

CALIDAD DE AGUA DEL EMBALSE DE YACYRETÁ EN LA COTA DE 76 METROS SOBRE EL NIVEL DEL MAR

Hugo A. Rojas¹

¹Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad Nacional de Asunción, Paraguay. Correo electrónico: hugorojas@facen.una.py

Resumen: El presente trabajo consiste en el estudio de Calidad de Agua del Embalse de Yacyretá en su condición de Cota 76 msnm. Para el efecto, se consideraron los datos relevados desde la formación del embalse, mayo/ 1994 y los disponibles en archivo, entre los años 1983-1990, en su evolución espacial-temporal. La metodología empleada fue la aplicación de una Estadística Básica Descriptiva, Estadística Inferencia. Para el estudio de tendencia se aplicó el Test de Tendencia Kendall Estacional. Los resultados de los tratamientos se dan en forma de tablas comparativas, gráficos de evolución y cálculos de tendencia, referentes a Parámetros In situ, iones responsables de la Salinidad y Nutrientes, desarrollados independientemente para dos estaciones del curso principal, Pto. Franco y Pto. Candelaria, y finalmente relacionadas al Sistema Yacyretá. Los cambios notados de la condición de río a embalse, se definen de la siguiente manera: “decrecimiento altamente significativo” del oxígeno en la Entrada al Sistema, “no significativa” en el Centro del lago y Salida del Sistema. Sin cambios en el pH, y tendencia “creciente altamente significativa” de la conductividad y “decrecimiento altamente significativo” de la turbidez en las tres estaciones. Sin cambios en la alcalinidad total, “aumento significativo” del cloruro sólo en el Centro del lago, y “creciente significativo” en todo el Sistema para el sulfato. El calcio y el magnesio, “sin cambios significativos” en todas las estaciones. “Crecimiento significativo” del sodio y el potasio en todo el Sistema, “disminución significativa” del N-amoniaco y N-nitrato en las tres estaciones de control. Para el N-orgánico y la sílice, “crecimiento significativo” en el Centro del lago y Salida del Sistema.

Palabras clave: Calidad de agua, Embalse Yacyretá, Cota 76 msnm

Abstract: The present work consists of a water quality study of the Yacyretá reservoir at 76 masl. For this cause, data we obtained as from the formation of the dam, May 1994, and the data available in files, from 1983-1990, in their spatio-temporal evolution, were used. A basic descriptive statistical method, statistical inference, was employed and the Seasonal Kendall Tendency test was applied for the tendency study. Results of the analyses are shown in the form of comparative tables, evolution graphs and tendency calculations, relating to the parameters in situ, Salinity- and Nutrient ions, developed independently for two stations of the main course, Pto. Franco and Pto. Candelaria, and finally related to the Yacyretá System. The changes noted in the conditions from river to reservoir, are defined in the following way: “highly significant decrease” in oxygen at the Entrance to the System, “not significant” at the Center of the lake and far downstream from the System. Without changes in pH, and “highly significant increase” in conductivity and “highly significant decrease” of the turbidity between the three stations. Without changes in the total alkalinity, “significant increase” of the chloride at the Center of the lake only, and “significant increase” in sulfate over the whole System. “No significant changes” in calcium and magnesium for the three stations. “Significant increase” in sodium and potassium over the whole System, “significant decrease” in ammonium-N and nitrate-N over the three stations. And “significant increase” in organic N and silica, at the Center of the lake and way out of the System.

Key words: Water quality, Yacyretá damming, Habergeon 76 msnm

INTRODUCCIÓN

Una característica fundamental de la tierra es la abundancia de agua, que cubre un 71 por ciento de su superficie, con una profundidad media de 3800 metros. La hidrosfera contiene una inmensa cantidad de agua, de la cual aproximadamente un

99 por ciento se halla en las depresiones oceánicas. La importancia de las cantidades relativamente pequeñas de agua dulce, reside en el mantenimiento de la vida terrestre (Wetzel, 1981).

El uso y abuso creciente de los recursos finitos de las aguas dulces, exige no solo preocupación,

sino un esfuerzo concertado para aumentar nuestros conocimientos sobre su funcionamiento, convirtiéndose la Limnología en un campo riguroso de la ciencia al intentar resumir sus características principales, enfrentándonos con una gran variedad de elementos que afectan el metabolismo de los organismos y su productividad (Wetzel, 1981)

El crecimiento de la humanidad y la utilización de las aguas dulces de forma exponencial creciente, son componentes indispensables de cualquier análisis del recurso. La sociedad y muchos limnólogos, tienden a no considerar al hombre y al uso y abuso de las aguas dulces, como un factor influyente en el mantenimiento de los sistemas lacustre. El hombre es un componente de dichos ecosistemas y su acción va en aumento (Wetzel, 1981).

La formación de un embalse modifica los patrones de circulación de las aguas. De una rápida velocidad de circulación, se pasa a un ambiente de reducida o nula velocidad del fluido, y con ello, una retención de contaminantes y sedimentación del material particulado, arrastrando hacia el fondo compuestos químicos de distinta naturaleza (Taller Actualización PMMA, 2002).

Así mismo, el nuevo ambiente creado tiene un importante “espejo de agua”, superficie de contacto con la atmósfera, intercambiando calor y absorbiendo energía de la radiación solar, pudiendo producir heterogeneidades en las propiedades físicas y químicas del agua (Taller Actualización PMMA, 2002).

Además, se producen cambios en la composición y concentración de los organismos de la biota acuática. De organismos adaptados a la turbulencia de un río, ambiente Lótico, que se caracterizan por ser “oportunistas” y de corto tiempo de vida se pasa a otro, ambiente Léntico, con organismos aptos para su desarrollo en ambientes lacustre. El tipo y la presencia de estos, también dependen de la calidad del agua y condiciona la presencia de distintas especies autóctonas de la fauna íctica (Taller Actualización PMMA, 2002).

La acumulación de un exceso de nutrientes, genera un impacto sobre la calidad del agua denominado Eutrofización, etimológicamente “bien o

excesivamente alimentado”, caracterizado por un desarrollo explosivo de algas microscópicas, o manifestándose por el desarrollo de malezas acuáticas, que cuando mueren y sedimentan, producen descomposición de material orgánico, pudiendo ocasionar la ausencia del Oxígeno Disuelto en las capas profundas (Odum, 1987).

La magnitud o intensidad, de los distintos problemas de calidad de agua en un embalse, están estrechamente vinculados al “Tiempo de Retención Hidráulico” (Volumen/ Caudal), es decir, el tiempo que el agua es retenida en el cuenco lacustre, o sea el tiempo teórico en que se vaciaría el embalse para un dado caudal de erogación, si no ingresara agua alguna. A mayor tiempo de permanencia hidráulico, los problemas de sedimentación, acumulación de tóxicos y desarrollo “algal” (Eutrofización), serán también mayores (Taller Actualización PMMA, 2002).

A solicitud de la Comisión Mixta Argentino Paraguaya del Río Paraná -COMIP-, mediante convenios con el Instituto Nacional de Ciencia y Técnica Hídricas, INCITH, de la República Argentina y el Instituto de Ciencias Básicas, I.C.B., de la Universidad Nacional de Asunción de la República del Paraguay, con la colaboración de la Dirección General de la Provincia de Misiones, República Argentina, se llevaron a cabo, durante el período comprendido entre los años 1982-1990, campañas mensuales de muestreo de las aguas del Río Paraná y algunos afluentes principales, en el tramo comprendido entre los Km. 1596 y 1927. Se realizaron actividades de muestreo en las principales entradas y salidas al futuro Sistema Corpus. Con frecuencia mensual, se extrajeron muestras de agua, además de otras estaciones, en las siguientes secciones:

- **Sección N° 2: Río Paraná, Km. 1930,** aguas arriba de la confluencia con el R. Iguazú (Referencia: 1 Km. aguas abajo de Pto. Pte. Franco)
- **Sección N° 6: Río Paraná, Km. 1598,** a la altura del Eje Candelaria - Campichuelo (Referencia: Escala

Hidrológica sobre Margen Derecha)
(CMRP & ICB, 1983).

- El criterio seguido en la selección de los parámetros se orientó hacia uno de los problemas inherentes a todo represamiento y de importancia relevante como es la “Eutrofización”, término que caracteriza a un curso léntico con alta productividad planctónica, elevada tasa de consumo de oxígeno y altas concentraciones de compuestos químicos que alteran la calidad del agua, pudiendo influir negativamente sobre los distintos usos asociados al futuro embalse de “Corpus”. Los componentes vinculados al crecimiento explosivo del fitoplancton como los nutrientes, penetración de luz y características hídricas darían elementos que permitirían evaluar la posible eutrofización del mencionado embalse (CMRP & ICB, 1983).

A requerimientos de la Entidad Binacional Yacyretá, desde agosto de 1993, se realizan tareas de Monitoreo de la calidad del Agua en el área de incidencia directa de Yacyretá sobre el Río Paraná, entre las progresivas Km. 1598, en el Eje Candelaria-Campichuelo, y Km. 1380, cercana Itá Ibaté/ Panchito López y sub-embalses laterales (EEBY & FACEN, 1993).

Dichos trabajos se efectivizaron mediante Convenios con la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales (FaCEN) de la Universidad Nacional de Asunción, el Centro Regional de Investigación y desarrollo (CERIDE), la Facultad de Ciencias Exactas, Químicas y Naturales de la Universidad Nacional de Misiones (UNaM) y la Comisión Mixta argentino-paraguaya del Río Paraná (COMIP).

Atendiendo al Programa “Calidad de Agua”, el Monitoreo tiene el propósito de medir la evolución de aquellas variables ambientales generadas por la presencia de Yacyretá, tanto internas (Área de Impacto), como externas (Ingresos al Embalse), que condicionarán la calidad de sus aguas y su aptitud para los diferentes usos del recurso (EEBY &

FACEN, 1993).

La “Operación de la Red de Monitoreo”, tiene componentes de *medición*, de *análisis estadístico* y de *investigación ambiental* o *evaluación* que desarrollan las Instituciones Académicas (EEBY & FACEN, 1993).

Para éste último diseño, espacialmente se consideró tanto el Área de Impacto por la presencia de YACYRETA, definida en principio, desde el eje Candelaria/ Campichuelo hasta Itá Ibaté/ Panchito López, y aquella zona adyacente e inmediatamente aguas arriba del área de impacto que condicionarán la aptitud del recurso agua en el Embalse (EEBY & FACEN, 1993).

Este trabajo tiene como objetivo general el estudio de la Calidad del Agua del Embalse de Yacyretá a Cota 76 msnm.

Se traza como objetivos específicos, verificar los cambios en la Calidad de las Aguas del Río Paraná, en base a los datos relevados a Cota 76 msnm, mayo/94’ – abril/06’.

Efectuar el estudio comparativo de los indicadores de calidad de agua, parámetros In Situ, Nutrientes e Iones principales, entre los datos actuales recabados en el período de embalse Yacyretá y los datos de archivo en condición de río (históricos).

Realizar el análisis temporal/ espacial de los principales indicadores de calidad de agua, parámetros In Situ, Nutrientes e Iones principales, que permitan definir su condición actual y su tendencia en el tiempo.

La metodología de estudio empleada es la aplicación de una Estadística Básica Descriptiva y una Estadística Inferencial (marques de Cantú, 1990; Daniel, 1979).

El test de distribución que sirve como base para el ensayo de tendencia es el Kendall Tau (Daniel, 1979; Kendall & Sundrum, 1953; Bradley, 1968).

METODOLOGÍA

Teniendo en cuenta las características de un ambiente Lótico (Río) y un ambiente Léntico (Embalse), se consideraron datos históricos de calidad de agua del Río Paraná, extraídos de

Programas desarrollados mediante Convenios entre la Comisión Técnica Mixta del Río Paraná (COMIP) y el Instituto de Ciencias Básicas (ICB) de la Universidad Nacional de Asunción, durante el período comprendido entre los años 1982-1990, en Campañas mensuales de Muestreo en el tramo Km. 1596 y 1927.

La metodología de estudio empleada es la aplicación de una Estadística Básica Descriptiva y una Estadística Inferencial. Para hacer uso del análisis de varianza, se comprobaron los supuestos teóricos del modelo, la homocedasticidad y normalidad. Los resultados de los tratamientos se dan en forma de tablas comparativas y gráficos referentes a:

- Parámetros In situ
- Iones principales. Salinidad
- Nutrientes

El estudio de Tendencia se realiza por estación y grupos de parámetros, en una evolución temporal/ espacial de condición de Calidad de Agua. El test de distribución que sirve como base para el ensayo de tendencia es el Kendall Tau (Kendall, 1975). La hipótesis nula para este estudio es que la variable casual es independiente del tiempo. La única suposición de fondo necesaria, es que la variable casual es independiente e idénticamente distribuida (con cualquier distribución), indicándose de existir una tendencia, su magnitud, expresada como una pendiente (valor por unidad de tiempo), aunque esto no implique la aceptación de una tendencia lineal.

Como un asistente al test se define el estimador de pendiente Kendall, como la mediana de las diferencias (expresadas como pendientes) de pares ordenados de valores que son comparados en el test Kendall estacional, registrando la diferencia, dividida por el número de años separando los valores puntuales. La mediana de estas diferencias se toma como el cambio por año debido a la tendencia.

Primeramente, se consideran como antecedentes históricos y se comparan los datos correspondientes a dos estaciones, la Sección N° 2 Río Paraná, aguas arriba de la confluencia con el

R. Iguazú, 1 Km. aguas abajo de Pto. Pte. Franco, y la Sección N° 6 Río Paraná, Eje Candelaria/Campichuelo, con referencia a la Escala Hidrológica sobre Margen Derecha.

En segundo lugar, se establece una línea de correlación entre los datos históricos de la Sección N° 6 Río Paraná, del Convenio COMIP/ ICB y la correspondiente a la Estación Índice EI-1 Río Paraná, del Convenio EBY/ FaCEN, con los mismos criterios de evaluación.

Cabe mencionar, que la Sección N° 6 Río Paraná, del Convenio COMIP/ ICB se corresponde con la actual Estación Índice EI-1 Río Paraná, del Convenio EBY/ FaCEN, en el Eje Candelaria/Campichuelo, por lo que la población de datos provenientes de ambos Convenios, aunque separados en el tiempo, corresponden al mismo sitio.

Los temas se desarrollan siguiendo el siguiente esquema:

1. Análisis comparativo entre las estaciones E-2 Pto. Franco y E-6 Pto. Candelaria, sobre el Río Paraná, en condición de Río (años 1982-1990).
2. Estudio comparativo en la estación Pto. Candelaria considerando los periodos, condición de Río (años 1982-1990) y previo-post-Embalse (años 1993-2006)
3. Evolución temporal en la estación EI-4 Centro del lago Yacyretá, atendiendo a los periodos previo-post Embalse (años 1993-2006).
4. Evolución temporal en la estación EI-8 Itá Ibaté-Panchito López, atendiendo a los periodos previo-post Embalse (años 1993-2006).
5. Estudio de las tendencias por parámetro en cada estación, en el periodo de Río Paraná, en el previo-embalse y post-Embalse Yacyretá.

RESULTADOS

ANÁLISIS DE VARIANZA

Estaciones E-2 Franco – E-6 Candelaria

En la **TABLA 1** se da el resumen de los

PARÁMETROS	Media aritmética				Diferencias significativas entre periodos
	1982- 1985		1986-1990		
	E-2 Franco	E-6 Candel.	E-2 Franco	E-6 Candel.	
Oxígeno disuelto	10,5	9,2	10,8	9,4	SÍ
pH	7,3	7,2	7,1	7,0	NO
Conductividad	42,4	42,6	50,2	40,3	NO
Turbidez	23,2	42,2	14,2	23,0	SÍ
Transparencia	76	62	104	95	NO
Alcalinidad Total	19,3	18,5	20,0	19,3	SÍ
Cloruros	3,01	3,16	3,134	3,69	NO
Sulfato	2,27	1,58	1,77	2,18	NO
Calcio	4,51	4,31	4,92	4,92	NO
Magnesio	1,80	1,78	1,61	1,82	NO
Sodio	1,69	1,72	2,09	2,38	NO
Potasio	1,48	1,45	1,75	1,90	NO
N-Amoniacal	0,039	0,042	0,046	0,041	NO
N-Nitratos	0,242	0,312	0,247	0,317	SÍ
N-Orgánico	0,396	0,368	0,374	0,375	NO
Sílice	5,65	5,50	4,94	4,71	NO

Tabla 1. Estudio estadístico comparativo entre los años 1982-1985 y 1986-1990 para las estaciones E-2 Franco y E-6 Candelaria, Río Paraná

resultados del estudio estadístico comparativo entre los años 1982-1985 y 1986-1990 para las estaciones E-2 Franco y E-6 Candelaria - Río Paraná - para los parámetros mencionados, basados en datos históricos.

De acuerdo al Test aplicado, se señala cierta reducción en los tenores de oxígeno disuelto en la estación E-6 (Candelaria) con relación a la E-2 (Franco). El gráfico de evolución temporal muestra línea de tendencia estable en ambos puntos.

El pH y la conductividad no muestran cambios en las lecturas mensuales para las dos estaciones. Sin embargo, entre los periodos, se nota una tendencia levemente decreciente para el pH y creciente para la conductividad.

Con relación a la turbidez, se observa un

decrecimiento general de un periodo a otro en ambas estaciones, coincidiendo con el hecho resaltante del importante emprendimiento hidroeléctrico Itaipú y otras aguas arriba. Por otro lado, se registran en promedio, mayores valores en la estación E-6 Candelaria. La inferencia señala la existencia de diferencias significativas entre ambas estaciones. El gráfico de dispersión muestra una tendencia decreciente para ambos puntos.

Para la transparencia, ambas estaciones revelan un crecimiento en sus medidas de un periodo a otro; el gráfico de dispersión muestra una tendencia creciente en valores para ambos puntos, pero sin generar diferencias entre medias en la estadística aplicada.

Entre los parámetros indicadores de la Salinidad,

PARÁMETROS	E-6 Corpus			Dif. Signif e/periodos	E-1 Yacyretá			Dif. Signif e/periodos
	Periodos				Periodos			
	82-84'	85-87'	88-90'		93-95'	96-99'	00-06'	
Oxígeno disuelto	9,2	9,1	9,6	NO	8,8	9,0	8,1	SI
pH	7,2	7,2	7,0	SÍ	7,2	7,2	7,1	NO
Conductividad	43,0	45,3	51,7	SI	46,0	42,3	50,5	SI
Turbidez	53,7	26,7	15,6	SI	18,6	18,9	10,8	SI
Transparencia	50,7	88,1	102,6	SI	87,1	91,0	149,2	SI
Alcalinidad Total	17,6	20,3	18,9	SI	20,1	18,7	18,7	SI
Cloruros	3,00	3,94	3,13	SI	2,84	3,27	3,19	SI
Sulfato	1,58	2,18	-	NO	0,58	0,79	1,05	SI
Calcio	4,31	4,96	4,88	NO	4,45	4,46	4,19	SI
Magnesio	1,78	1,78	1,85	NO	1,50	1,41	1,60	NO
Sodio	1,72	3,09	1,76	SI	1,43	2,17	2,09	SI
Potasio	1,45	1,66	2,09	NO	1,05	1,57	1,28	SI
N-Amoniacal	0,044	0,040	0,037	NO	-	0,040	0,022	SI
N-Nitratos	0,328	0,309	0,257	NO	-	0,414	0,294	SI
N-Orgánico	0,396	0,382	0,360	NO	-	0,251	0,273	NO
Sílice	4,92	5,39	-	NO	11,44	12,57	12,88	SI

Tabla 2. Estudio estadístico comparativo entre los años 1982-1990 y 1993-2006 para las estaciones E-6 / E-1.

solamente la alcalinidad total, a pesar de promedios muy cercanos, marcó diferencias entre las estaciones. Se percibe una leve tendencia creciente en el gráfico de dispersión, para ambas estaciones. Los demás parámetros responsables: cloruro, sulfato, calcio, magnesio, sodio y potasio, no sufrieron modificación en el rango, entre puntos ni en el tiempo.

En relación a los nutrientes nitrogenados, sólo la forma inorgánica N-Nitratos varió en forma manifiesta entre las dos estaciones, generándose diferencias entre las medias. En general, la estación E-6 Candelaria indicó un nivel de concentración ligeramente superior que la E-2 Franco. En ambos se señalaron líneas de tendencia no significativas.

Estación Pto. Candelaria E-6/ E-1

En la **TABLA 2** se muestra el resumen del estudio estadístico comparativo entre periodos, (82-90) y (93-06) con los datos de fuentes diferentes, las históricas de Comip y posteriormente de Yacyretá, en el mismo punto.

Se detectaron cambios en los niveles de oxígeno disuelto en el periodo Yacyretá; la línea de tendencia en el gráfico de dispersión muestra un brusco decrecimiento en los primeros años del cierre, estabilidad en el tiempo intermedio y recuperación en los últimos seis años.

Para las lecturas de pH, la estabilidad se logró en menor tiempo; con relación a la conductividad, a pesar de las fluctuaciones en ambos periodos, puede afirmarse que el rango de variación de las lecturas

se reduce considerablemente en la época del embalse de Yacyretá.

Decrecimiento de la turbidez en ambos periodos, sobre todo en el primero. Mucha oscilación de la transparencia en el periodo de datos históricos para Corpus, proyectando una tendencia creciente con Yacyretá.

Se mantiene la fluctuación de la alcalinidad total en los dos periodos, aunque más estabilizadas y con menor variación actualmente. Se encontraron diferencias significativas para el cloruro en ambos periodos, pero, manteniendo un rango más estable con el embalse Yacyretá.

Importante decrecimiento del sulfato en el periodo actual con Yacyretá, mostrando estabilidad y tendencia no significativa en los últimos seis años de monitoreo. Así también, decrecimiento paulatino del calcio indicando diferencia poco significativa entre medias. Valores fluctuantes, pero en rango no significativo para el magnesio, en ambos periodos.

Con el sodio, se dieron diferencias entre medias, en el periodo actual de Yacyretá, sin embargo, se vio cierta reducción en el rango de variación y tendencia creciente. Descenso de los niveles de potasio, generando diferencia significativa entre promedios, debido a la dispersión de lecturas en los primeros años luego del cierre de embalse.

Estabilidad en las concentraciones de N-amoniaco con los datos históricos de COMIP - Corpus y con notable disminución en los últimos diez años de Yacyretá, indicando diferencias entre medias y tendencia decreciente en el gráfico de dispersión. Similar situación se encontró para el N-nitrato, tendencia creciente en los primeros tiempos del embalse Yacyretá, disminución y constancia en los últimos seis años, generándose diferencia entre medias. Estabilidad del nitrógeno orgánico en los últimos veinte y cinco años que cubrieron las etapas de estudios para Corpus y el actual Yacyretá.

Bastante variación en las concentraciones de sílice en los primeros años del embalse, estabilizándose posteriormente; la inferencia señaló diferencias entre medias, y el gráfico de dispersión mostró una línea de tendencia no significativa en el

último periodo.

Embalse Yacyretá. Estaciones EI-4 Pto. Valle – San Cosme

Ingresando al Embalse de Yacyretá a cota 76 m (años 93'-06'), la **TABLA 3**, muestra las variaciones encontradas en la transecta del Centro (EI-4), caracterizándose por una fuerte oscilación del oxígeno disuelto en los primeros años, con constancia en un rango menor en los últimos 6 años, por lo que el análisis de varianza señaló la existencia de diferencias significativas entre medias; la línea de tendencia en el gráfico de dispersión muestra un equilibrio para el último periodo.

Las lecturas de pH no fluctuaron en forma notoria durante el periodo embalse cota 76 m. La estadística no detectó diferencias entre medias, aunque en el periodo previo al embalse se dio un mayor rango de variación. La Conductividad muy elevada en el periodo pre-embalse y la gran fluctuación en los posteriores aunque en menor rango, generaron diferencias en la inferencia.

Decrecimiento de la turbidez en el transcurrir de los tres periodos, sobre todo, en las lecturas máximas, generando diferencias en la estadística y una línea de tendencia fuertemente negativa. De igual manera, crecimiento sostenido de la transparencia en todo el tiempo, originando diferencias entre medias, y una línea de tendencia fuertemente creciente en los primeros tiempos del cierre y más atenuada en los últimos 6 años.

Decrecimiento de la alcalinidad total en el tiempo, logrando una cierta estabilidad en los dos últimos periodos, generando diferencias significativas en las medias y una línea de tendencia levemente creciente en los últimos 6 años. Se encontraron diferencias significativas para el cloruro debido al aumento de mínimos y máximos en el tiempo, mostrándose una leve tendencia decreciente en los últimos 6 años.

Importante crecimiento del sulfato en el tiempo, generando diferencias entre las medias y tendencia estabilizada en el último periodo. Decrecimiento paulatino del calcio, con diferencias significativas en la estadística, y línea de tendencia con menor pendiente en el último periodo.

PARÁMETROS	EI-4 Pto. Valle – San Cosme			Diferencia Significativa e/ periodos
	Media aritmética			
	93'-95'	96'-99'	00'-06'	
Oxígeno disuelto	8,3	8,7	8,1	SI
pH	7,3	7,3	7,2	NO
Conductividad	47,8	42,0	50,5	SI
Turbidez	14,9	18,8	8,8	SI
Transparencia	98,9	101,4	173,4	SI
Alcalinidad Total	19,4	18,4	18,6	SI
Cloruros	2,80	3,26	3,28	SI
Sulfato	0,56	0,82	1,18	SI
Calcio	4,46	4,65	4,27	SI
Magnesio	1,45	1,53	1,55	NO
Sodio	1,44	2,22	2,10	SI
Potasio	1,04	1,53	1,27	SI
N-Amoniacal	-	0,033	0,021	SI
N-Nitratos	-	0,425	0,289	SI
N-Orgánico	-	0,227	0,242	NO
Sílice	11,27	-	12,68	SI

Tabla 3. Variaciones en diferentes los parámetros durante el período 1993-2006 para la transecta EI-4 (Puerto Valle - San Cosme).

Valores fluctuantes, pero en rango no significativo para el magnesio, en los tres periodos; tendencia levemente decreciente en el último. Crecimiento del sodio a partir del segundo, encontrándose diferencias entre medias, y una línea de tendencia creciente, pero en nivel reducido. Descenso en los niveles de potasio para el último periodo, notándose diferencia significativa entre promedios, y línea de tendencia en nivel disminuido.

Notable descenso en las concentraciones de N-amoniaco en el periodo pos-embalse, indicándose diferencias entre medias y tendencia decreciente en el gráfico de dispersión. Similar situación se encontró para el N-nitrato, tendencia creciente en los primeros tiempos, disminución y constancia en

los últimos seis años, generándose diferencia entre medias. Estabilidad en los tenores de nitrógeno orgánico en los últimos años, demostrada en el gráfico de dispersión y la ausencia de diferencia entre medias.

Disminución y estabilización en las concentraciones de sílice en los últimos años, señalándose diferencias en la inferencia y línea de tendencia no significativa.

Estación EI-8 Itá Ibaté/ Panchito

La TABLA 4 resume los resultados del estudio estadístico comparativo entre periodos en el embalse Yacyretá a cota 76 msnm.

A pesar de las oscilaciones detectadas en el nivel

PARÁMETROS	EI-8 Itá Ibaté			Diferencia Significativa e/ periodos
	Media aritmética			
	93'-95'	96'-99'	00'-06'	
Oxígeno disuelto	8,6	8,7	8,5	NO
pH	7,2	7,4	7,3	SI
Conductividad	46,8	41,3	50,3	SI
Turbidez	14,4	17,0	8,2	SI
Transparencia	91,0	105,2	160,1	SI
Alcalinidad Total	19,3	18,6	18,7	NO
Cloruros	2,85	3,03	3,22	SI
Sulfato	0,40	0,83	1,36	SI
Calcio	4,30	4,90	4,20	SI
Magnesio	1,55	1,24	1,55	SI
Sodio	1,36	2,19	2,12	SI
Potasio	1,01	1,56	1,27	SI
N-Amoniacal	-	0,030	0,025	NO
N-Nitratos	-	0,428	0,265	SI
N-Orgánico	-	0,252	0,260	NO
Sílice	10,69	12,35	12,96	SI

Tabla 4. Resultados del estudio estadístico comparativo en el período 1993-2006 para la estación EI-8 (Itá Ibaté).

de oxígeno disuelto, no se encontraron diferencias significativas entre medias a cota 76m mostrando una línea de tendencia equilibrada en el último periodo.

Las lecturas de pH, con tendencia creciente primeramente fueron estabilizándose a partir del segundo periodo, generando diferencias entre medias y una línea equilibrada en el gráfico de dispersión. La conductividad con mucha variación en el primer periodo, y tendencia marcadamente creciente en los siguientes, detectándose diferencias significativas.

Fuerte disminución de la turbidez a partir del segundo periodo, con diferencias en la estadística y una línea de tendencia fuertemente negativa. Crecimiento sostenido de la transparencia, originando diferencias entre las medias, y una línea

de tendencia fuertemente creciente en los primeros tiempos de formación del embalse, y más atenuada en la última etapa considerada.

Leve decrecimiento de la alcalinidad total en el tiempo, logrando estabilidad en los dos últimos periodos, sin generar diferencias entre medias, pero, con líneas de tendencia levemente crecientes. Leve diferencia en la estadística para el cloruro debido al decrecimiento de las concentraciones en los dos últimos periodos, y mostrando tendencias levemente disminuidas en esos periodos. Importante crecimiento del sulfato en el periodo completo, lo que señaló diferencias entre medias y tendencia estabilizada en el último. Decrecimiento sostenido del calcio, con diferencias significativas en la estadística, y línea de tendencia en menor nivel en el último periodo. Valores fluctuantes y en rango

ESTACION	VARIABLE	S (TEND)	TAU Kendall	Z CALC.	SIGNIFICANCIA
E-6 Pto. Candalaria (1982-1990)	Ox. Disuelto	51	0,23	2,32	**
	pH	-69	-0,31	-3,15	***
	Conductividad	77	0,34	3,52	***
	Turbidez	-59	-0,26	-2,64	**
	Transparencia	73	0,33	3,38	***
	Bicarbonato	15	0,07	0,66	NS
	Cloruro	-3	-0,02	-0,12	NS
	Sulfato	0	0,00	0,50	NS
	Calcio	1	0,05	0,00	NS
	Magnesio	1	0,05	0,00	NS
	Sodio	0	0,00	0,22	NS
	Potasio	7	0,37	1,23	NS
	N-amoniacal	-10	-0,18	-1,03	NS
	N-nitrato	-2	-0,03	-0,11	NS
N-orgánico	-4	-0,03	-0,18	NS	
Sílice	-11	-0,23	-1,25	NS	

Tabla 5. Parámetros registrados para la estación E-6 (Puerto Candalaria) durante el período 1982-1990.

creciente a través de los tres periodos para el magnesio, señalando diferencias entre medias y tendencia en equilibrio en el último periodo.

Crecimiento del sodio a partir del 2do. Periodo, año 96'-99' originando fuertes diferencias entre medias, y una línea de tendencia levemente creciente, pero en nivel reducido. Descenso en los niveles de potasio para el último periodo, luego del fuerte incremento en el primer periodo post-embalse, indicando la existencia de diferencias en la inferencia estadística y llegando a un equilibrio en el último periodo, pero dentro de un rango mucho más reducido.

Disminución de los niveles de N-amoniacal en los últimos años, no llegando a detectarse diferencias entre medias y mostrando una tendencia decreciente en el gráfico de dispersión. Igualmente, se encontró considerable reducción en las concentraciones del N-nitrato, generándose diferencia entre medias y una tendencia creciente en un primer momento, y en menor nivel en los últimos seis años. Disminución y estabilidad del nitrógeno orgánico en los últimos años, demostrada en el gráfico de dispersión y en la ausencia de diferencia entre medias. Fuerte disminución y estabilización en las concentraciones de sílice en los últimos años, señalándose diferencias

en la inferencia y línea de tendencia no significativa.

ESTUDIO DE TENDENCIA

Se realiza el estudio de tendencia por estación y grupos de parámetros, In Situ, Salinidad y Nutrientes, en una evolución temporal/ espacial de condición de Calidad de Agua.

Las siglas, indican en las tablas correspondientes al resumen de tendencias lo siguiente: **S (TEND)** indica la dirección de la tendencia; el grado de significancia viene dado por el valor de **Z calculado** (en valor y signo), con relación al teórico de 1,28; esta **significancia** viene representada por el **N° de asteriscos** en la última columna. Si el valor de Z calculado es menor que el valor teórico asumido (1,28), la tendencia es **NS** (no significativa).

Estación Pto. Candalaria

Las **TABLAS 5** y **6** muestran la situación de la estación Pto. Candalaria en los dos periodos considerados (años 82-90) y (años 93-06) con datos históricos de COMIP y actuales de Yacyretá respectivamente. Los resultados indican:

- Tendencia “creciente significativa” del oxígeno disuelto en los años 82'-90' y

ESTACION	VARIABLE	S (TEND)	TAU Kendall	Z CALC.	SIGNIFICANCIA
E-1 Candelaria (1993-2006)	Ox. Disuelto	-105	-0,18	-2,51	***
	pH	-106	-0,18	-2,54	**
	Conductividad	224	0,39	5,39	***
	Turbidez	-239	-0,42	-5,84	***
	Transparencia	239	0,42	5,82	***
	Bicarbonato	-18	-0,05	-0,55	NS
	Cloruro	27	0,07	0,81	NS
	Sulfato	110	0,35	4,00	***
	Calcio	-16	-0,06	-0,57	NS
	Magnesio	3	0,01	0,08	NS
	Sodio	147	0,51	5,58	***
	Potasio	59	0,20	2,22	**
	N-amoniacal	-47	-0,14	-1,57	**
	N-nitrato	-120	-0,35	-4,06	***
	N-orgánico	23	0,07	0,75	NS
Sílice	57	0,24	2,45	**	

Tabla 6. Parámetros registrados para la estación E-6 (Puerto Candelaria) durante el período 1993-2006.

- “decreciente altamente significativa en los años 93'-06'.
- Tendencia “decreciente altamente significativa” del pH en el periodo COMIP y “decreciente significativa” con YACYRETÁ.
- Tendencia “creciente altamente significativa” de la conductividad en ambos periodos. Fuerte incremento de la Z calculada en el último.
- Tendencia “decreciente significativa” de la turbidez en el periodo con datos históricos y “decreciente altamente significativa” con YACYRETÁ, observándose un notorio decrecimiento de la Z calculada.
- Tendencia “creciente altamente significativa” de la transparencia en ambos periodos.
- Con referencia al segundo grupo de parámetros, la Tendencia de los iones responsables de la Salinidad resultó “no significativa” en el periodo 82'-90'. Para el periodo YACYRETÁ, sin embargo, la tendencia indicó “creciente altamente significativa” para el sulfato y el sodio, y “creciente significativa” para el potasio.

- Para el grupo de Nutrientes, los cambios en las concentraciones “no tuvieron significancia” en el periodo 82'-90'; si los tuvieron con YACYRETÁ, en los parámetros N-nitrato y N-amoniacal “decreciente altamente significativa” y “decreciente significativa”, respectivamente. Para la sílice, la tendencia resultó “creciente significativa”.

Estaciones Ingreso-Centro-Salida del Sistema

Prosiguiendo con el tratamiento, se considera el periodo YACYRETÁ (1993-2006), evaluando los cambios notados a través del tiempo, y en forma comparativa, en las estaciones denominadas Entrada (EI-1), Centro (EI-4) y Salida (EI-8) del Sistema. La **TABLA 7** muestra el resumen del estadístico aplicado para los parámetros in-situ en esas estaciones. Los resultados indican:

- Tendencia “decreciente altamente significativa” del oxígeno disuelto en la Entrada al Sistema, perdiendo significancia, “no significativa”, en el Centro del lago y Salida del Sistema. Las lecturas variaron en pequeño rango.

ESTACION	VARIABLE	S (TEND)	TAU Kendall	Z CALC.	SIGNIFICANCIA
EI-1 Pto. Candelaria "Ingreso"	Ox. Disuelto	-105	-0,18	-2,51	***
	pH	-106	-0,18	-2,54	**
	Conductividad	224	0,39	5,39	***
	Turbidez	-239	-0,42	-5,84	***
	Transparencia	239	0,42	5,82	***
EI-4 Pto. Valle-San Cosme "Centro"	Ox. Disuelto	-38	-0,07	-0,89	NS
	pH	-51	-0,09	-1,21	NS
	Conductividad	203	0,35	4,88	***
	Turbidez	-192	-0,34	-4,68	***
	Transparencia	245	0,42	5,90	***
EI-8 Itá Ibaté "Salida"	Ox. Disuelto	-21	-0,04	-0,51	NS
	pH	-9	-0,02	-0,20	NS
	Conductividad	209	0,38	5,25	***
	Turbidez	-2,18	-0,41	-5,56	***
	Transparencia	264	0,49	6,64	***

Tabla 7. Resumen estadístico de parámetros para las estaciones EI-1, EI-4 y EI-8 en el período 1993-2006.

- Tendencia "decreciente significativa" del pH en la Entrada al Sistema, volviéndose "no significativa" en el Centro del Lago y Salida del Sistema.
- Tendencia "creciente altamente significativa" de la conductividad en las tres estaciones de control, Entrada al Sistema, Centro del Lago y Salida del Sistema, en nivel levemente inferior en el Centro.
- Tendencia "decreciente altamente significativa" de la turbidez en las tres estaciones de control, Entrada al Sistema, Centro del Lago y Salida del Sistema, en nivel levemente inferior en el Centro.
- Tendencia "creciente altamente significativa" de la transparencia en la Entrada al Sistema, Centro del Lago y Salida del Sistema, en aumento hacia la salida.
- Tendencia "decreciente significativa" del oxígeno disuelto en la Entrada al Sistema, Centro del Lago y Salida del Sistema, en aumento hacia la salida.
- Tendencia "no significativa" del cloruro en la Entrada, "creciente significativa" en el Centro y "no significativa" a la Salida del Sistema.
- Tendencia "creciente altamente significativa" para el sulfato en la Entrada, Centro del lago y Salida del Sistema.
- El calcio y el magnesio, "sin cambios significativos" en todas las estaciones.
- Tendencia "creciente altamente significativa" del sodio en la Entrada del Sistema, Centro del Lago y Salida del Sistema.
- Tendencia "creciente significativa" para el potasio, en los tres puntos, Entrada, Centro del Lago y Salida del Sistema.

La **TABLA 8** da el resumen del estadístico Kendall aplicado para los parámetros responsables de la salinidad de las aguas en las mismas estaciones. Los resultados indican:

- Tendencia "no significativa" de la alcalinidad en las tres estaciones de control, es decir,

La **TABLA 9** muestra un resumen del estadístico, para los parámetros nutrientes de la serie nitrogenada y de la Sílice en las mismas estaciones del "Sistema Yacyretá". Los resultados indican:

- Tendencia "decreciente significativa" del N-amoniaco en la Entrada al Sistema, y "no significativa" en el Centro del lago y la

ESTACION	VARIABLE	S (TEND)	TAU Kendall	Z CALC.	SIGNIFICANCIA
EI-1 Pto. Candelaria "Ingreso"	Bicarbonato	-18	-0,05	-0,55	NS
	Cloruro	27	0,07	0,81	NS
	Sulfato	110	0,35	4,00	***
	Calcio	-16	-0,06	-0,57	NS
	Magnesio Sodio	3	0,01	0,08	NS
	Potasio	147	0,51	5,58	***
		59	0,20	2,22	**
EI-4 Pto. Valle-San Cosme "Centro"	Bicarbonato	-31	-0,08	-0,97	NS
	Cloruro	71	0,18	2,17	**
	Sulfato	107	0,34	3,89	***
	Calcio	-5	-0,02	-0,15	NS
	Magnesio Sodio	19	0,07	0,69	NS
	Potasio	133	0,46	5,05	***
		64	0,22	2,41	**
EI-8 Itá Ibaté "Salida"	Bicarbonato	5	-0,01	-0,14	NS
	Cloruro	35	0,09	1,11	NS
	Sulfato	105	0,42	4,36	***
	Calcio	-19	-0,07	-0,72	NS
	Magnesio Sodio	20	0,07	0,76	NS
	Potasio	124	0,46	4,93	***
		47	0,17	1,82	**

Tabla 8. Resumen estadístico Kendall aplicado a parámetros responsables de la salinidad en las estaciones EI-1, EI-4 y EI-8.

Salida.

- Tendencia "decreciente altamente significativa" del N-nitrato en las tres estaciones de control, Entrada al Sistema, Centro del Lago y Salida del Sistema.
- Tendencia "no significativa" para el N-orgánico en la Entrada al Sistema, "creciente significativa" en el Centro del lago y Salida del Sistema.
- Tendencia "creciente significativa" para la sílice en las estaciones Entrada al Sistema y Centro del lago, "creciente altamente significativa" a la Salida.

CONCLUSIÓN

Del estudio de Calidad de Agua del Río Paraná con datos históricos de COMIP para Corpus y del Embalse de Yacyretá en su etapa de cota 76 msnm., se desprende cuanto sigue:

Condición de Río - Estaciones E-2 Franco – E-6 Candelaria (1982/ 90)

- Ligera disminución en los valores de oxígeno disuelto en la estación E-6 (Candelaria) con relación a la E-2 (Franco). El gráfico de evolución temporal muestra una línea de tendencia estable en ambos puntos.
- El pH y la conductividad no muestran cambios en las lecturas mensuales para las dos estaciones. Sin embargo, entre los periodos, se nota una tendencia levemente decreciente para el pH y creciente para la conductividad.
- Decrecimiento general de la turbidez en ambas estaciones, coincidiendo con el hecho resaltante del emprendimiento hidroeléctrico Itaipú y otras aguas arriba; se debe señalar los mayores registros en la estación E-6 Candelaria. La inferencia señala la existencia de diferencias significativas entre ambas estaciones. El gráfico de dispersión muestra una tendencia decreciente para ambos puntos.
- Entre los parámetros indicadores de la

ESTACION	VARIABLE	S (TEND)	TAU Kendall	Z CALC.	SIGNIFICANCIA
EI-1 Pto. Candelaria "Ingreso"	N-amoniacal	-47	-0,14	-1,57	**
	N-nitrato	-120	-0,35	-4,06	***
	N-orgánico	23	0,07	0,75	NS
	Sílice	57	0,24	2,45	**
EI-4 Pto. Valle-San Cosme "Centro"	N-amoniacal	0	0,00	0,09	NS
	N-nitrato	-120	-0,35	-4,06	***
	N-orgánico	48	0,20	2,04	**
	Sílice	41	0,21	2,00	**
EI-8 Itá Ibaté "Salida"	N-amoniacal	-1	0,00	0,00	NS
	N-nitrato	-1,55	-0,45	-5,26	***
	N-orgánico	54	0,16	1,81	**
	Sílice	82	0,38	3,73	***

Tabla 9. Resumen estadístico para los parámetros de la serie nitrogenada y la sílice en las estaciones EI-1, EI-4 y EI-8.

Salinidad, solamente la alcalinidad total marcó diferencias entre las estaciones, con leve tendencia creciente en el gráfico de dispersión, para ambas estaciones. Los demás parámetros responsables: cloruro, sulfato, calcio, magnesio, sodio y potasio, no sufrieron modificación en el rango, entre puntos ni en el tiempo.

- En relación a los nutrientes nitrogenados, sólo la forma inorgánica N-Nitratos varió en forma manifiesta entre las dos estaciones, generándose diferencias entre las medias. En general, la estación E-6 Candelaria indicó un nivel de concentración ligeramente superior que la E-2 Franco. En ambos se señalaron líneas de tendencia no significativas.

Candelaria. Condición de río E-6 y Condición de embalse E-1

- Tendencia "creciente significativa" del oxígeno disuelto en los años 82'-90', cambios en los niveles en el periodo Yacyretá, con una línea de tendencia en brusco decrecimiento en los primeros años del cierre, estabilidad en el tiempo intermedio y recuperación en los últimos seis años. Tendencia "decreciente

altamente significativa en los años 93'-06'.

- Lecturas de pH con tendencia "decreciente altamente significativa" entre los años 82'-90', y "decreciente significativa" con YACYRETÁ.
- Conductividad, con fluctuaciones en ambos periodos; tendencia "creciente altamente significativa" en ambos periodos. Fuerte incremento de la Z calculada en el último.
- Decrecimiento de la turbidez en ambos periodos, mostrando una tendencia "decreciente significativa" entre los años 82'-90', y "decreciente altamente significativa" con YACYRETÁ, observándose un notorio decrecimiento de la Z calculada.
- La Tendencia de los iones responsables de la Salinidad resultó "no significativa" en el periodo 82'-90'. Para el periodo YACYRETÁ, sin embargo, la tendencia indicó "creciente altamente significativa" para el sulfato y el sodio, y "creciente significativa" para el potasio.
- Para el grupo de Nutrientes, los cambios en las concentraciones "no tuvieron significancia" en el periodo 82'-90'; si los tuvieron con YACYRETÁ, en los

parámetros N-nitrato y N-amoniacoal “decreciente altamente significativa” y “decreciente significativa”, respectivamente. Para la sílice, la tendencia resultó “creciente significativa”.

Estaciones Ingreso-Centro-Salida del Sistema Yacyretá. Condición de embalse a Cota 76 msnm

- Tendencia “decreciente altamente significativa” del oxígeno disuelto en la Entrada al Sistema, perdiendo significancia, “no significativa”, en el Centro del lago y Salida del Sistema. Las lecturas variaron en pequeño rango.
- Tendencia “decreciente significativa” del pH en la Entrada al Sistema, volviéndose “no significativa” en el Centro del Lago y Salida del Sistema.
- Tendencia “creciente altamente significativa” de la conductividad en las tres estaciones de control, Entrada al Sistema, Centro del Lago y Salida del Sistema, en nivel levemente inferior en el Centro.
- Tendencia “decreciente altamente significativa” de la turbidez en las tres estaciones de control, Entrada al Sistema, Centro del Lago y Salida del Sistema, en nivel levemente inferior en el Centro.
- Tendencia “creciente altamente significativa” de la transparencia en la Entrada al Sistema, Centro del Lago y Salida del Sistema, en aumento hacia la Salida.
- Tendencia “no significativa” de la alcalinidad en las tres estaciones de control, es decir, sin cambios en todo el Sistema.
- Tendencia “no significativa” del cloruro en la Entrada, “creciente significativa” en el Centro y “no significativa” a la Salida del Sistema.
- Tendencia “creciente altamente significativa” para el sulfato en la Entrada, Centro del lago y Salida del Sistema.
- El calcio y el magnesio, “sin cambios

significativos” en todas las estaciones.

- Tendencia “creciente altamente significativa” del sodio en la Entrada del Sistema, Centro del Lago y Salida del Sistema.
- Tendencia “creciente significativa” para el potasio, en los tres puntos, Entrada, Centro del Lago y Salida del Sistema.
- Tendencia “decreciente significativa” del N-amoniacoal en la Entrada al Sistema, y “no significativa” en el Centro del lago y la Salida.
- Tendencia “decreciente altamente significativa” del N-nitrato en las tres estaciones de control, Entrada al Sistema, Centro del Lago y Salida del Sistema.
- Tendencia “no significativa” para el N-orgánico en la Entrada al Sistema, “creciente significativa” en el Centro del lago y Salida del Sistema.
- Tendencia “creciente significativa” para la sílice en las estaciones Entrada al Sistema y Centro del lago, “creciente altamente significativa” a la Salida.

BIBLIOGRAFÍA

- Wetzel, R. G. 1981. Limnología. Barcelona: Ediciones Omega.
- Taller Actualización PMMA. 2002. 1ª Evaluación Ambiental, Matriz de Impacto: «Cambios Hidrobiológicos en el Agua Embalsada». Ituzaingó República Argentina. Entidad Binacional Yacyretá. p. 128
- Odum, E. P. 1987. Ecología, 3ª ed. México: Interamericana.
- CMRP & ICB. 1983. Convenio Marco. 1983-1999. Comisión Mixta del Río Paraná / Instituto de Ciencias Básicas. Calidad de agua. Programas. Fases.
- EEBY & FACEN. 1993. Convenio Marco. 1993-2006. Entidad Binacional Yacyretá / Facultad de Ciencias Exactas y Naturales (Universidad Nacional de Asunción). Calidad de agua. Actas Complementarias 1-8.
- Marques de Cantú, M. J. 1990. Probabilidad y

- Estadística. México: ed. Mc. Graw-Hill.
- Daniel, W. W. 1979. Bioestadística. México: ed. Limusa; 370 pp.
- Kendall M.G. & Sundrum R.M. 1953. "Distribution-Free Methods and Order Properties", Review of the International Statistical Institute, 21:3, 124-134.
- Bradley V. J. 1968. Distribution-Free Statistics, Nueva York: ed. Prentice-Hall, Englewood Cliffs.