio) que presentaron concentraciones superiores a los valores recomendados. Ello se explica considerando que el río Mojotoro recibe el aporte de materia orgánica proveniente de residuos vegetales dados por el tipo de suelo de la cuenca ("suelos molisoles", mapa 3) y su uso agrícola. En el caso del Aº de la Señorita, el exceso de amonio se debe a la existencia de asentamientos rurales que vierten residuos domiciliarios, ya que el área tiene escaso desarrollo pedogenético.

- Los valores guía propuestos en las concentraciones de amonio y nitritos para el uso IV (protección de la vida acuática) son más estrictos que los propuestos para los restantes usos y desde este punto de vista, solamente los sitios: río Lozano, Yala y Reyes cumplen con la normativa propuesta por la SRH que fija 0,02 mg/l de amonio (como NH_3 no ionizado) mientras que los restantes ríos y arroyos estudiados superaron este valor guía. En cuanto a los valores de nitritos propuestos para el uso IV (0,06 mg/l) no cumplen con este valor guía el arroyo de la Señorita, y los ríos Mojotoro y Grande (en este último sitio muestreado en la Ruta Provincial Nº1).

- Los valores de oxígeno disuelto en mg/l se encontraron en general superando el límite mínimo de 5 mg/l permitido por la SRH para los usos I, II y IV, a excepción del arroyo Solazuty y los ríos San Francisco, Lavayén y Perico. No obstante todos los sitios estudiados excedieron la cantidad de 4 mg/l exigida para el uso III (agua para actividades agropecuarias).

La alcalinidad varió en un rango adecuado para conservar la capacidad buffer del sistema, ante un cambio extremo debido al exceso de acidez o basicidad que podría producir un desecho. Los arroyos Los Cedros y Barcaza, están localizados en la región climática denominada "Maderas" que cuenta con una precipitación anual muy alta y baja deficiencia media anual de agua (menor a 150 mm en el estiaje). En ellos la alcalinidad es baja (menor a 40 mg $CaCO_3$/l), coincidiendo con lo señalado por Roldán Pérez (1992) para ambientes subtropicales del sistema montañoso andino (10-60 mg $CaCO_3$/l). En ambos arroyos los

registros de bicarbonatos (18,54 y 48,68 mg./l respectivamente) también están muy por debajo del valor medio del resto de los sitios estudiados, no detectándose carbonatos.

Tabla 6: Valores medios, desviación estándar, mínimos y máximos de las variables físico-químicas en los 37 sitios estudiados (ríos y arroyos) en la Alta Cuenca del río Bermejo, en febrero de 1999.

Parámetro	Media	Desvío standard	Mínimo	Máximo
Temperatura ºC	23,24	4,06	14,20	31,10
% O.D.	72,15	4,53	56,40	79,50
pH	8,14	0,25	7,48	8,50
Conduct. µS/cm	376,50	303,21	46,60	1405,00
Turbidez NTU	3489,77	12447,76	7,99	74900,00
Sólid.tot. mg/l	3020,50	5398,69	63,00	24863,00
Sól. susp. mg/l	1573,12	3376,03	6,07	19460,00
Alcalinidad	127,92	80,29	30,40	326,80
Dureza	132,50	93,17	0,00	387,32
DQO mg/l	16,92	28,26	0,50	156,00
Amonio mg/l	0,18	0,13	0,01	0,57
Nitrito mg/l	0,03	0,04	0,01	0,18
Nitrato mg/l	2,51	0,75	0,70	4,10
Fosfato mg/l	0,25	0,11	0,10	0,52
Fosf.tot. mg/l	3,47	4,44	0,17	14,05
Clorofila a mg/l	3,17	3,58	0,28	16,98
Cloruros mg/l	26,03	36,42	1,10	125,50
Sulfatos mg/l	51,57	42,30	2,00	150,00
Fe^{++} mg/l	0,05	0,06	0,00	0,28
Carbonatos mg/l	13,50	8,76	0,00	31,93
Velocidad m/s	1,43	0,73	0,15	2,60
Bicarbon. mg/l	128,62	83,90	18,54	333,79
Calcio mg/l	36,09	23,13	5,05	107,78
Magnesio mg/l	10,47	16,10	0,00	71,91

Tabla 7: Valores guías propuestos por la Secretaría de Recursos Hídricos de la Cuenca del Plata, 1994.

Parámetro	USOS			
	I	II	III	IV
pH	6,5 – 8,5	6,5 – 8,5		6,5 – 8,5
Cloruros (mg/l)	250	*	250	*
Sulfatos (mg/l)	< 200	*	*	*
Nitratos (mg/l)	< 10	*	*	*
Nitritos (mg/l)	< 0,1	*	*	< 0,06
Amonio (mg/l)	< 0,5	*	*	< 0,02 a
O.D. mg/l	5	5	4	5

USO I: Agua para consumo humano con tratamiento convencional. USO III: Agua para actividades agropecuarias.
USO II: Agua para actividades recreativas con contacto directo. USO IV: Protección de vida acuática.
a. como NH_3 no ionizado

1.2. Diferencias entre subcuencas:

Un análisis global de los 25 ríos estudiados, sin considerar los arroyos, pertenecientes a las dos subcuencas principales (Tarija-Bermejo y Grande-San Francisco), muestra que las diferencias en los rasgos morfoclimáticos también se reflejaron en las variables limnológicas analizadas (tabla 8). La exclusión de los arroyos en el presente análisis, se realizó con el objeto de disminuir la inmensa dispersión que presentaban los datos, la mayoría debida a estos pequeños cuerpos de agua de comportamiento errático.

Las diferencias significativas encontradas, entre las subcuencas, en la mayor parte de las variables analizadas pueden explicarse, en parte, considerando que corresponden a distintas regiones geográficas: la subcuenca Tarija-Bermejo está emplazada en la región tropical, mientras que la Grande –San Francisco se encuentra en la región subtropical. Así, por ejemplo la temperatura fue significativamente mayor en la primera subcuenca (tabla 8).

La subcuenca Tarija-Bermejo se encuentra dominada por suelos de tipo "*Inceptisoles*" que, si bien son ricos en materia orgánica, sufren pérdida de bases. Por ello, sus valores de calcio y magnesio fueron significativamente inferiores en comparación con los registrados en la subcuenca Grande – San Francisco (tabla 8). También, los valores de alcalinidad media (61,56 mg.Ca CO_3/l) y la concentración de bicarbonatos (54,70 mg./l) marcaron esas diferencias. A este respecto es de señalar que los ecosistemas de montaña del neotrópico, desde el punto de vista de la integridad ecológica necesaria para la biota acuática, son muy frágiles precisamente por que no poseen suficiente capacidad amortiguadora (Roldán Pérez 1992). Como ya se señaló, los suelos de la subcuenca Tarija-Bermejo (I*nceptisoles umbreptes)* son ácidos, por estar desarrollados sobre cenizas volcánicas con contenido de material vegetal parcialmente humificado (mapa 3). Esta situación se refleja en los valores

promedios significativamente inferiores a los de la subcuenca Grande-San Francisco, tanto en el pH como en los registros de dureza atribuible a las sales de magnesio y calcio.

Tabla 8: Valores medios de los parámetros estudiados que aportaron diferencias en la comparación entre ambas subcuencas (T-B = Tarija – Bermejo; G-SF = Grande – San Francisco), utilizando el método estadístico no paramétrico de Mann – Whitney (U - test).

Parámetro	Subcuenca	Media	U-test	Niv. Signific.
pH	T-B	7,73	5,00	0,002
	G-SF	8,17		
Conduct. µS/cm	T-B	151,20	11,00	0,008
	G-SF	337,75		
Turbidez NTU	T-B	3137,60	80,00	0,042
	G-SF	1810,89		
Sol. tot. mg/l	T-B	5893,66	83,00	0,025
	G-SF	2526,27		
Sol. susp. mg/l	T-B	3400,06	85,00	0,017
	G-SF	963,87		
Alcalinidad	T-B	61,56	7,00	0,003
	G-SF	116,85		
Dureza	T-B	53,47	9,00	0,005
	G-SF	135,45		
Temperatura ºC	T-B	25,62	79,50	0,045
	G-SF	22,21		
Fósf. total mg/l	T-B	8,45	83,00	0,025
	G-SF	3,16		
Cloruros mg/l	T-B	2,78	17,00	0,025
	G-SF	30,24		
Sulfatos mg/l	T-B	20,40	12,00	0,010
	G-SF	60,05		
Bicarb. mg/l	T-B	54,70	1,50	0,001
	G-SF	116,60		
Calcio mg/l	T-B	18,69	11,00	0,008
	G-SF	33,66		
Magnesio mg/l	T-B	1,64	20,00	0,040
	G-SF	12,62		

El análisis de componentes principales, realizado considerando los valores de alcalinidad, dureza, pH, oxígeno, clorofila, DQO y nutrientes, coincide con los anteriores contrastes entre ambas subcuencas (figura 5). El primer componente explicó un 24,21 % de la variación total, situándose en el extremo más negativo del mismo los ríos pertenecientes a la subcuenca Tarija-Bermejo, con menores valores de alcalinidad, dureza y pH, siendo estos parámetros los que mayor información aportaron al componente.

El segundo componente explicó el 18,77 % de la variación total y se encontró estrechamente relacionado a los parámetros indicadores de contaminación orgánica, de modo que: la demanda química de oxígeno, fósforo total, clorofila a y el oxígeno disuelto, fueron las variables que más aportaron en la explicación del componente. Los sitios ubicados hacia el extremo positivo son los que poseen mayores valores de DQO, PT y Cla, con menores tenores de % O.D., y corresponden a los ríos más contaminados tales como: San Francisco (F30), Bermejo en Elordi (B31) y Pescado (B34).

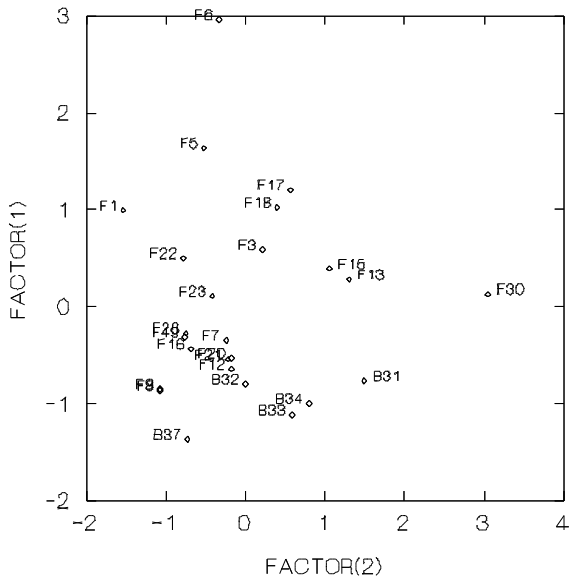


Figura 5: Análisis de Componentes Principales realizado con datos de 25 ríos pertenecientes a la Alta Cuenca del Río Bermejo (B = Subcuenca Tarija – Bermejo, F = Subcuenca Grande – San Francisco). Febrero de 1999.

Matriz de Autovalores

Componente	Eigenvalue	Varianza %	Acumulada
1	2,663	24,21	24,21
2	2,064	18,77	42,98
3	1,711	15,55	58,53
4	1,223	11,12	69,65

Matriz de Autovectores

Variables	1º Componente	2º Componente
Alcalinidad	0,956	- 0,100
Dureza	0,912	- 0,150
pH	0,564	- 0,521
Oxígeno disuelto	- 0,274	- 0,650
Clorofila a	0,074	0,538
DQO	0,139	0,535
Fósforo total	- 0,288	0,509
Nitrato	0,181	0,386
Fosfato	- 0,060	- 0,359
Nitrito	0,370	0,325
Amonio	0,494	0,345

Los parámetros indicadores de turbiedad del agua, presentaron valores significativamente mayores en la subcuenca Tarija - Bermejo. La turbidez promedio (3.137,60 NTU) y los sólidos (totales: 5.893,66 y en suspensión: 3.400 mg/l) son el resultado de un intenso proceso de erosión hídrica, en una cuenca activa de marcada inestabilidad, a pesar de que ambas áreas geográficas son prácticamente similares (San Francisco: 25.100km^2 y Tarija - Bermejo: 25.450 km^2, respectivamente), los registros de sólidos (totales y suspendidos) fueron significativamente superiores en esta última subcuenca (tabla 8). El río Bermejo es conocido por ser el tributario que aporta la mayor carga de sólidos a la Cuenca del Plata, con una contribución anual superior al 70%, lo que constituye una de las mayores del planeta.

En relación a lo mencionado en el párrafo anterior, cabe aclarar que a pesar de que la subcuenca Tarija-Bermejo tiene los mayores valores de turbidez (debido a las altas concentraciones de sólidos totales y suspendidos), posee los menores registros de conductividad y de concentración de los diferentes iones analizados.

El análisis de componentes principales realizado considerando los registros de conductividad, bicarbonatos, sulfatos, cloruros, calcio, magnesio, hierro, carbonatos, turbidez, sólidos totales y suspendidos, permitió reducir estas 11 variables originales a 2 componentes que explican el 73,55 % de la varianza total.

El primer componente, explicó el 51,40 % de la variación total de los datos y está definido por su relación directa con la conductividad, las concentraciones de bicarbonatos y de sulfatos, consideradas éstas como las variables más importantes. Como muestra la figura 6, los sitios que pertenecen a la subcuenca Tarija-Bermejo se ubican hacia el extremo más negativo del componente.

El segundo componente explicó el 22,15 % de la variación total y estuvo definido por su relación directa con los sólidos totales, suspendidos y turbidez, consideradas éstas como las variables que mayor información aportan al mismo. En la figura 6 se observa que este componente separó en la parte positiva del eje, a la mayoría de los ríos de la subcuenca Tarija-Bermejo (B31, B33 y B34) que, como se expresó anteriormente, presentan los mayores registros de turbidez y sólidos.

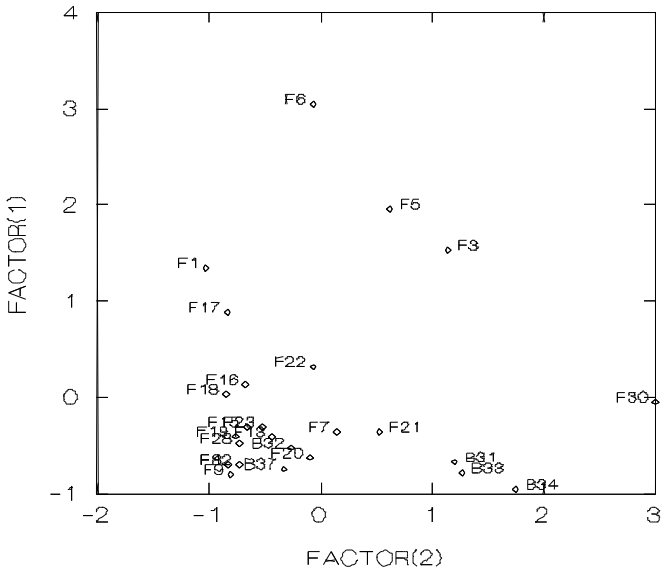


Figura 6: Análisis de Componentes Principales realizado con datos de 25 río pertenecientes a la Alta Cuenca del Río Bermejo (B = Subcuenca Tarija – Bermejo, F = Subcuenca Grande – San Francisco), en función de los datos de conductividad, iones y sólidos. Febrero de 1999.

Matriz de Autovalores

Componente	Eigenvalue	Varianza %	Acumulada
1	5,654	51,40	51,40
2	2,436	22,15	73,55
3	1,146	10,42	83,97

Matriz de Autovectores

Variables	1º Componente	2º Componente
Conductividad	0,952	- 0,022
Bicarbonatos	0,939	- 0,116
Sulfatos	0,936	0,095
Cloruros	0,912	0,058
Magnesio	0,912	0,088
Hierro	0,776	0,296
Carbonatos	0,679	0,065
Sólidos totales	- 0,120	0,924
Turbidez	- 0,018	0,907
Sólidos suspendidos	- 0,182	0,768
Calcio	0,467	- 0,212

La composición mineralógica de los sedimentos en suspensión de la Subcuenca Tarija-Bermejo contiene una alta proporción de arcillas (Bonetto y Orfeo, 1984), lo que permite el mayor transporte de fósforo particulado (8,45 mg/l) en relación a la subcuenca Grande-San Francisco (3,16 mg/l). El transporte de dicho anión ha sido observado también aguas abajo en la mesopotamia (Pedrozo y Boneto, 1989); y en nuestro caso no representa necesariamente un incremento del contenido de fósforo biodisponible en la fracción soluble, dado que el tenor de ortofosfatos no se diferenció significativamente entre ambas subcuencas (tabla 8). Además, como en el contenido de las formas solubles de nitrógeno no se observó diferencias, por lo tanto tampoco existieron en el contenido de clorofila entre ambas subcuencas (tabla 8).

1.3. Indice de Calidad de Agua (ICA) en la época de lluvias:

En general, la evaluación de la aptitud del agua se efectúa contrastando las concentraciones de parámetros indicadores de contaminación respecto de Niveles Guía a respetar para la preservación de determinados usos en tramos del río en los que se dan estos aprovechamientos, así es como deberían variar las concentraciones de determinados parámetros fisicoquímicos y biológicos según que el agua se utilice para potabilizar o para riego.

La comparación de este tipo de información, entre los diferentes cursos de agua de la cuenca y/o su evolución temporal, se ve muchas veces dificultada por causas tales como:

- La relevancia e interpretación de los datos resulta, a menudo, difícil de evaluar para los responsables finales del manejo de la cuenca, que son los que implementan las políticas de saneamiento de los recursos hídricos de la misma y deben establecer las prioridades para optar por determinados cursos acorde a su relevancia socioeconómica y/o riesgos generables (Carrizo, 1999).

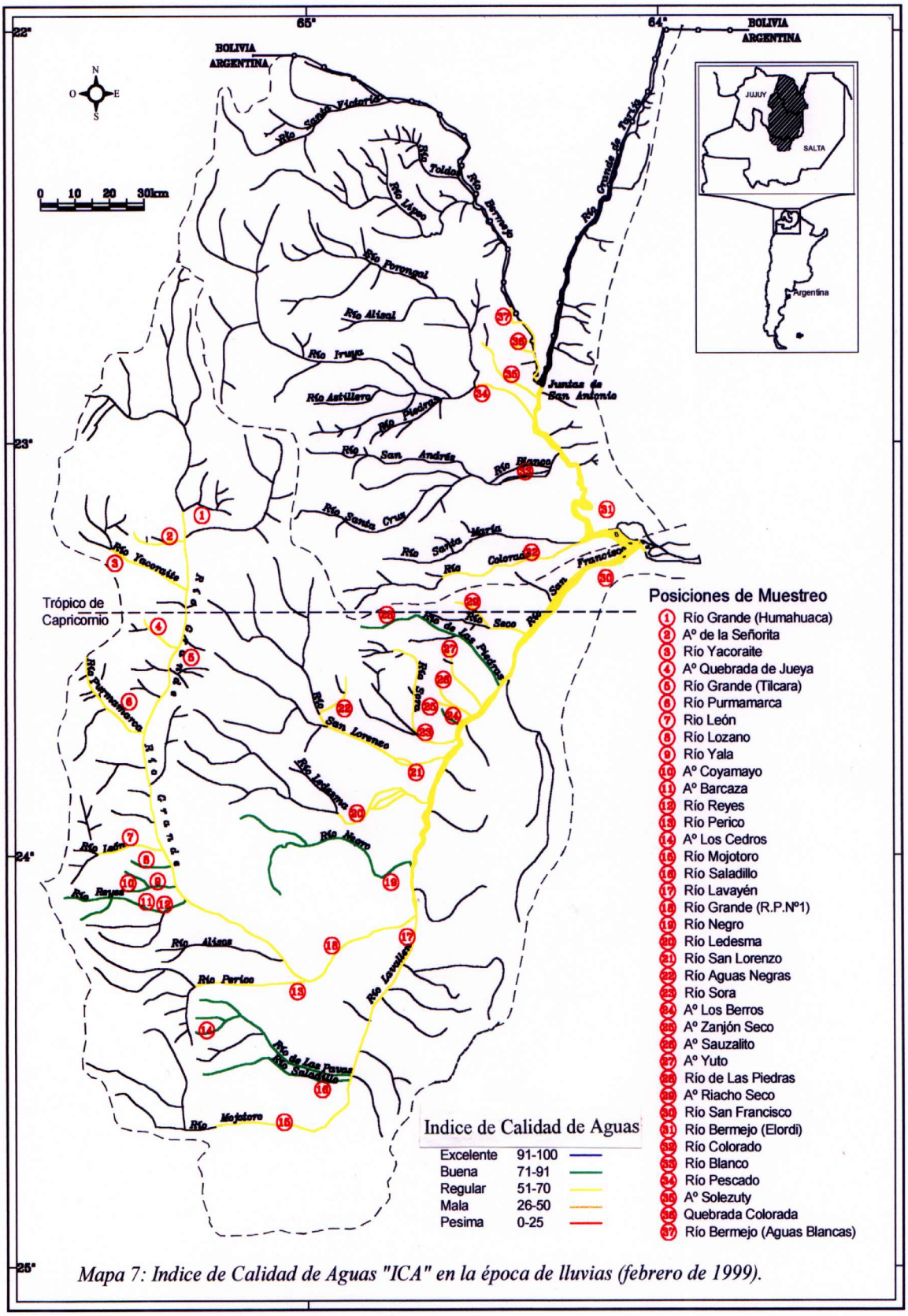
- De la evaluación de los resultados podría deducirse que algunas características son relativamente peores que otras, pero en general no suele existir una total concordancia entre las apreciaciones efectuadas por los especialistas del tema, respecto del grado de polución e incidencia sobre un aprovechamiento del recurso o "uso" en particular (Carrizo, 1999).

Entre las soluciones a estos problemas, está la utilización de una escala numérica simple que relacione el grado de polución, o sea la construcción del ICA.

Los índices caracterizaron, de manera simple, el estado ambiental de los sistemas lóticos estudiados y su variación temporal durante los diferentes períodos del ciclo hidrológico. Así, durante la época de lluvias, el ICA varió entre valores que sitúan a las aguas como de calidad regular (73% de los sitios estudiados) a buena en el 27 % de los sitios restantes (mapa 7).

Es de destacar el papel preponderante que presentan los valores de la variable "sólidos totales", considerada en la conformación del índice durante el mes de febrero, dado que la mayoría de los sitios estudiados presentan aguas de calidad regular debido a los elevadísimos tenores de sólidos que afectan bajando sustancialmente los porcentajes del índice.

Esto nos indica que el deterioro de la calidad del agua en el mes de febrero, se debe casi exclusivamente a una pérdida de calidad debido a los efectos producidos por el arrastre de partículas provenientes del lavado de los suelos con las intensas precipitaciones, y no a otros tipos de agentes contaminantes.



Mapa 7: Indice de Calidad de Aguas "ICA" en la época de lluvias (febrero de 1999).

2. EPOCA DE TRANSICIÓN LLUVIA – ESTIAJE

2.1. Generalidades y distintos usos del agua:

En la época de transición, comienza el período de retracción de los caudales, determinado por el decrecimiento de las precipitaciones pluviales, lo que como consecuencia provoca dos cambios importantes: una disminución en los valores de turbidez y sólidos, determinada por la paulatina pérdida de fuerza del agua con la consiguiente deposición de las partículas sólidas hacia el fondo de los lechos y, por otro lado, comienza un proceso de disminución de la concentración de oxígeno disuelto, probablemente relacionado a una menor tasa de oxigenación de las aguas debido al decrecimiento en la velocidad de la corriente en los cauces (tabla 9).

Al comparar los valores registrados de determinados parámetros fisicoquímicos con los niveles guías de calidad del agua en función de los distintos usos (tabla 7), se observó que:

- Los valores de pH hallados en el 94% de los sitios estudiados, se encontraron dentro del rango establecido por la SRH, (1994), para todos los usos del agua. Sólo el río Grande RPNº1 posee un pH (6,13) por debajo de los valores recomendados.

- El 82% de los sitios estudiados cumplió con la normativa de un mínimo de 5 mg/l de oxígeno disuelto requerida para los usos I, II y IV, en cambio los ríos Bermejo en Elordi, Ledesma, Colorado, Sora, Lavayén y el arroyo Zanjón Seco obtuvieron valores ligeramente inferiores. No obstante todos los sitios superaron el valor de 4 mg/l propuesto para el uso III.

- La concentración de iones cloruros no presentó restricciones a los usos reglamentados (I y III) en ningún sitio estudiado. Una situación similar ocurrió con los valores de sulfatos, reglamentados para el uso I, donde a excepción de los ríos Grande en Tilcara (205 mg/l) y Purmamarca (225 mg/l), los sitios restantes se ajustaron a la normativa.

- Los valores de nitratos y amonio indican que los ambientes estudiados son aptos para el uso I. Para el caso del amonio, el uso IV restringe el valor a 0,02 mg/l de NH_3 no ionizado, quedando excluidos de este uso el arroyo Solazuti y el río Grande RPNº1 con 0,25 y 0,29 mg/l respectivamente.

- Los valores de nitrito mostraron un desmejoramiento pronunciado con respecto a los valores registrados durante las lluvias, ya que para el uso I (0,1 mg/l) el 9% de los sitios no cumple con la normativa, ésta situación se torna crítica en el uso IV (0,02 mg/l) donde el 44 % de los sitios sobrepasa el valor permitido. Posiblemente, esta situación esté estrechamente relacionada a la disminución en los tenores de oxígeno que se observaron con relación a la época de lluvias, consiguientemente hay menor cantidad de oxígeno necesaria para una eficaz oxidación de la materia orgánica hasta nitratos, bloqueándose en parte en la etapa de nitritos.

Comparando los valores de clorofila obtenidos con la clasificación de los diferentes estados tróficos propuesta por Felföldy (1987), observamos que los cursos lóticos variaron desde ultraoligotróficos (< 1 mg/m^3) a meso-eutróficos (20 –50 mg/m^3), situándose la mayoría de ellos en la escala de oligo-mesotróficos (3 – 10 mg/m^3).

Al cotejar los valores de concentración de amonio encontrados en los diferentes sitios de muestreo, con la clasificación de niveles de saprobiedad (Lawa, 1982; Hutter, 1984), se observó que el 64,7 % de los cursos de agua estudiados entraron en la categoría de oligosaprobio (< 0,1 mg/l), el 14,7 % oligobetamesosaprobio (0,1 mg/l), el 17,6 % betamesosaprobio (> 0,1 < 0,3 mg/l) y el 3 % restante se clasificó como betaalfamesosaprobio (> 0,3 < 0,7 mg/l).

Tabla 9: Valores medios, desviación estándar, mínimos y máximos de las variables físico- químicas en los 34 sitios estudiados (ríos y arroyos) en la Alta Cuenca del río Bermejo, en mayo de 1999.

Parámetro	Media	Desvío Standard	Mínimo	Máximo
Temperatura ºC	17,52	3,35	8,00	21,20
% O.D.	62,94	6,79	52,40	78,10
pH	7,72	0,63	6,13	8,69
Conduct. µS/cm	373,50	275,71	110,00	1435,00
Turbidez NTU	530,23	1782,57	3,00	10000,00
Sólid.tot. mg/l	799,09	1519,67	129,00	8558,00
Sól. susp. mg/l	383,94	1216,39	4,00	6865,00
Alcalinidad	150,52	74,51	50,40	306,52
Dureza	146,27	78,85	39,40	325,50
DQO mg/l	9,18	7,55	0,00	26,00
Amonio mg/l	0,07	0,06	0,01	0,31
Nitrito mg/l	0,04	0,06	0,01	0,31
Nitrato mg/l	1,64	0,64	0,50	3,30
Fosfato mg/l	0,17	0,08	0,05	0,40
Fosf.tot. mg/l	0,93	1,87	0,14	10,50
Clorofila a mg/l	6,86	7,08	0,61	35,80
Cloruros mg/l	22,05	27,15	0,80	111,00
Sulfatos mg/l	65,82	57,36	16,00	225,00
Fe^{++} mg/l	0,03	0,08	0,00	0,47
Carbonatos mg/l	11,84	11,35	0,00	46,56
Bicarbon. mg/l	159,54	78,65	54,44	326,62
Calcio mg/l	42,04	20,63	14,90	89,55
Velocidad m/s	1,23	0,62	0,34	2,58
Magnesio mg/l	10,18	8,99	0,05	29,84

2.2. Diferencias entre subcuencas:

Si bien se respetó el patrón de diferencias encontradas entre ambas subcuencas en ciertas variables con respecto a la época de lluvias, también se reflejaron diferencias en el comportamiento de la mayoría de los parámetros restantes.

De modo que, al igual que en la época de lluvias, la subcuenca Grande-San Francisco presentó los mayores registros de conductividad y los menores de temperatura, cuyas diferencias con la subcuenca Tarija-Bermejo resultaron ser altamente significativas (tabla 10). Se conservaron además las diferencias en parámetros tales como: alcalinidad, dureza, concentración de bicarbonatos, cloruros y sulfatos, que mostraron ser siempre significativamente superiores en la subcuenca Grande-San Francisco.

En la campaña de muestreo de febrero se encontraron diferencias en parámetros íntimamente relacionados a la abundancia de lluvias, tales como la concentración de sólidos, de fósforo total (que engloba en su mayoría al fósforo particulado proveniente del lavado de suelos), turbidez y pH; una situación similar, aunque no idéntica, se presentó en el mes de octubre. En el muestreo de mayo no se observaron tales diferencias, dada la drástica disminución en el registro de precipitaciones que son la causa primordial de la variación de los parámetros antes mencionados (tabla 10).

A diferencia de la época de lluvias, donde se produjo un fenómeno de dilución en las concentraciones de las variables indicadoras de contaminación orgánica, enmascarando las diferencias entre la subcuenca Grande-San Francisco con mayor actividad antrópica en relación a la subcuenca Tarija-Bermejo con menor grado de desarrollo poblacional e industrial, en la época de transición se manifestaron éstas diferencias debido a la reducción paulatina de los caudales que producen un fenómeno de concentración de estos parámetros indicadores.

Un análisis más profundo en relación a lo mencionado en el párrafo anterior, nos lleva a considerar las diferencias, entre ambas subcuencas, en las concentraciones de fosfatos, nitratos, clorofila, carbonatos, calcio, magnesio y DQO, siendo estos valores siempre superiores en la subcuenca Grande – San Francisco (tabla 10).

Tabla 10: Valores medios de los distintos parámetros estudiados y test de comparación entre ambas subcuencas (T-B = Tarija – Bermejo; G-SF = Grande – San Francisco), utilizando el método estadístico T de Student (T - test). Con datos de 24 ríos.

Parámetro	Subcuenca	Media	T-test	Niv. Signific.
DQO	T-B	1,60	- 3,73	0,001
	G-SF	9,16		
Conduct. µS/cm	T-B	185,00	- 3,26	0,004
	G-SF	340,95		
Alcalinidad	T-B	88,08	- 3,29	0,004
	G-SF	142,23		
Dureza	T-B	87,75	- 3,23	0,004
	G-SF	153,30		
Temperatura ºC	T-B	20,14	4,18	0,000
	G-SF	16,48		
Carbonatos mg/l	T-B	3,26	- 3,26	0,004
	G-SF	13,23		
Bicarb. mg/l	T-B	100,83	- 2,59	0,019
	G-SF	146,61		
Fosfatos mg/l	T-B	0,08	- 4,58	0,000
	G-SF	0,19		
Nitratos mg/l	T-B	1,52	- 2,50	0,024
	G-SF	1,97		
Cloruros mg/l	T-B	6,54	- 2,38	0,027
	G-SF	25,48		
Sulfatos mg/l	T-B	26,40	- 3,35	0,003
	G-SF	80,90		
Calcio mg/l	T-B	26,87	- 2,76	0,015
	G-SF	42,77		
Magnesio mg/l	T-B	4,05	- 2,70	0,013
	G-SF	11,53		
Clorofila a mg/m^3	T-B	2,60	- 3,19	0,005
	G-SF	9,02		

El análisis de componentes principales realizado con las variables: concentración de nitrito, amonio, nitrato, fosfato, fósforo total, clorofila, % de oxígeno disuelto, pH, dureza, alcalinidad y demanda química de oxígeno, permitió reducir la información aportada por estos 11 parámetros a dos componentes que explicaron el 48,54 % de la variación total observada.

En el primer componente, que explicó el 28,52 % de la varianza, fue preponderante el aporte de información provista por la concentración de nitritos, dureza y alcalinidad. Estos parámetros aumentan en los sitios de muestreo ubicados hacia la parte positiva del eje (figura 7). Se puede observar un sitio considerado "atípico" (F18) que corresponde al río Grande en la ruta provincial Nº1, que presentó la mayor concentración de nitrito (0,306 mg/l) muy superior a los valores de los restantes sitios, esto se explica dado que este punto de muestreo se ubica con posterioridad a la ciudad de San Salvador de Jujuy y recibe los efluentes de plantas depuradoras de desechos domiciliarios, mataderos e industrias de esta zona densamente poblada.

El segundo componente explicó el 20,02 % de la variación total, siendo los valores de pH, oxígeno disuelto y amonio los que mayor información aportaron al mismo. Hacia la parte mas negativa del eje se ubican los sitios con menores valores de pH, OD y altas concentraciones de amonio. En forma coherente con lo explicado en el párrafo anterior, el sitio F18 se ubica en el extremo más negativo del eje.

Es interesante mencionar la formación de un grupo compuesto por los sitios F7, F8, F9 y F12, que son los que poseen mejor calidad en sus aguas con altos valores de oxígeno y bajas concentraciones de nitritos y amonio (figura 7). Estos sitios aparecen como un grupo compacto y homogéneo durante todas las épocas estudiadas y corresponden a los sitios más "prístinos" dentro de la cuenca.

Se observó también la formación de otro grupo compacto, ubicado en la parte negativa de ambos componentes, correspondientes a los sitios de la subcuenca Tarija-Bermejo (B31, B32, B33, B34 y B37), caracterizados por sus bajos valores de alcalinidad, dureza y pH (figura 7).

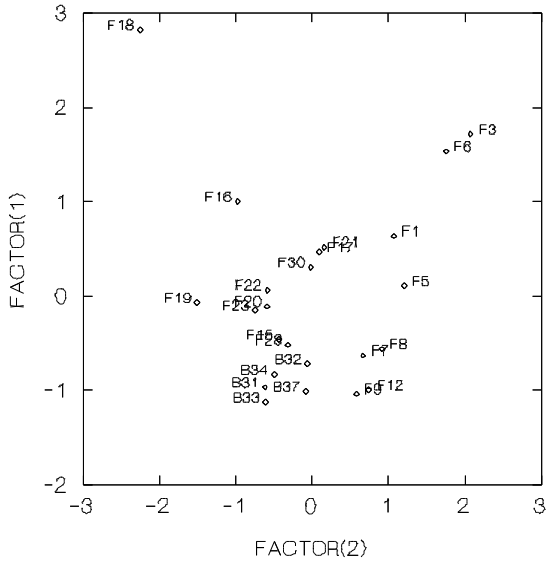


Figura 7: Análisis de Componentes Principales realizado con datos de 24 ríos pertenecientes a la Alta Cuenca del Río Bermejo (B = Subcuenca Tarija – Bermejo, F = Subcuenca Grande – San Francisco). Mayo de 1999.

Matriz de autovalores

Componente	Eigenvalue	Varianza %	Acumulada
1	3,138	28,52	28,52
2	2,202	20,02	48,54
3	1,849	16,81	65,35
4	1,254	11,40	76,75

Matriz de Autovectores

Variables	1º Componente	2º Componente
Nitrito	0,780	- 0,296
Dureza	0,658	0,456
Alcalinidad	0,631	0,168
Amonio	0,562	- 0,644
DQO	0,556	- 0,387
Fosfato	0,551	0,477
pH	- 0,452	0,705
O.D. %	0,205	0,549
Clorofila	0,482	0,437

El análisis de componentes principales realizado con 11 parámetros relacionados a la concentración de sales y turbidez de las aguas, nos permitió reducir la información a dos componentes que explicaron el 82,16 % de la variación total encontrada.

El primer componente explicó el 55,29 % de la varianza, y los parámetros más importantes en el mismo fueron las concentraciones de sulfatos, cloruros, magnesio y conductividad. Estos parámetros aumentan en los sitios de muestreo ubicados hacia el extremo más positivo del componente (figura 8).

Si bien es correcto asegurar que el incremento en las concentraciones de sales en los ríos es un problema global resultado de varias actividades tales como: irrigación, actividades industriales, operaciones en minas, etc. (Meybeck y Helmer, 1989). En la presente situación debemos particularizar dos causas diferentes que provocan el mismo resultado, un incremento en la concentración de iones y consecuentemente el aumento en los valores de conductividad. Por un lado, tenemos sitios como: F17, F18 y F30, donde efectivamente es posible explicar el aumento en las concentraciones iónicas por cuestiones antrópicas, dado el gran desarrollo poblacional, agrícola e industrial que poseen las regiones en donde se encuentran emplazados éstos ríos. Pero, por otro lado, tenemos sitios como F1, F3, F5 y F6, situados en una región con escaso desarrollo poblacional, un desarrollo industrial nulo y donde se realiza prácticamente agricultura de subsistencia. Obviamente la razón de las altas concentraciones iónicas no es de origen antrópico. Estos últimos ríos se ubican en la región de la Quebrada y poseen características geológicas y climáticas muy particulares y absolutamente diferentes al resto de los sitios de la cuenca. La causa de la elevada concentración de iones, por tanto, se debe a la disolución de las rocas que poseen minerales altamente solubles (halita) y fácilmente meteorizables (calcita), además de la aridez propia de la zona (con un alto déficit hídrico) que determina la concentración de las sustancias disueltas resultantes de estos dos procesos previos.

El segundo componente explicó el 26,87 % de la variación total, las variables que más información aportan al mismo son la turbidez, sólidos suspendidos y concentración de hierro, éstas tres variables tienden a incrementar sus valores en los ríos distribuidos hacia la parte negativa del componente.

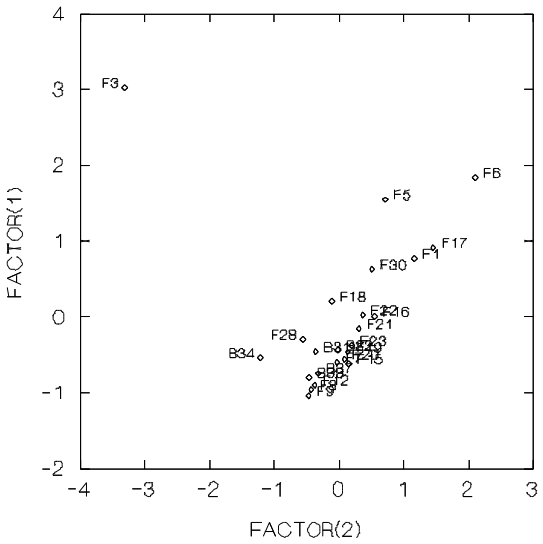


Figura 8: Análisis de Componentes Principales realizado con datos de 24 ríos pertenecientes a la Alta Cuenca del Río Bermejo (B = Subcuenca Tarija – Bermejo, F = Subcuenca Grande – San Francisco), en función de los datos de conductividad, iones y sólidos. Mayo de 1999.

Matriz de autovalores

Componente	Eigenvalue	Varianza %	Acumulada
1	6,082	55,29	55,29
2	2,955	26,87	82,16

Matriz de Autovectores

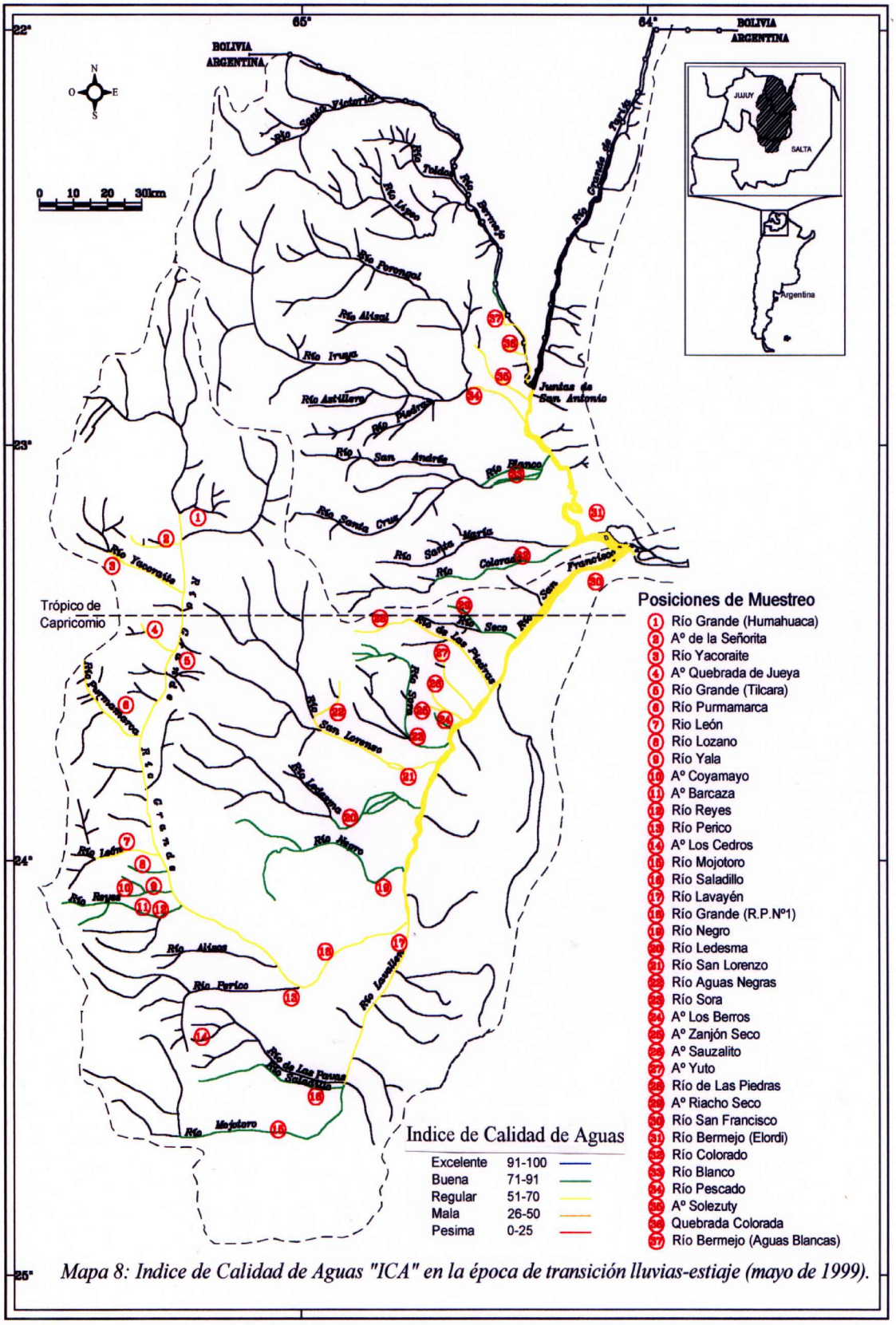
Variables	1º Componente	2º Componente
Sulfato	0,908	0,252
Cloruro	0,868	0,264
Magnesio	0,866	0,244
Conductividad	0,816	0,512
Sólido Totales	0,796	- 0,596
Hierro	0,734	- 0,625
Calcio	0,721	0,446
Bicarbonatos	0,669	0,495
Turbidez	0,653	- 0,749
Sólidos Suspendidos	0,621	- 0,759
Carbonatos	0,371	0,417

2.3. Indice de Calidad de Agua (ICA) en la época de transición lluvias- estiaje:

En función de los resultados aportados por el Indice de Calidad de Aguas, durante el mes de mayo, se presentaron las mejores condiciones de calidad para todos los sitios estudiados en la alta Cuenca del Río Bermejo.

De forma tal que el porcentaje de cursos lóticos estudiados que presentaron valores dentro del rango de "buena calidad de agua" creció (47 %) en relación al obtenido durante las lluvias, el 53 % de los sitios restantes presentaron aguas de calidad regular.

Durante la época de transición lluvia – estiaje se cuenta con situaciones climáticas e hidrosedimentológicas favorables, dado que por un lado, aún se cuenta con un volumen significativo de agua producido durante las lluvias y que ayuda a la dilución de sustancias contaminantes y por el otro, ya no se cuenta con los grandes aportes de sedimentos que degradan el nivel de calidad de ríos y arroyos.



Mapa 8: Indice de Calidad de Aguas "ICA" en la época de transición lluvias-estiaje (mayo de 1999).

3. EPOCA DE ESTIAJE

3.1. Generalidades y distintos usos del agua:

En esta época se logró la máxima retracción de los caudales, que provocó la pérdida de información de muchos sitios cuyos cauces estaban secos al momento de muestreo, con una disminución considerable de la velocidad de la corriente de agua, paralelamente los valores de temperatura del agua aumentaron considerablemente en relación al muestreo de mayo, como consecuencia de estos dos atributos se observaron durante éste período los más bajos tenores de oxígeno disuelto (tabla 11).

El fenómeno de concentración de las sustancias disueltas llegó a su máxima expresión en el estiaje. Así, aumentaron sus valores parámetros tales como: conductividad, alcalinidad, dureza, carbonatos, bicarbonatos, calcio, magnesio, DQO, etc.

Comparando los registros obtenidos en las variables fisicoquímicas con los niveles guías de calidad del agua para los distintos usos (tabla 7), se observó que:

- Los valores de pH, encontrados en el 79% de los sitios estudiados, se encuentran dentro del rango establecido por la SRH, 1994, para todos los usos del agua. Los ríos Reyes (pH = 8,71), Lozano (pH = 8,63) y Yala (pH = 8,59) y los arroyos De la Señorita (pH = 8,86 – 9,10) y Qbra. De Jueya (pH = 8,52) exceden el máximo recomendado.
- El 54% de los sitios estudiados no cumplió con la normativa de un mínimo de 4 mg/l de oxígeno disuelto requerida para el uso III, ésta problemática se agudiza al considerar el valor de 5 mg/l necesario para los usos I, II y IV donde el 92 % de los sitios estudiados presentan concentraciones de oxígeno disuelto inferiores a dicho valor.
- La concentración de iones cloruros no presentó restricciones a los usos reglamentados (I y III) en ningún sitio estudiado. Una situación similar ocurrió con los valores de sulfatos, reglamentados para el uso I.
- Los valores de nitratos indican que los ambientes estudiados son aptos para el único uso reglamentado (uso I). Una situación similar se observó con los valores de amonio, a excepción del río Grande R.P.Nº1 (0,76 mg/l). No obstante, para el uso IV el 96 % de los sitios excede el valor de 0,02 mg/l de NH_3 recomendado.
- Los valores de nitritos del 96 % de los cuerpos de agua estudiados cumplen con la normativa propuesta para el uso I, para el uso IV el porcentaje se reduce al 88 % de los sitios.

Tabla 11: Valores medios, desviación estándar, mínimos y máximos de las variables físico-quimicas en los 24 sitios estudiados (ríos y arroyos) en la Alta Cuenca del río Bermejo, en octubre de 1999.

Parámetro	Media	Desvío standard	Mínimo	Máximo
Temperatura ºC	22,73	3,88	13,00	30,10
% O.D.	54,35	12,92	19,60	84,30
pH	8,24	0,40	7,08	9,00
Conduct. µS/cm	600,00	707,34	155,00	3630,00
Turbidez NTU	512,46	1990,28	1,00	9720,00
Sólid.tot. mg/l	726,50	1144,65	115,00	5756,00
Sól. susp. mg/l	142,23	479,68	1,47	2362,00
Alcalinidad	165,07	75,08	61,05	315,75
Dureza	196,66	95,04	74,16	362,56
DQO mg/l	13,61	20,88	1,00	104,00
Amonio mg/l	0,13	0,15	0,01	0,76
Nitrito mg/l	0,03	0,04	0,01	0,19
Nitrato mg/l	0,97	0,83	0,00	2,80
Fosfato mg/l	0,40	0,74	0,06	3,83
Fosf.tot. mg/l	1,12	2,13	0,19	9,68
Clorofila a mg/l	6,91	10,01	0,86	45,29
Cloruros mg/l	15,43	16,46	0,80	60,00
Sulfatos mg/l	61,08	34,22	16,00	131,00
Fe^{++} mg/l	0,02	0,04	0,00	0,16
Carbonatos mg/l	15,73	11,60	1,01	40,42
Bicarbon. mg/l	169,40	73,26	66,77	323,57
Calcio mg/l	47,96	21,28	20,60	80,75
Velocidad m/s	0,53	0,49	0,17	2,43
Magnesio mg/l	18,73	12,82	3,02	41,22

3.2. Diferencias entre subcuencas:

Así como en la campaña de febrero se encontraron diferencias entre ambas subcuencas en relación a parámetros limnológicos íntimamente relacionados a la abundancia de precipitaciones, tales como las concentraciones de sólidos suspendidos y los datos de turbidez, contrario a lo que cabría esperarse, estas diferencias también se presentaron en la campaña de octubre relacionada, supuestamente, a la época de estiaje más pronunciado debido a la ausencia de lluvias (tabla 12). ¿Cómo se explica éste comportamiento tan atípico? ¿Porqué no se observaron, entonces, las mismas diferencias durante la época de transición estiaje – lluvias en mayo de 1999?.

Para tratar de explicar los interrogantes del párrafo anterior, es necesario mencionar que existe una pequeña diferencia en el comportamiento del régimen hidrológico entre ambas subcuencas. Mientras que en los ríos pertenecientes a la subcuenca Grande – San Francisco el máximo estiaje se logra en el mes de octubre (figura 9), dado que las primeras lluvias se producen a fines del mismo o principios de noviembre, en la subcuenca Tarija – Bermejo, en cambio, el mes de caudales más bajos corresponde a setiembre (figura 10), lo que denota un comienzo de la época de lluvias un mes adelantado con respecto a la subcuenca anterior.

Por tanto, el comienzo de las lluvias marcó la diferencia en el comportamiento de parámetros tales como la turbidez y los sólidos suspendidos entre el mes de octubre y el de mayo, y la similitud en el comportamiento de los mismos entre los meses de febrero y octubre. Esto se debe a que el material particulado, proveniente del lavado de los suelos, aumentó considerablemente los valores de los parámetros antes mencionados, en los ríos pertenecientes a la subcuenca Tarija – Bermejo, durante octubre de 1999, siendo muy bajos los valores correspondientes a los sitios de la subcuenca Grande – San Francisco (dado que en ésta aún no comenzaban las primeras lluvias). Así tenemos por ejemplo valores similares de turbidez de 3.137,60 NTU (febrero) y 2984 NTU (octubre) para la subcuenca Tarija – Bermejo, mientras que en la Grande – San Francisco varían de 1.810,89 NTU (febrero) a 16,67 NTU (octubre).

Cabe mencionar que en mayo las diferencias no llegaron a ser significativas entre subcuencas dado que, en ambas se efectuaba el mismo fenómeno de retracción de caudales, que produce en esencia una disminución de la velocidad de la corriente y depósito del material particulado en el lecho de los ríos.

A diferencia de lo acontecido en el mes de mayo, donde los mayores registros de DQO se presentaban en ríos de la subcuenca Grande – San Francisco, en octubre los registros de los sitios pertenecientes a la subcuenca Tarija – Bermejo son los significativamente superiores, pero esto puede deberse al lavado de material vegetal proveniente de los suelos durante las lluvias tempranas y no a un mayor grado de contaminación antrópica, como ya fuera explicado oportunamente en el apartado correspondiente al análisis de los datos de mayo de 1999.

Tabla 12: Valores medios de los distintos parámetros estudiados y test de comparación entre ambas subcuencas (T-B = Tarija – Bermejo; G-SF = Grande – San Francisco), utilizando el método estadístico no paramétrico de Mann - Whitney (U - test). Con datos de 16 ríos, octubre de 1999.

Parámetro	Subcuenca	Media	U-test	Niv. Signific.
DQO	T-B	38,75	37,00	0,050
	G-SF	6,36		
Carbonatos mg/l	T-B	3,79	6,00	0,028
	G-SF	15,87		
Sol. suspendidos	T-B	713,17	46,00	0,008
	G-SF	24,94		
Velocidad m/s	T-B	1,15	40,50	0,016
	G-SF	0,43		
Turbidez NTU	T-B	2984,00	45,00	0,011
	G-SF	16,67		
pH	T-B	7,87	7,00	0,039
	G-SF	8,27		

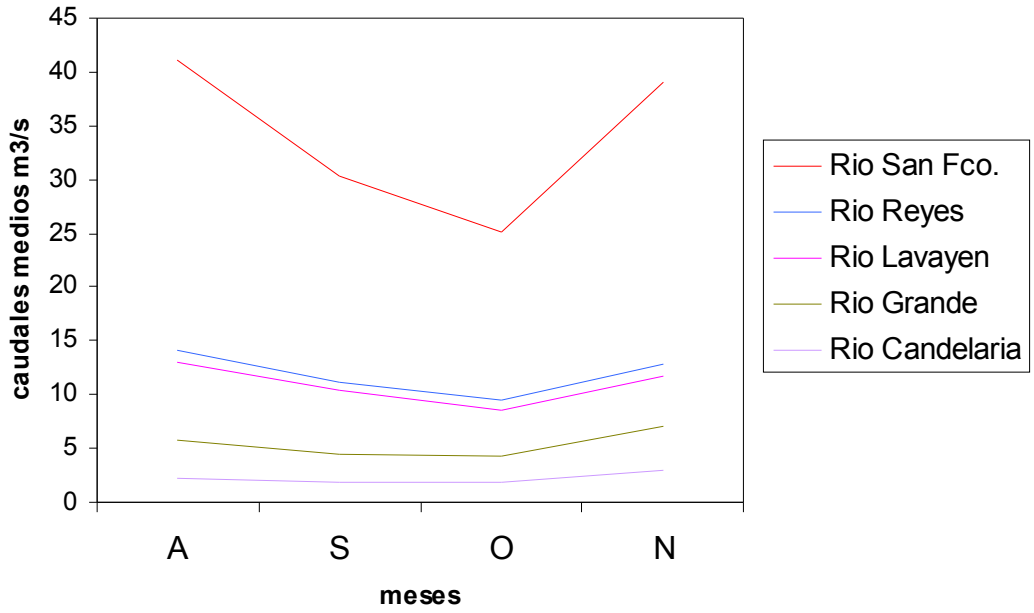


Figura 9: Caudales medios mensuales de ríos pertenecientes a la subcuenca Grande - San Francisco.

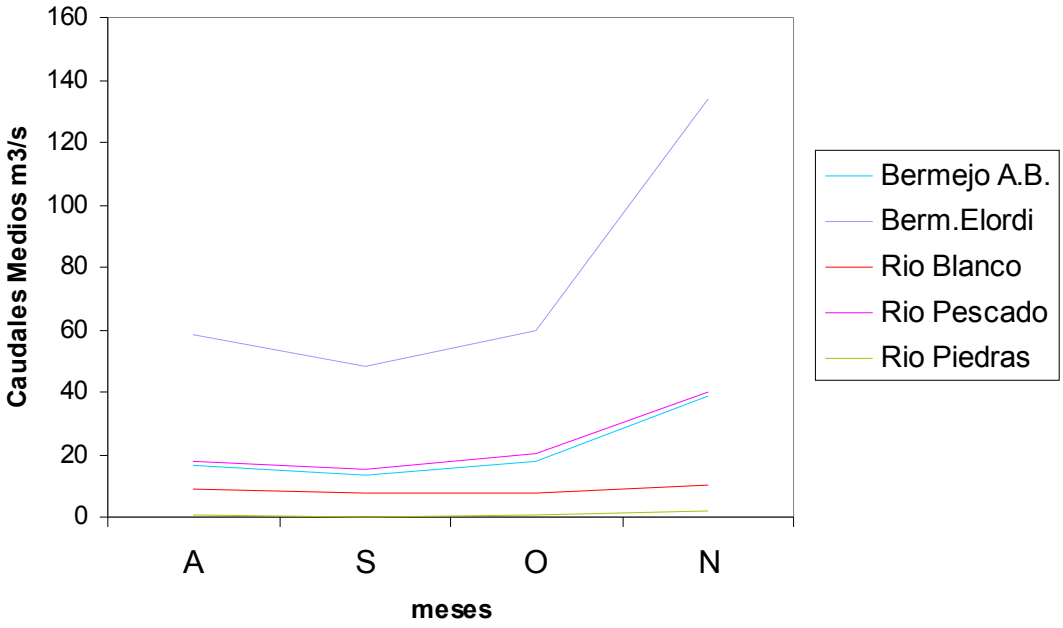


Fig. 10: Caudales medios mensuales de ríos pertenecientes a la subcuenca Tarija - Bermejo.

El análisis de componentes principales realizado con los datos de las distintas formas de nitrógeno inorgánico, ortofosfatos, fósforo total, clorofila a, % de oxígeno disuelto, pH, alcalinidad y demanda química de oxígeno, permitió reducir la información aportada por éstos 10 parámetros en dos componentes que explicaron el 71,35 % de la variación total observada.

El primer componente explicó el 52,26 % de la varianza, los parámetros más preponderantes, debido al aporte de información provista por los mismos, fueron los porcentajes de oxígeno disuelto, concentración de amonio, pH, fósforo total y DQO. Los ríos ubicados hacia el extremo positivo del componente se caracterizan por sus bajos tenores de oxígeno y una disminución en los valores de pH en relación a los sitios restantes, acompañados por un aumento considerable en las concentraciones de amonio, fósforo total y DQO (figura 11). Se puede observar un sitio considerado "atípico" (F18) que corresponde al río Grande en la ruta provincial Nº1, que presentó la mayor concentración de amonio (0,76 mg/l) muy superior a los valores de los restantes sitios y el menor tenor de oxígeno disuelto (19,6 %),esto se debe a que recibe los efluentes de plantas depuradoras de desechos domiciliarios, mataderos e industrias de esta zona densamente poblada.

El segundo componente explicó el 19,09 % de la variación total, siendo los valores de alcalinidad y concentración de clorofila a los que mayor información aportaron al mismo. Hacia la parte mas negativa del eje se ubican los sitios con mayores registros de los parámetros antes mencionados.

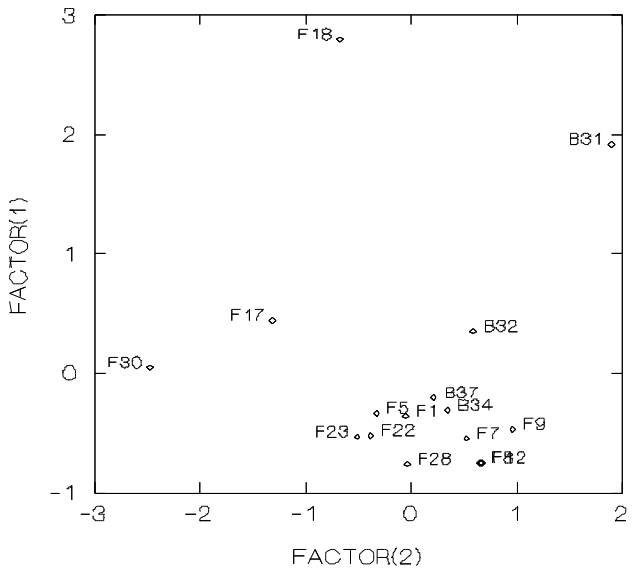


Figura 11: Análisis de Componentes Principales realizado con datos de 16 ríos pertenecientes a la Alta Cuenca del Río Bermejo (B = Subcuenca Tarija – Bermejo, F = Subcuenca Grande – San Francisco). Octubre de 1999.

Matriz de Autovalores

Componente	Eigenvalue	Varianza %	Acumulada
1	5,226	52,26	52,26
2	1,909	19,09	71,35
3	1,104	11,04	82,39
4	0,602	6,02	88,41

Matriz de Autovectores

Variables	1º Componente	2º Componente
O.D.%	- 0,931	0,070
Amonio	0,895	- 0,083
pH	- 0,877	0,134
Fósforo total	0,842	0,338
DQO	0,819	0,389
Fosfatos	0,785	- 0,270
Nitrito	0,688	0,276
Alcalinidad	0,211	- 0,815
Clorofila a	0,409	- 0,758
Nitrato	0,332	0,475

El análisis de componentes principales realizado con 9 parámetros relacionados a la concentración de sales y turbidez de las aguas, nos permitió reducir la información a dos componentes que explicaron el 81,41 % de la variación total encontrada.

El primer componente explicó el 42 % de la varianza, y los parámetros más importantes en el mismo fueron la turbidez y la concentración de sólidos en suspensión que aumentan en los sitios de muestreo ubicados hacia el extremo negativo del componente, de forma tal, que el sitio B31 se comporta como "atípico" debido a su elevada concentración de sólidos suspendidos (2.362 mg/l) y turbidez (9.720 NTU) (figura 12). Los sitios con mayores registros en ambos parámetros pertenecen a ríos emplazados en la subcuenca Tarija – Bermejo, este fenómeno es el resultado del impacto producido por las primeras lluvias, que comienzan antes que en la subcuenca Tarija –Bermejo y que aunque escasas todavía, arrastran material particulado a los ríos como producto del lavado de los suelos.

El segundo componente explicó el 39,41 % de la variación total, las variables que más información aportaron son la concentración de cloruros y la conductividad. Estos parámetros tienden a incrementar sus valores en los ríos distribuidos hacia la parte positiva del componente.

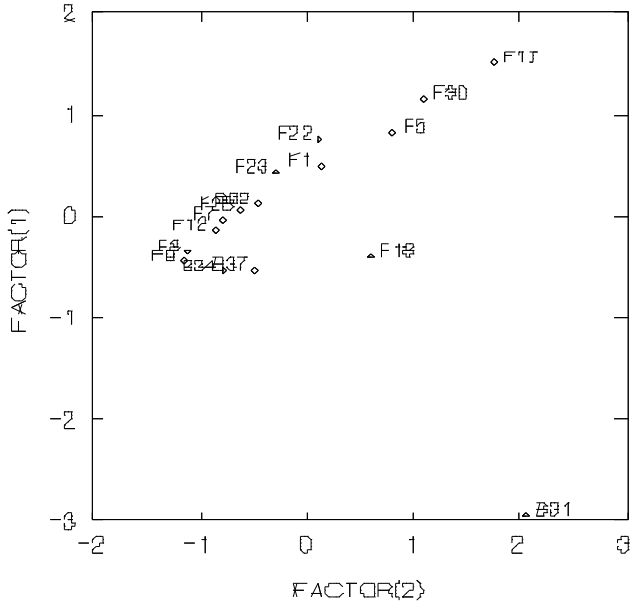


Figura 12: Análisis de Componentes Principales realizado con datos de 16 ríos pertenecientes a la Alta Cuenca del Río Bermejo (B = Subcuenca Tarija – Bermejo, F = Subcuenca Grande – San Francisco), en función de los datos de conductividad, iones y sólidos. Octubre de 1999.

Matriz de Autovalores

Componente	Eigenvalue	Varianza %	Acumulada
1	3,780	42,00	42,00
2	3,547	39,41	81,41

Matriz de Autovectores

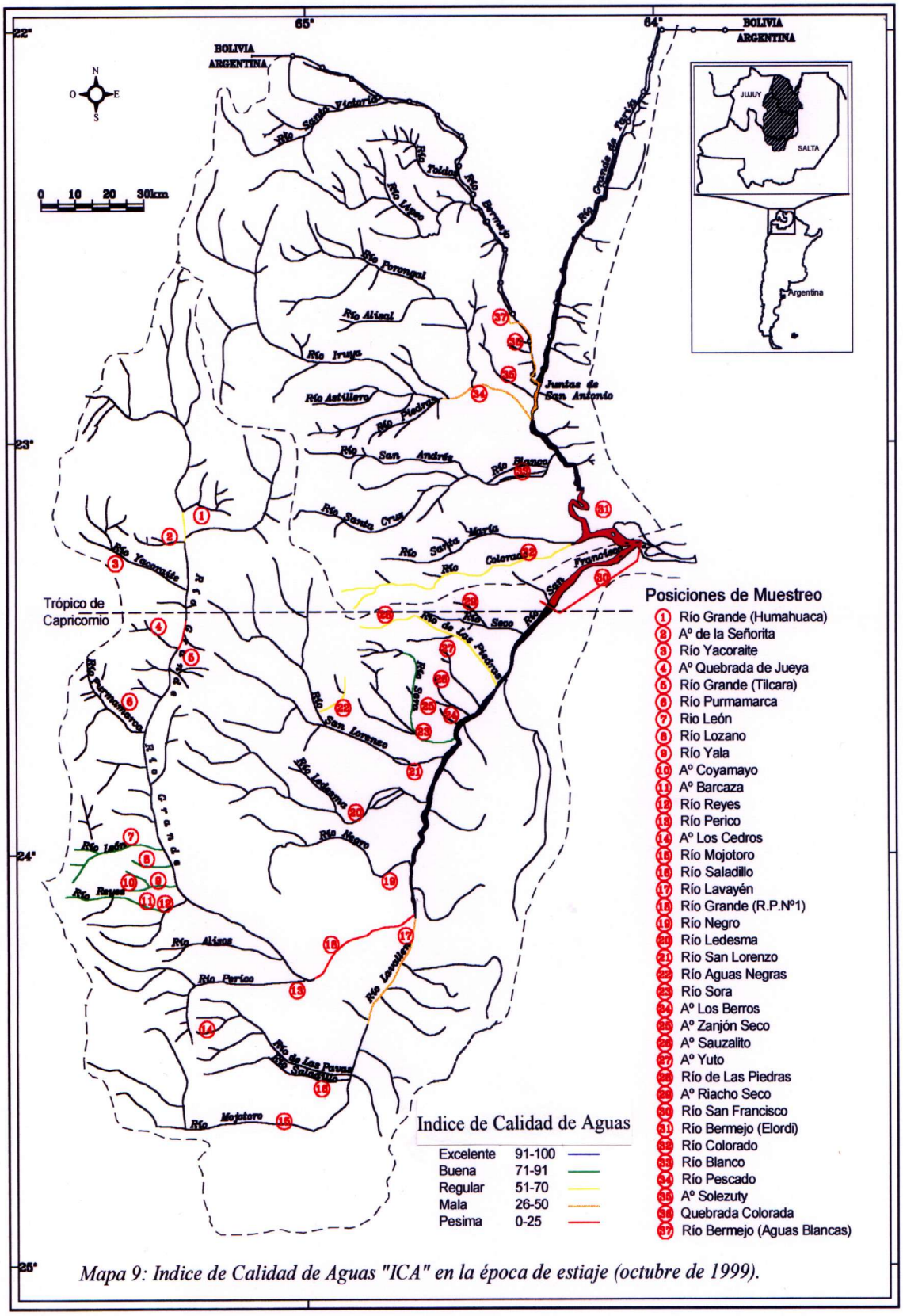
Variables	1º Componente	2º Componente
Turbidez	- 0,814	0,518
Sólidos suspendidos	- 0,813	0,531
Carbonatos	0,793	0,421
Sólidos totales	- 0,712	0,667
Hierro	- 0,627	0,467
Conductividad	0,611	0,755
Bicarbonatos	0,578	0,684
Cloruros	0,206	0,875
Sulfatos	0,422	0,593

3.3. Indice de Calidad de Agua (ICA) en la época de estiaje:

Mediante la aplicación de los ICA se pudieron identificar aquellos ríos en los que la alteración de la calidad del agua fue significativa durante la época de caudales reducidos. Sin alejarnos de la visión de cuenca, estos sitios "problemáticos" ameritarían la ejecución de estudios posteriores más detallados, como así también el relevamiento de una mayor cantidad de parámetros que los que regularmente se utilizaron en el presente trabajo, por ser el mismo el primer estudio limnológico de base realizado sistemáticamente en la Alta Cuenca del Bermejo.

En efecto, es la época de caudales mínimos la que presenta mayores problemas de contaminación, debido a la concentración de las sustancias polucionantes. Esta situación quedó perfectamente reflejada en los valores del ICA obtenidos, dónde sólo el 31 % de los ríos presentó aguas de buena calidad, un 25 % estuvieron comprendidos dentro del rango de calidad regular, el 31 % pertenecieron a ríos con mala calidad de aguas, llegando el 13 % de los sitios restantes a tener aguas de pésima calidad (mapa 9).

Los ríos Grande (RP Nº1) y Bermejo (Elordi) presentaron los valores más bajos (17,9% y 20,8 % respectivamente) de calidad de aguas según los ICA. Esto es coherente dado que ambos sitios de muestreo son "colectores" de diversos tipos de efluentes, en el primer sitio evaluamos la zona más contaminada del Río Grande, debido a las descargas de efluentes cloacales y de la industria papelera, siderúrgica y química. Mientras tanto el río Bermejo en Elordi recibe aportes cloacales y efluentes industriales provenientes de ingenios azucareros y plantas de procesamiento de cítricos entre los más importantes.



Mapa 9: Indice de Calidad de Aguas "ICA" en la época de estiaje (octubre de 1999).

4. DIFERENCIAS ENTRE PERIODOS HIDROLOGICOS

4.1. Generalidades:

Para analizar el comportamiento de las variables físico – químicas en función del ciclo hidrológico se trabajó con 23 sitios de los que se pudo obtener información en los tres muestreos realizados. No se pudo trabajar con los 37 sitios iniciales (muestreo de lluvias en febrero), dado que muchos de ellos presentaron sus cauces secos en las siguientes épocas de recolección de muestras de agua: transición lluvias - estiaje (mayo) y época de estiaje (octubre).

Se observaron marcadas diferencias en el comportamiento de las distintas variables analizadas a lo largo del ciclo hidrológico. Así tenemos que, mientras que los valores promedio (de los 23 sitios de la cuenca) de parámetros tales como porcentaje de oxígeno disuelto, velocidad de la corriente, concentración de nitratos, turbidez y sólidos suspendidos disminuyen desde febrero (lluvias) a octubre (estiaje), las variables clorofila *a* y concentración de magnesio se comportan absolutamente a la inversa, logrando sus máximas concentraciones en el mes de octubre (tabla 13, figura 13).

A partir del mes de mayo (transición lluvia – estiaje) los caudales comienzan a disminuir y los sólidos en suspensión comienzan a sedimentar, esto se debe a un decrecimiento de la velocidad del agua que trae aparejada una pérdida de la fuerza de la corriente en sentido horizontal y vertical de modo que no se logra contrarrestar el efecto gravitatorio y las partículas comienzan a caer hacia el fondo del lecho. Este proceso se ve favorecido por una disminución de turbulencia del agua, que de este modo impide la resuspención de partículas desde el lecho hacia la columna de agua. De tal modo, los valores de turbidez caen bruscamente desde febrero a mayo, presentándose los mínimos durante el mes de octubre.

A medida que aumenta la temperatura del agua y las concentraciones de amonio y fosfato, tal como cabría esperar aumentan también los valores de clorofila *a*, esto se observa tomando en cuenta los datos desde la época de transición hasta el estiaje más pronunciado. No ocurre lo mismo durante el mes de febrero, dado que a pesar de tener las máximas temperaturas y concentraciones de nutrientes, posee los menores registros de concentración de pigmentos fotosintéticos. La explicación de este comportamiento se debe a que el mes de febrero posee altísimos valores de turbidez debido a sólidos en suspensión, y estos valores impiden una buena penetración de la luz necesaria para que el fitoplancton realice fotosíntesis,

además del efecto abrasivo perjudicial que sobre el fitoplancton pueden tener las elevadísimas concentraciones de sólidos en suspensión.

Tabla 13: Valores medios de los parámetros que presentaron diferencias entre los distintos períodos hidrológicos (Febrero = lluvias, Mayo = transición lluvia – estiaje, Octubre = estiaje). F = ANOVA, H = Kruskal – Wallis.

Parámetro	Epoca	Media	Contrastes	Estadístico	Niv.sig.
Temperatura	Febrero	23,33	*	F = 16,07	0,000
	Mayo	17,81	*		
	Octubre	23,03	*		
Velocidad	Febrero	1,47	*	F = 13,90	0,000
	Mayo	1,31	*		
	Octubre	0,55	*		
Nitrato	Febrero	2,55	*	F = 27,73	0,000
	Mayo	1,71	*		
	Octubre	0,97	*		
Magnesio	Febrero	8,72	*	F = 3,62	0,033
	Mayo	9,70	* *		
	Octubre	18,85	*		
Amonio	Febrero	0,16	*	H = 9,29	0,010
	Mayo	0,07	*		
	Octubre	0,12	* *		
O.D. %	Febrero	71,47	*	H = 30,16	0,000
	Mayo	62,81	*		
	Octubre	54,34	*		
pH	Febrero	8,07	* *	H = 9,90	0,007
	Mayo	7,80	*		
	Octubre	8,21	*		
Turbidez	Febrero	4927,30	*	H = 13,81	0,001
	Mayo	600,05	*		
	Octubre	533,57	*		
Sólidos susp.	Febrero	1748,71	*	H = 16,22	0,000
	Mayo	443,09	* *		
	Octubre	147,41	*		
Fosfatos	Febrero	0,26	*	H = 19,75	0,000
	Mayo	0,14	*		
	Octubre	0,41	*		
Fósf.total	Febrero	3,28	*	H = 7,96	0,019
	Mayo	0,98	*		
	Octubre	1,14	*		
Clorofila a	Febrero	2,37	*	H = 12,11	0,002
	Mayo	5,03	* *		
	Octubre	7,09	*		

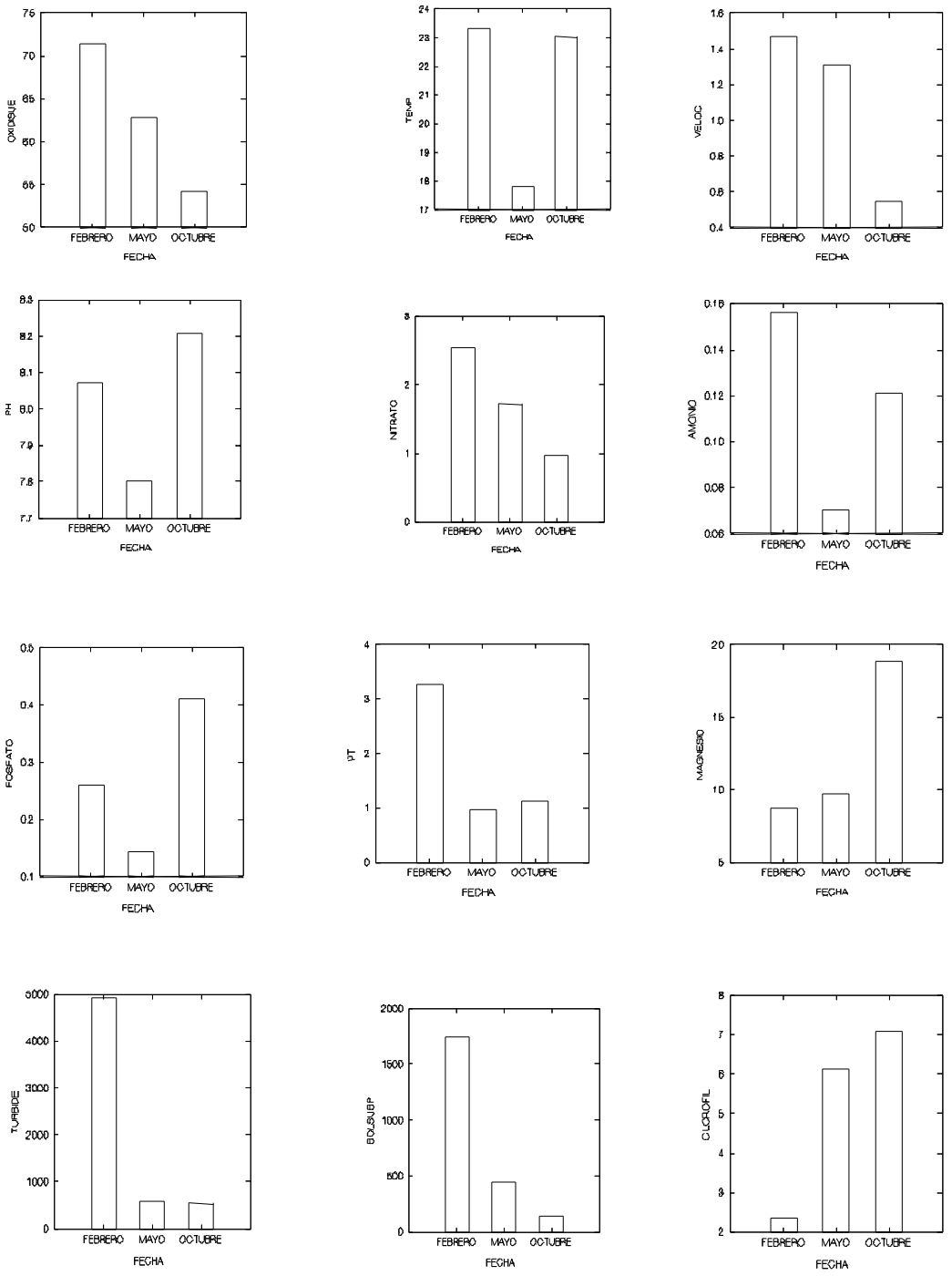


Figura 13: Valores medios de cada parámetro que presentaron diferencias estadísticamente significativas entre los distintos períodos hidrológicos. Febrero = lluvias, Mayo = transición lluvia – estiaje, Octubre = estiaje.

4.2. Caso particular de la Cuenca del Río Grande:

La Cuenca del Río Grande forma parte de la Alta Cuenca del río Bermejo, situada en la región neotropical y subtropical de Sudamérica. Por la complejidad de ecosistemas que atraviesa su cuenca de captación situada en la región andina del noroeste de Argentina, tales como las regiones altoandina, puna, prepuna y yungas hasta su entrada en la llanura chaqueña, representa un caso único de heterogeneidad ambiental, cuya dinámica global no ha sido motivo de estudios limnológicos integrados.

La planificación de los recursos hídricos de la Alta Cuenca del río Bermejo tiene implicancias diversas, que exceden de hecho la obtención de información básica para realizar el aprovechamiento hidráulico de los recursos, y se entronca en la problemática del desarrollo sustentable de la región. Esta situación es crítica en la Cuenca del Río Grande dado que la misma está prácticamente al borde de la demanda del recurso hídrico superficial para riego, con un déficit anual promedio entre 150 y 560 mm, más acentuado aún en la región del Río Grande Superior (Quebrada de Humahuaca hasta su confluencia con el río León). (Informe OEA, 1974). Por tal motivo, es sumamente importante establecer las tendencias en la calidad fisicoquímica del agua en la Cuenca del río Grande.

A tal efecto, se utilizaron los datos de las 2 primeras campañas de muestreo realizadas (octubre de 1998 = estiaje y febrero de 1999 = época de lluvias). Se estudiaron seis sitios en la parte alta de la cuenca del río Grande (Región I), entre los 2.939 y 2.200 msnm: 1º) Humahuaca, 2º) Aº de la Señorita, 3º) río Yacoraite 4º) Qda Jueya, 5º) Tilcara y 6º) río Purmamarca y otros siete sitios en la parte baja (Región II), entre los 1.600 a 1.400 msnm: 7º) río León, 8º) río Lozano 9º) río Yala, 10º) Aº Coyamayo 11º) Aº Barcaza, 12º) río Reyes y 13º) Tumbaya.

En la Cuenca del Río Grande se observaron diferencias significativas en los parámetros de calidad del agua entre los sitios ubicados en la región superior con respecto a aquellos ubicados en la parte baja (tabla 14). Entre ambas regiones, existe una pronunciada diferencia altitudinal (mayor a los 1.400 metros), donde el tipo de suelo dominante en la parte alta corresponde a aridisoles con acumulación de sales solubles, ricos en carbonatos de Ca y Mg, pobres en materia orgánica, con una vegetación típica de las provincias altoandina, puneña y prepuneña, donde la aridez implica un balance hídrico negativo con una deficiencia media anual superior a los 500 mm, debido a las bajas precipitaciones de hasta 200 mm y alto grado de evapotranspiración potencial anual.

Tabla 14: Test de comparación de diferencias entre regiones (Mann-Whitney), media y desvío estándar de cada variable.

Parámetro	Región I		Región II		MANN-WHITNEY	
	Media	desvío	media	desvío	U	niv.sig.
pH	8,38	0,11	8,17	0,24	130,0	0,023
Conductiv.	674,55	162,82	162,67	42,87	132,0	0,000
Turbidez	1094,43	1629,84	364,24	1030,13	no existieron diferencias	
S.T.	1437,18	1233,95	495,80	1131,93	122,0	0,001
S.S.	785,73	1140,38	183,58	425,78	no existieron diferencias	
Alcalinidad	204,51	34,78	58,99	22,24	132,0	0,000
Dureza	277,63	50,18	59,25	17,74	132,0	0,000
Cloruros	83,09	30,28	7,43	5,31	132,0	0,000
Sulfatos	170,00	31,94	26,33	9,23	132,0	0,000
Hierro	0,12	0,12	0,01	0,00	121,0	0,000
Carbonatos	23,16	5,83	5,46	6,51	126,5	0,000
Bicarbonat.	202,41	34,56	71,04	19,79	132,0	0,000
Calcio	60,54	23,24	20,41	6,21	122,0	0,001
Magnesio	30,87	19,25	2,01	1,46	132,0	0,000

Contrariamente, en la región inferior existe una gradación desde las regiones semiáridas de pastizales de altura hasta la selva húmeda con suelos ricos en materia orgánica que han perdido las bases y el hierro, lo que se refleja en la reducción en la concentración de los iones principales con relación a la anterior región. Si bien existe incremento de las precipitaciones pluviales, la mayor cobertura vegetal existente restringe el efecto de la erosión hídrica, que a nivel de los cursos de aguas implica menores valores de turbidez y contenido de material sedimentario (ST y STS) (tabla 14).

Los valores promedios de las concentraciones de cloruros, sulfatos y el pH obtenidos en la Cuenca del río Grande se ajustan a los rangos de los niveles guías de calidad para todos los usos posibles del agua (SRH, 1994) reproducidos en la tabla 7.

El análisis de componentes principales realizado considerando los registros de pH, alcalinidad, dureza, conductividad, bicarbonatos, sulfatos, cloruros, calcio, magnesio, hierro, carbonatos, turbidez, sólidos totales y suspendidos, permitió reducir estas 11 variables a 2 componentes que explicaron el 82,51 % de la variación total (fig. 14).

El primer componente, explicó el 62,33 % de la variación total de los datos y está definido por su relación directa con los valores de dureza, conductividad, concentraciones de bicarbonatos, cloruros y sulfatos, consideradas éstas como las variables que más información aportan al componente. Como muestra la figura 14, los sitios que pertenecen a la región de mayor altitud y relieves más heterogéneos y pronunciados (Región I) se ubican hacia la parte positiva del componente, estos ríos se encuentran emplazados en la Quebrada de Humahuaca, como se mencionó anteriormente, ésta es una región con bajos niveles de precipitación y alta evapotranspiración generándose en consecuencia graves problemas de deficiencia anual media de agua. Hacia la parte negativa del eje se forma un grupo muy compacto, que corresponde a los sitios ubicados a menor altitud y con características climáticas diferentes (Región II).

El segundo componente explicó el 20,18 % de la variación total y estuvo definido por su relación inversa con los sólidos totales, suspendidos y turbidez, siendo éstas las variables que mayor información aportaron al mismo. En la figura 14 se observa que este componente separó en la parte positiva del eje a la mayoría de los sitios durante el estiaje, que presentaron los menores registros de turbidez y sólidos, quedando distribuidos hacia el sector negativo los sitios muestreados durante la época de máximos caudales.

El primer componente sintetizó la situación topográfica y estructural de los suelos tanto como la incidencia de las macrocondiciones ambientales sobre la calidad intrínseca del agua. En cambio, el segundo, mostró la incidencia que tiene sobre el tenor de las variables vinculadas a la carga de materia en suspensión, las fluctuaciones locales en los caudales relativos en virtud de las variaciones que ocurren entre los dos períodos del ciclo hidrológico.

Se observó una neta diferenciación entre regiones en función de las variables de calidad fisicoquímica del agua estudiadas. La Región I posee los más altos registros en todos los parámetros analizados que son un reflejo tanto de las características climáticas adversas como del tipo de suelos y vegetación imperante en la zona.

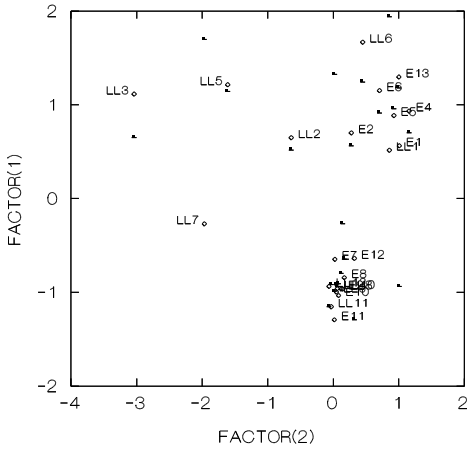


Figura 14: Análisis de Componentes Principales de sitios pertenecientes a la Cuenca del río Grande (E=estiaje, LL=lluvias).

Matriz de Autovectores

Parámetro	1º componente	2º componente
Dureza	0,984	0,132
Conductividad	0,958	0,211
Bicarbonatos	0,956	0,220
Alcalinidad	0,949	0,219
Sulfatos	0,925	0,241
Cloruros	0,910	- 0,201
Carbonatos	0,869	0,246
Magnesio	0,846	- 0,161
Calcio	0,722	0,434
Hierro	0,698	- 0,079
PH	0,556	- 0,033
Turbidez	0,371	- 0,912
Sol. suspendidos	0,415	- 0,879
Sólidos totales	0,491	- 0,826

5. ANALISIS DE METALES PESADOS Y ELEMENTOS MINORITARIOS

5.1. En la columna de agua:

Varias son las clases de sustancias que pueden llegar a contaminar el agua. Algunas causan turbiedad, disminuyen el oxígeno disuelto, provocan cambios de pH, incrementan la salinidad, y otras pueden ser tóxicas.

Es importante diferenciar la acción de un tóxico para una persona o animal que ocasionalmente lo ingiere con la bebida de agua, de la acción para aquellos organismos que viven en el agua en permanente contacto con él. El fenómeno de bioacumulación o concentración de los contaminantes hace que estos se acumulen en los niveles tróficos superiores, hasta el punto que en un pez o un ave acuática, por ejemplo, puede ser cientos de veces superior a la concentración de los mismos en el agua (Roldán Pérez, 1992).

El problema más grave se concentra en aquellas sustancias recalcitrantes o resistentes a la descomposición microbiana, cuyo poder acumulativo en el agua y en los organismos pone en peligro la estabilidad del ecosistema y la vida animal y humana. Dentro de estas sustancias se encuentran los metales pesados.

Los metales se encuentran en forma aislada como tales o combinados formando minerales. Los minerales constituyen parte de la corteza terrestre, formando depósitos superficiales o profundos en donde se encuentran concentrados (Vega, 1988).

En ciertos medios del ecosistema, la concentración de algunos metales se puede elevar tanto que llega a constituir una contaminación, la cual puede ser de origen natural (actividades volcánicas, procesos de erosión, escapes de depósitos superficiales o profundos, etc.) de acuerdo a un ciclo biogeoquímico, o bien puede ser antropogénica, debido a la actividad humana.

Es importante, por lo mencionado en párrafos anteriores, observar el comportamiento de determinados metales pesados y comparar sus concentraciones con **los niveles guía propuestos para el uso IV de protección de la vida acuática**. Las tablas 15 y 16 presentan los resultados de los análisis realizados en muestras de aguas provenientes de ríos de la Alta Cuenca del Bermejo durante la época de bajos caudales. Aquí se observa que para el cadmio el 100 % de los sitios no cumplen esta normativa; le siguen en orden de importancia el plomo y el mercurio que poseen el 69 % y 56 % de sitios respectivamente, cuyos niveles sobrepasan los valores permitidos. El 38 % de los ríos estudiados contienen concentraciones de cromo superiores al valor guía propuesto, mientras que sólo el 25 % de los sitios se exceden en sus concentraciones de cinc.

Tabla 15: Concentración de metales pesados y elementos minoritarios en muestras de agua colectadas durante la época de bajos caudales, octubre de 1999.

Lugar	Zn mg/l	Pb mg/l	Cd mg/l	Cr mg/l	As ug/l	Hg ug/l	B ug/l
R.Gde.Humahuaca	0,013	0,03	0,003	0,006	6,0	2,4	0,54
R.Gde.Tilcara	0,019	<0,02	0,003	0,008	3,2	2,5	0,72
Río León	0,007	<0,02	0,002	<0,005	8,1	1,8	0,12
Río Lozano	0,010	<0,02	0,002	<0,005	0,6	0,5	0,01
Río Yala	0,005	0,02	0,001	<0,005	0,6	<0,2	0,02
Río Reyes	0,008	0,03	0,001	<0,005	11	<0,2	0,05
Río Lavayén	0,014	0,05	0,003	0,009	8	1	0,65
R.Gde.R.P.Nº1	0,098	0,04	0,002	0,007	8	0,4	0,24
Río Aguas Negras	0,036	0,04	0,002	0,005	2	0,3	0,07
Río Sora	0,025	0,03	0,002	<0,005	2	0,2	0,02
Río de las Piedras	0,057	<0,02	0,002	<0,005	5	0,4	0,06
Río San Francisco	0,014	0,03	0,002	0,006	9	<0,2	0,50
R.Bermejo Elordi	0,017	0,04	0,001	<0,005	1	<0,2	0,10
Río Colorado	0,022	0,02	0,002	<0,005	14	<0,2	0,09
Río Pescado	0,017	0,02	0,001	<0,005	2	<0,2	0,04
R.B. Aguas Blcas.	0,031	<0,02	0,001	<0,005	0,4	<0,2	0,04

Tabla 16: Valores guías propuestos por la Secretaría de Recursos Hídricos de la Cuenca del Plata, 1994.

Usos	Zn mg/l	Pb mg/l	Cd mg/l	Cr mg/l	As mg/l	Hg ug/l	B mg/l
I	<5	<0,05	<0,005	<0,05	<0,05	<0,2	<1
II	<5	*	<0,005	<0,05	<0,05	<0,2	*
III	<5	<0,05	<0,005	<0,05	<0,05	*	*
IV	<0,03	<0,001	<0,0002	<0,05	<0,05	<0,1	<0,75

Como se explicó anteriormente, las concentraciones de metales pesados en el agua de los ríos estudiados si bien no son tan altas como para no permitir los usos I, II y III; si lo son en la mayoría de los sitios con relación al uso IV, constituyendo así una problemática más que potencial. Estos agentes nocivos provocan alteraciones en la estructura y función de los organismos expuestos, así como el desequilibrio de la dinámica natural de los ecosistemas, que propician en última instancia su desaparición.

La relación de la concentración del contaminante en la biota con la concentración de ese mismo contaminante en el medio se llama factor de bioconcentración. Cuando el valor de este factor es mayor a uno se dice que ese contaminante se bioconcentra.

Los metales disueltos en el medio acuoso son fácilmente absorbidos por la biota acuática, es decir, tienen una alta biodisponibilidad en este medio. En otros medios, como el terrestre, la biodisponibilidad y la bioconcentración son significativamente inferiores a la del acuoso, tal como se observa en los promedios obtenidos a partir de diversos experimentos (Vega, 1988) que se muestran en el siguiente cuadro:

MEDIO	CADMIO	MERCURIO	PLOMO
Acuático			
Agua	1	1	1
Plantas	1.000	1.000	200
Invertebrados	2.000	100.000	100
Peces	200	1.000	300
Terrestre			
Suelo	1	1	1
Plantas	0,03	0,4	0,07
Invertebrados	17	-	0,02
Mamíferos	0,008	5	0,001
Aves	-	50	0,001

En la biota acuática se acumulan principalmente el cadmio y el mercurio, ésta acumulación depende de la acidez del medio acuoso y de la disminución en la concentración acuática del calcio (Campbell et al. 1983).

5.2. En los sedimentos:

El sedimento actúa como sumidero de los metales y, cuando cambian las condiciones del medio, puede funcionar como un foco contaminante debido a la liberación de los mismos hacia la fase acuosa. Dichos elementos pueden encontrarse adsorbidos, precipitados o coprecipitados en el sedimento, o bien integrar la matriz de silicatos. Desde el punto de vista ecotoxicológico, este último carece de importancia ya que se necesitan condiciones muy drásticas para ponerlo a disposición de la biota. Las otras formas pueden ser removidas del sedimento por descenso del pH o por disminución del potencial redox debido al ingreso de materia orgánica o debido a una disminución del contenido de oxígeno disuelto en el agua.

Existe una gran variación en la concentración de metales pesados y elementos minoritarios entre los diferentes ríos de la cuenca (tabla 17), para la mayoría de los sitios esta heterogeneidad es una consecuencia de la diversidad geomorfológica, geológica y climática que posee la misma.

Tabla 17: Concentración, en miligramos por litro, de metales pesados y elementos minoritarios en muestras de sedimentos colectadas durante la época de bajos caudales, octubre de 1999.

Lugar	Cod	Cu	Pb	Zn	Ni	Co	Mn	As	B	Cd	Cr	B
Humahuaca	F1	14	13	47	19	6	238	9	13	0,2	311	13
Yacoraite	F3	17	24	96	20	5	278	8	9	0,3	362	9
Tilcara	F5	15	13	50	21	5	327	5	13	<0,2	390	13
Purmamarca	F6	19	13	55	23	9	384	19	16	<0,2	226	16
Leon	F7	25	11	76	33	11	586	4	10	<0,2	188	10
Lozano	F8	16	12	49	24	8	332	4	9	<0,2	255	9
Yala	F9	20	13	62	29	8	406	2	8	0,2	344	8
Reyes	F12	18	11	59	24	9	422	2	8	<0,2	174	8
Lavayen	F17	13	6	30	22	5	202	3	8	0,2	354	8
Gde.RPN1	F18	50	13	84	39	8	286	6	15	0,3	887	15
Ag.Negras	F22	11	3	15	16	4	203	3	4	<0,2	411	4
Zora	F23	13	12	35	16	5	215	2	15	<0,2	222	15
de las piedras	F28	27	12	67	23	10	451	6	12	0,2	154	12
San Fco	F30	14	8	31	20	5	220	4	6	<0,2	353	6
Elordi	B31	24	15	69	27	12	550	9	11	0,2	219	11
Colorado	B32	10	7	34	16	4	152	1	4	<0,2	277	4
Pescado	B34	21	11	72	26	11	539	3	12	<0,2	196	12
Ag.Blancas	B37	16	12	50	20	7	257	4	10	<0,2	250	10

Los sitios emplazados en las regiones más altas (puna y altoandina), poseen en general las mayores concentraciones de boro y arsénico, este fenómeno está relacionado con las características de las rocas y depósitos mineralógicos de su geología particular.

Distinto es el caso de las muestras tomadas en los ríos Grande a la altura de la R.P.Nº1 y Bermejo en Elordi, donde las altas concentraciones de cobre, plomo, cinc, boro y níquel, se deben efectos antrópicos. El río Grande (R.P.Nº1) por ejemplo, con relación al resto de los sitios estudiados, posee el registro más alto de cromo en sedimento.

Como fuera mencionado con anterioridad, al analizar las variables fisicoquímicas, estos dos sitios de muestreo son "colectores" de efluentes de diversos tipos. El río Grande recibe la descarga de efluentes cloacales y de las industrias papeleras, siderúrgica y química. Mientras que el río Bermejo en Elordi recibe aportes cloacales y de efluentes de ingenios azucareros y de plantas de procesamiento de cítricos.

El análisis de componentes principales, realizado considerando los valores de los metales pesados y elementos minoritarios en sedimentos, coincide con lo expuesto en párrafos anteriores (figura 15).

El primer componente explicó un 43,38 % de la variación total, situándose en el extremo más positivo del mismo los ríos con mayores valores de cinc, níquel, cobalto, cobre, manganeso, plomo y boro, siendo estos parámetros los que mayor información aportaron al componente.

El segundo componente explicó el 18,37 % de la variación total y se encontró inversamente relacionado a las concentraciones de cromo y cadmio, variables que más aportaron en la explicación del componente. Se puede observar la separación del río Grande R.P.Nº1 (F18) hacia la parte más negativa de este componente, debido a que presenta los mayores registros en ambas variables.

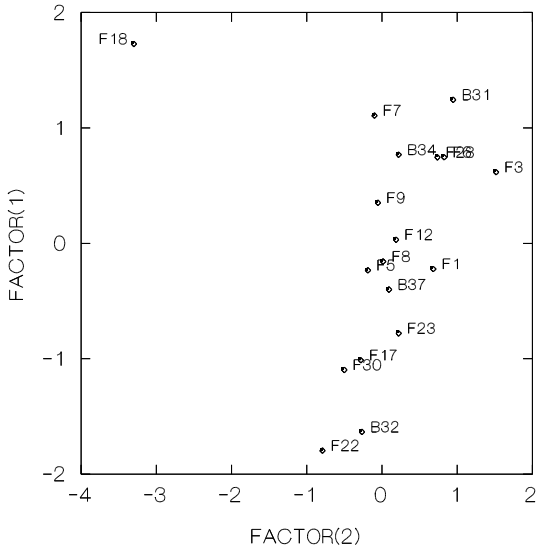


Figura 15: Análisis de Componentes Principales realizado con datos de 18 ríos pertenecientes a la Alta Cuenca del Río Bermejo (B = Subcuenca Tarija – Bermejo, F = Subcuenca Grande – San Francisco). Octubre de 1999.

Matriz de Autovalores

Componente	Eigenvalue	Varianza %	Acumulada
1	4,338	43,38	43,38
2	1,836	18,37	61,75
3	1,706	17,06	78,81

Matriz de Autovectores

Variables	1º Componente	2º Componente
Cinc	0,900	0,105
Níquel	0,808	-0,480
Cobalto	0,794	0,161
Cobre	0,792	-0,561
Manganeso	0,748	0,262
Plomo	0,633	0,421
Boro	0,628	0,018
Cromo	0,138	-0,817
Cadmio	0,226	0,491
Arsénico	0,439	0,314

ANALISIS DE LOS PARAMETROS BIOLOGICOS

La degradación de los recursos acuáticos ha sido motivo de preocupación del hombre desde antaño y, particularmente, en las últimas décadas. Por esta razón, existe un creciente interés por conocer y proteger los ecosistemas fluviales y estudiar sus cambios en el tiempo, desarrollando criterios físicos, químicos y biológicos que permitan estimar el efecto y magnitud de las intervenciones humanas (Norris y Hawkins, 2000).

Muchos países han propuesto esencialmente parámetros físico-químicos para evaluar la calidad del agua. Para ello se han desarrollado numerosos métodos e índices que tratan de interpretar la situación real, cuando se produce alteración de los sistemas acuáticos. Unos se basan exclusivamente en el análisis de las condiciones químicas, que si bien son de una gran precisión, son testigos de la situación instantánea de las aguas, y los efectos de los contaminantes se detectan si son dispuestos en el momento. Es decir, los resultados son puntuales en la dimensión cronológica y no revelan mucho de la evolución de una carga contaminante y la capacidad resiliente y amortiguadora de los ecosistemas acuáticos (Toro, et al., 2003).

Como una alternativa a estos procedimientos, desde hace varios años muchos países han generado conocimientos y desarrollado técnicas de biomonitoreo basadas en indicadores biológicos. Estos estudios se realizan mediante la evaluación de los cambios en la composición de las comunidades bióticas e índices de sensibilidad de organismos vivos ante la presencia de sustancias contaminantes en los sistemas acuáticos. Los índices biológicos informan de la situación tanto momentánea como de lo acontecido algún tiempo antes de la toma de las muestras, es decir es como tener información del presente y pasado de lo que está sucediendo en las aguas (Alba-Tercedor, 1988). La literatura revela que de los organismos acuáticos, los macroinvertebrados y las microalgas son los dos grupos que a menudo se recomienda usar en evaluaciones de la calidad del agua (Hellawel, 1986; Chistie y Smol., 1993; Kelly y Whiton, 1995).

Los parámetros biológicos analizados en el presente trabajo incluyeron a las microalgas y a las bacterias coliformes. Estas últimas, debido a su gran importancia como indicadoras desde el punto de vista sanitario. De las microalgas se ha estudiado la comunidad fitoplanctónica (composición de la ficoflora, densidad, riqueza, diversidad) y en particular, se tuvieron en cuenta a las diatomeas a través de la utilización del Indice Sapróbico de Pantle y Buck (1955).

1. FITOPLANCTON

1.1. Composición de la ficoflora

Como se ha mencionado anteriormente, la importancia de las biocenosis acuáticas en el estudio de la contaminación de las aguas es reconocida desde hace mucho tiempo, debido a que los organismos vivos constituyen verdaderos indicadores de la calidad del agua (Round, 1991). A diferencia de los análisis químicos, más precisos pero sólo significativos en el momento y lugar de la toma de la muestra, los organismos son el resultado de la integración de las condiciones ambientales en el tiempo.

En el total de muestreos de fitoplancton realizados se registraron 210 taxa, de los cuales 111 pertenecen a Bacillariophyta, 48 a Chlorophyta, 19 a Cyanophyta, 13 a Chrysophyta, 8 a Cryptophyta, 8 a Euglenophyta y 3 a Xantophyta (Tabla I del anexo).

Tomando en consideración los porcentajes de abundancia relativa de cada división de algas, en el total de muestreos y sitios de estudio, se observó también una marcada superioridad de las Bacillariophyta (representadas con el 58,61%), el segundo grupo de importancia correspondió a las Chlorophyta (22,84 %), seguidas a una distancia considerable y con porcentajes similares por las Cryptophyta y Chrysophyta (6,67 % y 6,08 % respectivamente), por último y pobremente representadas se encontraron las algas incluidas en los restantes grupos, tal como se observa en la figura 16.

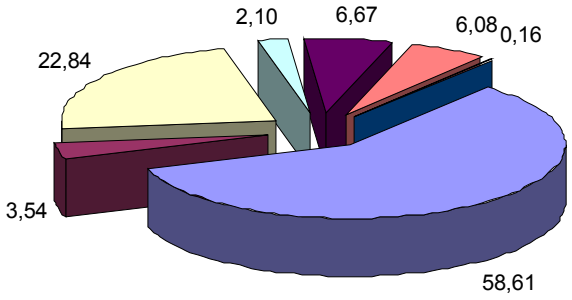


Figura 16: Contribución general de las divisiones de algas.

Bacillariophyta Cyanophyta Chlorophyta Euglenophyta
Cryptophyta Chrysophyta otras

Se observó una variación en los porcentajes de representatividad de cada grupo de algas en relación a las distintas condiciones hidrológicas, no obstante, las diatomeas siempre ocuparon el primer lugar de importancia, tal como se observó en otros ríos aluviales de Argentina (del Giorgio et al., 1991; Sastre et al., 1994; Solari, 1995; Tracanna y M. De Marco, 1997; Salusso y Moraña, 2000).

Durante la época de transición lluvia-estiaje, se observó una marcada superioridad de las Bacillariophyta (representadas con el 50,75%), el segundo grupo de importancia correspondió a las Chlorophyta (24,04 %), seguidas por las Cryptophyta y Chrysophyta (11,72 % y 8,49 % respectivamente), las Euglenophyta aportaron el 4,26 %, por último y pobremente representados se encontraron los restantes grupos algales (Fig. 17).

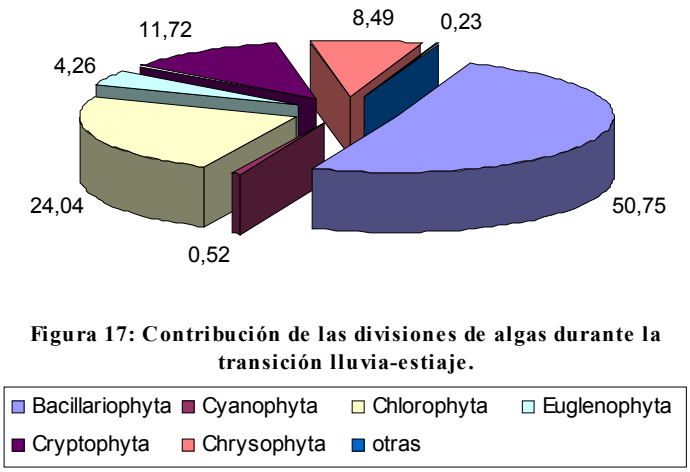


Figura 17: Contribución de las divisiones de algas durante la transición lluvia-estiaje.

Durante la época de estiaje, se observó un aumento en el porcentaje de Bacillariophyta (alcanzando el 63,61%), con la consiguiente disminución en representatividad de los restantes grupos, así las Chlorophyta bajaron al 22,08 % , mientras que las Cryptophyta y Chrysophyta disminuyeron hasta el 3,47 % y 4,55 % respectivamente, las Cyanophyta aumentaron logrando una representatividad del 5,45 % que las ubica terceras en orden de importancia luego de las Chlorophyta, las Euglenophyta aportaron solamente un 0,72 % (Fig.18).

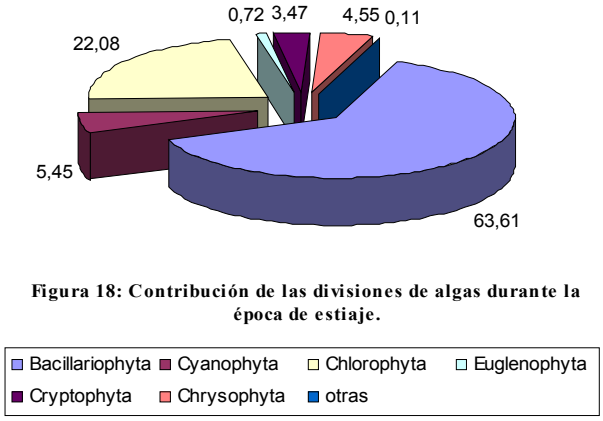


Figura 18: Contribución de las divisiones de algas durante la época de estiaje.

En resumen, la variación temporal en la representatividad de los principales grupos algales, mostró que la proporción de Bacillariophyta y Cyanophyta aumentó durante el período de bajos caudales, en tanto que los porcentajes de Chlorophyta, Criptophyta, Chrysophyta y Euglenophyta fueron superiores durante la transición lluvia – estiaje, comportamientos similares fueron observados para el río Correntoso en la llanura aluvial del Paraná (Anselmi de Manavella y García de Emiliani, 1995).

El componente algal de la mayoría de los sitios estudiados presenta una composición característica de sistemas lóticos de bajo orden (Margalef, 1980; Oemke y Burton, 1986), en los que existe una gran contribución (tanto en riqueza como en abundancia) de especies de Bacillaryophyceae del orden Pennales, estos resultados coincidieron con los observados en ríos serranos de Córdoba (Corigliano et al., 1994; Luque et al., 1994), Tucumán (Tracanna y Martinez De Marco, 1997; Seeligmann, 1998) y Salta (Moraña, 1998; Salusso, 1998; Salusso y Moraña, 2000).

Entre los componentes de la flora de los ríos de zonas montañosas se destacan las especies epilíticas que se desprenden del sustrato, cuando el aumento del caudal permite un mayor "arrastre" de partículas sólidas. Similares observaciones fueron realizadas en ríos de las provincias de Córdoba (Martinez de Fabricius et al., 1988) y Tucumán (Mirande, 2001). El reclutamiento temporal de especies ticoplanctónicas de los sedimentos, permitiría explicar, en parte, la supervivencia de las comunidades algales fluviales (Billen et al., 1994; Izaguirre y Vinocur, 1994; Reynolds, 1994). Así durante la transición lluvia – estiaje del 50,75 % de diatomeas observadas el 48,36 % fueron pennadas y solamente el 2,39 % restante fueron céntricas. Entre las diatomeas pennadas, las especies mejor representadas, durante el muestreo de mayo de 1999, fueron: *Achnantes minutissima*, *Cocconeis placentula*,

Gomphonema olivaceum, *G. parvulum*, *Navicula capitorradiata*, *N. cincta*, *Nitzschia amphibia*, *N. dissipata*, *N. palea* y *Reimeria sinuata*.

Durante la época de bajos caudales se observó una situación diferente a la antes mencionada, ya que del 63,61 % de diatomeas observadas el 49,12 % fueron céntricas y el 14,49 % restante fueron pennadas. Pero esta distribución se ve absolutamente sesgada por dos sitios de muestreo (F30 = Río San Francisco y F17 = Río Lavayén) que no corresponden a ríos de zonas estrictamente montañosas, estos dos ríos son de orden mayor, y además la calidad fisicoquímica de sus aguas es inferior con relación a los ríos y arroyos de montaña. Esto explica que más del 90 % de la representatividad de diatomeas céntricas tales como *Cyclotella meneghiniana*, *C. atomus*, *C. stelligera* y en menor grado *Melosira varians*, se encuentren casi exclusivamente en los mencionados ríos. Estos datos concuerdan con los obtenidos en estudios realizados en el país en ríos de orden mayor, que muestran a las Bacillariophyceae como clase dominante, pero con representantes de formas céntricas mayoritariamente (García de Emiliani, 1981; Luchini, 1980; Schiaffino, 1977; Gómez, 1990, 1991; Anselmi de Manavella y García de Emiliani, 1995; O´Farrell et al., 1996).

La representatividad de los diferentes grupos de algas en los distintos sitios de estudio fue muy variada, dependiendo de las características propias de cada sitio, rugosidad del lecho, emplazamiento en diferentes zonas geográficas y climáticas, diferentes grados de calidad fisicoquímica de las aguas, y obviamente se presentaron también diferencias en las distintas épocas del ciclo hidrológico (Figuras 19 y 20).

Durante la época de transición lluvia – estiaje, los ríos emplazados a mayor altitud en regiones montañosas, correspondientes a las provincias fitogeográficas de la Puna, Prepuna y Altoandina, de clima semiárido y en general registros reducidos de precipitación, (sitios F1, F5, F6, F8, F9, F10 y F12, todos pertenecientes a la subcuenca Grande – San Francisco), compuestos por lechos pedregosos, bajos niveles de turbiedad y conductividades en el rango de 100 a 500 µS/cm, están caracterizados por altos porcentajes de diatomeas pennadas, siendo las especies más importantes *Achnanthes minutissima*, *Cymbella tumida*, *C. caespitosa*, *Gomphonema angustatum*, *G. olivaceum*, *Navicula capitorradiata*, *Nitzschia amphibia*, *N. confusa*, *N. dissipata*, *N. palea* y *Reimeria sinuata*. En estos sitios, las clorofitas (Fig.19) poseen el segundo orden de importancia numérica, con especies de *Chlamydomonas debaryana*, *Carteria* sp., *Chloromonas* sp. entre otras. Particularmente, se observó en el sitio F8 (Río Lozano) un pulso de criptofitas de las especies *Cryptomonas erosa* y *Cryptomonas gracilis*. Las crisofitas estuvieron representadas en el sitio F8 con especies de *Chromulina pyrum* y *Ocromonas* sp.

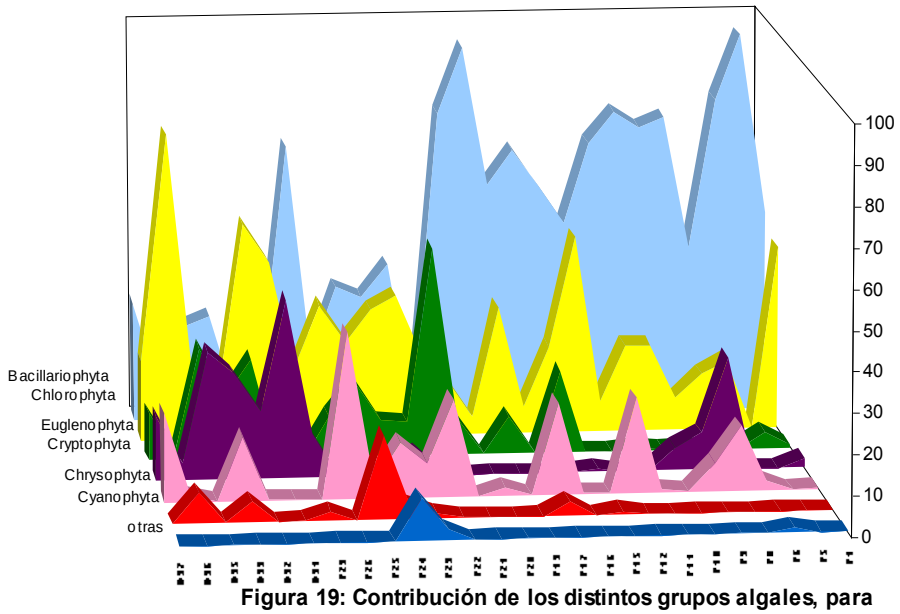


Figura 19: Contribución de los distintos grupos algales, para cada sitio, durante la transición lluvia-estiaje.

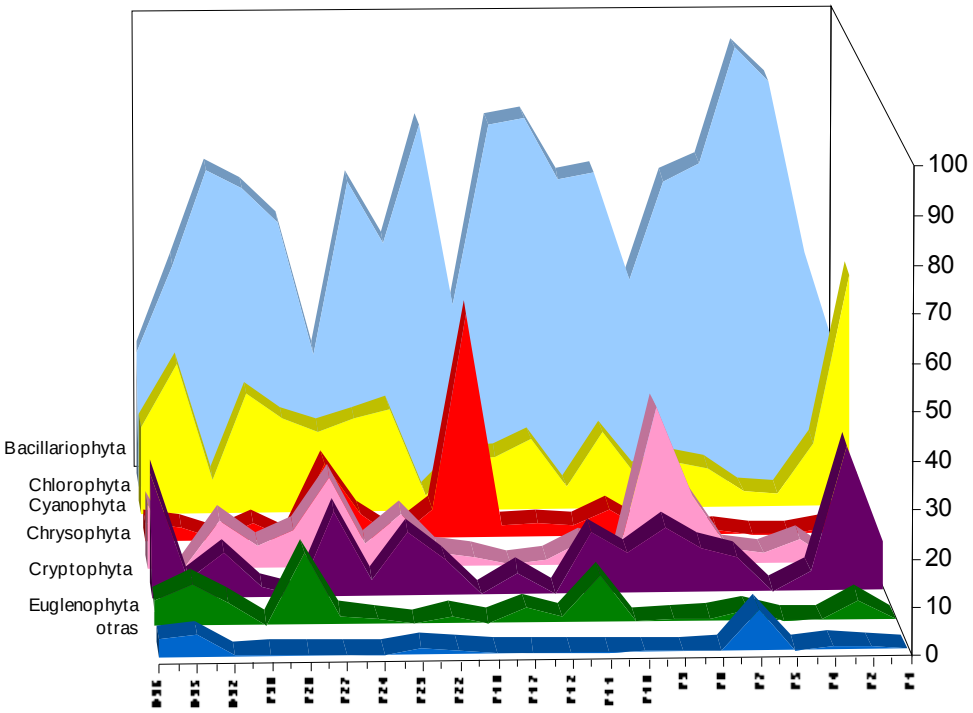


Figura 20: Contribución de los diferentes grupos algales, para cada sitio, durante la época de estiaje

Se observó un comportamiento diferente en los sitios pertenecientes a la subcuenca Tarija – Bermejo (B31, B32, B33, B35, B36 Y B37); que se encuentra emplazada en una zona climática con registros mas altos de temperatura y precipitación, correspondiendo su ubicación a la provincia fitogeográfica de las Yungas. Los ríos, arroyos y quebradas presentes en esta región, poseen generalmente lechos compuestos por partículas de tamaño fino, no pedregoso, tales como arenas y arcillas, lo que aumenta en general los valores de turbidez debido a las concentraciones de sólidos en suspensión. Estos sitios están caracterizados por una distribución más equitativa del porcentaje de contribución de los diferentes grupos algales, a diferencia de la mayoría de los sitios emplazados en la subcuenca Grande – San Francisco, donde las diatomeas eran dominantes, tal como se explicó anteriormente (Fig. 19).

Así, durante la transición lluvia estiaje, los sistemas lóticos pertenecientes a la subcuenca Tarija-Bermejo, poseen en general a las clorofitas como grupo dominante, con especies de *Chlamydomonas debaryana*, *Chlamydomonas* sp. y *Chloromonas* sp. El segundo grupo de importancia dependiendo de los sitios, puede ser de las criptofitas, euglenofitas o diatomeas. Dentro de éstas últimas las especies más importantes son: *Cyclotella meneghiniana*, *C. stelligera*, *Melosira varians* y en menor proporción *Cocconeis placentula*, *Nitzschia palea*, *N. dissipata, Navicula minuscula* y *N. cryptocephala*. Entre las criptofitas se destacan *Cryptomonas erosa, C. marssonii* y *Rhodomonas minuta*. Las euglenofitas estuvieron representadas por *Euglena viridis*, *Euglena oxyuris*, y diversas especies de *Trachelomonas*.

Durante la época de estiaje las diatomeas fueron el grupo dominante en el 90 % de los sitios estudiados (Fig. 20), con excepción de los ríos Grande en Humahuaca (F1), donde dominaron las clorofitas *Carteria* sp., *Chloromonas* sp. *y Monoraphidium pusillum*, y el río Grande en R.P.Nº 1 (F18) donde se observó un gran pulso de cianofitas de las especies: *Oscillatoria subtilissima, Chroococcus turgidus* y *Coelosphaerium naegelianum*.

El análisis de componentes principales realizado considerando las abundancias relativas (individuos/mL) de las siguientes divisiones algales: Cyanophyta, Bacillariophyta, Chlorophyta, Chrysophyta, Cryptophyta y Euglenophyta, durante el período de transición lluvia-estiaje, permitió reducir estas seis variables a dos componentes que explicaron el 59 % de la variación total (Fig. 21).

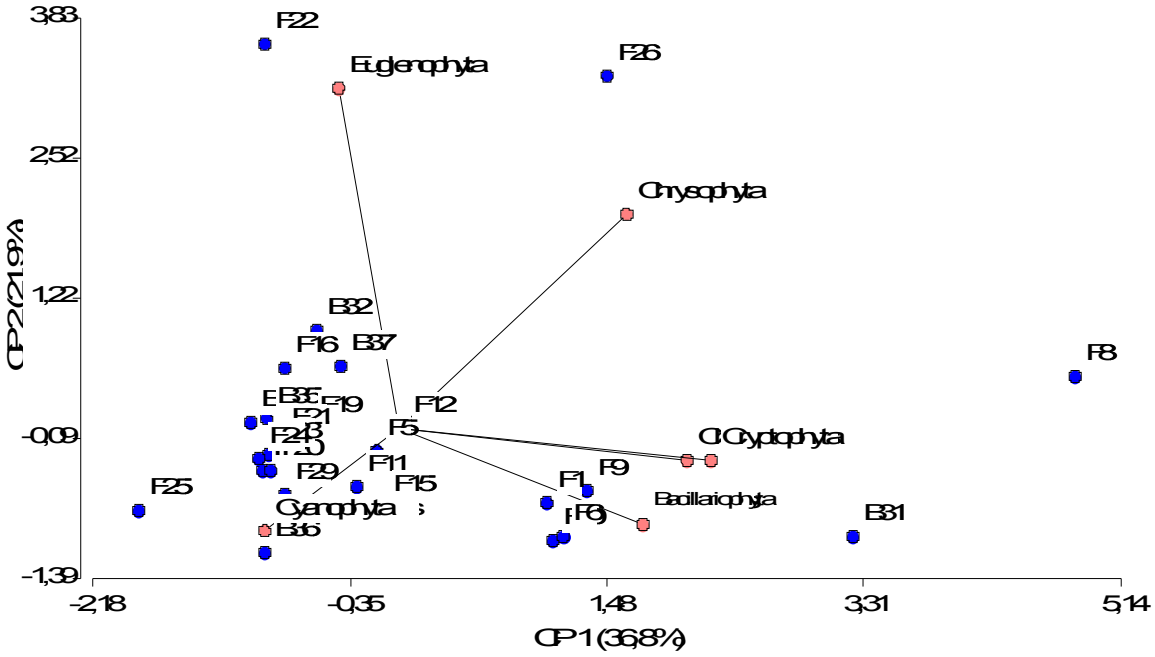


Figura 21: Análisis de Componentes Principales realizado con datos de 26 sitios pertenecientes a la Alta cuenca del Río Bermejo durante la transición lluvia – estiaje. Mayo de 1999.

Matriz de Autovalores

Componente	Eigenvalue	Varianza %	Acumulada
1	2,21	37	37
2	1,32	22	59
3	1,06	18	76

Matriz de Autovectores

Variables	1º Componente	2º Componente
Bacillariophyta	0,44	-0,22
Cyanophyta	-0,24	-0,24
Chlorophyta	0,52	-0,07
Euglenophyta	-0,11	0,80
Cryptophyta	0,56	-0,07
Chrysophyta	0,41	0,50

El primer componente explicó el 37 % de la variación total de los datos y estuvo definido por su relación directa con los datos de abundancia de Cryptophyta, Chlorophyta y Bacillariophyta, considerando a éstas como las variables que más información aportaron al componente, estos parámetros aumentan en los sitios de muestreo ubicados hacia la parte positiva del eje (Fig. 21). Se pueden observar dos sitios considerados atípicos, el río Lozano (F8), con altos registros de algas pertenecientes a las divisiones Bacillariophyta (1980 ind./mL) y Cryptophyta (1331 ind/mL); y el río Bermejo en Elordi (B31) con altos valores de Cryptophyta y Chlorophyta (1276 ind/mL en ambos casos).

El segundo componente explicó el 22% de la variación total y estuvo definido por su relación directa con los datos de abundancia de Euglenophyta y Chrysophyta que fueron las variables de mayor peso en el componente. Se pueden observar dos sitios considerados atípicos, el Río Aguas Negras (F22), con altos valores de abundancia de Euglenophyta (365 ind./mL) y de Chrysophyta (168 ind/mL); y el Arroyo Sauzalito (F26) con altos valores de Chrysophyta (808 ind/mL) y de Chlorophyta (657 ind/mL).

Podemos observar hacia la parte negativa de ambos componentes, la formación de un grupo compacto que encierra a la mayoría de los sitios pertenecientes a las subcuencas Tarija-Bermejo y San Francisco-Lavayén, mientras que hacia la parte positiva del primer componente encontramos agrupados a los sitios que pertenecen a la subcuenca del Río Grande (Fig. 21, Tabla 5).

El análisis de componentes principales realizado durante el período de estiaje, con los datos de las abundancias relativas de las seis divisiones algales antes mencionadas, nos permitió reducir la información a dos componentes que explicaron el 73 % de la variación total encontrada (Fig. 22). Para el presente análisis no se incorporó al Río San Francisco (F30) dado que la densidad de diatomeas que presentó (22386 ind/mL) sesgaba el análisis.

El primer componente explicó el 49 % de la variación total de los datos y estuvo definido por su relación directa con los datos de abundancia de Bacillariophyta, Chlorophyta y Euglenophyta, considerando a éstas como las variables que más información aportaron al componente, estos parámetros aumentan en los sitios de muestreo ubicados hacia la parte positiva del eje (Fig. 22). Se pueden observar dos sitios considerados atípicos, el río Lavayén (F17), con altos registros de Bacillariophyta (2264 ind./mL) y de Chlorophyta (334 ind/mL) y el río Colorado (B32) con altos valores de Bacillariophyta (1054 ind./mL).

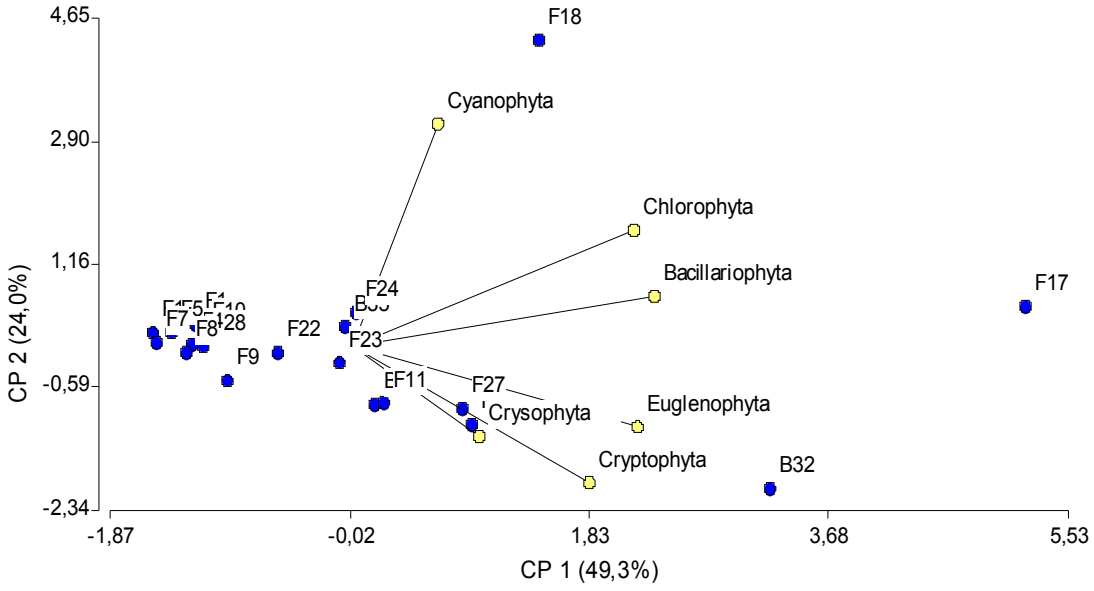


Figura 22: Análisis de Componentes Principales realizado con datos de 20 sitios pertenecientes a la Alta cuenca del Río Bermejo durante la época de estiaje. Octubre de 1999.

Matriz de Autovalores

Componente	Eigenvalue	Varianza %	Acumulada
1	2,96	49	49
2	1,44	24	73
3	0,97	16	89

Matriz de Autovectores

Variables	1º Componente	2º Componente
Bacillariophyta	0,53	0,16
Cyanophyta	0,15	0,71
Chlorophyta	0,49	0,37
Euglenophyta	0,50	- 0,26
Cryptophyta	0,41	- 0,44
Chrysophyta	0,22	- 0,29

El segundo componente explicó el 24% de la variación total y estuvo definido por su relación directa con los datos de abundancia de Cyanophyta y su relación inversa con las abundancias de algas pertenecientes a la división Chryptophyta. Se puede observar que el sitio F18 (Río Grande en su intersección con la ruta provincial Nº 1) se encuentra alejado del resto debido a sus altos valores de abundancia de Cyanophyta (1064 ind./mL) y ausencia de Chryptophyta.

Podemos observar hacia la parte negativa del primer componente, la formación de un grupo compacto que encierra a los sitios F1, F4, F5, F7, F8, F9, F10 y F12 pertenecientes a la subcuenca del río Grande, estos sitios se caracterizaron por presentar comunidades algales compuestas por diatomeas, clorofitas y en menor medida, criptofitas y crisofitas. Estos sitios en general poseen valores muy bajos de abundancia de euglenofitas y de cianofitas, incluso muchos de ellos no presentan individuos de estas dos últimas divisiones de algas (Fig. 22, Tabla 5).

Durante la época de transición lluvia–estiaje, se observó que existieron diferencias altamente significativas en los promedios de abundancia de diatomeas entre ambas subcuencas ($t = - 3,43$; $p = 0.0025$), la subcuenca de los Ríos Grande–San Francisco presentó un promedio de diatomeas muy superior al de la subcuenca Tarija–Bermejo (722,55 ind./mL y 122,17 ind./mL respectivamente). Si bien se han observado diferencias entre subcuencas en los valores promedio de abundancia de las restantes divisiones algales, éstas no llegaron a ser estadísticamente significativas.

Durante el estiaje, se observó una situación diferente a la expuesta anteriormente. Solamente se registró diferencia significativa ($t = 2,12$; $p = 0,0475$) en los promedios de las abundancias de euglenofitas entre subcuencas, siendo en esta oportunidad, la subcuenca Tarija -Bermejo la que posee el mayor promedio en contraste con la subcuenca de los ríos Grande–San Francisco (42,67 ind./mL y 11,72 ind./mL respectivamente).

1.2. Densidad, riqueza de especies y diversidad fitoplantónica:

La concentración total del fitoplancton varió considerablemente entre los diferentes cuerpos lóticos analizados, el menor valor de densidad se registró durante la época de bajos caudales en el río León (sitio 7) y fue de 94 ind./mL, correspondiendo la máxima concentración de 33.158 ind./ml pertenecientes al río San Francisco (sitio30) en el mismo período. Durante el mes de mayo los valores oscilaron entre los 126 y 4.750 ind./mL (Aº Los Berros = sitio 24 y Río Lozano = sitio 8, respectivamente) (figuras 23 y 24; tablas 18 y 19).

Tabla 18: Datos de riqueza, diversidad (Shannon & Weaver), equitatividad y densidad (ind./mL), analizados durante la época de transición lluvia-estiaje, en mayo de 1999.

Lugar de muestreo	Riqueza	Equitatividad	Diversidad	Densidad
Río Grande (Humahuaca)	29	0,71	3,468	1.941
Río Grande (Tilcara)	18	0,88	3,690	1.647
Río Purmamarca	12	0,81	2,886	2.746
Río Lozano	26	0,81	3,804	4.750
Río Yala	31	0,78	3,870	2.765
Aº Coyamayo	27	0,86	4,085	2.402
Aº Barcaza	19	0,81	3,449	902
Río Reyes	26	0,78	3,689	1.085
Río Mojotoro	29	0,72	3,480	949
Río Saladillo	20	0,95	4,126	513
Río Lavayén	15	0,93	3,628	181
Río Negro	21	0,77	3,397	531
Río Ledesma	14	0,85	3,246	193
Río San Lorenzo	10	0,94	3,136	362
Río Aguas Negras	6	0,94	2,428	701
Río Sora	19	0,88	3,752	160
Aº Los Berros	27	0,94	4,471	126
Aº Zanjón Seco	19	0,93	3,960	269
Aº Sauzalito	10	0,86	2,862	1.970
Aº Riacho Seco	16	0,92	3,689	436
Río Bermejo (Elordi)	6	0,77	1,998	2.870
Río Colorado	5	0,91	2,122	551
Río Blanco	11	0,92	3,176	436
Aº Solazuty	8	0,89	2,659	172
Aº Quebrada Colorada	12	0,49	1,768	615
Río Bermejo(Ag.Blancas)	14	0,91	3,483	660

Los registros de diversidad y riqueza de especies presentaron también un gran patrón de variación en los diferentes ríos y arroyos estudiados, los menores valores en ambos parámetros (h= 0,952 bits, R= 4 especies) se registraron durante la época de bajos caudales en el río Pescado (sitio F34). El máximo valor de riqueza específica fue de 34 especies pertenecientes al arroyo Yuto (sitio F27) en el mismo período. Durante el mes de mayo los valores oscilaron entre las 5 y 31 especies (Río Colorado = sitio B32 y Río Yala = sitio F9, respectivamente) (figuras 23 y 24; tablas 18 y 19).

Este amplio espectro de variación coincide con la gran diversidad de ambientes y microclimas que componen la Alta Cuenca del Río Bermejo, que se acompaña de variaciones en las características físico-químicas del agua que generan una gran diversidad de hábitats aprovechables por las distintas especies de algas fitoplanctónicas.

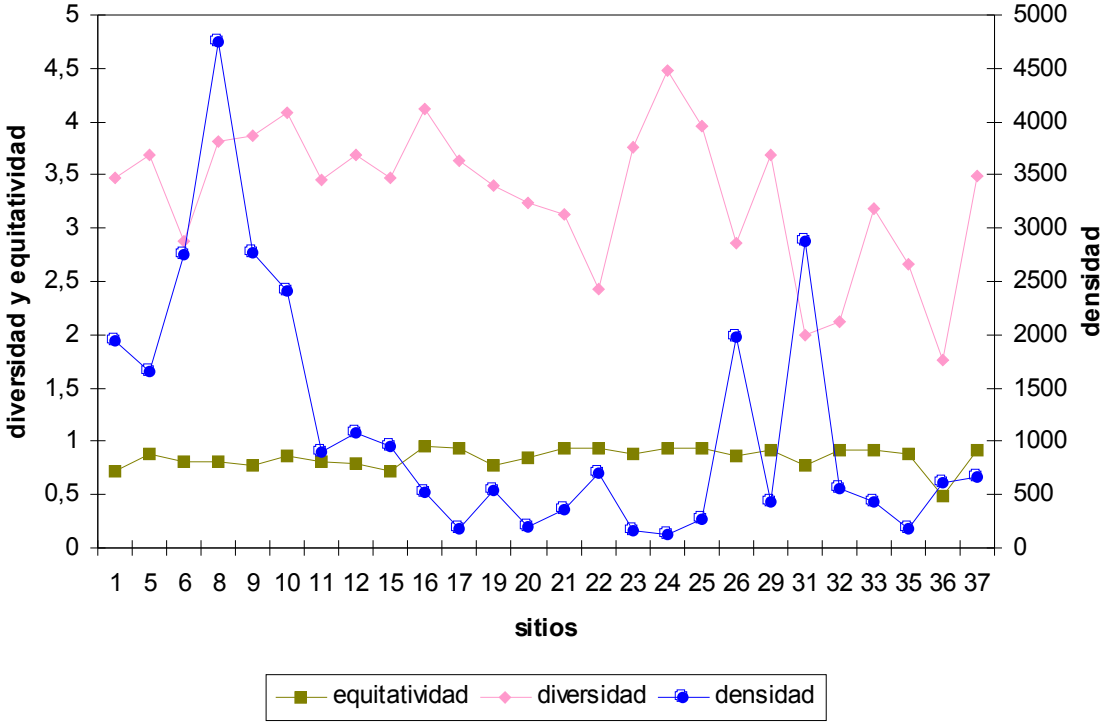


Figura 23: Relación entre los valores de densidad, diversidad y equitatividad en los sitios durante la época de transición, mayo de 1999.

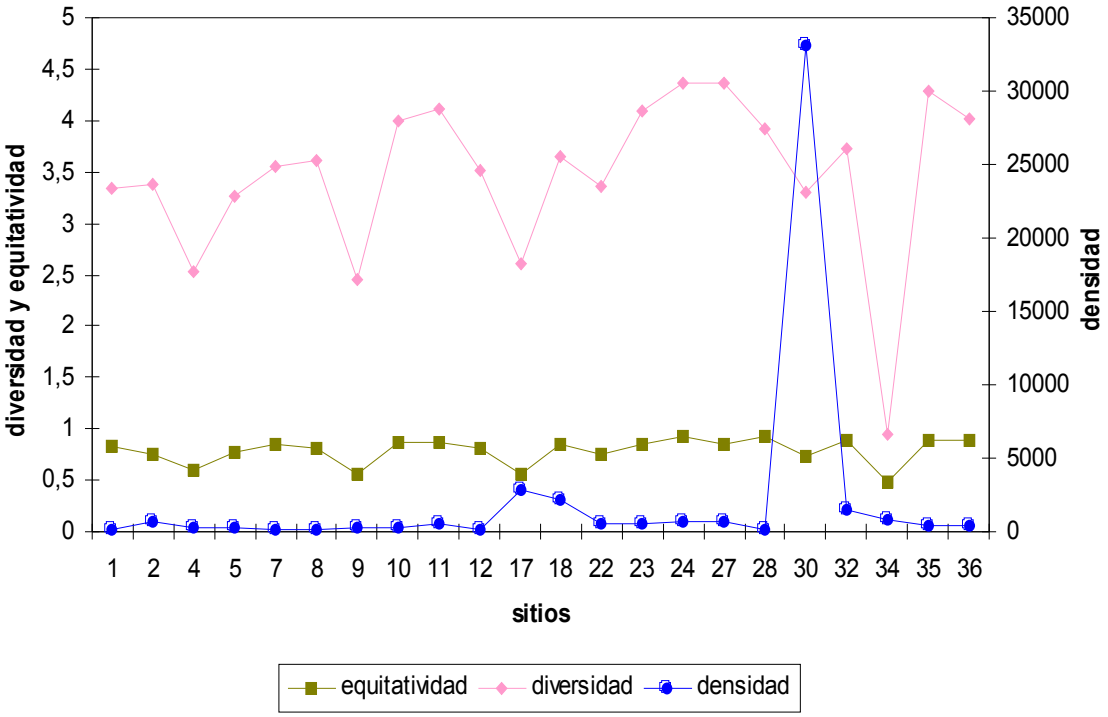


Figura 24: Relación entre los valores de densidad, equitatividad y diversidad durante la época de estiaje, octubre de 1999.

Tabla 19: Datos de riqueza, diversidad (Shannon & Weaver), equitatividad y densidad (ind./mL), analizados durante la época de estiaje, en octubre de 1999.

Lugar de muestreo	Riqueza	Equitatividad	Diversidad	Densidad
Río Grande (Humahuaca)	16	0,83	3,333	124
Río Grande (Tilcara)	19	0,77	3,264	259
Aº de la Señorita	22	0,76	3,380	609
Río Lozano	22	0,81	3,608	161
Río Yala	21	0,56	2,449	205
Aº Coyamayo	25	0,86	4,005	243
Aº Barcaza	27	0,87	4,114	498
Aº Qbra. Jueya	19	0,59	2,525	301
Río Reyes	20	0,81	3,512	101
Río León	18	0,85	3,556	94
Río Lavayén	25	0,56	2,603	2.896
Río Aguas Negras	23	0,74	3,365	582
Río Sora	28	0,85	4,094	480
Aº Los Berros	26	0,93	4,372	701
Río de las Piedras	19	0,92	3,926	114
Río Grande R.P.Nº 1	20	0,84	3,649	2.211
Río San Francisco	22	0,74	3,295	33.158
Río Pescado	4	0,48	0,952	805
Río Colorado	18	0,89	3,729	1.531
Aº Solazuty	29	0,88	4,293	387
Aº Quebrada Colorada	23	0,89	4,016	376
Aº Yuto	34	0,86	4,365	670

Los índices de diversidad son descriptores de la estructura de una comunidad: cuantas especies hay y en que proporción se ensamblan, así que cualquier alteración en ellos en un mismo ambiente, indica cambios en las condiciones ambientales o procesos biológicos relevantes como por ejemplo sucesión (Ramirez González y Viña Vizcaíno, 1998).

Para nuestro estudio, hemos tenido en consideración los conceptos vertidos por Roldán Perez (1992), quien expresa que los procesos metabólicos de los sistemas acuáticos: producción, consumo y descomposición se realizan simultáneamente en el agua en forma equilibrada y sincrónica, cuando el medio es ecológicamente estable. Cuando el equilibrio se rompe, por ejemplo por contaminación con materia orgánica, se aceleran los procesos de descomposición y fotosíntesis en el ciclo día-noche, causando un desbalance en el ecosistema que afecta en último término su estabilidad y la de las comunidades que en él viven.

El índice de diversidad de Shannon y Weaver (1949), nos aporta información acerca de la estructura y dinámica de las comunidades fitoplanctónicas. La caracterización de dichas biocenosis puede demostrar correlaciones entre la heterogeneidad de hábitats y las asociaciones existentes. Un hábitat con condiciones equilibradas tiene una biocenosis rica en especies con una distribución más uniforme de individuos en ellas. La diversidad estructural de una comunidad es la expresión externa de la multiplicidad de relaciones mutuas entre organismos y de la heterogeneidad del ambiente (Schäfer, 1985). Así, tenemos que los sitios que expresaron mayores valores de diversidad en ambas situaciones hidrológicas, fueron los arroyos y quebradas pequeñas, caracterizados por menores caudales y mayor heterogeneidad en la composición de sus lechos (gravas, arenas, sitios de remansos, etc) como así también de su entorno (orillas con diversos estratos de vegetación) (tablas 18 y 19).

Los ríos y arroyos estudiados de la Alta Cuenca del Bermejo, en general, presentaron valores intermedios a altos de diversidad específica, este parámetro permitió, en la mayoría de los casos, diferenciar los ambientes no perturbados de los perturbados. Este índice es considerado por diversos autores un buen indicador de contaminación (Margalef, 1969; Archibald, 1972; Branco, 1984; Magurran, 1988; Lobo y Kobasayi, 1990; Rodriguez Capítulo y Gómez, 2003); no obstante, en el presente estudio, no permitió diferenciar si la perturbación era de origen natural o antrópica.

Podemos diferenciar entre dos tipos de perturbación que afectan a los sistemas lóticos de la Alta Cuenca del Bermejo, por un lado hablamos de *"perturbación natural"* cuando nos referimos a aquellos procesos naturales que por su magnitud inciden en la calidad fisico-química y biológica de sus aguas, ejemplos de los mismos serían las lluvias torrenciales, coladas de barro, arrastre y lixiviación de suelos, etc. El otro tipo de perturbación, denominada contaminación, es producto directo o indirecto de actividades antrópicas, tales como el volcamiento de efluentes de industrias, ingresos a los cuerpos de aguas de fertilizantes y plaguicidas producidos por actividades agrícolas, descargas de desechos domiciliarios, etc.

El menor valor de diversidad específica fue de 0,952 bits y se registró durante la época de bajos caudales en el Río Pescado, presentando además este río el menor registro de equitatividad, probablemente la explicación a este comportamiento se deba a la elevada turbiedad (596 NTU) que presentó este sitio durante el mes de octubre, el efecto abrasivo que producirían los sólidos en suspensión además del efecto de sombreado de los mismos, dista mucho de ser el ambiente ideal para el desarrollo de una comunidad diversa de microalgas (figuras 23 y 24; tablas 18 y 19).

Durante el estiaje, también presentaron valores bajos de diversidad los ríos Yala (H=2,449) y Lavayén (H=2,603), el río Yala recibe descargas de efluentes domésticos domiciliarios, mientras que el Lavayén recibe además efluentes de diversas industrias.

El cambio que experimentaron las comunidades sujetas a distintas formas de "perturbación" se manifestó en la caída de los valores de diversidad en los sitios antes mencionados. El río Pescado, fuertemente influenciado por el aporte de material alóctono proveniente del lavado de los suelos, posee valores de turbiedad que varían desde 6.969 NTU en febrero a 596 NTU en octubre, con valores intermedios durante la transición estiaje-lluvias. Es lógico pensar que la baja diversidad se debe al efecto nocivo de la elevada turbidez para el desarrollo de las algas, pudiendo solamente vivir en estas condiciones aquellas especies con requerimientos lumínicos limitados. Mientras que, la situación de los ríos Yala y Lavayén es bastante diferente, el primero recibe aportes de desechos domiciliarios, mientras que el río Lavayén colecta residuos de diversa índole (cloacales, industriales y agrícolas).

Es importante, por lo tanto, diferenciar los orígenes de las fuentes contaminantes y poder discriminar cuando ésta es de origen natural de cuándo es antrópica, dado que las posibles soluciones a proponer para lograr un desarrollo sustentable, serán también diferentes y requieren un conocimiento previo de los orígenes de la contaminación y sus efectos sobre la biota acuática.

También durante la época de bajos caudales, una situación diferente se observó en el Río Grande a la altura de la ruta provincial Nº 1 (F18), donde se esperaban valores bajos de diversidad, dado que este sitio recibe los efluentes cloacales e industriales de la ciudad de San Salvador de Jujuy, no obstante presentó durante el estiaje un valor de diversidad de 3,649 bits, esto coincidió con los estudios de Archibald (1972) que encontró que la diversidad en puntos moderadamente poluidos, como en el caso mencionado, era mayor que en aguas limpias. Estudios llevados a cabo en el río Luján (Provincia de Bs. As.), mostraron que la comunidad fitoplanctónica reflejó parcialmente las alteraciones experimentadas a través de la diversidad, la cuál disminuyó levemente en los puntos más contaminados (del Giorgio et al., 1991).

Durante el período de transición lluvia –estiaje, la subcuenca de los ríos Grande – San Francisco presentó los mayores registros de equitatividad, densidad, riqueza y diversidad específica. Aunque, solo en estas dos últimas variables, las diferencias entre subcuencas llegaron a ser estadísticamente significativas (figura 25). La densidad promedio, en la subcuenca de los ríos Grande – San Francisco fue muy superior a la de la subcuenca Tarija – Bermejo (media = 1231 ± 1213 y media = 884 ± 988; respectivamente), como se mencionara anteriormente esta diferencia entre subcuencas no fue estadísticamente significativa,

probablemente debido a la enorme dispersión que presentaron ambos conjuntos de datos; no obstante, esta tendencia tuvo su correspondencia con las mayores concentraciones de nutrientes (nitratos y fosfatos) encontradas en la subcuenca Grande – San Francisco para este período hidrológico (tabla 10).

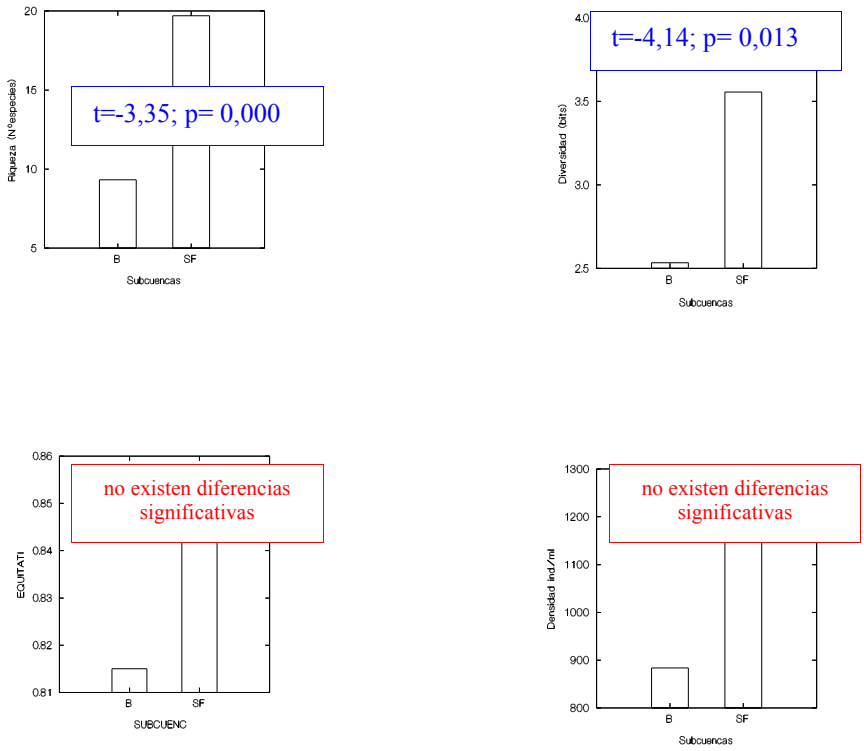


Figura 25: Diferencias en los promedios de densidad, riqueza, diversidad y equitatividad entre subcuencas durante la transición lluvia-estiaje (mayo 1999).

El Análisis de Componentes Principales realizado considerando los datos de riqueza, densidad, diversidad, equitatividad y clorofila a, durante el período de transición lluvia-estiaje, permitió reducir estas cinco variables a dos componentes que explicaron el 77 % de la variación total (Fig. 26).

El primer componente explicó el 47 % de la variación total de los datos y estuvo definido por su relación directa con los datos de clorofila a y de riqueza, considerando a éstas como las variables que más información aportaron al componente, estos parámetros aumentan en los sitios de muestreo ubicados hacia la parte positiva del eje (Fig. 26). Se puede observar un sitio considerado "atípico", el Río Lozano (F8) que presentó la mayor concentración de clorofila a (19,49 mg/L) y uno de los más altos valores de riqueza obtenidos para éste período

(26 especies). Hacia la parte positiva del componente se agruparon los sistemas lóticos pertenecientes a la subcuenca del Río Grande.

El segundo componente explicó el 30 % de la variación total y estuvo definido por su relación directa con los datos de equitatividad (E) y diversidad (H); y su relación inversa con los valores de densidad fitoplanctónica. Hacia la zona positiva de éste componente, se situaron los ríos y arroyos que presentaron altos valores de diversidad (D) y equitatividad, pero con bajos registros de densidad, tales como los siguientes arroyos: Aº Los Berros (F24) (H = 4,471; E = 0,94; D = 126); Aº Zanjón Seco (F25) (H = 3,96; E = 0,93; D = 269); Aº Riacho Seco (F29) (H = 3,689; E = 0,92; D = 436); siguiendo idéntico patrón entre los ríos se encuentran: Río Sora (F23) (H = 3,752; E = 0,88; D = 160) y el Río Lavayén (F17) (H = 3,628; E = 0,93; D = 1871) entre otros. Estos sitios, pertenecientes a las subcuencas de los Ríos San Francisco y Lavayén, formaron un grupo más o menos compacto hacia la zona positiva del segundo componente.

En la región negativa de ambos componentes, se ubicaron aquellos sistemas lóticos que presentaron en general, bajos valores de diversidad, de equitatividad y de clorofila a, formando el grupo que contiene a los sitios pertenecientes a la subcuenca de los Ríos Tarija – Bermejo.

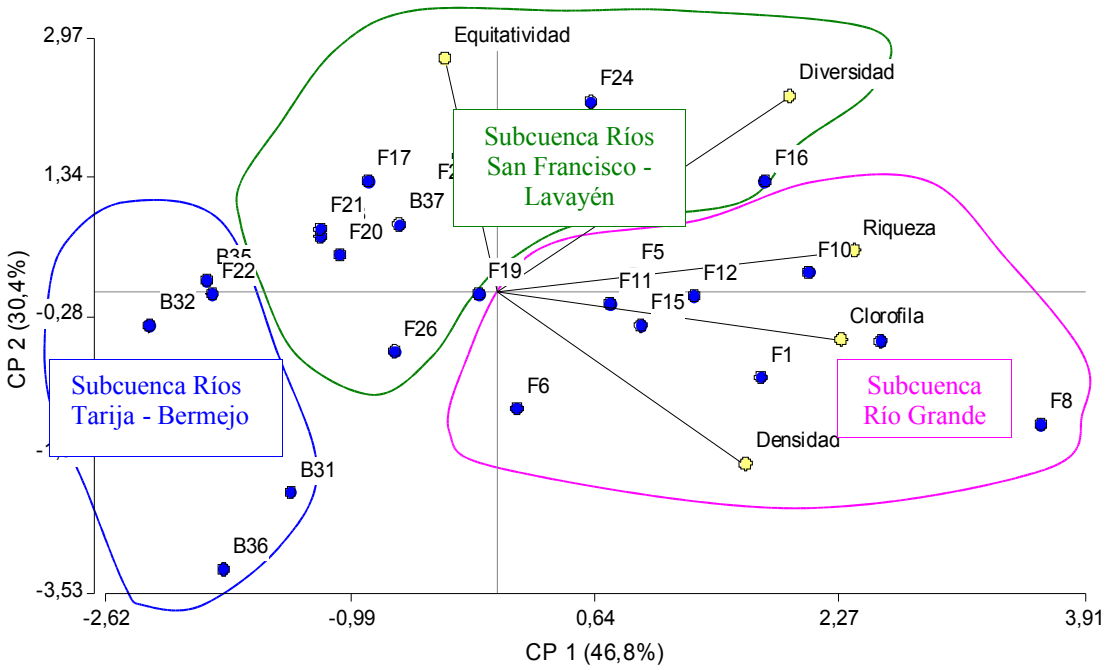


Figura 26: Análisis de Componentes Principales realizado con datos de densidad, riqueza, diversidad, equitatividad y clorofila a. en 26 sitios durante la época de transición lluvia – estiaje.

Matriz de Autovalores

Componente	Eigenvalue	Varianza %	Acumulada
1	2,34	47	47
2	1,52	30	77
3	0,84	17	94

Matriz de Autovectores

Variables	1º Componente	2º Componente
Clorofila a	0,55	- 0,14
Riqueza	0,57	0,12
Equitatividad	- 0,09	0,66
Diversidad	0,46	0,55
Densidad	0,39	- 0,49

El Análisis de Componentes Principales realizado, durante el período de estiaje, considerando los datos de riqueza, densidad, diversidad, equitatividad y clorofila a, permitió reducir estas cinco variables a dos componentes que explicaron el 87 % de la variación total (Fig. 27).

El primer componente explicó el 50 % de la variación total de los datos y estuvo definido por su relación directa con los datos de diversidad específica, equitatividad y riqueza, considerando a éstas como las variables que más información aportaron al componente, estos parámetros aumentan en los sitios de muestreo ubicados hacia la parte positiva del eje (Fig. 27). Se puede observar, hacia la zona positiva de este componente, un grupo compacto que engloba a los siguientes arroyos y quebradas de pequeño caudal: Aº Coyamayo (F10), Aº Barcaza (F11), Aº Los Berros (F24), Aº Yuto (F27) y Quebrada Colorada (B36), caracterizados por presentar los mayores valores de diversidad y equitatividad, acompañados de densidades intermedias a bajas. Hacia la región negativa de este componente, se ubicaron los ríos Pescado (B34) San Francisco (F30) y Lavayén (F17), con bajos valores de diversidad específica y altas concentraciones fitoplanctónicas.

El segundo componente explicó el 37 % de la variación total y estuvo definido por su relación directa con los datos de densidad específica y concentración de clorofila a, siendo estas las variables de mayor peso en el componente. Hacia la zona positiva de este componente, se puede observar un sitio considerado atípico, el río San Francisco, que presentó los mayores registros de densidad fitoplanctónica (33158 ind/mL) y de concentración de clorofila *a* (45,29 mg/m^3) encontrados durante el presente estudio.

Considerando los datos de sitios de los cuales se tiene información en ambos períodos, la densidad promedio fue menor durante el estiaje y mayor en la transición estiaje – lluvias (610 y 1.285 inv./mL respectivamente), aunque estas diferencias no llegaron a ser estadísticamente significativas ($p=0.11$). No obstante, los mayores promedios de nutrientes y temperatura y los menores registros de turbidez y sólidos se presentaron en octubre, por lo que sería de esperar que la densidad algal acompañara estos resultados ¿Porqué la densidad entre fechas se comporta en modo diferente? Posiblemente se explique por el tipo de especies más abundantes presentes en ambos períodos, en mayo se presentan en mayor densidad especies pequeñas que aportan poca biomasa mientras que en octubre se da un proceso inverso, esta explicación coincide con los promedios de *clorofila a* que son estadísticamente superiores en octubre.

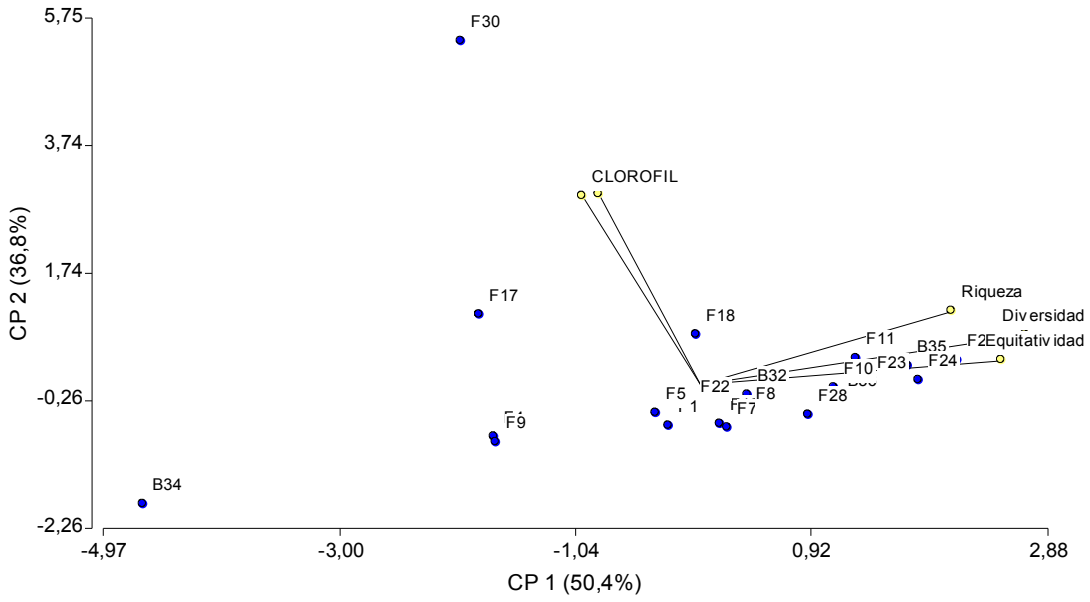


Figura 27: Análisis de Componentes Principales realizado con datos de densidad, riqueza, diversidad, equitatividad y clorofila a. en 22 sitios durante la época de estiaje.

Matriz de Autovalores

Componente	Eigenvalue	Varianza %	Acumulada
1	2,52	50	50
2	1,84	37	87

Matriz de Autovectores

Variables	1º Componente	2º Componente
Diversidad	0,61	0,17
Equitatividad	0,57	0,08
Riqueza	0,47	0,26
Clorofila *a*	-0,22	0,67
Densidad	- 0,19	0,67

1.3. Indices de saprobiedad fisicoquímicos y Pantle & Buck:

Llamamos indicadores a los parámetros físicos, químicos y biológicos que permiten evaluar la calidad del agua en función de su uso (Seoanez Calvo, 1996).

La introducción de un determinado desecho puede causar un desequilibrio en el ecosistema acuático y eventualmente producir su deterioro. Los sistemas naturales, generalmente son capaces de soportar dichas alteraciones mediante procesos de autodepuración, de modo tal que el deterioro de un ecosistema sólo se produce cuando la cantidad y calidad de los desechos introducidos superan su capacidad de recuperación (Cairns et al., 1972).

Históricamente la contaminación se ha visto como un factor dominante en la vida de los ríos y ha conducido a explicitar el uso de organismos indicadores de las distintas etapas del proceso de autodepuración (Kolkwitz y Marsson, 1909).

Las diatomeas han sido incluidas en los estudios de calidad del agua desde 1908 con las investigaciones de Kolkwitz y Marsson. Después de las investigaciones realizadas por Patrick (1949, 1957, 1964), numerosos trabajos se llevaron a cabo con el fin de evaluar la calidad del agua, destacan los llevados a cabo por Langue-Bertalot, 1979; Sladecek, 1973; Kobayashi y Mayama, 1982; Kelly y Whitton, 1995; Gómez y Licursi, 2001 y Lobo, 1995, 1996, 1997 y 2002.

Las ventajas de emplear diatomeas como indicadoras de la calidad de las aguas se resumen en los siguientes puntos: a) en su gran mayoría son cosmopolitas, b) algunas especies de este grupo son muy sensibles a los cambios ambientales, mientras que otras son muy tolerantes, c) existe mucha información ecológica referida a sus rangos de tolerancia ambiental, entre otras.

En la Argentina, se han empleado las algas del bentos para monitorear los ríos de llanura (Claps, 1996; Gómez, 1998, 1999; Gómez y Licursi, 2001; Licursi y Gómez, 2002; Tangorra et.al., 1998; Graca et. al, 2002). En el caso de los ríos de regiones montañosas del noroeste argentino, dichas algas bentónicas por deriva se incorporan en forma significativa a las comunidades del plancton (Martinez de Fabricius et al., 1988; Moraña, 1998). Se considera que el empleo de éstas últimas permite resumir adecuadamente la variación de la condición ambiental que opera a escala temporal y espacial (Salusso, 1998).

Figura 28: Variación del Indice de P & B durante la época de transición lluvia-estiaje.

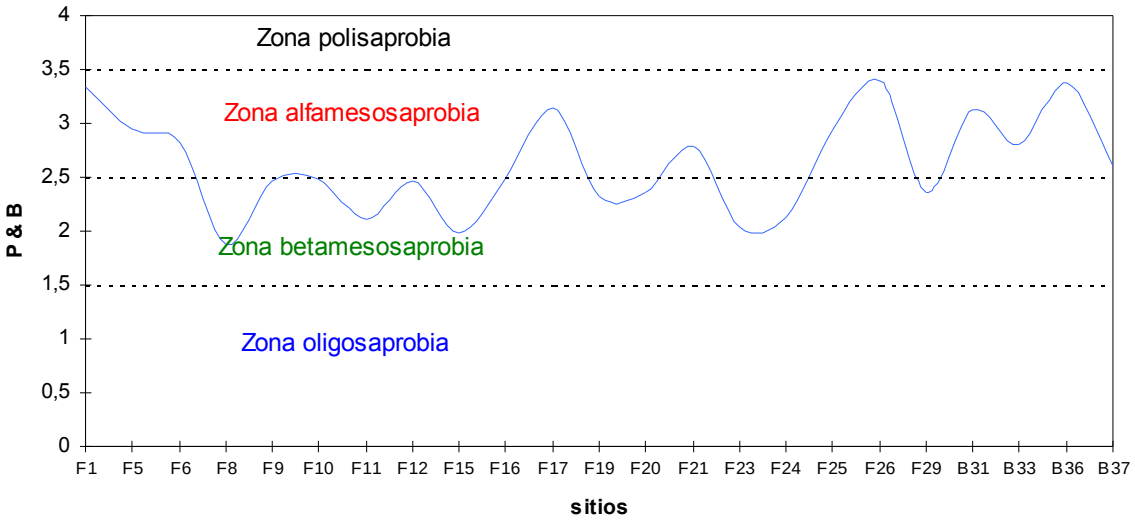
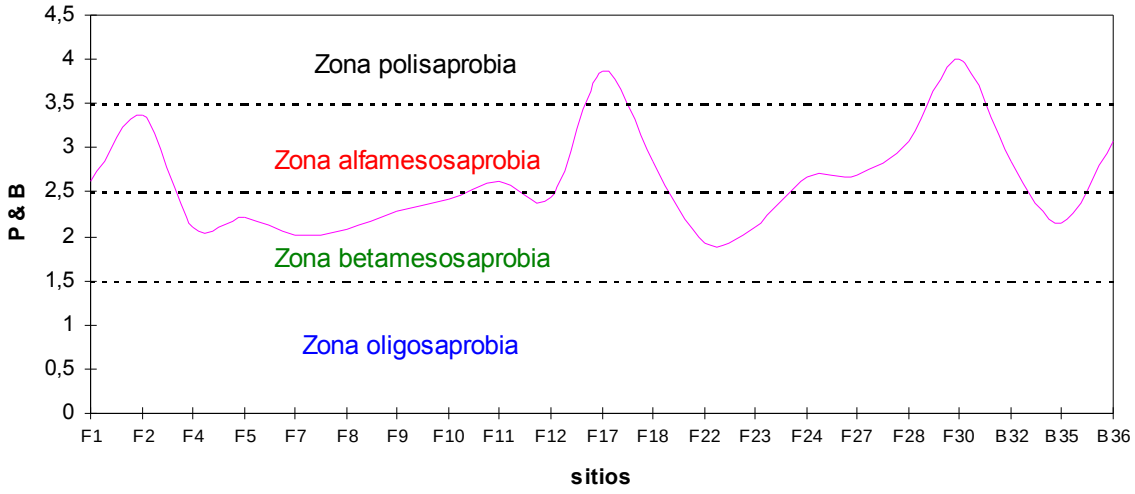


Figura 29: Variación del Indice de P & B durante la época de estiaje.



Al aplicar el índice de Pantle & Buck en los sistemas lóticos estudiados durante la época de transición lluvia – estiaje, el 52,17 % de los sitios entraron en la categoría de betamesosaprobios y el 47,83 % poseen características de alfamesosaprobios (Fig. 28). Esta situación desmejoró en la época de bajos caudales donde el 9,52 % de los sitios se encontró en el rango de polisaprobiedad, el 42,86 % fueron alfamesosaprobios y el 47,62 % betamesosaprobios (Fig. 29).

Al comparar la clasificación de los niveles de saprobiedad realizada en función de parámetros físico-químicos del agua (Lawa 1982 y Hutter 1984), con la realizada en relación al grado de saprobiedad logrado siguiendo la metodología de Pantle y Buck, no se observó una clara correspondencia entre las diferentes metodologías (tablas 20, 21 y 22).

Tabla 20: Clasificación de los niveles de saprobiedad en función de parámetros físico-químicos del agua.

Grado de saprobiedad	Tenor de carga orgánica	Oxígeno disuelto		NH_4-H mg/L
		Def.saturac %	Sobresat %	
oligosaprobio = o	ausente a escasa	0-5	0-3	<0,1
oligobetamesosaprobio = oβ	escasa	5-15	3-10	0,1
betamesosaprobio = βα	moderada	15-30	10-25	>0,1ª<0,3
beta-alfamesosaprobio = βα	crítica	30-50	25-50	>0,3ª<0,7
alfamesosaprobio = α	fuerte	50-75	50-100	>0,7ª<3
alfamesopolisaprobio = αp	muy fuerte	79-90	>100	>3ª<9
polisaprobio = p	excesiva	>90	-	>9

Fuentes: Lawa (1982) modificado
Hutter (1984) modificado
Hamm In Shaffer (1985)

Durante la transición lluvia-estiaje, considerando el grado de saprobiedad estimado en relación a la concentración de amonio, la mayoría de los sitios estudiados fueron oligosaprobios, los sitios más contaminados, el río Saladillo y los arroyos Zanjón Seco y Riacho Seco, clasificaron como betamesosaprobios (tablas 20 y 21).

Una situación diferente se observó al estimar el grado de saprobiedad en función del déficit de saturación del oxígeno disuelto, ya que en función de este parámetro no existió ningún sitio en el rango de la oligosaprobiedad, clasificándose el 21,74% de los sitios como betamesosaprobios y el 78,26% restante como betaalfamesosaprobios (tablas 20 y 21).

Si observamos los resultados expuestos en la tabla 21, solamente en el caso del Río Saladillo, los tres índices coincidieron en ubicarlo como betamesosaprobio, en el resto de los sitios no se observó este grado de coincidencia entre los diferentes índices de saprobiedad. No

obstante, también podemos observar que la clasificación basada en el déficit de saturación del oxígeno disuelto y la lograda a través del índice de P&B utilizando datos biológicos (densidad de diatomeas), tuvieron mayor grado de coincidencias que las que se observaron entre éste último método y la concentración de amonio. En este contexto, en función de los datos de oxígeno y el índice de P&B los ríos: Lavayén, Grande en Tilcara, San Lorenzo, Bermejo (en Elordi y en Aguas Blancas) y Blanco, se presentaron como sitios de aguas que sufrieron un fuerte grado de contaminación orgánica.

Tabla 21: Grados de saprobiedad en función de parámetros físico-químicos y biológicos (P&B), analizados durante la época de transición lluvia-estiaje, en mayo de 1999.

Lugar de muestreo	NH_4	Saprob NH_4	O.D. deficit %	Saprob O.D.	P&B	Saprob P&B
Río Grande (Humahuaca)	0,01	o	25,4	β	3,34	α
Río Grande (Tilcara)	0,02	o	33,4	βα	2,95	α
Río Purmamarca	0,03	o	21,9	β	2,83	α
Río Lozano	0,01	o	26,1	β	1,88	β
Río Yala	0,01	o	31,3	βα	2,47	β
Aº Coyamayo	0,01	o	30,1	βα	2,49	β
Aº Barcaza	0,01	o	31,1	βα	2,11	β
Río Reyes	0,01	o	28,8	β	2,47	β
Río Mojotoro	0,07	o	41,7	βα	1,99	β
Río Saladillo	0,14	β	27,1	β	2,49	β
Río Lavayén	0,08	o	47,6	βα	3,15	α
Río Negro	0,09	o	38,1	βα	2,33	β
Río Ledesma	0,03	o	44,3	βα	2,36	β
Río San Lorenzo	0,02	o	41,3	βα	2,78	α
Río Sora	0,05	o	46,2	βα	2,04	β
Aº Los Berros	0,03	o	44,3	βα	2,13	β
Aº Zanjón Seco	0,11	β	42,1	βα	2,92	α
Aº Sauzalito	0,07	o	34,6	βα	3,40	α
Aº Riacho Seco	0,12	β	39,7	βα	2,36	β
Río Bermejo (Elordi)	0,09	o	46,2	βα	3,13	α
Río Blanco	0,10	oβ	41,7	βα	2,80	α
Aº Quebrada Colorada	0,10	oβ	40,8	βα	3,38	α
Río Bermejo (Ag.Blancas)	0,06	o	31,8	βα	2,60	α

Durante el estiaje, considerando el grado de saprobiedad estimado en relación a la concentración de amonio, la mayoría de los sitios estudiados clasificaron como no poluidos o de polución ligera: (57,14%) fueron oligosaprobios, el 14,29 % de los sitios clasificaron

como oligobetamesosaprobios, siendo el río Grande a la altura de la ruta provincial Nº1 (alfamesosaprobio) el sitio considerado como afectado por polución fuerte (tablas 20 y 22).

Una situación diferente se observó al estimar el grado de saprobiedad en función del déficit de saturación del oxígeno disuelto, ya que en función de este parámetro no existió ningún sitio en el rango de la oligosaprobiedad, clasificándose el 61,90% de los sitios como betaalfamesosaprobios, el 14,28% como betamesosaprobios, el 19,05% alfamesosaprobios, y el 4,76% alfamesopolisaprobio, correspondiendo éste último porcentaje al sitio más poluido, el río Grande en la ruta prov. Nº1 (tablas 20 y 22).

Tabla 22: Grados de saprobiedad en función de parámetros físico-químicos y biológicos (P&B), analizados durante la época de estiaje, en octubre de 1999.

Lugar de muestreo	NH_4	Saprob NH_4	O.D. deficit %	Saprob O.D.	P&B	Saprob P&B
Río Grande (Humahuaca)	0,08	o	41,0	βα	2,622	α
Aº de la Señorita	0,23	β	45,3	βα	3,363	α
Aº Qbra. Jueya	0,12	β	47,8	βα	2,099	β
Río Grande (Tilcara)	0,18	β	45,8	βα	2,223	β
Río León	0,06	o	46,3	βα	2,017	β
Río Lozano	0,07	o	41,9	βα	2,080	β
Río Yala	0,06	o	44,5	βα	2,287	β
Aº Coyamayo	0,16	β	45,2	βα	2,420	β
Aº Barcaza	0,10	oβ	36,5	βα	2,624	α
Río Reyes	0,05	o	41,0	βα	2,448	β
Río Lavayén	0,12	β	61,0	α	3,871	p
Río Grande R.P.Nº 1	0,76	α	80,4	αp	2,850	α
Río Aguas Negras	0,08	o	44,1	βα	1,932	β
Río Sora	0,08	o	29,3	β	2,099	β
Aº Los Berros	0,10	oβ	41,6	βα	2,659	α
Aº Yuto	0,07	o	27,4	β	2,702	α
Río de las Piedras	0,04	o	39,3	βα	3,067	α
Río San Francisco	0,10	oβ	54,0	α	3,992	p
Río Colorado	0,05	o	55,5	α	2,859	α
Aº Solazuty	0,05	o	50,9	α	2,153	β
Aº Quebrada Colorada	0,09	o	15,7	β	3,075	α

El índice de P&B arrojó los siguientes resultados: 47,62% de los sitios clasificaron como betamesosaprobios o de polución ligera, 42,86% fueron alfamesosaprobios considerando a este grado de saprobiedad como de polución fuerte y el 4,76 % polisaprobio, correspondiendo éste último valor al río Lavayén, considerado según este índice como de polución orgánica muy fuerte.

1.4. Relaciones con las variables físico-químicas:

Se empleó el Coeficiente de Correlación de Pearson para estudiar las relaciones significativas entre las variables fisicoquímicas y biológicas, considerando los datos obtenidos de 14 sitios (F1, F5, F8, F9, F10, F11, F12, F22, F23, F24, B32, B35 y B36) de los cuales se obtuvo información, tanto de los factores fisicoquímicos como de las comunidades fitoplanctónicas, durante las situaciones hidrológicas de transición lluvia-estiaje y estiaje propiamente dicho.

Las cianofitas muestran numerosas adaptaciones fisiológicas a condiciones extremas tales como: déficit de oxígeno, escasez de nutrientes, bajas intensidades lumínicas, altas conductividades específicas, entre otras (O`Farrell et al., 2003). La abundancia de cianofitas se encontró correlacionada positivamente con los valores de conductividad (r=0,56; p= 0,002), sólidos totales (r= 0,47; p= 0,01), alcalinidad (r= 0,51; p= 0,01) y consecuentemente con esta última correlación, se observó su relación positiva con las concentraciones de carbonatos (r= 0,53; p= 0,004) y bicarbonatos (r= 0,49; p= 0,01). Se observó una relación positiva con la concentración de ortofosfatos (r= 0,49; p= 0,01), estos datos se contraponen a los obtenidos por De León y Chalar (2003) en un estudio realizado en el embalse Salto Grande, donde el mayor desarrollo de cianofitas coincidió con concentraciones indetectables de fósforo.

Las cianofitas están bien adaptadas para vivir bajo condiciones anoxias, y en adición a la respiración normal aeróbica en oscuridad, virtualmente todas las especies constituyen masas microbianas capaces de realizar procesos de fermentación (Stal y Moezelaar, 1997). Además, en adición a la fotosíntesis normal aeróbica, numerosas especies son capaces de fotosíntesis anoxigénica dependiente del sulfuro (Garlick et al. 1977; Sorokin, 1999). Esto explicaría la correlación negativa observada entre la abundancia de cianofitas y los tenores de oxígeno disuelto (r= - 0,38; p= 0,04).

La abundancia de euglenofitas estuvo fuertemente correlacionada con los valores de sólidos suspendidos (r= 0,76; p= 0,000) y consecuentemente con los registros de turbidez (r= 0,56; p= 0,002). Se ha reportado a numerosas especies de euglenofitas como mixotróficas (Jones, 1994, 2000). Condiciones desfavorables de luz y concentraciones de COD relativamente altas pueden presentar una desventaja a los fotótrofos obligados, por la limitación de luz, y el incremento en la competencia con las bacterias por los nutrientes inorgánicos. En otras palabras, la mixotrofía provee suplementación de nutrientes a través de la ingesta de bacterias o de COD (Jones, 2000). Al igual que las cianobacterias, se observó una relación positiva con el fósforo, aunque en éste caso en su forma de fósforo total (r= 0,45;

p= 0,02). Por último, se observó una correlación negativa entre las abundancias de euglenofitas y los registros de pH (r= - 0,38; p= 0,05).

Las diatomeas sólo se correlacionaron negativamente con la concentración de amonio (r= - 0,38; p= 0,05), similar comportamiento se observó en estudios realizados en el río Gastona de la provincia de Tucumán (Mirande, 2001).

El resto de los grupos algales no presentaron correlaciones significativas con ningún parámetro fisicoquímico.

El análisis de correlación canónica realizado considerando como variables dependientes a las abundancias de bacillariofitas, cianofitas, clorofitas, euglenofitas, crisofitas y criptofitas; y como variables independientes a las concentraciones de amonio, fósforo total, ortofosfatos, carbonatos, bicarbonatos, oxígeno disuelto, sólidos totales, sólidos suspendidos y turbidez; mostró que las dos primeras correlaciones canónicas resultaron ser altamente significativas (figuras 30 y 31).

Se observó que los valores de la primera y segunda correlación canónica fueron 0,96 y 0,93 respectivamente. La prueba de significancia indicó que tan solo estas dos correlaciones canónicas fueron estadísticamente diferentes de cero (p= 0,000 y p= 0,002, respectivamente).

La proporción de la varianza total de los datos explicada por el primer par de variables canónicas (primera correlación canónica) fue del 91 % y para el segundo par del 86 %. La construcción del primer par de variables canónicas (C1-1= dependiente; y C2-1= independiente) en función de los coeficientes canónicos (estandarizados) de las combinaciones lineales, resultó en las siguientes fórmulas:

Variable canónica dependiente o variable de criterio o endógena:

C1-1 = - 0,20 x [bacillariofitas] - 0,06 x [cianofitas] - 0,20 x [clorofitas] + 0,96 x [euglenofitas] - 0,14 x [crisofitas] + 0,21 x [criptofitas]

Variable canónica independiente o variable predictora o exógena:

C2-1 = 0,02 x [amonio] - 0,16 x [oxígeno] - 1,41 x [turbidez] + 0,02 x [fosforo total] + 0,02 x [ortofosfato] - 0,35 x [sólidos totales] + 2,21 x [sólidos suspendidos] + 0,20 x [carbonatos] + 0,16 x [bicarbonatos]

Los coeficientes canónicos de la primer variable canónica dependiente sugieren que las abundancias de fitofagelados (euglenofitas, criptofitas y crisofitas) poseen la mayor influencia en su formación.

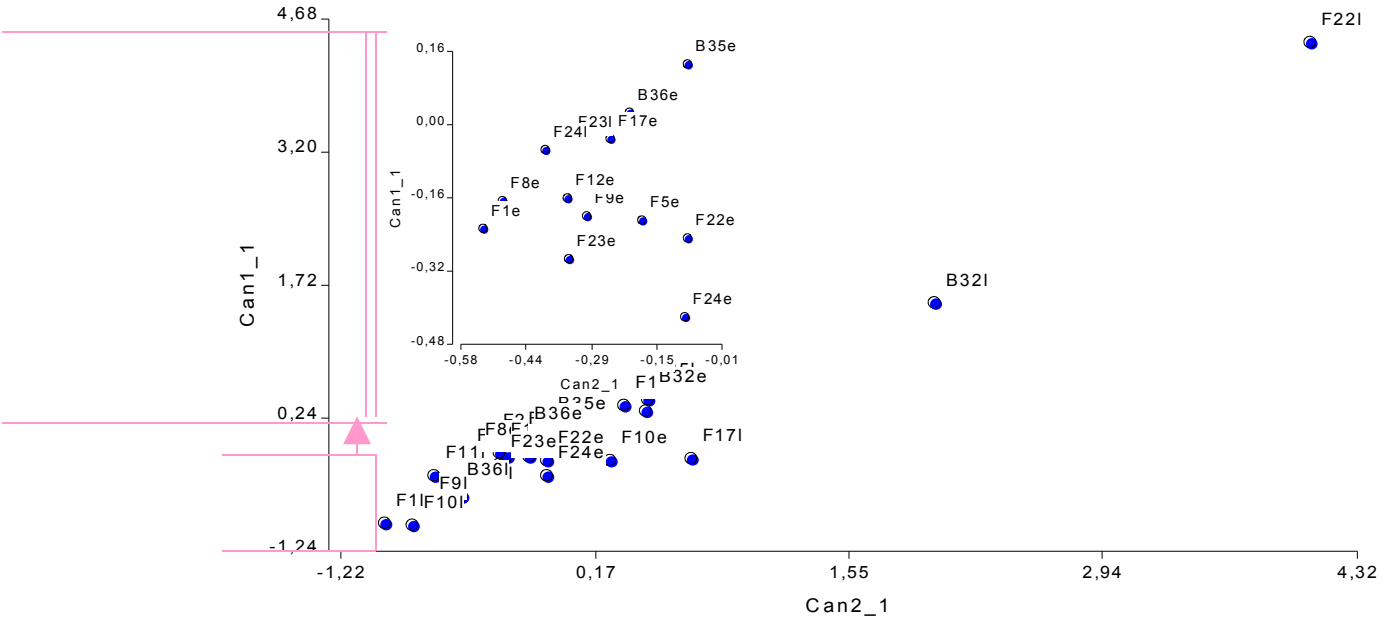


Figura 30: Primera Correlación Canónica realizada con datos estandarizados de 14 sitios en ambos períodos hidrológicos. (R=0,96; R^2=0,91; p=0,000).

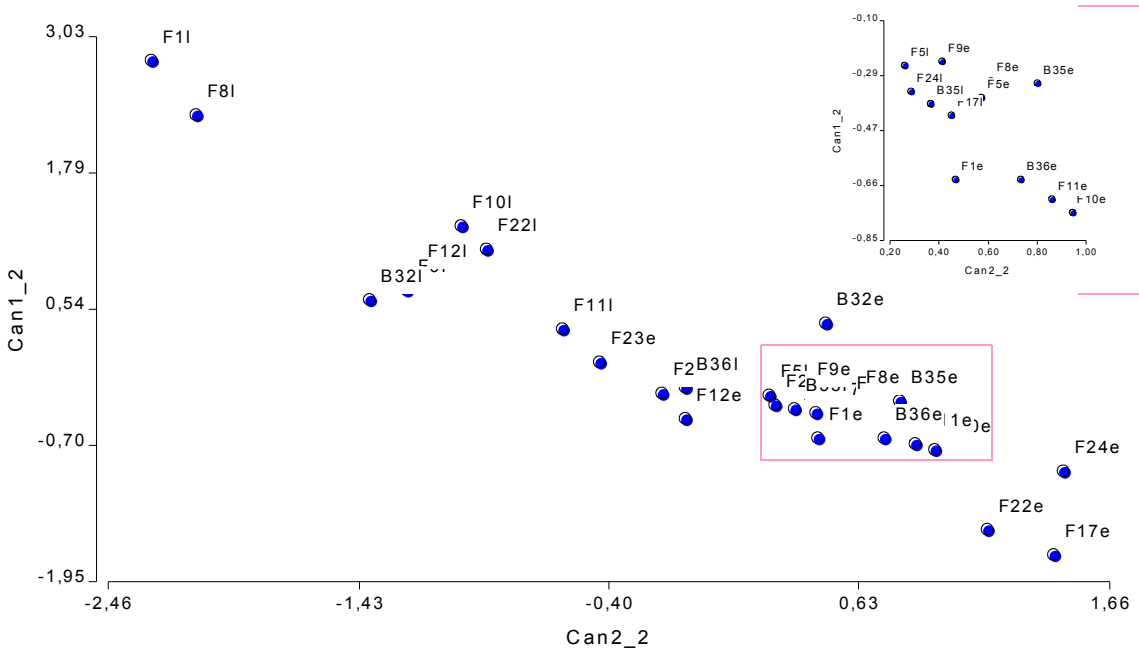


Figura 31: Segunda Correlación Canónica realizada con datos estandarizados de 14 sitios en ambos períodos hidrológicos. (R=0,93; R^2=0,86; p=0,002).

De acuerdo con Reynolds (1988) la comunidad fitoplanctónica se estructura básicamente en relación a la disponibilidad de nutrientes y luz. En ambientes con disponibilidad de nutrientes, predominan organismos oportunistas, de rápido crecimiento y reproducción, generalmente de pequeño tamaño y alta relación superficie/volumen, denominados C-estrategas.

Al realizar el gráfico de la primera correlación canónica (figura 30), donde la variable canónica independiente (C2-1) se ubicó en el eje X y la dependiente (C1-1) en el eje Y, podemos observar la distribución espacial de los sitios estudiados, hacia la parte positiva de la C1-1 se ubicaron las muestras de los ríos Aguas Negras (F22l) y Colorado (B32l) colectadas durante la época de transición lluvia -estiaje. La presencia cuantitativamente dominante de fitoflagelados en ellos, podría entonces explicarse por sus características de organismos oportunistas, alta relación superficie/volumen, alta eficiencia para la incorporación de nutrientes y alta tasa de reproducción (Reynolds, 1984, 1988). Ello los coloca en el grupo de los C-estrategas. En concordancia con lo antes explicado, estos dos ríos presentan altas concentraciones de nutrientes.

Los coeficientes canónicos de la primer variable canónica independiente sugieren que las concentraciones de sólidos suspendidos y las lecturas de turbidez poseen el mayor peso en su formación. Tal como se observa en la figura 30, los sitios F22l y B32l, durante la transición lluvia-estiaje, se encuentran alejados del resto de los sistemas lóticos estudiados debido a que poseen los mayores registros de sólidos suspendidos y turbidez.

La construcción del segundo par de variables canónicas (C1-2= dependiente; y C2-2= independiente) en función de los coeficientes canónicos (estandarizados) de las combinaciones lineales resultó en las siguientes fórmulas:

Variable canónica dependiente o variable de criterio o endógena:

C1-2 = 0,05 x [diatomeas] - 0,59 x [cianobacterias] + 0,81 x [clorofitas] + 0,08 x [euglenofitas] + 0,55 x [crisoficeas] - 0,49 x [criptoficeas]

Variable canónica independiente o variable predictora o exógena:

C2-2 = 0,19 x [amonio] - 0,84 x [oxígeno] + 1,81 x [turbidez] + 0,86 x [fósforo total] - 0,67 x [ortofosfato] - 1,08 x [sólidos totales] - 2,31 x [sólidos suspendidos] + 0,64 x [carbonatos] + 0,75 x [bicarbonatos]

Los coeficientes canónicos de la segunda variable canónica dependiente sugieren que las abundancias de clorofitas y cianofitas poseen la mayor influencia en su formación, mientras que en la segunda variable canónica independiente, los mayores pesos fueron aportados por las concentraciones de sólidos suspendidos y turbidez.

Al realizar el gráfico de la segunda correlación canónica, donde la variable canónica independiente (C2-2) se ubicó en el eje X y la dependiente (C1-2) en el eje Y, se observó que la variable canónica independiente representó a las variaciones correspondientes al ciclo hidrológico, así podemos observar que, hacia la región positiva de la variable canónica independiente se ubicaron los sitios muestreados durante la época de estiaje, mientras que hacia la parte negativa se encontraron distribuidos los sitios en la época de transición lluvia-estiaje (figura 31).

2. ANÁLISIS BACTERIOLÓGICOS

2.1. Generalidades y comparación con valores guía:

Las bacterias presentan una serie de estrategias fisiológicas que les permiten aprovechar los distintos recursos energéticos que les ofrecen las condiciones físico-químicas de los ambientes acuáticos.

La dinámica poblacional bacteriana, cuyos tiempos de generación se expresan en horas, se traduce en adaptaciones rápidas a los cambios ambientales, con alternancia de especies dominantes en períodos muy cortos.

Las bacterias que se encuentran en el agua pueden agruparse en tres clases: bacterias naturales del agua, bacterias del suelo (llegan al cuerpo de agua por escorrentía) y bacterias de origen intestinal.

Entre los organismos de origen intestinal se encuentran los provenientes de la flora normal del intestino del hombre y de los animales de sangre caliente considerándose indicadores de contaminación. Entre éstos se pueden enumerar los siguientes: los bacilos del género *Clostridium*, los cocos del género *Streptococcus* y los bacilos no esporógenos de los géneros *Escherichia*, *Enterobacter* y *Proteus*.

En los análisis rutinarios de laboratorio, no se acostumbra diferenciar las especies, ya que se les considera a todas, en forma colectiva, como miembros del **grupo coliformes**, dándosele la misma importancia desde el punto de vista sanitario. La determinación de la presencia del grupo coliforme constituye el indicio más delicado y fidedigno de polución.

El grupo coliforme está formado por todas las bacterias aerobias y anaerobias facultativas, gramnegativas, no formadoras de esporas y con forma de bastón que fermentan la lactosa, produciendo gas y ácido en 48 hs. a 35 ºC.

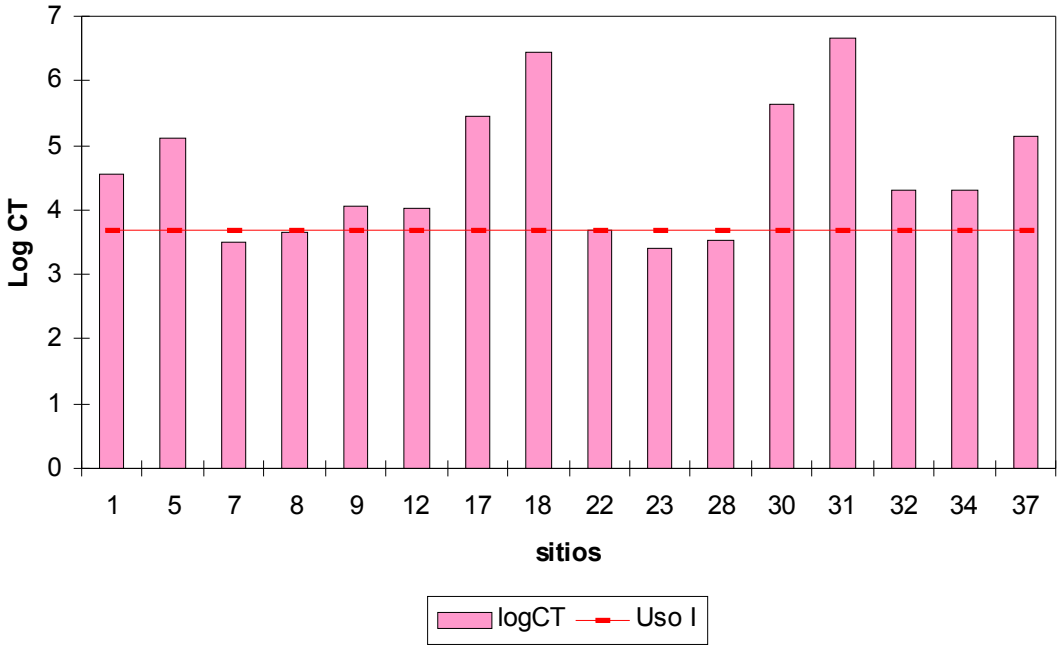
Desde la propuesta de utilizar los coliformes totales (CT) y los coliformes fecales (CF) como indicadores de contaminación fecal y de la posible presencia de patógenos, se han escrito diversos artículos y revisiones donde se discute si realmente sirven como tales y, además, sobre las ventajas y desventajas de usar otros indicadores bacterianos u otros microorganismos para estos objetivos (Baker, 1995; Cabelli, 1982; Gleeson y Gary, 1996). Esas discrepancias posiblemente reflejen la diversidad y variabilidad inherente a los ambientes estudiados. En nuestro país, al igual que en muchos otros, el grupo coliforme ha sido y sigue siendo empleado como indicador del posible deterioro bacteriológico de las aguas (Emiliani y González de Paira, 1998).

El recuento de bacterias coliformes totales efectuado en cursos lóticos de la cuenca durante el período de estiaje, arrojó como resultados que el 69 % de los sitios sobrepasa los valores permitidos por la Secretaría de Recursos Hídricos para el Uso I (5.000 NMP/100 mL), esto nos indica que dichos sitios no podrían ser utilizados como fuente de agua para consumo humano si solamente se le aplica un tratamiento convencional (figura 30). Esta situación se agrava al confrontar los valores obtenidos (tabla 23) con el máximo permitido para el Uso III (1.000 NMP/100 mL), dado que el 100% de los sitios estudiados sobrepasan el límite de bacterias coliformes totales permitido para el uso de las aguas con fines agropecuarios (figura 32).

El problema es más que serio si tomamos en consideración que la mayoría de los ríos y arroyos de la cuenca se utilizan como fuente de agua para riego.

Tabla 23: Resultados de los análisis bacteriológicos realizados durante la época de bajos caudales, octubre de 1999.

Lugar	Nº	Coliformes totales NMP/100mL	Coliformes fecales NMP/100mL
Río Grande en Humahuaca	1	36.000	380
Río Grande en Tilcara	5	132.000	1.000
Río León	7	3.090	20
Río Lozano	8	4.500	30
Río Yala	9	11.300	0
Río Reyes	12	10.500	0
Río Lavayén	17	279.000	3.300
Río Grande en RPNº1	18	2.750.000	183.000
Río Aguas Negras	22	3.500	204
Río Sora	23	2.540	133
Río de las Piedras	28	3.290	2.270
Río San Francisco	30	430.000	25.000
Río Bermejo en Elordi	31	4.470.000	291.000
Río Colorado	32	20.600	1.280
Río Pescado	34	19.800	200
Río Bermejo en Aguas Blancas	37	140.000	500



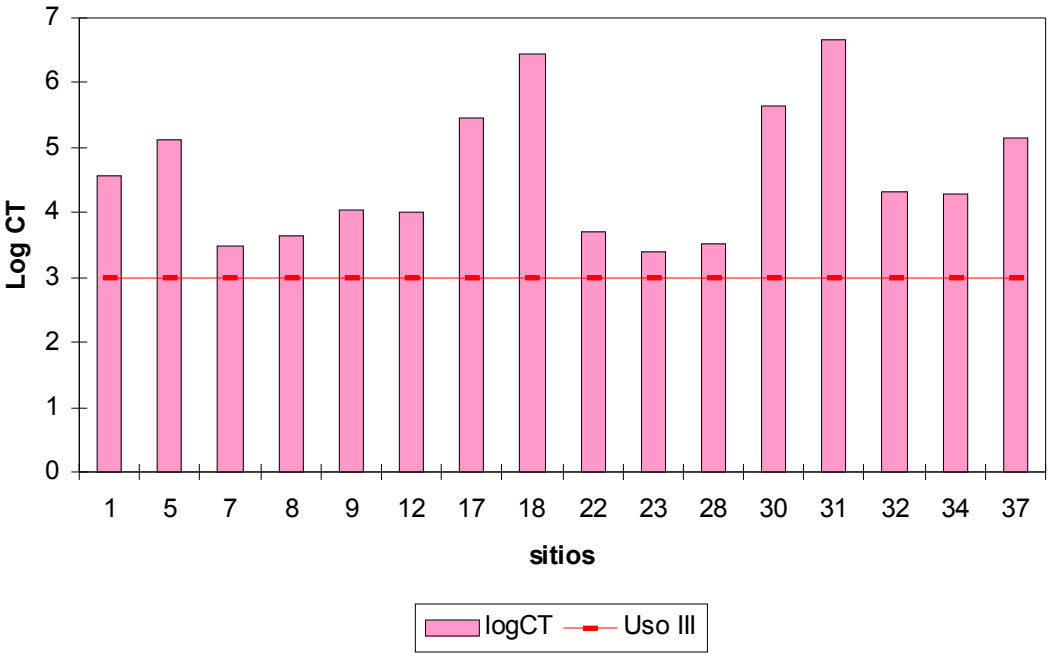


Figura 32: Logaritmos en base 10 de los datos de NMP/100 mL de bacterias coliformes totales (CT) en los sitios de estudio, y su relación con los valores guía propuestos para los usos I y III.

El grupo de bacterias coliformes fecales, actualmente denominadas coliformes termorresistentes, comprende el género *Escherichia* y en menor grado especies de *Klebsiella*, *Enterobacter* y *Citrobacter*. Los coliformes termorresistentes distintos de *E. coli* pueden proceder también de aguas orgánicamente enriquecidas, por ejemplo de efluentes industriales, o de materias vegetales y suelos en descomposición (OMS, 1995).

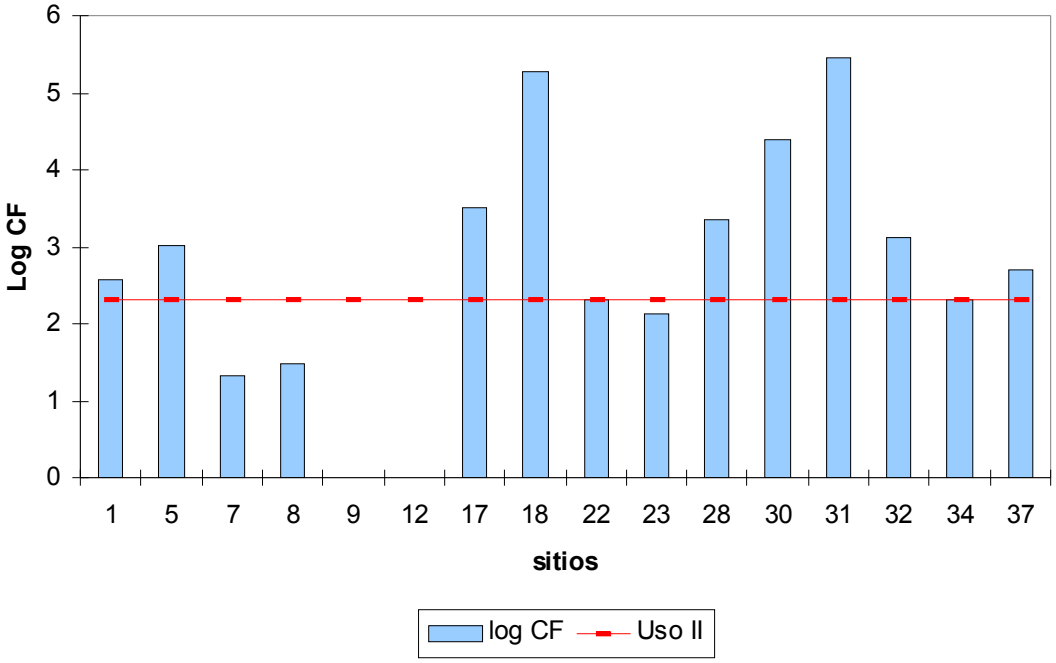
Las concentraciones de coliformes termorresistentes están, en la mayor parte de los casos, en relación directa con las de *E. coli*. Por ello, su utilización para evaluar la calidad del agua se considera aceptable en los exámenes sistemáticos.

El recuento de bacterias coliformes fecales efectuado en cursos lóticos de la cuenca durante el período de estiaje, arrojó como resultados que el 44 % de los sitios sobrepasa los valores permitidos por la Secretaría de Recursos Hídricos para el Uso I (1.000 NMP/100 mL) (figura 33). Esta situación se agrava al confrontar los valores obtenidos (tabla 23) con el máximo permitido para el Uso II (200 NMP/100 mL), dado que el 69 % de los sitios estudiados sobrepasan el límite de bacterias coliformes fecales permitido para el uso de actividades recreativas con contacto directo (figura 33).

Se ha comprobado que existen correlaciones entre variables fisicoquímicas y microbiológicas, tales como turbiedad, concentración de coliformes termorresistentes, oxígeno consumido, etc., con la concentración en el agua de parásitos de *Cryptosporidium* y *Giardia* (Abramovich et al., 2000).

Los quistes de *Giardia* y ooquistes de *Cryptosporidium*, han sido detectados en numerosas investigaciones de aguas superficiales. Particularmente este último es considerado ubicuo en medios acuáticos. La presencia de parásitos en el agua puede indicarnos la potencialidad de su transmisión hídrica.

Los enteroparásitos *Cryptosporidium* y *Giardia* se trasmiten por ruta fecal – oral, y potencialmente pueden hacerlo a traves del agua, habiéndose reportado numerosos brotes de origen hídrico. Su capacidad para adaptarse al medio ambiente, ha sido registrada en muchos países del mundo. El *Cryptosporidium parvum* es el causante de criptosporidiosis en humanos. Esta afección se manifiesta como un proceso diarreico, benigno y autolimitado en los individuos inmunocompetentes, pero con graves y a veces fatales consecuencias en los inmunodeprimidos (Abramovich et al., 1999). La *Giardia* infecta el intestino delgado del hombre y algunos mamíferos, causando diarrea, náuseas y síndrome de malabsorción.



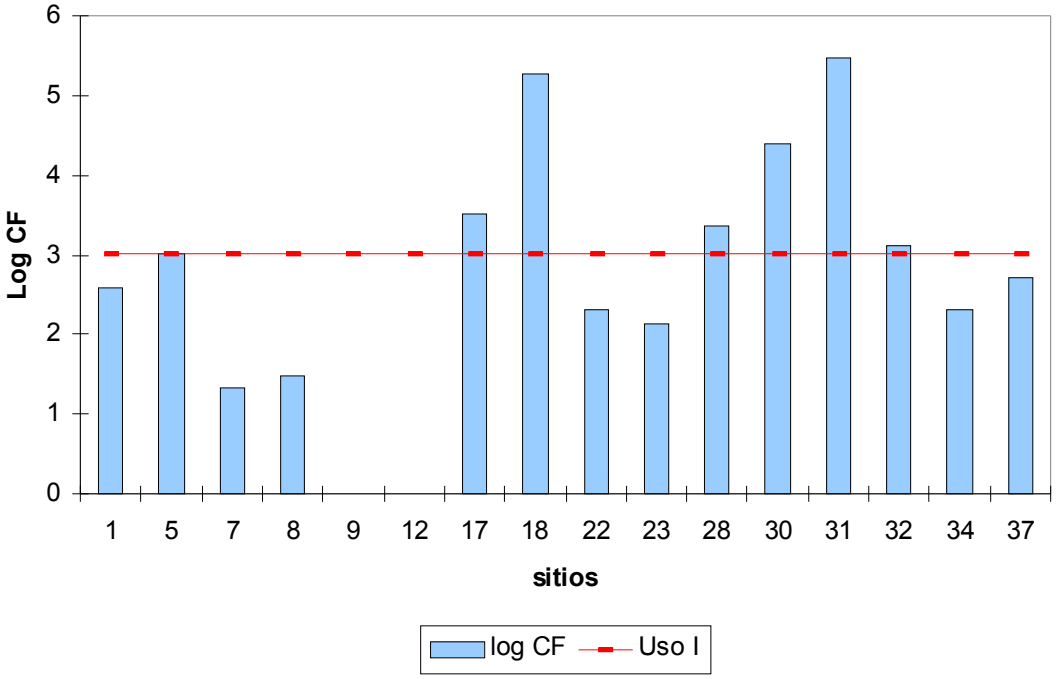


Figura 33: Logaritmos en base 10 de los datos de NMP/100 mL de bacterias coliformes fecales (CF) en los sitios de estudio, y su relación con los valores guía propuestos para los usos I y II.

La contaminación del agua por los microorganismos indicadores, está en general asociada a otros fenómenos de polución orgánica, ya que no siendo originarios del ambiente acuático solamente tienen acceso a éste por vía de los desechos cloacales (Cairncross, 1992).

Es por eso que la mayoría de los estudios bacteriológicos en medios acuáticos están dirigidos hacia los cuerpos de agua dulce, entre los cuáles los de mayor interés son los ríos, por su estrecha vinculación con la vida del hombre, ya que el agua puede ser vehículo de numerosos microorganismos patógenos. En este sentido cobran importancia numerosas enfermedades bacterianas de transmisión hídrica como fiebre tifoidea y paratifoidea (*Salmonella* sp.), cólera (*Vibrio* sp.), disentería bacilar (*Shigella* sp.), entre otras.

Podemos tratar de relacionar la información obtenida en párrafos anteriores con algunas estadísticas sanitarias de la zona, y comprobar de este modo, la peligrosidad de contar con cuerpos de agua de mala calidad bacteriológica.

Así tenemos que ríos como el Bermejo (tanto en Elordi como en Aguas Blancas), el Colorado, el Pescado, San Francisco y de las Piedras, se cuentan entre los que poseen mayores valores de coliformes totales y fecales, la incidencia de esta mala calidad bacteriológica se ve reflejada en las estadísticas sanitarias. La provincia de Salta se divide en cuatro regiones desde el punto de vista sanitario, la región norte, a la cual pertenecen todos los ríos antes mencionados, es la que presenta los números más altos de casos con patologías relacionadas a enfermedades hídricas. Así tenemos, en las estadísticas del año 1997, 252 casos de Estreptocosias, 304 de cólera y 8.430 casos de diarreas en niños mayores de 5 años, alcanzando cifras de 19.294 niños menores de 5 años con patologías diarreicas, la evolución de las estadísticas de años posteriores se observan en la tabla 24 (Programa de vigilancia epidemiológica. Salta).

Esta situación se torna más delicada al confrontar con los porcentajes de desnutrición infantil, dado que la región norte es la que presenta los mayores índices de desnutrición, 21 % entre los menores de 2 años y 9 % entre los 2 a 5 años (Programa de educación para la salud en la escuela. 1998). O sea, que además de contar con aguas de mala calidad bacteriológica, estas personas no cuentan con un sistema inmunológico óptimo que les permita “combatir” adecuadamente a los parásitos productores de enfermedades, generándose de esa forma altas tasas de mortalidad infantil (20,96 ‰ en el año 1997).

Tabla 24: Estadística de la incidencia de enfermedades de origen hídrico en la región norte de la provincia de Salta. (Programa de vigilancia epidemiológica. Dirección general de epidemiología. Ministerio de Salud Pública. Salta. Años 1997, 1998 y 1999).

Enfermedad	Año 1997	Año 1998	Año 1999
Estreptocosias	252	224	236
Cólera	304	2	0
Diarrea niños > 5 años	8.430	9.327	9.430
Diarrea niños < 5 años	19.294	20.944	23.118
Tifoidea o paratifoidea	17	7	4
Parasitosis intestinal	12.098	13.124	13.474

Debe tenerse en consideración, así mismo, la existencia de numerosas poblaciones de bajos recursos y de comunidades aborígenes, que asentadas en las márgenes de los ríos, se dedican a la pesca artesanal y consumen el agua en forma directa sin tratamiento alguno de potabilización. Estas poblaciones son particularmente vulnerables desde las perspectivas toxicológicas y epidemiológica. El que sólo un bajo porcentaje de la población total de la región esté en contacto directo con la fuente de contaminación, no significa un hecho de menor importancia, ya que para la difusión de una enfermedad infectocontagiosa bastan unos pocos individuos enfermos.

2.2. Relaciones con las variables físico-químicas:

De acuerdo con la clase de hábitat acuático, la composición de la flora bacteriana difiere ampliamente dependiendo del contenido en el agua de material orgánico e inorgánico, pH, turbidez, temperatura y de las fuentes que pueden introducir microorganismos al agua. Las poblaciones bacterianas, por tanto, difieren en su número y calidad, según la procedencia del agua, su composición de elementos nutritivos y las condiciones biológicas, climatológicas y geográficas.

El desarrollo de los microorganismos en el agua está íntimamente ligado a las condiciones ambientales en las cuales viven, destacándose en particular, la carga de materia orgánica y nutrientes minerales, la concentración de oxígeno, el pH y los materiales en suspensión. Esto quedó confirmado con el análisis de regresión lineal realizado entre las concentraciones de las bacterias coliformes y los mencionados parámetros fisicoquímicos.

En el presente estudio se observaron relaciones inversas y altamente significativas entre las concentraciones de bacterias coliformes (CT y CF) y los registros de oxígeno disuelto y pH (tabla 25). Estas relaciones son lógicas ya que, el oxígeno es consumido por los mismos microorganismos, que lo utilizan en el proceso de degradación de la materia orgánica. En ríos perturbados por la incorporación de desechos orgánicos, la densidad poblacional bacteriana

suele ser elevada, del orden de varios millones por mililitro. La degradación aeróbica en estas condiciones se presenta a gran escala, pudiendo llegar a agotar el contenido de oxígeno en el agua. Con relación al pH, los valores extremos suelen ser inhibitorios, el rango de pH observado fue de 7,6 a 8,71, por lo que el mayor desarrollo bacteriano ocurrió en aquellos sitios que poseían valores de pH inferiores a 8.

Tabla 25: Resultados de los análisis de Regresión Lineal efectuados, entre las concentraciones de Coliformes Totales y Coliformes Fecales y los parámetros fisicoquímicos.

Variables independiente	Variables dependientes	Tipo de relación	r^2	p
Oxígeno disuelto	CT	Negativa	0,752	0,001
	CF		0,740	0,001
pH	CT	Negativa	0,686	0,003
	CF		0,674	0,004
Turbidez	CT	Positiva	0,827	0,000
	CF		0,818	0,000
DQO	CT	Positiva	0,853	0,000
	CF		0,849	0,000
Sólidos totales	CT	Positiva	0,855	0,000
	CF		0,841	0,000
Sólidos suspendidos	CT	Positiva	0,849	0,000
	CF		0,844	0,000
Amonio	CT	Positiva	0,748	0,001
	CF		0,753	0,001
Nitrito	CT	Positiva	0,489	0,055
	CF		0,493	0,052
Fosfato	CT	Positiva	0,502	0,048
	CF		0,510	0,044
Fósforo total	CT	Positiva	0,988	0,000
	CF		0,988	0,000
Hierro	CT	Positiva	0,923	0,000
	CF		0,928	0,000

r^2 = coeficiente de determinación **p** = probabilidad

Las relaciones entre los registros de coliformes y los parámetros vinculados al aumento de materia orgánica (DQO) y nutrientes inorgánicos (NH_4, NO_2, PO_4 y PT), fue en todos los casos positiva. Estas son relaciones obvias, ya que si pensamos en el crecimiento bacteriano como en una relación química de síntesis, al aumentar el sustrato se producirá un aumento del producto, que en este caso sería un aumento en la tasa de división celular y consecuentemente de la concentración de bacterias en el agua.

También se observaron relaciones positivas y altamente significativas entre las concentraciones bacterianas y los parámetros relacionados a la incorporación autóctona y alóctona, ésta última proveniente del lavado de los suelos, de material en suspensión (turbidez y sólidos). Dentro del material autóctono, se encuentran las algas en suspensión, sedimentos del lecho y materia orgánica en descomposición propia del sistema acuático. Las bacterias heterótrofas cumplen un rol fundamental en el mismo, ya que una fracción muy importante de la producción primaria algal es excretada como materia orgánica disuelta y utilizada por las bacterias que la trasforman en carbono particulado como biomasa bacteriana (Williams y Yentsch, 1976; Pourriot y Meybeck, 1995).

ANALISIS POR ECORREGIONES

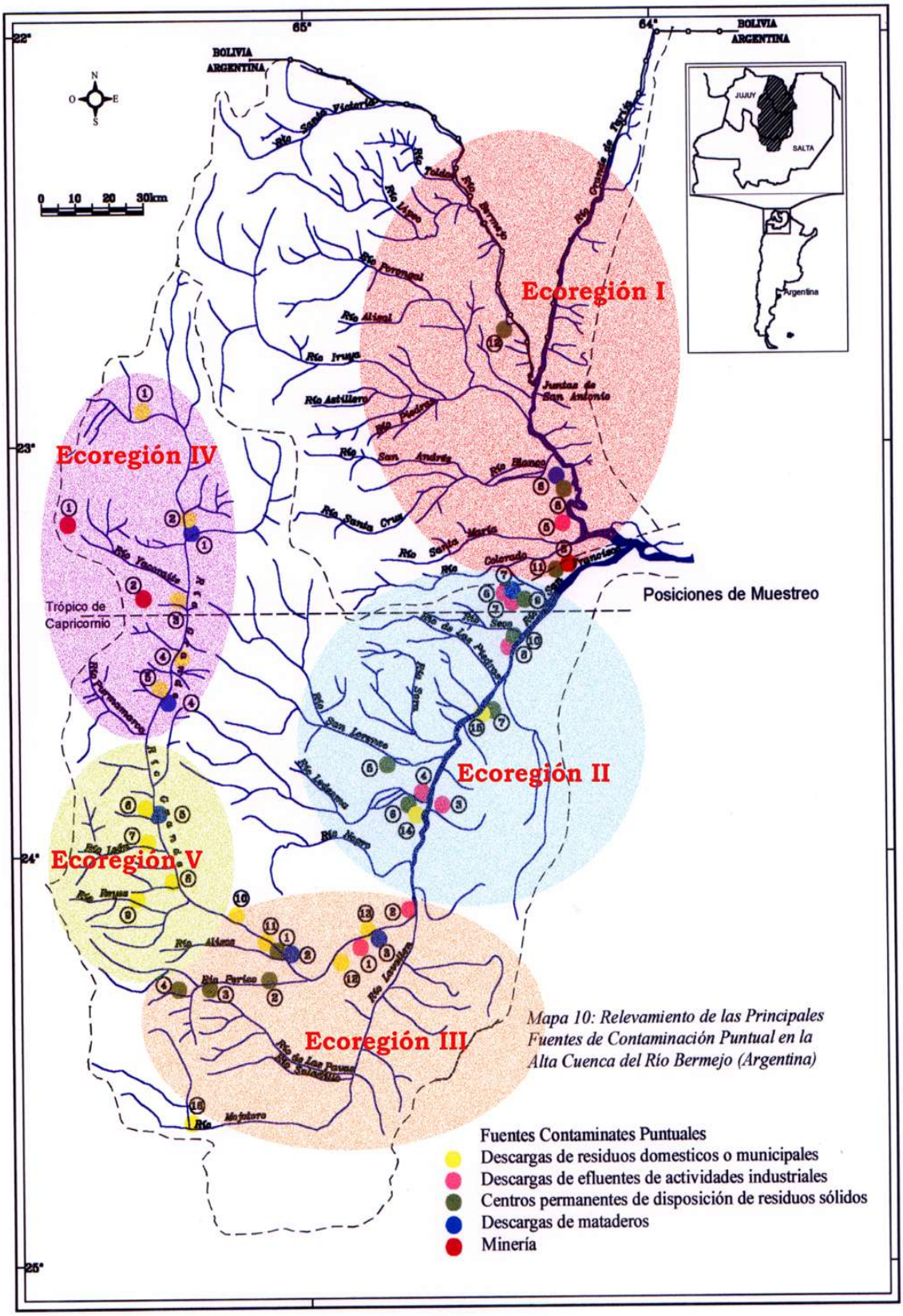
El agua es un recurso natural renovable, indispensable para la vida. Su importancia dentro del ecosistema es tal que es un factor clave en todas las actividades realizadas por el hombre. El cambio de condiciones físicas, químicas y biológicas del agua por la contaminación generada por diversas actividades modifica el ecosistema de los cauces de agua y afecta la flora y la fauna, con consecuencias desfavorables para la preservación del medio ambiente.

La división de la zona estudiada en cinco ecorregiones se realizó a los efectos de poder lograr una mejor comprensión del funcionamiento limnológico del sistema a nivel regional, dado que las mismas no son entidades ficticias, sino más bien que reflejaron porciones homogéneas desde el punto de vista climático, geológico, edáfico, hidrosedimentológico y fitogeográfico. Además, pone en evidencia las diferencias entre las distintas ecorregiones en cuanto al grado de desarrollo agroindustrial, que por supuesto siempre se encuentra íntimamente ligado a las características morfoclimáticas regionales (mapa 10).

Como ya manifestara Margalef (1982), todo ecosistema fluvial tiene una enorme superficie de interacción con los ecosistemas terrestres, transportando una parte de su producción e integrándose con el ecosistema al que drena en una unidad funcional más equilibrada. De ahí la verdadera importancia de trabajar con las ecorregiones, ya que cabría esperar que cada una de ellas sean también homogéneas en cuanto a sus características limnológicas.

En principio, el interés antrópico está centrado en la preservación de la calidad del agua que ingresa a las Plantas Potabilizadoras Regionales, el aprovechamiento para el riego y abrevadero de ganado y la aptitud para mantener los niveles de pesca de especies autóctonas en el río Bermejo y sus tributarios (Carrizo, 1999).

En ciertas épocas del año suelen darse otros usos competitivos con los ya enunciados, tales como el agua requerida para el funcionamiento de las Plantas Industriales Papeleras e Ingenios Azucareros, situados en especial en la ecorregión II y en menor proporción en las ecorregiones I y III, generándose situaciones problemáticas cuando además descargan efluentes no tratados a los cuerpos de aguas naturales.



Mapa 10: Relevamiento de las Principales Fuentes de Contaminación Puntual en la Alta Cuenca del Río Bermejo (Argentina)

Caracterización fisicoquímica

A los efectos de analizar las posibles diferencias significativas en los parámetros fisico-químicos entre las distintas ecorregiones, se trabajó con una base de datos (N=69) compuesta por 23 sistemas lóticos (F1, F4, F5, F7, F8, F9, F10, F11, F12, F17, F18, F22, F23, F24, F27, F28, F30, B31, B32, B34, B35, B36 y B37) de los que se logró recolectar información en las tres situaciones hidrológicas estudiadas (época de lluvias: febrero; época de transición lluvia-estiaje: mayo y época de estiaje: octubre). Se observaron diferencias altamente significativas en la mayoría de los parámetros estudiados entre las distintas ecorregiones (tabla 26).

Tabla 26: Valores medios de los parámetros que presentaron diferencias entre las distintas ecorregiones. F = ANOVA, H = Kruskal – Wallis.

Parámetro	Ecorregión	Media	Contrastes	Estadístico	Niv.sig.
O.D. %	I	62,08	* *	F = 2,71	0,038
	II	63,27	* *		
	III	49,95	*		
	IV	65,44	* *		
	V	66,29	*		
pH	I	7,91	*	H = 20,80	0,000
	II	7,95	*		
	III	7,55	* *		
	IV	8,21	*		
	V	8,29	*		
Conduct.	I	444,9	* *	H = 29,52	0,000
	II	637,8	*		
	III	585,0	*		
	IV	497,7	*		
	V	165,9	*		
Turbidez	I	1396,8	*	H = 11,30	0,023
	II	1120,3	*		
	III	243,8	*		
	IV	9834,6	*		
	V	230,9	*		
Sol.Total.	I	1945,4	*	H = 29,01	0,000
	II	1843,2	*		
	III	727,2	*		
	IV	4461,1	* *		
	V	395,9	*		
Sol.Susp.	I	910,1	*	H = 12,00	0,017
	II	294,6	*		
	III	229,6	*		
	IV	3188,4	* *		
	V	113,6	*		

Alcalinidad	I	149,6	* *	H = 31,46	0,000
	II	174,5	*		
	III	206,4	*		
	IV	171,7	*		
	V	69,4	*		
Temperatura	I	23,9	*	F = 12,35	0,000
	II	21,1	*		
	III	22,2	*		
	IV	14,3	*		
	V	22,4	*		
Amonio	I	0,132	*	H = 21,74	0,000
	II	0,122	*		
	III	0,292	*		
	IV	0,103	* *		
	V	0,042	*		
Nitrito	I	0,025	*	H = 20,99	0,000
	II	0,021	* *		
	III	0,095	* * *		
	IV	0,035	*		
	V	0,016	*		
Cloruro	I	15,00	* *	H = 25,73	0,000
	II	12,59	* *		
	III	27,52	*		
	IV	51,16	*		
	V	5,32	*		
Sulfato	I	53,22	* *	H = 28,46	0,000
	II	51,33	*		
	III	71,33	* *		
	IV	121,89	*		
	V	27,50	*		
Hierro	I	0,026	*	H = 16,30	0,003
	II	0,019	*		
	III	0,027	*		
	IV	0,056	* *		
	V	0,008	*		
Carbonatos	I	11,87	* *	H = 22,99	0,000
	II	17,31	*		
	III	14,46	* *		
	IV	16,23	*		
	V	4,04	*		
Bicarbonatos	I	158,42	* *	H = 29,47	0,000
	II	177,47	*		
	III	222,47	*		
	IV	176,43	*		
	V	76,39	*		
Nitratos	I	1,61	* *	F = 2,55	0,048
	II	1,42	*		
	III	2,68	*		
	IV	1,60	* *		
	V	1,97	* *		

Ecorregión I:

Se encuentra emplazada en la provincia fitogeográfica de las Yungas (Mapas 5 y 10) posee un clima cálido y húmedo con precipitaciones de entre los 700 a 1400 mm anuales. Sus suelos, aptos para el desarrollo de cultivos con riego y de secano, poseen los más altos

rendimientos no requiriendo del aumento de cantidades significativas de fertilizantes, debido a la alta concentración de materia orgánica que contienen. Consecuentemente, esta ecorregión es un importante polo de desarrollo agroindustrial.

Esta ecorregión engloba a los ríos Bermejo en Elordi (B31), Colorado (B32), Blanco (B33), Pescado (B34) y Bermejo en Aguas Blancas (B37). Incluye además a los arroyos Solazuty (B35) y Quebrada Colorada (B36) (Lámina 1).

Sus sistemas lóticos se caracterizan por poseer las aguas más cálidas de toda la cuenca (Tº 23,9 ± 3,5), con buenos tenores de oxígeno disuelto (62,08 % ± 13,5 %), pH (7,91 ± 0,21), conductividad (444,9 µS/cm ± 355,1 µS/cm), concentración de iones (Cl^- = 15,0 mg/L ± 13,1 mg/ L; $SO_4^=$ = 53,22 mg/L ± 34,9mg/L $CO_3^=$= 11,87 mg/L ± 10,3 mg/L; CO_3H^- = 158,42 mg/L ± 93,4 mg/L) y de nutrientes ($NO_3^=$ = 1,61mg/L ± 0,9 mg/L; $NO_2^=$ = 0,025 mg/L ± 0,01 mg/L; NH_4^- = 0,132 mg/L ± 0,1mg/L; $PO_4^=$= 0,21 mg/L ± 0,11 mg/L y PT = 2,76 mg/L ± 4,5 mg/L); lo que las hace adecuadas para el uso agropecuario, que como ya mencionamos, es la principal fuente de desarrollo económico de la región. La mayor problemática, desde el punto de vista de la calidad físico-química de sus aguas, se centra en la gran producción de sedimentos que poseen algunos de sus cursos lóticos, principalmente los ríos Iruya y Pescado, incidiendo en los promedios de sólidos suspendidos (910,1 mg/L ± 1643,1mg/L) y turbiedad (1396,8 NTU ± 2670 NTU). En función a lo reportado por el ICA (Indice de Calidad de Aguas), esta ecorregión posee sus aguas de calidad regular durante la época de lluvias, con una leve mejora en la calidad de algunos sitios durante la época de transición, pero decayendo abruptamente a calidades malas e incluso pésimas durante la época de bajos caudales.

Ecorregión II:

Se encuentra emplazada en las provincias fitogeográficas de las Yungas y Chaqueña (Mapas 5 y 10), de clima cálido con precipitaciones entre los 700 a 900 mm anuales. Posee el mismo tipo de suelos que la ecorregión I, a los que se suman también suelos con mantillo en superficie, desarrollados sobre material loéssico, donde usualmente aparecen carbonatos libres, esto último explicaría la mayor concentración promedio de carbonatos que presentó esta ecorregión (Tabla 26).

Pertenecen a esta ecorregión los siguientes ríos: Negro (F19), Ledesma (F20), San Lorenzo (F21), Aguas Negras (F22), Sora (F23), de las Piedras (F28) y San Francisco (F30). Incluye además a los siguientes arroyos: Los Berros (F24), Zanjón Seco (F25), Sauzalito (F26), Yuto (F27) y Riacho Seco (F29) (Láminas 2 y 3).

Sus sistemas lóticos se caracterizan por poseer las aguas con mayor promedio de conductividad (637,8 µS/cm ± 837,4 µS/cm), acompañada como es de esperar con altos valores medios de concentración de iones (Cl^- = 12,6 mg/L ± 18,2 mg/ L; $SO_4^=$ = 51,33 mg/L ± 31,9 mg/L $CO_3^=$= 17,31 mg/L ± 11,0 mg/L; CO_3H^- = 177,64 mg/L ± 71,8 mg/L). En función a lo reportado por el ICA, esta ecorregión posee sus aguas de calidad regular a buena durante los tres períodos hidrológicos estudiados.

Ecorregión III:

Esta ecorregíon posee características fitogeográficas, climáticas y edáficas similares a la ecorregión II. Consecuentemente, se encuentra emplazada en las provincias fitogeográficas de las Yungas y Chaqueña (Mapas 5 y 10), de clima cálido con precipitaciones entre los 500 a 900 mm anuales.

Pertenecen a esta ecorregión los siguientes ríos: Perico (F13), Mojotoro (F15), Saladillo (F16), Lavayén (F17) y Grande en la intersección de la Ruta Provincial Nº 1 (F18). Incluye además al arroyo Los Cedros (F14) (Lámina 4).

Sus sistemas lóticos se caracterizan por poseer las aguas con mayor concentración de nutrientes ($NO_3^=$ = 2,68 mg/L ± 0,97 mg/L; $NO_2^=$ = 0,095 mg/L ± 0,11 mg/L; NH_4^- = 0,292 mg/L ± 0,247 mg/L; $PO_4^=$= 0,87 mg/L ± 1,45 mg/L); probablemente debido a la descarga de efluentes industriales y domiciliarios que receptan los ríos Lavayén y Grande. En función a lo reportado por el ICA, esta ecorregión posee sus aguas de calidad regular a buena durante las épocas de lluvias y de transición, pero decayendo abruptamente a calidades malas e incluso pésimas durante la época de bajos caudales.

En las últimas décadas, se ha asistido a un fuerte proceso de transformación en los criterios de manejo de los cultivos y en el uso del suelo agrícola. Así, en el sector agropecuario, se ha observado un aumento de la productividad, apoyada por la mecanización, la biotecnología y el uso de fertilizantes y plaguicidas. Este uso intensivo de los suelos, la tendencia al monocultivo, los grandes aportes de nutrientes y su lixiviación hacia los acuíferos, la aplicación masiva de fitoquímicos, y los importantes volúmenes de agua empleados, hacen de la agricultura moderna una actividad de alto impacto ambiental (Zuluaga et al., 2000).

Las ecorregiones II y III se encuentran emplazadas en polos de desarrollo agroindustrial, cuentan con industrias tales como ingenios azucareros, fábricas de papel, plantas procesadoras de cítricos, industrias cárnicas, entre otras (mapa 10), de modo que esta intensa actividad antropogénica se ve reflejada en los parámetros limnológicos. Así tenemos que la ecorregión III posee los menores registros de porcentaje de oxígeno disuelto (49,95 % ± 18,1) y, como se ha mencionado con anterioridad posee las mayores concentraciones de amonio, nitritos y nitratos (tabla 26, figuras 34 y 35).

El crecimiento urbano – industrial, las prácticas agrícolas y la actividad urbana, que no siempre depura las aguas servidas, volcándolas al río o a sus afluentes, han ocasionado un impacto negativo que se manifiesta con mayor intensidad en las ecorregiones II y III de la Alta Cuenca del Río Bermejo.

Ecorregión IV:

Es una región muy heterogénea, donde se encuentran representadas las siguientes provincias fitogeográficas: Altoandina, Puna y Prepuna (Mapas 5 y 10). De clima seco y cálido con precipitaciones escasas (200-400 mm anuales), la característica más sobresaliente de esta ecorregión es que presenta déficit hídrico durante la mayor parte del año, gran radiación solar, suelos muy sueltos, alcalinos y calcáreos, con migración y acumulación de sales solubles, carbonatos y arcillas silicatadas. Al ser suelos con escaso desarrollo pedogenético, no son buenos para actividades agrícolas.

Esta ecorregión engloba a los ríos Grande en Humahuaca (F1), Yacoraite (F3), Grande en Tilcara (F5) y Purmamarca (F6). Incluye además a los siguientes arroyos: de la Señorita (F2) y Quebrada de Jueya (F4) (Láminas 5 y 6).

Sus sistemas lóticos se caracterizan por poseer las aguas más frías de toda la cuenca, junto a los valores más altos de sólidos suspendidos (3188,40 mg/L ± 6503,6 mg/L) y sólidos totales (4461,11 mg/L ± 8087,2 mg/L), consiguientemente los mayores registros de turbidez (9830,6

NTU ± 24620 NTU). Presenta los mayores promedios de concentración de cloruros (51,16 mg/L ± 38,3mg/L), sulfatos (121,9 mg/L ± 52,5 mg/L) y hierro (0,056 mg/L ± 0,06 mg/L). De todos modos no podemos hablar de contaminación debido a actividades antropogénicas, sino más bien a las características geológicas, climáticas y edáficas que imperan en esta región y le confieren al agua sus características particulares, como ya fuera explicado en el apartado 4.2.

En función a lo reportado por el ICA, esta ecorregión posee sus aguas de calidad regular durante las épocas de lluvias y de transición, decayendo a calidades regulares a malas durante la época de bajos caudales.

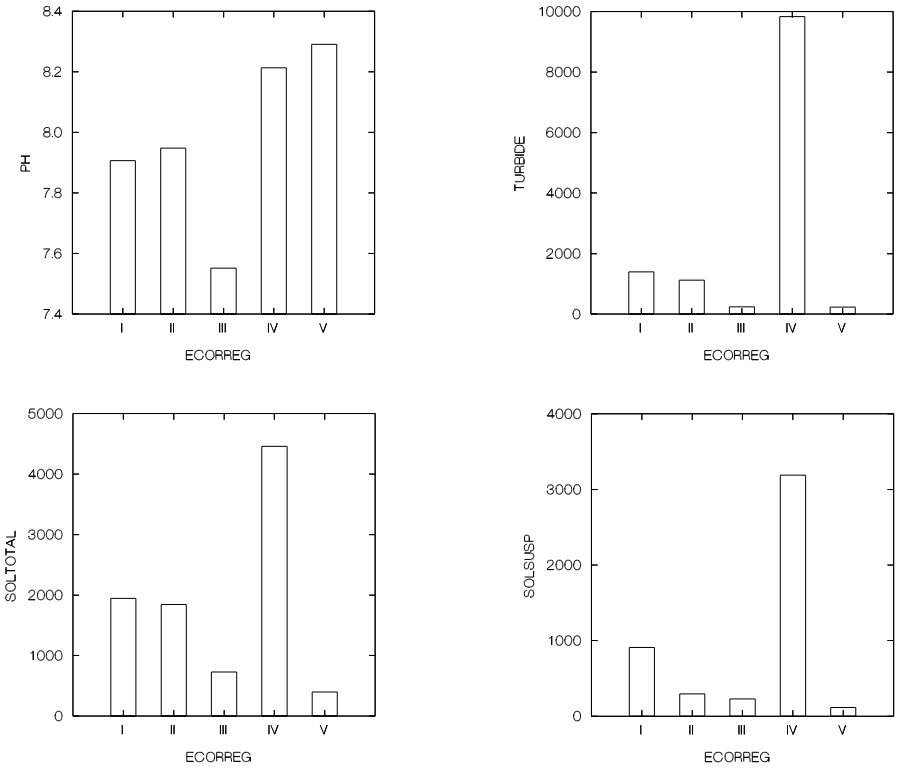
Ecorregión V:

Es una región muy heterogénea, donde se encuentran representadas las siguientes provincias fitogeográficas: Altoandina, Puna, Prepuna y Yungas (Mapa 5 y 10). De clima cálido y húmedo con precipitaciones abundantes hacia la zona de menor altitud (900-1300 mm anuales). La característica más sobresaliente de esta ecorregión es que presenta suelos generalmente pobres en materia orgánica, de permeabilidad muy lenta, con aptitud agrícola limitada por deficiencias de drenaje.

Esta ecorregión engloba a los ríos León (F7), Lozano (F8), Yala (F9) y Reyes (F12). Incluye además a los siguientes arroyos: Coyamayo (F10) y Barcaza (F11) (Láminas 5 y 6).

En función de la información aportada por la mayoría de los parámetros fisico-químicos relevados, la ecorregión V es la que mejores niveles de calidad de aguas posee, ya que cuenta con los mayores registros de porcentaje de oxígeno disuelto (66,3 % ± 7 %) junto a las menores concentraciones de nutrientes, no evidenciando, por tanto, problemas de contaminación orgánica. Además, presenta también los menores registros de concentración de iones y por consiguiente las más bajas conductividades de toda la cuenca. Es la ecorregión que presenta sus aguas más cristalinas, con concentraciones de sólidos muy por debajo de las otras ecorregiones de la cuenca y durante todo el año (tabla 26, figuras 34 y 35). Esta ecorregión posee sus aguas de "buena calidad" durante los tres períodos hidrológicos estudiados según los datos reportados por los ICA.

Si revisamos el mapa 10 notaremos que la ecorregión V no posee industrias de ningún tipo y ésa es una de las razones primordiales por las cuales mantienen un muy buen grado de calidad sus aguas.


PH
8.4
8.2
8.0
7.8
7.6
7.4
I
II
III
IV
V
ECORREG
TURBIDE
10000
8000
6000
4000
2000
0
I
II
III
IV
V
ECORREG
SOLTOTAL
5000
4000
3000
2000
1000
0
I
II
III
IV
V
ECORREG
SOLSUSP
4000
3000
2000
1000
0
I
II
III
IV
V
ECORREG

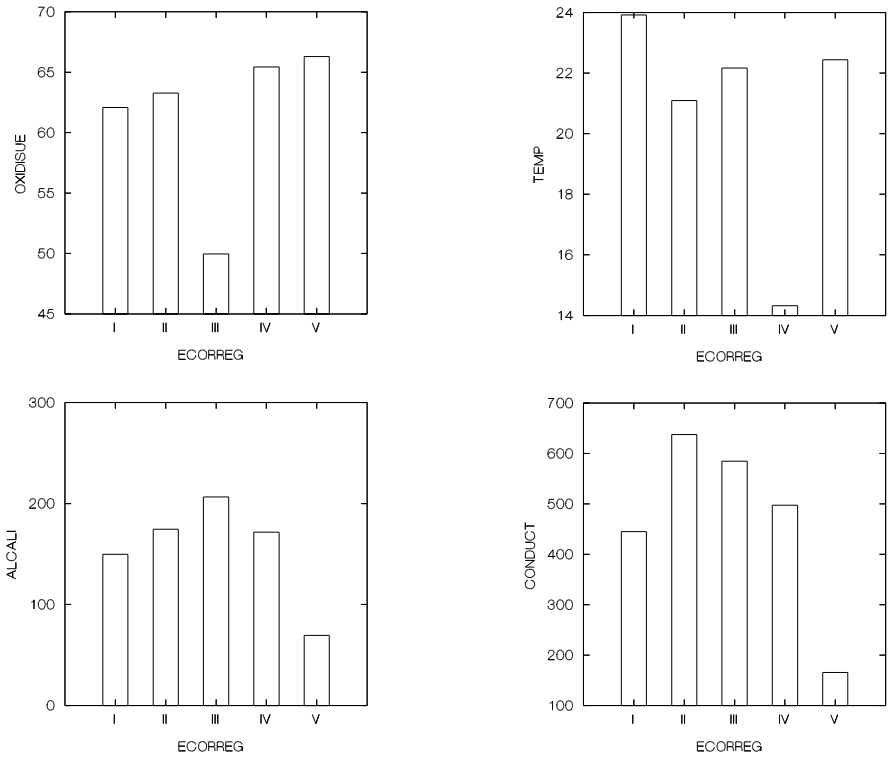
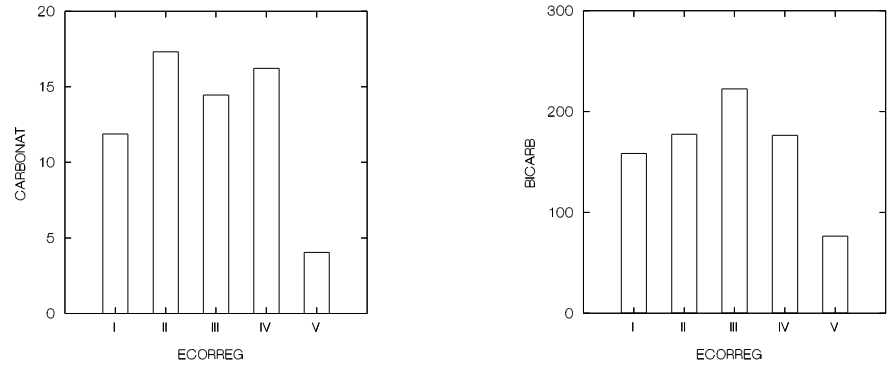


Figura 34: Valores medios de cada parámetro que presentó diferencias estadísticamente significativas entre las distintas ecorregiones.



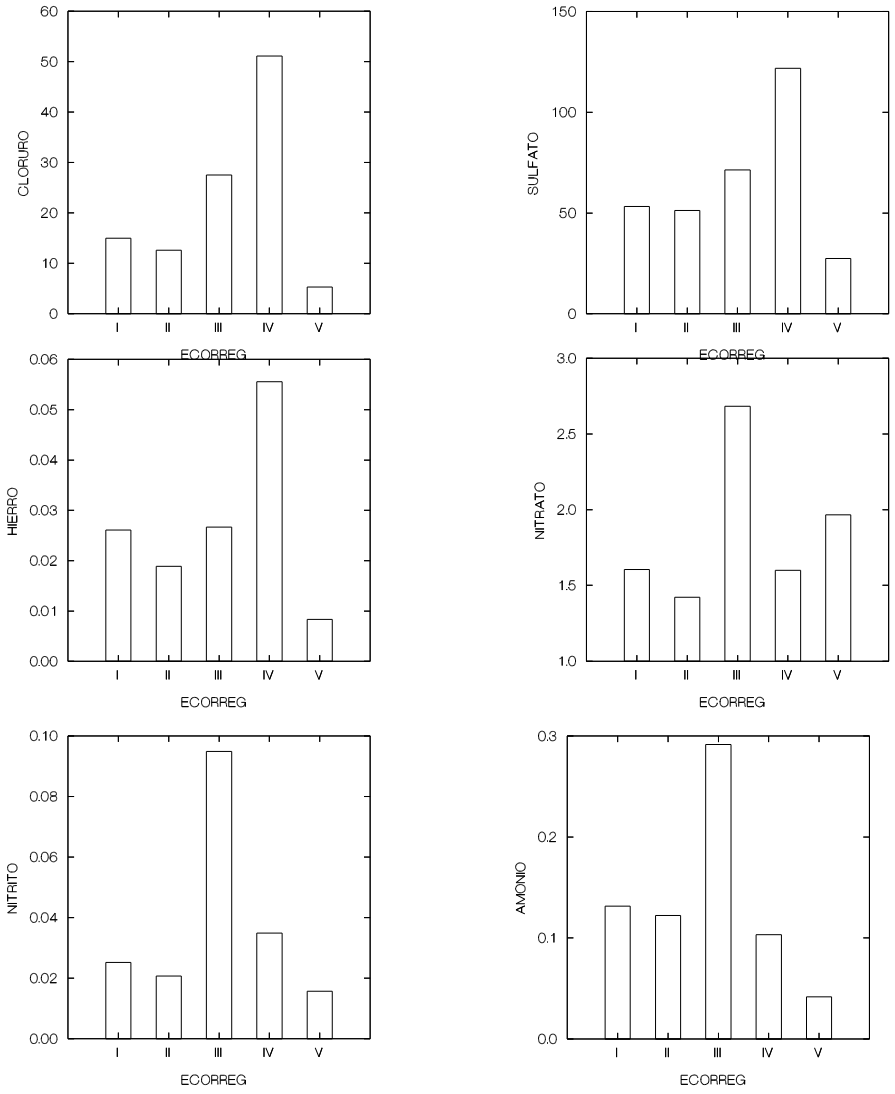


Figura 35: Valores medios de cada parámetro que presentó diferencias estadísticamente significativas entre las distintas ecorregiones.

Caracterización de las ecorregiones en función de las comunidades fitoplanctónicas

A los efectos de considerar la información aportada por la comunidad fitoplanctónica, se trabajó con datos de 26 sistemas lóticos durante el muestreo de mayo que representa la época hidrológica de transición lluvia-estiaje.

La figura 36 nos muestra los porcentajes de abundancia relativa de cada división de algas, en el total de sitios de estudio presentes en cada ecorregión:

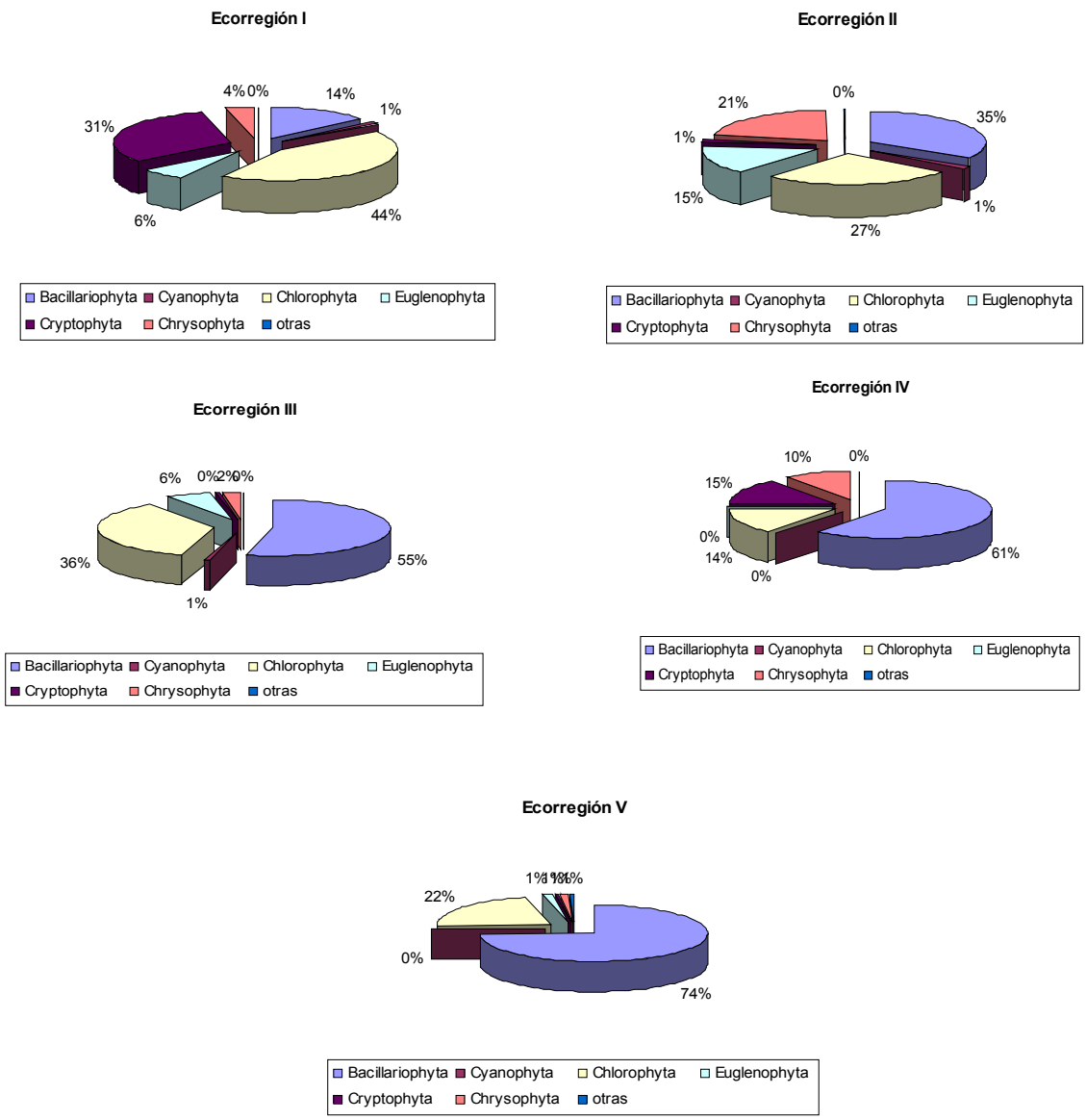


Figura 36: Contribución de las diferentes divisiones algales en las diferentes ecorregiones durante la transición lluvia-estiaje.

La ecorregión I presentó a las Chlorophyta como grupo dominante (44%), seguidas por las Cryptophyta (31%), el tercer grupo en orden de importancia fueron las Bacillariophyta (14%), los restantes grupos de algas se encontraron pobremente representados.

La ecorregión II presentó la contribución más equilibrada de las diferentes divisiones algales, las Bacillariophyta (35%) fueron el grupo dominante, seguidas a una corta distancia por las Chlorophytas (27%), Chrysophytas (21%) y Euglenophytas (15%).

Las ecorregiones III, IV y V presentaron una marcada superioridad de las Bacillariophyta (representadas con el 55%, 61% y 74%, respectivamente), el segundo grupo

de importancia en las ecorregiones II y V correspondió a las Chlorophyta (36 % y 22% respectivamente), mientras que en la ecorregión IV el segundo lugar de importancia se ubicaron las Cryptophyta (15%) seguidas a una corta distancia por las Chlorophyta (14%) y Chrysophyta (10 %), por último y pobremente representadas se encontraron las algas incluidas en los restantes grupos, tal como se observa en la figura 36.

Se observaron diferencias estadísticamente significativas en los promedios de abundancias de las distintas divisiones algales entre ecorregiones. La abundancia de Bacillariophyta fue superior en los sistemas lóticos que componen la ecorregión IV ($H = 17,18$; $p = 0,0018$), en coincidencia con los mayores niveles de turbidez medidos durante este período hidrológico. Estos niveles de turbidez afectan seriamente la penetración de la luz en la columna de agua, pero las diatomeas pueden estar adaptadas a vivir a bajas intensidades de luz, por lo que bajo estas condiciones se ven favorecidas en relación a otros grupos de algas.

La densidad de las Cryptophyta fue mayor en la ecorregión I ($H = 10,39$; $p = 0,0213$). Los restantes grupos de algas, si bien presentaron diferencias en los promedios entre las ecorregiones, las mismas no llegaron a ser estadísticamente significativas.

Se observaron diferencias significativas en los promedios de riqueza, densidad y diversidad del fitoplancton entre las diferentes ecorregiones. Acompañando a los resultados provistos por las variables fisicoquímicas, la ecorregión V presentó los mayores registros de estos tres parámetros, mientras que la ecorregión I presentó los menores promedios de diversidad y riqueza de especies (Fig. 37).

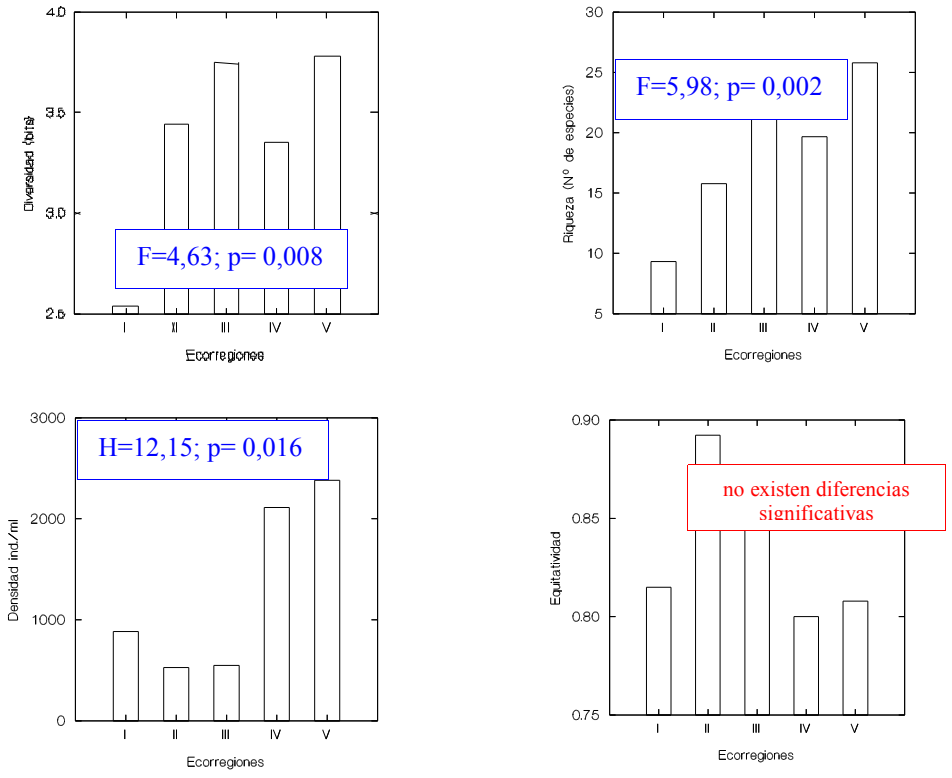


Figura 37: Diferencias en los valores medios de densidad, riqueza, diversidad y equitatividad entre ecorregiones durante la transición lluvia-estiaje (mayo 1999).

PROYECCIONES ANTRÓPICAS

En esta última sección abordamos, en base a los resultados obtenidos, las proyecciones de esta tesis para insertarse en la problemática ambiental y el desarrollo regional de la zona estudiada.

Dada la gran la heterogeneidad climática, geomorfológica, edáfica, fitogeográfica y limnológica de la región bajo estudio, es de esperar que la problemática ambiental también sea variable, en función de su localización espacial y temporal. No obstante, podemos mencionar un problema generalizado en toda la cuenca que es la degradación de los suelos.

Los síntomas y efectos de la degradación del suelo, como resultado de los procesos intensos de erosión y desertificación, se manifiestan en la pérdida de la capacidad natural de producción del suelo, la reducción en la calidad y cantidad de la producción agropecuaria, pérdida de áreas productivas, degradación de la calidad del agua, pérdida de la materia orgánica y nutrientes del suelo como consecuencia de la disminución o pérdida de la cobertura vegetal (PEA, 2000).

La erosión ocurre prácticamente en todas las ecorregiones, las zonas con condiciones más críticas de erosión son: la Quebrada de Humahuaca (Ecorregión IV), los bordes de los ríos Grande de Tarija y Bermejo (ecorregión I), el curso inferior del río San Francisco (ecorregión II) y la zona de confluencia de los ríos Lavayén y Grande (ecorregión III).

La ocurrencia de procesos de remoción en masa es crítica en las cabeceras de los ríos Iruya, Pescado y en los cuerpos lóticos de la Quebrada de Humahuaca, tal como fuera reflejado en función de los datos de sólidos suspendidos y turbidez.

Las restricciones al desarrollo y aprovechamiento de los recursos hídricos y naturales con fines productivos y económicos sustentables, se relacionan con las fluctuaciones naturales en la disponibilidad del agua y la dinámica fluviomorfológica, asociadas con los ciclos estacionales y extraordinarios, entre las que se destaca la escasez general de agua en los períodos secos tanto para consumo humano como para uso agrícola y ganadero. Con relación al déficit de agua para consumo humano, éste afecta a una amplia región de la cuenca trayendo como consecuencia problemas en la salud pública y serias limitaciones para el desarrollo (PEA, 2000).

En el marco de convenios celebrados entre la Argentina y Bolivia en junio de 1995 se suscribió en Orán, Salta, un acuerdo para el *"Aprovechamiento múltiple de los recursos de la Alta Cuenca del Bermejo y del Grande de Tarija"* a través de obras de infraestructura que

proporcionarían a ambos países energía eléctrica, un nuevo manejo de sus aguas y como consecuencia de estos factores, se inauguraría otra etapa para el desarrollo económico y humano de esa región binacional (Aramayo, 1999). De acuerdo a los documentos firmados entre la Argentina y Bolivia, el proyecto busca explotar productivamente las ventajas comparativas naturales de la región, en procura de los siguientes objetivos:

- disminución de los arrastres de sedimentos y control de inundaciones a lo largo de la cuenca, por efecto de la regulación hídrica.
- aprovechamiento de energía hidroeléctrica.
- provisión de agua potable a poblaciones que no poseen en la actualidad.
- mayor interconexión entre las zonas productivas y los centros de consumo.
- ampliación y diversificación sustentable de las fronteras agropecuarias a través de la incorporación futura de 600.000 hectáreas al riego.
- conformación de un polo de desarrollo con la ocupación poblacional del chaco argentino, y la integración de la región a la Hidrovía Paraguay-Paraná-Río de la Plata.

En función de estos objetivos, se desarrollaron estudios tendientes a determinar la factibilidad técnica, económica y ambiental de tres represas, originándose los proyectos para la construcción de los complejos hidroeléctricos, fundados en represas, en Las Pavas, Arrazabal y Cambarí. Uno de dichos proyectos plantea la construcción de la presa Las Pavas, que se encuentra situada en la ecorregión I.

Como se ha mencionado anteriormente, dicho proyecto plantea una problemática compleja y multisectorial, esto se vió reflejado en la discrepancia de opiniones vertidas por los diferentes actores institucionales, ya que a la panacea productiva antes propuesta, se le contrapone un informe elevado por la Dirección de Parques Nacionales que anunció los siguientes impactos que sufriría el ambiente si se construye la presa Las Pavas:

- inundación de 1200 hectáreas del Parque Nacional Baritú.
- pérdida de hábitats silvestres como la selva montana y corredores fluviales.
- se formaría una barrera que impediría la migración de peces y el flujo génico Norte-Sur de especies de las yungas.

Afortunadamente, en el mes de noviembre del año 2002, una extensa zona de la Alta Cuenca del Bermejo (que abarca la ecorregión I y partes de las ecorregiones II y V), fue declarada ***"Reserva de la Biosfera de las Yungas"***, la Reserva de la Biosfera es una categoría internacional de área protegida creada por la UNESCO para la preservación de regiones importantes por el valor de sus bienes naturales, culturales, económicos y sociales que

sustenta. Estas reservas brindan oportunidades para la propuesta y aplicación de nuevas modalidades de gestión ambiental y desarrollo sustentable aspirando ser modelos para el ordenamiento territorial de las regiones que ocupan.

Las Reservas de Biosfera (RB) incluyen no sólo áreas protegidas sino también áreas productivas donde se desarrollan actividades recreativas, científicas, agropecuarias, forestales e industriales a diversas escalas (PEA – PNUMA, 2002). En ese sentido las RB se ordenan en tres zonas claves:

1. ZONAS NUCLEO: destinadas con el mayor énfasis a la conservación. Son en general áreas protegidas (parques nacionales o provinciales, etc). En estas áreas, los ecosistemas, los paisajes y las especies que en ellos habitan están protegidos a perpetuidad. No están sometidas a actividades humanas salvo investigación científica, y el desarrollo del turismo y la recreación. Dentro de esta categoría se encuentran las siguientes zonas núcleo:

- El Parque Nacional Baritú (Salta), creado en el año 1974 y con una superficie de 72439 ha, constituye el último relicto intacto de selvas de montaña en nuestro país. Posee una densa red de drenaje que integra la Alta Cuenca del Río Bermejo, principalmente las nacientes del río Las Pavas y los ríos Lipeo, Porongal y Pescado. Es refugio de numerosas especies animales y vegetales, como el yaguareté, el tapir, pecaríes, helechos arborescentes, chuntas, entre otras, muchas de ellas en peligro de extinción.

- El Parque Provincial Laguna Pintascayo (Salta), creado en el año 2000 y con una superficie de 13000 ha, protege una porción de selva pedemontana-montana de las Yungas, y especialmente un importante tramo del río Pescado y la Laguna Pintascayo. Esta última constituye un ambiente sumamente especial que aloja especies de interés particular para la conservación como el caimán, el carpincho y el pato real.

Estos dos parques antes mencionados se encuentran emplazados en la ecorregión I.

- El Parque Nacional Calilegua fue creado en 1979 con una superficie de 76320 ha. para protección de un sector de las selvas de montaña o Yungas. Se ubica sobre las laderas orientales de las Sierras de Calilegua y presenta un amplio gradiente altitudinal (500 a 360 m.s.n.m.), lo que determina la existencia de varios pisos de vegetación y microclimas que aseguran una alta biodiversidad. Protege las nacientes de los ríos Sora y Piedras y

afluentes de los ríos Ledesma y San Lorenzo, que forman parte de la Cuenca del Río San Francisco y proveen de agua a los cultivos vecinos al área protegida. Habitan en él especies vulnerables o en peligro como el yaguareté, el tapir y los cedros. Esta zona núcleo se encuentra en la ecorregión II.

- El Parque Provincial Potrero de Yala (Jujuy) fue creado en 1952 y posee una superficie de 4300 ha integrada por ambientes propios de las provincias fitogeográficas de Yungas y Altoandina. Protege la Laguna Yala y la cuenca del río Yala. Esta zona núcleo se encuentra emplazada en la ecorregión V.

2. ZONAS DE AMORTIGUAMIENTO: donde la conservación es compatible con otras actividades. Estas rodean a las zonas núcleo o están junto a ellas y complementan su protección. Las actividades que en ellas se desarrollan están organizadas de modo que no sea un perjuicio a los objetivos de las zonas núcleo.

3. ZONA DE TRANSICION: es, normalmente, la zona más extensa de la Reserva, en ella se pueden localizar asentamientos humanos, desarrollar actividades agrícolas, ganaderas, forestales, aprovechamiento de flora y fauna y emprendimientos industriales a diferente escala. En esta zona coexisten sistemas de explotación agrícola modernos, muy tecnificados y extensivos, con otros más tradicionales y de menor escala.

La Quebrada de Humahuaca fue declarada como "Patrimonio Mundial de la Humanidad" por la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO) durante la sesión realizada el 2 de julio de 2003 en Paris, Francia. Es un importante destino turístico a nivel nacional e internacional, por lo que a su economía de subsistencia se suma esta importante actividad turística.

De este modo, podemos observar que gran parte de la ACB se encuentra protegida y con proyectos de desarrollo sustentables a mediano y largo plazo, razón por la cual se torna importante la información recolectada en la presente tesis como nivel de base desde el punto de vista limnológico, para la realización futura de una acertada planificación del programa de monitoreo de la calidad fisicoquímica y biológica de la ACB. A tales efectos, y en función de los resultados observados a lo largo del desarrollo del presente trabajo, se considera que los sitios de muestreo mas representativos que deberían integrar dicho plan de monitoreo son:

- Río Grande en Tilcara (F5).
- Río Grande en intersección con Ruta Provincial Nº 1 (F18).
- Río Lavayén (F17).
- Río San Francisco (F30).
- Río Bermejo en Elordi (B31).
- Río Pescado (B34).
- Río Bermejo en Aguas Blancas (B37).

CONCLUSIONES

- Los múltiples patrones de relieve, suelos, clima y geología presentes en la Alta Cuenca del Río Bermejo, se reflejaron en una significativa variación, espacial y temporal, de las características fisicoquímicas y biológicas de sus sistemas lóticos.

- La gran heterogeneidad ambiental que caracteriza la zona estudiada, se acompañó de variaciones en las características fisicoquímicas del agua. Este panorama, generó una gran diversidad de condiciones aprovechables por las distintas especies de algas fitoplanctónicas, en consecuencia, los registros de diversidad y riqueza de especies presentaron también un importante patrón de variación en los ríos y arroyos estudiados.

- Se observaron relaciones entre la calidad fisicoquímica de las aguas y la abundancia poblacional de cada una de las divisiones algales. Así tenemos que la abundancia de cianofitas se correlacionó positivamente con los datos de conductividad, sólidos totales, alcalinidad, carbonatos, bicarbonatos y ortofosfatos. Se observó además una correlación negativa con el porcentaje de oxígeno disuelto. Las euglenofitas se correlacionaron positivamente con los registros de sólidos totales, turbidez y fósforo total. Las diatomeas sólo se correlacionaron negativamente con la concentración de amonio.

- Se produce un desmejoramiento de las características fisico-químicas y biológicas de la calidad de las aguas durante la época de bajos caudales, debido al efecto de concentración de contaminantes. Los sitios más afectados fueron los ríos Pescado, Yala y Lavayén presentando los menores valores de equitatividad y de diversidad específica.

- Durante la época de lluvias se produce una pérdida de calidad de las aguas, con altos tenores de turbidez, debido a la elevada concentración de sólidos provenientes del lavado de los suelos.

- Los ríos y arroyos estudiados, en general, presentaron valores intermedios a altos de diversidad específica. Este parámetro permitió, en la mayoría de los casos, diferenciar los ambientes perturbados de los no perturbados. No obstante, no pudo diferenciar si el origen de dicha perturbación se debía a causas naturales o antrópicas.

- Existen diferencias en los parámetros limnológicos entre las subcuencas Tarija-Bermejo y Grande –San Francisco. Así, ésta última posee los mayores registros en pH, alcalinidad, dureza, conductividad, concentración de cloruros, sulfatos, bicarbonatos, calcio y magnesio. Mientras que la subcuenca Tarija-Bermejo posee los mayores promedios de turbidez, sólidos totales, sólidos suspendidos y temperatura.

- Existen diferencias en los parámetros limnológicos entre las diferentes ecorregiones. Las ecorregiones II y III se encuentran emplazadas en polos de desarrollo agroindustrial, con industrias azucareras, fábricas de papel, procesamiento de cítricos, etc. De modo que esta intensa actividad antropogénica se refleja en las variables limnológicas medidas. Presentan los mayores promedios de conductividad y nutrientes. Los grupos de algas dominantes fueron las diatomeas, clorofitas y crisofitas. La ecorregión V es la que posee sus cursos lóticos con aguas de buena calidad durante los tres períodos hidrológicos estudiados, cuenta con los mayores promedios de porcentaje de oxígeno disuelto y las menores concentraciones de nutrientes.

- Los sitios de muestreo que mejor representan el grado de heterogeneidad espacial y temporal de la ACB y que por consiguiente deberían utilizarce en futuros monitoreos continuos de la cuenca son: Río Grande en Tilcara (F5), Río Grande en intersección con Ruta Provincial Nº 1 (F18), Río Lavayén (F17), Río San Francisco (F30), Río Bermejo en Elordi (B31), Río Pescado (B34) y Río Bermejo en Aguas Blancas (B37).

REFERENCIAS

ABRAMOVICH, B. L.; M. C. LURA; M. I.GILLI & M.A. HAYE. 1999. Cryptosporidium y agua. Rev. Arg. Microbiol. 31: 97-105.

ABRAMOVICH, B.L.; M. C. LURA; M. A. HAYE; M.I. GILLI; S. VAIRA Y L. CONTINI. 2000. Parásitos en aguas y su relación con indicadores químicos y microbianos de contaminación. Memorias del XVIII Congreso Nacional del Agua. Pag. 207-208.

ALBA-TERCEDOR, J. 1988. Un método rápido y simple para evaluar la calidad biológica de las aguas corrientes basado en el de Hellawell (1978). Limnética, 4: 51-56.

ANSELMI DE MANAVELLA, M.I. y M.O. GARCIA DE EMILIANI. 1995. Composición y dinámica del fitoplancton en una sección transversal del río Correntoso (Llanura aluvial del río Paraná). Rev. Asoc. Cienc. Nat. Litoral 26 (2): 39-54.

APHA, AWWA, WPCF. 1992. Métodos estandarizados para examinación de aguas y aguas de desecho. Ed. Santos, España. 654 pp.

APHA. 1989. Standard Methods For the Examination of Water and Wastewater. 21 edition. Washington, 459 pp.

ARAMAYO, J. 1999. Una represa sobre el río Bermejo inundaría parte del Parque Baritú. Diario El Tribuno.

ARCHIBALD, R. M. 1972. Diversity in some South African diatom association and its relation to water quality. Water Research, 6: 1229-1238.

ATLAS DE SUELOS DE LA REPUBLICA ARGENTINA. 1990.

BAILEY, R.G. 1980. Description of the Ecoregions of the United States. Miscellaneous Publication 1391. Washington, DC: U.S. Department of Agriculture. 77 pp.

BAILEY, R.G. 1998. Ecoregions Map of the North America Explanatory Note. USDA Forest Service, Washington D.C. 10 pp.

BAKER, K. 1995. Detection and ocurrence of indicator organisms and pathogens. Water Envir.Res. 67: 406-410.

BILLEN, G.; J. GARNIER y P. HANSET. 1994. Modelling phytoplankton development in whole drainage networks: the RIVERSTRAHLER Model applied to the Seine River System. In: Descy, J.; P. Reynolds y J. Padisák. (Eds.). Phytoplankton in Turbid Environments: Rivers and Shallow Lakes. Hydrobiologia, 294: 119-137.

BONETTO, C.A.; BONETTO, A.A. y Y. ZALOCAR. 1981. Contribución al conocimiento limnológico del río Paraguay en su tramo inferior. Ecosur 8 (16): 55 - 58.

BONETTO, A.A.; CASTELLO, H.P. y I.R.WAIS. 1987. Stream regulation in Argentina, including the Superior Paraná and Paraguay Rivers. Regulated Rivers: Research and management 1: 129 – 143.

BONETTO, C.; ZALOCAR, Y.; PLANAS, D. y F. PEDROZO. 1991. Responses of phytoplankton to experimental nutrient enrichment in the Paraguay, Bermejo and Upper Paraná Rivers. Tropical Ecology 32 (1): 47 – 64.

BRANCO, S.M. 1984. Limnología Sanitaria. Estudio de la polución de aguas continentales. OEA, Programa Regional de Desarrollo Científico y Tecnológico, Washington, D.C., 120 pp.

BROW, A.D. y H.R.GRAU. 1995. Investigación, Conservación y Desarrollo en Selvas Subtropicales de Montaña. LIEY, 9-18, Tucumán.

CABELLI, V. 1982. Microbial indicator systems for assesing water quality. Antonie van Leewenhoek 48: 613-618.

CABRERA SILVA, S. 1984. Estimación de la concentración de clorofila a y feopigmentos. Una revisión metodológica. En Bahamonde, N. Y S. Cabrera (eds.). Embalses, fotosíntesis y productividad primaria. Programa sobre el hombre y la bioesfera. UNESCO. Universidad de Chile, 236 pp.

CABRERA, A. 1976. Regiones Fitogeográficas Argentinas. Enciclopedia Argentina de Agricultura y Jardinería. ACME. Bs. As. 86 pp.

CABRERA, A. Y A. WILLINK. 1980. Biogeografía de América Latina. Monografía 13. OEA. Washington. 122 pp.

CAIRNS, J.; LANZA, G.R. y B. C. PARKER. 1972. Pollution related structural and functional changes in aquatic communities with emphasis on freshwater algae and protozoa. Proc. Acad. Nat. Sci. Philad. 124: 79-127.

CAIRNCROSS, S. 1992. Control of enteris pathogens in developing countries. In Environmental Microbiology. Ed. R. Mitchel. New York. Pp. 157- 189.

CAMPBELL, P.; STOKES, P. y J. GALLOWAY. 1983. A review of the effects of atmosferic deposition on the geochemical cycling and biological availability of trace metals: A Report: Royal Society of Canal; Montreal. Canadá. U.S. National Academy of Sciences. Joint Committee on Acid Precipitation.

CARRIZO, R. 1999. Componente Calidad de Agua. Sistema de Información Ambiental de la Cuenca del Río Bermejo. Informe Final. OEA. Programa Estratégico de Acción de la Cuenca Binacional del Río Bermejo. 78 pp.

Consejo Federal de Inversiones (CFI), 1962. Evaluación de los Recursos Naturales de la Argentina. Tomo IV: Recursos Hidráulicos Superficiales. Volumen 1. Bs. As.

CLAPS, M.C. 1996. Structure and dynamics of epipelic algae from a plain river (Samborombón river, Argentina). Arch. Hydrobiol. 137 (2): 221- 263.

COREBE (Comisión Regional del Río Bermejo). 1994. Aprovechamiento del Río Bermejo. Eje de la Integración. 40 pp.

COREBE (Comisión Regional del Río Bermejo). 2000. Programa estratégico de acción para la cuenca binacional del Río Bermejo. 99pp.

CORIGLIANO, M. del C.; FABRICIUS, A. L. M. de; LUQUE, M. E. y N. GARI. 1994. Patrones de distribución de variables fisicoquímicas y biológicas en el río Chocancha-vara (Cuarto) (Córdoba, Argentina). Rev. UNRC, 14 (2): 177 – 194.

CROWLEY, J. M. 1967. Biogeography in Canada. Canadian Geographer. 11: 312-326.

CHRISTIE, C. y J. SMOL. 1993. Diatom Assemblages as Indicators of Lake Trophic Status in Southeastern Ontario Lakes. J. Phycol. 29: 575-586.

CYRUS, Z. y SLADECEK, V. 1965. Standart methods of the biological water anaysis. Zvl. Príloha Vodního hospodárství 19: 1-63.

DALLA SALDA, H. 1985. Los efectos de la degradación de las cuencas de los ríos Iruya y Pescado sobre aguas hidráulicas proyectadas. Exposición realizada en la consulta de expertos sobre el tema manejo del sistema aguas-suelo-vegetación para la Mitigación de Inundaciones. Resistencia, Chaco.

DE LEON, L. y G. CHALAR. 2003. Abundancia y diversidad de fitoplancton en el Embalse de Salto Grande (Argentina – Uruguay). Ciclo estacional y distribución espacial. Limnetica. 22 (1-2): 103-113.

DEL GIORGIO, P.; VINOCUR, A. L.; LOMBARDO, R. J. y H. G. TELL. 1991. Progressive changes in the structure and dynamics of the phytoplankton community along a pollution gradient in a lowland river – a multivariate approach. Hidrobiologia, 224: 129-154.

DESCY, J.P. 1979. Utilización de las algas benticas como indicadores biológicos de la calidad de las aguas corrientes. En: La Contaminación de las Aguas Continentales. PESSON, P. Ed. Mundi-Prensa. Madrid. 1979. 335 pp.

DESCY, J.P. y M. COSTE. 1990. Utilisation des diatomées benthiques pour l' evalutaion de la qualité des eaux courantes. Rapport final. UNECD-NAMUR, CEMAGREF Bordeaux CEE-B. 112 pp.

EMILIANI, F. 1981. Aspectos ecológicos de los indicadores bacterianos de contaminación en el río Paraná medio. Rev. Asoc. Cienc.Nat. Litoral 12: 8 – 18.

EMILIANI, F. y S. GONGALEZ de PAIRA. 1998. Calidad bacteriológica de la laguna Bedetti (santo Tomé, provincia de Santa Fé, Argentina) y variables ambientales asociadas. Rev. Arg. Microbiol. 30: 30-38.

ESTEVES, F.A.1988. Fundamentos de Limnología. Editora Interciencia Ltda, Río de Janeiro.

FELFÖLDY, L. 1987. Biological water classification. In L. Felföldy (ed.), Vizügyi Hidrobiologia, VGI, Budapest, 258 p.

GALLANT, A. L.; WHITTIER, T. R.; LARSEN, D. P.; OMERNIK, J. M. y R. M. HUGHES. 1989. Regionalization as a Toll For Managing Environmental Resources. EPA/600/3-89/060.

U. S. Environmental Protection Agency, Environmental Research Laboratory, Corvalis. OR. 152 pp.

GARCIA DE EMILIANI, M.O. 1981. Fitoplancton de los principales cauces y tributarios del valle aluvial del río Paraná: tramo Goya-Diamante. Rev.Asoc. Cienc. Nat.del Litoral. 12: 112-125.

GARLICK, S., A. OREN y E. PADAN. 1977. Ocurrence of facultative anoxygenic photosynthesis among filamentous and unicellular cyanobacteria. J. Bacteriol. 129: 623-629.

GILLIOM, R.J., ALLEY, W.M. y GURTZ, M.E. 1994. Design of the National Water Quality Assessment program: Occurrence and distribution assessment. U.S.Geological Survey Circular 1112, 33 pp.

GLEESON, C. y N. GARY. 1996. The Coliform Index and Waterbone Disease. Spon, Londres.

GOMEZ, N. 1990. Variaciones morfológicas de Aulacoseira granulata (Ehrenberg.) Simonsen (Bacillariophyceae) en el embalse Río III, Córdoba, Argentina. Biota, Chile, 6: 45-51.

GOMEZ, N. 1991. Poblaciones de diatomeas planctónicas en una represa subtropical: Embalse Río III, Argentina. Limnol., 27(1): 3-14.

GOMEZ, N. 1998. Use of epipelic diatoms for evaluation of water quality in the Matanza – Riachuelo (Argentina), a pampean plain river. Wat. Res. 32 (7): 2029- 2034.

GOMEZ, N. 1999. Epipelic diatoms of a high contamined basin from Argentina (Matanza – Riachuelo river): biotic indices and multivariate analysis. Aquatic Ecosystem Health & Management. 2 (1999): 301-309.

GOMEZ, N. y M. LICURSI. 2001. The Pampean Diatom Index (IDP) for assessment of rivers and streams in Argentina. Aquatic Ecology 35: 173-181.

GRACA, M.; RODRIGUEZ CAPÍTULO, A.; OCÓN, C. y N. GÓMEZ. 2002. In situ test for water quality assessment: a case study in Pampean Rivers. Water Research. 36: 4033 - 4040.

GUARRERA, S.A. 1950. Estudios Hidrobiológicos en el río de la Plata. Revista del Instituto Nacional de Investigación de las Ciencias Naturales, Ciencias Botánicas II (1): 3 – 62.

HASLE, G.R. y G. A. FRYXELL. 1970. Diatoms: cleaning and mounting for light and electron microscopy. Trans. Amer. Microsc. Soc. 89: 469-474.

HELLAWEL, J.M. 1986. Biological indicators of freshwater pollution and environmental management. Elsevier, England. 546pp.

HILGERT, N. 1997. Vegetación. Flora de las Yungas y el Chaco. Estudio Ambiental Previo del Anteproyecto del Gasoducto Tartagal (Salta)- Paso de Jama (Jujuy).

HILL, G. y H. RAI. 1982. A preliminar characterization of the tropical lakes of Central Amazon by comparison with polar and temperate systems. Arch. Hydrobiol. 96 (1): 97 – 111.

HUTTER, L.A. 1984. Laborbúcher Chemic, Wasser und Wasser-untersuchung. Francfurt: Cerlag Savarländer. 344 pp.

IZAGUIRRE, I. y A. VINOCUR. 1994b. Algal assemblages from shallow lakes of the Salado River Basin (Argentina). Hydrobiol., 289: 57-64.

IZAGUIRRE, I.; O'FARRELL, I.; UNREIN, F.; SINISTRO, R. ; DOS SANTOS AFONSO, M. y G. TELL. 2003. Algal assemblages across a wetland, from a shallow lake to relictual oxbow lakes (Lower Paraná River, South America).

JONES, J.G. 1979. A guide to methods for estimating microbial numbers and biomass in freshwater. Scient. Publs. Freshwat. Biol. Ass. 39: 1- 107.

JONES, R. L. 1994. Mixotrophy in planktonic protists as a spectrum of nutritional strategies. Marine Microbial Food. Webs 8 (1-2): 87-96.

JONES, R. L. 2000. Mixotrophy in planktonic protists: an overview. Freshwat. Biol. 45: 219-226.

JOSÉ DE PAGGI, S.B. 1984. Distribución vertical del zooplancton en el río Paraná medio. Asoc. Cienc. Nat. Litoral, 96 p.

KELLY, M. y B. WHITTON. 1995. The Trophic Diatom Index: a New Index for Monitoring Eutrofication in River. Journal of Applied Phycology 7: 433-444.

KOBAYASHI, H. y S. MAYAMA. 1982. Most pollution tolerant diatoms of severely polluted rivers in vicinity of Tokyo, Japan. J. Phycol. 30: 188-196.

KOLKWITZ, R. y M. MARSSON. 1908. Ökologie der pflanzlichen Saprobien. Ver. Deutsche. Bot. Ges. 26ª: 505-519.

KOLKWITZ, R. y M. MARSSON. 1909. Okologie der tierische saprobien. Beiträge zur Lehre von der Biologische Gewasserbeurteilung. Int. Revue ges. Hydrobiol., 2: 126-152.

LANGE – BERTALOT, H. 1979. Pollution and tolerance of diatoms as criterion of water quality estimation. Nova Hedwigia 64: 285-304.

LAWA – LANDAMT FUR WASSER UND ABFALL NORDRHEIM – WESTFALEN. 1982. Richtlinie fur die Ermittlung der Gewäsergute Klasse. Dusseldorf, Herausgeber: Lawa, 12 pp.

LIEBMANN, H. 1962. Handbook of the biology of fresh water and wastewater. Verlag. R. Oldenbourg, Munchen.

LEWIS, W.M.JR. 1988. Primary production of the Orinoco River. Ecology 69: 679 – 692.

LICURSI, M. y N. GOMEZ. 2002. Benthic diatoms and some environmental conditions in three lowland streams. Annales de Limnologie 38 (2): 109-118.

LOBO, E. A. y H. KOBAYASI. 1990. Shannon`s diversity index applied to some freshwater diatom assemblages in the Sakawa river system Kanawaga Pref. (Japan) and its use as an indicator of water quality. Japanase Journal of Phycology, 38: 229-243.

LOBO, E. A.; CALLEGARO, V.L.; OLIVEIRA, M.A.; SALOMONI, S.E.; SCHULER, S.S. y K. ASAI. 1996. Pollution Tolerant Diatoms from lotic systems in the Jacuí Basin, Río Grande do Sul, Brazil. Iheringia, Sér. Bot. Porto Alegre, 47: 45 – 72.

LOBO, E. 1995. Response of Epilithic Diatom Assemblages to Water Pollution in Rivers in the Tokyo Metropolitan Area, Japan. Freshwater Biology. 34: 191-204.

LOBO, E. 1996. Pollution Tolerant Diatom from Loyic System in the Jacuí Río Grande do Sul, Brazil. Heringia, Ser.Bot., Porto Alegre. 47: 45-72.

LOBO, E. 1997. Estudo da Qualidade da Água do Rio Pardinho, Municipio de Santa Cruz do Sul, Rio Grande do Sul, Brasil. Tecno-Lógica. Santa Cruz do Sul. v. 1, n. 1, p.11-36.

LOBO, E. 2002. Utilizacào de Algas Diatomáceas Epilíticas como Indicadoras da Qualidade da Água em rios e Arroios da Regiào Hidrográfica do Guaiba, RS, Brasil. Editora da UNISC (Universidad Santa Cruz do Sul).

LUCHINI, L. 1980. Estudios ecológicos de la Cuenca del Río Limay (Argentina). Revista Asociación Ciencias Naturales del Litoral. 12: 44 – 58.

LUDWIG, J. A. y J. F. REYNOLDS. 1988. Statistical Ecology. John Wiley, Inc., New York. 337 pp.

LUQUE, M. E.; MARTINEZ DE FABRICIUS, A. L. Y N. GARI. 1994. El componente algal en transporte en ríos y arroyos serranos de la cuenca del río Cuarto (Córdoba, Argentina). Tankay, 1: 55 – 57.

MacGILL, R.; TUKEY, J.W. y W.A. LARSEN. 1978. Variation of boxplots. American Statistician, 32, 12-16.

MAGURRAN, A. E. 1988. Ecological Diversity and its Measurements. London. Croom. Helm. 179 pp.

MARCONI, P. 1994. Proyecto Pescado III° y IV°: Su incidencia en el Parque Nacional Baritú. Informes Internos , Administración de Parques Nacionales. 13 págs.

MARGALEF, R. 1969. El concepto de polución en limnología y sus indicadores biológicos. Agua, 7: 103-133.

MARGALEF, R. 1980. Composición y fenología de la vegetación algal de un arroyo de Montseny (Barcelona). Oecologia aquatica, 4: 111-112.

MARGALEF, R. 1982. Ecología. Editorial Omega, Barcelona. 1010 pp.
MARGALEF, R. 1983. Limnología. Editorial Omega, Barcelona.

MARTINEZ DE FABRICIUS, A.L., M.C.FERNANDEZ BELMONTE, N. GARI y M.C. CORIGLIANO. 1988. Análisis del componente algal en transporte en ríos y arroyos del Valle de Calamuchita (Córdoba, Argentina). Rev. UNCR. 8(19): 95- 110.

MEYBECK, M. y R. HELMER. 1989. The quality of rivers: from pristine state to global pollution. In: Palaeogeogr. Palaeoclim., Palaeocol. (Global Planet Change Sect.) 75, Elsevier, pp. 283 – 309.

MIRANDE, V. 2001. Dinámica del fitoplancton del río Gastona (Tucumán, Argentina) en relación a la calidad de sus aguas. Tesis Doctoral. Universidad Nacional de Tucumán. Facultad de Ciencias Naturales e Instituto Miguel Lillo. Tucumán.

MORAÑA, L.B. 1998. estudio de la calidad del agua en un subsistema de ríos de la provincia de Salta sometidos a acción antrópica. Tesis de Magister. Universidad Nacional del Litoral. 88 pp.

NORRIS, R. y C. HAWKINS. 2000. Monitoring river health. Hydrobiología 435: 5-17.

OEA (ORGANIZACIÓN ESTADOS AMERICANOS). 1971. Cuenca del Río de la Plata. Estudio para su Planificación y Desarrollo. 169 págs.

OEA (ORGANIZACIÓN ESTADOS AMERICANOS). 1973. Estudio de los Recursos Hídricos de la Alta Cuenca del Río Bermejo y Programación para su desarrollo.

OEA (ORGANIZACIÓN ESTADOS AMERICANOS). 1974. Cuenca del Río de la Plata. Estudio para su planificación y desarrollo. I°- Alta Cuenca del Río Bermejo. Esudio de los Recursos Hídricos. 166 págs.

OEMKE, M. D. y T. M. BURTON. 1986. Diatom colonization dynamics in a lotic system. Hydrobiologia, 139: 153-166.

O'FARRELL, I. 1993. Phytoplankton ecology and limnology of the Salado River (Buenos Aires, Argentina). Hydrobiologia 271: 169 – 178.

O'FARREL, I. y I. IZAGUIRRE. 1994. Phytoplankton ecology and limnology of the River Uruguay Lower Basin (Argentina). Arch. Hydrobiol./Suppl.99 (1-2): 155 – 179.

O'FARREL, I.; I. IZAGUIRRE y A. VINOCUR. 1996. Phytoplankton ecology of the Lower Paraná River (Argentina). Arch. Hydrobiol. Suppl., 115/ Large Rivers, 11 (1): 75-89.

O'FARRELL, I.; SINISTRO, R.; IZAGUIRRE, I. Y F. UNREIN. 2003. Do steady state assemblages occur in shallow lentic environments from wetlands?. Hydrobiologia 502: 197-209.

OMERNIK, J. M. 1987. Ecoregions of the Conterminous United States. Annals of the Association of American Geographers. 77: 118-125.

OMS (Organización Mundial de la Salud). Guías para la Calidad del agua Potable.1995. 2ª Edición. Ginebra.

PANTLE, R. y H. BUCK. 1955. Biological monitoring of water bodies and the presentation of results. Gas und Wasserfach 96: 604 pp.

PATRICK, R. 1949. A proposed biological measure of stream conditions, based on survey of the Conestoga Basin, Lancaster Country, Pennsylvania. proc. Acad. Nat. Sc. Philadelphia. 101: 227-341.

PATRICK, R. 1957. Diatoms as indicators of changes in environmental condition. Biol. Probl. In: Water Pollution. Cincinnati, 71-83.

PATRICK, R. 1964. A discussion of natural and abnormal diatom communities. In: Algae and Man, S. F. Jackson edit., 185-204.

Programa Estrategico de Accion (PEA) para la Cuenca del Bermejo. 2000. Diagnóstico ambiental transfronterizo de la Cuenca del Río Bermejo. 181 pp.

PEA-PNUMA. 2002. Reserva de la Biosfera de las Yungas. Una oportunidad para el desarrollo sustentable.

PEDROZO, F. y C. BONETTO. 1987. N & P transport in the Bermejo River (South America). Revue d' Hydrobiologie Tropicale 20 (2): 91 - 99.

PEDROZO, F. y C. BONETTO. 1989. Influence of river regulation on nitrogen and phosphorus mass transport in a large South American river. In: Regulated Rivers: Resarch & Management, John Wiley & Sons (eds.), Vol. 4: 59 – 70.

PEREZ DE AYALA, F. 1994. Aspectos Técnicos del Aprovechamiento del Río Bermejo. Informe Comisión Regional del Río Bermejo. 23- 37.

POURRIOT, R. y M. MEYBECK. 1995. Limnologie générale. Ed. MASSON. París, Milán, Barcelona.

PROGRAMA DE VIGILANCIA EPIDEMIOLÓGICA. Dirección general de epidemiología. Ministerio de Salud Pública. Salta. Años 1997, 1998 y 1999.

PROGRAMA DE EDUCACION PARA LA SALUD EN LA ESCUELA. 1998. Ministerio de Educación. Ministerio de Salud Pública. Gobierno de la Provincia de Salta.

RAMIREZ GONZALEZ, A. y G. VIÑA VIZCAINO. 1998. Limnología Colombiana. Aportes a su conocimiento y estadísticas de análisis. Panamericana S.A. Colombia. 293 pp.

REPORT OF SCOR-UNESCO WORKING GROUP 17. 1966. Determination of photosynthetic pigments in seawater. Monographs on Oceanographic Methodology, 1. UNESCO, Paris.

REYNOLDS, C. S. 198. The ecology of freswater phytoplankton. Cambridge University Press. London. 384 pp.

REYNOLDS, C. S. 1988. Functional morphology and adaptative strategies of freshwater phytoplankton. En: Growth and reproductive strategies of freshwater phytoplankton. Sandgren C. (Ed.). Cambridge University Press.

REYNOLDS, C. S. 1994. Paradigms regained – potamoplankters do it on the side. In: Ferguson, A. J. y d. Harper. (Eds.). The ecological basis for river management. Wiley-Interscience, London.

RODRIGUEZ CAPITULO, A. y N. GOMEZ. 2003. Diatomeas y macroinvertebrados bentónicos en el monitoreo de sistemas lóticos bonaerenses. Biología Acuática Nº 21: 31- 49.

ROLDÁN PÉREZ, G. 1992. Fundamentos de limnología neotropical. Editorial Universidad de Antioquía, Colombia. 528 pp.

ROUND, F.E. 1991. Use of diatoms for monitoring rivers. Institut für Botanik, Universität Innsbruck..

SALUSSO, M.M. 1998. Estudio de la calidad del agua de dos subsistemas de ríos de la provincia de Salta (Argentina). Tesis de Maestría, Universidad Nacional del Litoral. Santa Fé, Argentina.

SALUSSO, M. M. y L. B. MORAÑA. 2000. Características Físicas, químicas y fitoplancton de ríos y embalses de la alta cuenca del Río Juramento (Salta, Argentina). Natura Neotropicalis 31 (1y2): 29-44.

SASTRE, A. V.; SANTINELLI, N. H.; OTAÑO, S. H.; IVANISSEVICH, M. E. y M. G. AYESTARÁN. 1994. Diatom blooms and their relation to water supply. Verh. Internat. Verein. Limnol. 25: 1974-1978.

SCHÄFER, A. 1985. Fundamentos de ecología e biogeografia das águas continentais. Editora da Universidade. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. GTZ. Porto Alegre. Brazil. 533 pp.

SCHIAFFINO, M. 1977. Fitoplancton del Río Paraná: I. Sus variaciones en relación al ciclo hidrobiológico en cauces secundarios de la llanura aluvial. Physis 36 (92): 115 – 125.

SEELIGMANN, C. 1998. Evaluación de la estructura y dinámica ficológica en el río Salí (Tucumán-Argentina), en relación al impacto de la contaminación antropogénica. Tesis Doctoral. Facultad de Cs. Naturales e IML. UNT. Tucumán. 191 pp.

SEOANEZ CALVO, M. 1996. Ingeniería del Medio Ambiente. Aplicada al medio natural continental. Ed. Mundi-Prensa. Madrid.

SHANNON, C.E. y W. WEAVER. 1949. The mathematical Theory of communication. The University of Illinois Press. Urbana.177 pp.

SIEGEL, S. 1972. Estadística no paramétrica. México. Trillas.

SLADECEK, V. 1973. System of water quality from the biological point of view. Arch. Hydrobiol. 7: 1-218.

SOLARI, L.1995. Structure and dynamics of phytoplankton of the River Samborombón (Buenos Aires, Argentina). Acta Hydrobiol. 37, 4: 231-241.

SOROKIN, Y. I. 1999. Aquatic Microbial Ecology. Backhuys Publ., Leiden. 247 pp.

SRH (SECRETARÍA DE RECURSOS HÍDRICOS). 1994. Normativa de Valores Guía de Calidad de Agua en Función de los Diferentes Usos del Recurso. Países de la Cuenca del Plata.

STAL, L. J. y R. MOEZELAAR. 1997. Fermentation in cyanobacteria. FEMS Microbiol. Rev. 21: 179-211.

TANGORRA, M.; MERCADO, L.; RODRIGUEZ CAPITULO, A. y N. GOMEZ. 1998. Evaluación de la calidad ecológica del Aº El Gato a partir del estudio del bentos, fitoplancton y variables físico-químicas. Anales del Congreso del Agua Tomo 5:212-220.

TORO, J.; SCHUSTER, J. y J. KUROSAWA. 2003. Diagnostico de la calidad del agua en sistemas lóticos utilizando diatomeas y macroinvertebrados bentónicos como bioindicadores. Río Maipo (Santiago: Chile). Sociedad Chilena de Ingeniería Hidráulica. XVI Congreso Chileno de Ingeniería Hidráulica.

TRACANNA, C. y S. N. MARTINEZ DE MARCO. 1997. Ficoflora del río Salí y sus tributarios en áreas del embalse Dr. C. Gelsi (Tucumán – Argentina). Natura Neotropicalis 28, (1): 23 – 38.

TUNDISI, J.G. 1981.Shallow waters in South America: present knowledge and perspectives for future research and management. In: dinamics of Continental Wetlands and Water Bodies, URSS, Scope/UNEP, p. 12 – 26.

UTERMOHL, H. 1958. Zur Vervollkommnung der quantitativen Phytoplankton-Methodik. Mitt. Int. Ver.Limnol. 9: 1 – 38.

VEGA, S. 1988. Evaluación epidemiológica de riesgos causados por agentes químicos ambientales. Generalidades y toxicología. Tomo I. Centro Panamericano de Ecología Humana y Salud. Organización Mundial de la Salud. Organización Panamericana de la Salud. Bs.As. Argentina.

VERVOORST, F. 1979. La Vegetación del Noroeste Argentino y su Degradación. Serie Conservación de la Naturaleza. Ministerio de Educación y Justicia, Fundación Miguel Lillo. Tucumán. 5 páginas.,

VERVOORTS, F. 1982. Noroeste. En: Conservación de la Vegetación Natural en la República Argentina. (Simp. XVIII ° JornadasArgentinas de Botánica). Serie Cons. Nat. Págs 9-24, Fundación Miguel Lillo, Universidad Nacional de Tucumán, Tucumán.

WATANABE, T.K., A. ASAI AND A. HOUKI. 1990. Numerical simulation of organic pollution in flowing waters. In: Cheremisinoff, P.N. (ed.). Encyclopedia of Environmental Control Technology, Hazardous Waste Containment and Treatment. Hooston, Gulf Pvld. v.4, p.251 – 281.

WIKEN, E. 1986. Terrestrial Ecozones of Canada. Ecological Land Classification. Series No. 19. Environmental Canada, Ottawa. ON. 26 pp.

WILLIAMS, P. y C. YENTSCH. 1976. An examination of photosynthetic production, excretion of photosynthetic products, and heterotrophic utilization of dissolved organic compounds with reference to results from a coastal subtropical sea. Mar. Biol. 35, 31-40.

WINER, B.J. 1971. Statistical Principles in Experimental Design. (2nd ed.). New York. MacGraw-Hill.

WHITTON, B.A. 1991. Aims of monitoring, 5-8. *In* B.A.Whitton, E.Rott & G.Friedrich, (eds.). Use of algae for monitoring rivers, Innsbruck..

WHITTON, B.A. y M.G.KELLY. 1995. Use of algae and other plants for monitoring rivers. Aust.J.Ecol. 20: 45 – 56.

ZALOCAR de DOMITROVIC, Y. 2000. Estructura y dinámica del fitoplancton en la cuenca del eje potámico Paraguay-Paraná (Argentina). Tesis Doctoral. Universidad Nacional de Córdoba, Córdoba. 371 pp.

ZULUAGA, J.; BERMEJILLO, A.; FILIPPINI, M.F.; SALCEDO, C.; DROVAND, A. y R. VILLODAS. 2000. Impacto de los Contaminantes del Agua de Riego en la Calidad Intrínseca de las Hortalizas Cultivadas en el Cinturón Verde de Mendoza. Memorias del XVIII Congreso Nacional del Agua.

ANEXO

Tabla I: Listado de especies registradas en la Alta Cuenca del Río Bermejo.

CIANOPHYTA

Anabaena sp.
Anabaenopsis sp.
Borzia susedana Ercegovic
Chroococcus turgidus (Kütz.) Näg.
Chroococcus minimus (Kütz.) Näg.
Chroococcus minutus (Keissler) Lemm.
Coelosphaerium naegelianum Ung. Beitr.
Cylindrospermun sp.
Gloeotrichia sp.
Merismopedia glauca Näg.
Merismopedia tenuissima Lemm.
Oscillatoria limosa. Agardh
Oscillatoria subtilissima Kütz.
Oscillatoria tenuis Agardh
Oscillatoria sp.
Pseudoanabaena catenata Lauterborn
Pseudoanabaena tenuis Koppe
Raphidiopsis sp.
Synechococcus cedrorum Sauvageau

BACILLARIOPHYTA

Achnanthes clevei Grunow in Cleve et Grunow
Achnanthes coarctata (Brébisson in W. Smith) Grunow in Cleve et Grunow
Achnanthes curtissima J. R. Carter
Achnanthes delicatula (Kützing) Grunow in Cleve et Grunow
Achnanthes exigua Grunow in Cleve et Grunow
Achnanthes fluviatilis A. Cleve
Achnanthes hungarica (Grunow) Grunow in Cleve et Grunow
Achnanthes inflata (Kützing) Grunow
Achnanthes lanceolata (Brévisson in Kützing) Grunow in Cleve et Grunow
Achnanthes microcephala (Kützing) Grunow
Achnanthes minutissima Kützing
Amphora veneta Kützing
Anomoneis sp.
Cocconeis placentula Ehrenberg
Cocconeis placentula var. Euglypta (Ehrenberg) Van Heurk
Cyclotella atomus. Hustedt
Cyclotella stelligera (Cleve et Grunow in Cleve) Van Heurck
Cyclotella meneghiniana Kützing
Cyclotella sp.
Cymatopleura librile (Ehrenberg) Pantocsek
Cymbella affinis Kützing
Cymbella caespitosa Kützing
Cymbella delicatula Kützing
Cymbella minuta Hilse ex Rabenhorst (Encyonema)
Cymbella silesiaca Bleisch in Rabenhorst (Encyonema)
Cymbella tumida (Brèvisson in Kützing) Grunow in Van Heurck

Diatoma hyemalis (Roth) Heib.
Diatoma vulgaris Bory
Diploneis sp.
Eunotia sp.
Fragillaria capucina Desmazières
Fragillaria inflata (Heiden) Husted
Fragillaria pinnata Ehrenberg
Fragillaria vaucheriae (Kützing) J. B. Peterson
Fragillaria sp.
Gomphonema angustatum (Kützing) Rabenhorst
Gomphonema olivaceum (Hornemann) Brébisson var. olivaceum
Gomphonema parvulum (Kützing) Kützing
Gomphonema tenerrimun Hustedt
Gomphonema truncatum Ehrenberg
Gomphonema sp.
Gyrosigma acuminatum (Kützing) Rabenhorst
Gyrosigma obtusatum (Sulliv & Wormley) Boyer
Hannaea arcus (Ehrenberg) Patrick
Hannaea sp.
Melosira varians Agardh
Navicula accomoda Hustedt
Navicula atomus (Kützing) Grunow
Navicula bryophila J. B. Peterson
Navicula capitoradiata Germain
Navicula cincta (Ehrenberg) Ralfs in Pritchard
Navicula citrus Krasske
Navicula cryptocephala Kützing
Navicula cryptotenella Lange-Bertalot
Navicula gregaria Donkin
Navicula hungarica Grunow
Navicula menisculus Schumann
Navicula minima Grunow
Navicula minuscula Grunow in Van Heurck
Navicula phyllepta Kützing
Navicula radiosa Kützing
Navicula rhynchocephala Kützing
Navicula salinarum Grunow in Cleve et Grunow
Navicula schoenfeldii Hustedt
Navicula schroeteri Meister var. schroeteri
Navicula seminuloides Hustedt
Navicula subminuscula Manguin
Navicula tenelloides Hustedt
Navicula trivialis Lange-Bertalot
Navicula veneta Kützing
Navicula sp1
Navicula sp2
Navicula sp3
Nitzschia acicularis (Kützing) W.Smith
Nitzschia amphibia Grunow
Nitzschia archibaldii Lange-Bertalot

Nitzschia closterium (Ehrenberg) W.Smith
Nitzschia communis Rabenhorst
Nitzschia confusa Hustedt
Nitzschia constricta Kützing
Nitzschia dissipata (Kützing) Grunow
Nitzschia filiformis (W.Smith) Van Heurck
Nitzschia fonticola Grunow in Cleve et Möller
Nitzschia gracilis Hantzsch
Nitzschia hungarica Grunow
Nitzschia inconspicua Grunow
Nitzschia intermedia Hantzsch ex Cleve et Grunow
Nitzschia levidensis (W. Smith) Grunow in Van Heurck
Nitzschia linearis W.Smith
Nitzschia lorenziana Grunow in Cleve et Möller
Nitzschia minuta Bleisch
Nitzschia palea (Kützing) W. Smith
Nitzschia paleacea (Grunow in Cleve et Grunow) Grunow in Van Heurck
Nitzschia subacicularis Hustedt in A. Schmidt et al.
Nitzschia valdestriata Aleem et Hustedt
Nitzschia vitrea Norman
Nitzschia sp.
Pinnularia sudetica Hilse
Reimeria antiqua (Grunow) Kociolek et Stoermer
Reimeria sinuata f. ovata (Hustedt) B. Hartley et al.
Reimeria sinuata (Gregory) Kociolek et Stoermer
Rhizosolenia longiseta Zach.
Rhoicosphenia abbreviata (Agardh) Lange-Bertalot
Stauroneis acuta W. Sm.
Surirella sp.
Synedra minuscula Grunow
Synedra rumpens Kützing
Synedra ulna (Nitzsch.) Ehrenb.
Synedra ulna var. oxyrhynchus (Kützing) Van Heurck
Synedra sp.
Tryblionella apiculata Gregory

CHLOROPHYTA

Actinastrum sp.
Ankistrodesmus sp.
Carteria sp.
Chlamydomonas debaryana
Chlamydomonas globosa Snow
Chlorella minutissima Fott et Nov.
Chlorella vulgaris Beij.
Chlorella sp.
Chlorococcum sp.
Chlorogonium sp.
Chlorolobion obtusum Kors.
Chloromonas af. flos-aque
Cosmarium granatum Bréb. var. granatum

Cosmarium subquadratum Nordst.
Cosmarium sp.
Closterium moniliferum (Bory) Ehrenb.
Elakatothrix sp.
Gonatozygon sp.
Micractinium sp.
Monoraphidium nanum (Ettl) Hind.
Monoraphidium pusillum (Printz) Komárková-Legnerová
Monoraphidium sp.
Nephrocytium agardhianum Näg.
Oocystis elliptica W. West
Oocystis sp.
Palmella sp.
Pediastrum sp.
Planktosphaeria sp.
Polytoma sp.
Pteromonas angulosa (Stein) Dang.
Pyramimonas sp.
Scenedesmus acutus Meyen
Scenedesmus acutus forma alternans Hort.
Scenedesmus bicellullaris Chodat
Scenedesmus bijuga (turp.) Lagerh.
Scenedesmus ecornis (Ralfs) Chodat
Scenedesmus obliquus (Turp.) Kütz.
Scenedesmus quadricauda (Turp.) Bréb.
Scenedesmus quadricauda forma granulatus Hort.
Scenedesmus quadricauda var. longispina (Chodat) G. M. Smith
Scenedesmus spinosus Chodat
Scenedesmus tenuispina Chodat
Schroederia setigera (Schröd.) Lemm.
Stichococcus bacilaris (Graham)
Tetraedrom longispinum (Perty) Hansg. sensu Gucunski
Tetrastrum elegans Playf.
Tetrastrum sp.
Treubaria sp.

EUGLENOPHYTA

Euglena oxyuris Schmarda
Euglena viridis Ehrenb.
Euglena sp.
Trachelomonas híspida (Perty) Steinemend.
Trachelomonas sp1
Trachelomonas sp2
Trachelomonas sp3
Petalomonas sp.

CHRYSOPHYTA

Chromulina minuta Doflein
Chromulina pyrum Pascher
Chromulina sphaerica Bochm.

Chromulina sp.
Chrysococcus sp.
Hydrurus sp.
Mallomonas acaroides Perty.
Mallomonas sp1
Mallomonas sp2
Mallomonas sp3
Mallomonopsis elliptica Matvienko
Ocromonas sp
Synura sp

CRYPTOPHYTA

Chroomonas oblonga
Chroomonas sp1
Chroomonas sp2
Cryptomonas erosa Ehrenberg
Cryptomonas gracilis Skuja
Cryptomonas pirenosa
Cryptomonas sp1
Rhodomonas minuta Skuja

XANTHOPHYTA

Asterogloea sp
Goniochloris sp
Ophiocytium sp