

**CALIDAD DE AGUA DEL RÍO TEBICUARY EN CULTIVOS DE ARROZ EN LOS DEPARTAMENTOS DE CAAZAPÁ, MISIONES Y ÑEEMBUCÚ****WATER QUALITY OF THE TEBICUARY RIVER IN RICE CULTURES IN THE DEPARTMENTS OF CAAZAPÁ, MISIONES AND ÑEEMBUCÚ**HUGO A. ROJAS<sup>1\*</sup> & TEÓFILO A. DÍAZ<sup>2</sup><sup>1</sup>Docente Investigador de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. UNA.<sup>2</sup>Encargado de Cátedra, Departamento de Estadística FACEN

\*Email: hugorojas@gmail.com

**Resumen:** El objetivo del proyecto, fue evaluar el impacto de las prácticas actuales de la producción de arroz sobre el ecosistema, valorando la contaminación y el riesgo eco toxicológico por el uso de plaguicidas y fertilizantes. Se han establecido tres estaciones de muestreo en Arrozales (1, 2 y 3) en los Departamentos de Caazapá, Misiones y Ñeembucú, en la entrada y salida de los arrozales y en el mismo Río Tebicuary, en San Rafael y en Ciervo Blanco. Se realizaron cuatro campañas de calidad de agua, cubriéndose tres periodos del ciclo agrológico. Para la metodología operativa, se siguieron las normas GEMS/AGUA y del Standard Methods. Se midieron oxígeno disuelto, pH, conductividad, N-NH<sub>3</sub>, Nitrito, N-NO<sub>3</sub>, NTK, O-Fosfato, P-Total, D.B.O.<sub>5</sub>, D.Q.O., Arsénico, Cobre, Cadmio, Plomo, Mercurio y Biocida. Se realizó una estadística descriptiva, la prueba de Kruskal-Wallis y ANOVA, probabilidades asociadas y sus tamaños de muestras. Se describe la probabilidad asociada a la homogeneidad de la varianza (Levene) y a la existencia o no de diferencia significativa de medias y medianas (U de Mann-Whitney). Se confeccionan las gráficas de barra de error de la media, con intervalo de confianza del 95%, en una comparación entre la entrada y la salida de los arrozales y el río Tebicuary. Se utilizó el método de la DMS, como prueba de post-hoc, para detectar diferencias de medias por pares. En el Arrozal (1) los parámetros Oxígeno Disuelto, pH, Turbidez, N-Nitrato, N-Amoniacal, N-Total Kjeldall, P-Total, D.B.O.<sub>5</sub>, D.Q.O. fueron homogéneos con la prueba de Levene. La Conductividad y el Nitrito, heterogéneos. Los valores de O-Fosfato constantes. No se detectaron diferencias significativas en los valores promedios para: Oxígeno Disuelto, pH, N-Nitrato, N-Amoniacal, N-Total Kjeldall, P-Total, D.B.O.<sub>5</sub> y D.Q.O. En Nitrito no se detectó diferencia en las medianas. En la Turbidez se detectó diferencia significativa con el mayor valor a la salida y la Conductividad con diferencia significativa de las medianas con el mayor valor a la salida. En Nitrito no se detectó diferencia en las medianas. En el Arrozal (2) los valores de O-Fosfato fueron constantes. Todas las variables cumplen con la homogeneidad (Levene). No se detectó diferencia significativa en los valores promedios. En el Arrozal (3) las variables Oxígeno Disuelto, pH, Conductividad, N-Nitrato, Nitrito, N-Amoniacal, N-Total Kjeldall, P-Total, O-Fosfato, D.B.O.<sub>5</sub> y D.Q.O. fueron homogéneos y no dieron diferencia significativa en los promedios. La Turbidez presenta heterogeneidad y no arroja diferencia significativa en las medianas. Los análisis de biocida Cipermetrina, Imidacloprid y Carbaril en muestras de agua no arrojaron resultados positivos. No se han detectado metales pesados como Arsénico, Plomo, Cadmio o Cobre en el agua de entrada y salida ni en sedimentos analizados.

**Palabras clave:** *Calidad de agua, mercurio, arrozales, sur de Paraguay, río Tebicuary.*

**Abstract:** The project's objective was to evaluate the impact of current practices of rice production on the ecosystem, assessing pollution and eco toxicological risk from the use of pesticides and fertilizers. They have established three sampling stations in Rice (1, 2 and 3) in the Departments of Caazapá Neembucú and Missions, at the entrance and exit of the paddy and Tebicuary River in San Rafael and White Deer. There were four water quality campaigns, covering three periods agrological cycle. For operational methodology followed the rules GEMS / WATER and Standard Methods. Were measured dissolved oxygen, pH, conductivity, NH<sub>3</sub>-N, Nitrite, N-NO<sub>3</sub>, TKN, O-phosphate, P-Total, BOD<sub>5</sub>, COD, Arsenic, Copper, Cadmium, Lead, Mercury and biocide. We conducted a descriptive statistics, the Kruskal-Wallis ANOVA, associated probabilities and sample sizes. It describes the probability associated with the homogeneity of variance (Levene) and the existence of significant difference means and medians (Mann-Whitney). They are made of bar graphs the average error, with a confidence interval of 95%, on a comparison between the input and output of paddy fields and San Rafael and White Deer. We used the method of the DMS, as post-hoc test to detect pair wise mean differences. In Paddy (1) the

parameters Dissolved Oxygen, pH, Turbidity, Nitrate N-, N-Ammonia, N-Total Kjeldall, P-Total, BOD5, COD were homogeneous with the Levene test. The conductivity and nitrite, heterogeneous. Values O-phosphate constant. No significant differences in the mean values for: dissolved oxygen, pH, nitrate-N, N-Ammonia, N-Total Kjeldall, P-Total, BOD5 and COD Nitrite was not detected in difference in medians. Turbidity in the significant difference was detected with the highest output value and significant difference Conductivity of medium with the highest output value. Nitrite was not detected in difference in medians. In Paddy (2) O-Phosphate values were constant. All variables meet the homogeneity (Levene). No significant difference was detected in the mean values. In Paddy (3) variables Dissolved Oxygen, pH, Conductivity, N-Nitrate, Nitrite, N-Ammonia, N-Total Kjeldall, P-Total, O-Phosphate, BOD5 and COD were homogeneous and gave no significant difference in the averages. Turbidity throws presents heterogeneity rather significant difference in the medians. Cypermethrin biocide tests, imidacloprid and carbaryl in water samples tested positive. No detected heavy metals like arsenic, lead, cadmium or copper, in water and sediment input nor in output analysis.

**Palabras clave:** *Water quality, mercury, rice fields, southern Paraguay, Tebicuary river.*

## INTRODUCCIÓN

Este trabajo fue realizado en la FaCEN a propuesta de Guyrá Paraguay con fondos del CONACYT, con la participación de los Laboratorios de Mutagénesis y de Calidad de agua.

El arroz considerado el cereal más importante del planeta por la extensión de la superficie cultivada y el número de personas que dependen de sus cosechas, además representa el alimento básico para gran parte de la población mundial (Alexandratos, 1995)

En el año 2005, Paraguay tenía sembrada 34.000 ha de arroz, (FAOSTAT 2006). Recientemente en el 2008 con unas 42.000 hectáreas, representa un incremento del 48%, que podría triplicarse dada las características del suelo en la región sur del país, donde se encuentra el área principal de la producción, en el año 2006 se produjo el 88% del total en toneladas. La mayor parte producida en el departamento Misiones, en la cuenca del río Tebicuary (Molinas et al. 2007), el cual transporta el caudal de agua producido en los bosques de la ecoregión BAAPA, hacia las ecorregiones de los Pastizales del Sur (Pampas) y Humedales del Ñeembucú (Chaco Húmedo).

El cultivo se realiza con la modificación de la cubierta vegetal, la introducción de sustancias químicas como plaguicidas y fertilizantes, modificando la estructura y composición química del suelo, con un efecto directo sobre la fauna que se alimenta de ella (Facetti, 2002). La problemática ambiental derivada del uso de los plaguicidas es muy amplia

y engloba muy diversos aspectos como el desequilibrio de los sistemas biológicos y el desarrollo de resistencias a los plaguicidas. Esto último, obliga a utilizar mayores concentraciones o productos de mayor efectividad, con los posibles efectos tóxicos para el hombre y/o otros organismos para los cuales no han sido diseñados. A esto se debe añadir la contaminación permanente producida por los residuos de plaguicidas o la toxicidad de los compuestos resultantes de su degradación química o metabólica, que en algunos casos pueden resultar tantos o más tóxicos que el compuesto original.

Los antecedentes de estudios realizados por la Corporación de Obras Sanitarias (CORPOSANA) hace más de una década, sobre la presencia de órgano clorados en las aguas del río Tebicuary, encontrándose por debajo de los límites de detección (Facetti 2002). Así mismo, los productores se encuentran obligados a realizar análisis de residuos tóxicos en el agua del drenaje del cultivo por disposición de la Secretaría del Ambiente para la expedición de la licencia ambiental. Sin embargo estos trabajos no se encuentran sistematizados y no ha sido evaluada la adicionalidad.

La sociedad en su conjunto ha venido adquiriendo conciencia frente a la seguridad alimentaria y al deterioro ambiental. La misma, demanda productos que no impliquen riesgos para la salud y los mercados, certificados de calidad. Por esto, y por entender la importancia de la preservación del ambiente, es que los productores, investigadores e industria requieran desarrollar prácticas amiga-

bles con el ambiente para lograr una producción sostenible. Esto implica, mantener o aumentar la producción, en actividades económicamente viables y socialmente aceptables, reduciendo el nivel de riesgo y protegiendo el potencial de los recursos naturales (Dumanski y Smyth, 1994).

Uno de los desafíos globales a los que se enfrenta la humanidad, es gestionar el medio ambiente, con vistas a lograr que pueda sostener la vida en todas sus formas. El equilibrio ecológico del que dependen las generaciones actuales y venideras puede preservarse únicamente por medio de cadenas alimentarias, en las que las corrientes de energía y nutrientes estén equilibradas.

El objetivo de este trabajo, es evaluar el nivel del impacto de las prácticas actuales de la producción de arroz sobre la calidad del agua del río Tebicuary, valorando la contaminación, mejorando el conocimiento y la comprensión de la problemática del impacto de las arroceras sobre el ecosistema, además de contar con datos de riesgo ecotoxicológico por el uso de plaguicidas y fertilizantes, disponiendo de un plan de monitoreo para el estudio del impacto.

## METODOLOGÍA

Para el estudio de la Calidad de agua en arrozales de la cuenca del río Tebicuary, se han establecido tres estaciones de muestreo, ubicados en arrozales de los Departamentos de Caazapá, Misiones y Ñeembucú. El denominado Arrozal 1, está ubicado en la localidad de San Juan, Dpto. de Misiones, el Arrozal 2 en la localidad de San Miguel, Dpto. Misiones y el Arrozal 3 en la localidad de Yuty, Dpto. Caazapá.

En cada arrozal, se han fijado dos puntos de muestreo, uno de ellos en la Entrada al arrozal en las que se captan las aguas del mismo río Tebicuary y el otro a la Salida del arrozal, en el canal de retorno de las aguas provenientes del riego del arrozal respectivo. Se han establecido además, otras dos estaciones ubicadas sobre el Río Tebicuary, una en San Rafael en el Dpto. Itapúa, aguas arriba y la otra en Ciervo Blanco aguas abajo en el Dpto. Ñeembucú.

Se han tomado muestras de sedimentos (dragado), en los canales de drenaje de los tres arrozales (Salidas) y del río Tebicuary en las estaciones San

Rafael y Ciervo Blanco.

En total se realizaron cuatro campañas de calidad de agua, en los meses de agosto y diciembre 2011, febrero y marzo 2012 con toma de muestras de agua y sedimento. Las muestras, fueron acondicionadas en cajas térmicas refrigeradas a 4 °C para su traslado hasta los laboratorios de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales para los análisis respectivos.

Con esta frecuencia de muestreo de agua y sedimento, se cubrieron los tres periodos del ciclo agrológico, el primero en la temporada de laboreo del suelo, el segundo en el de inundación post-siembra y el tercero, al momento de la cosecha y post-cosecha. La sistematización de datos e informes se fueron preparando a medida que se obtenían los resultados de los análisis, desde el momento cero – antes del comienzo de las actividades – con la finalidad de tener la información de las condiciones previas a la realización del cultivo y al final del cultivo, determinando de esta manera, los niveles de residuos luego de que se realizaron todos los tratamientos culturales, cubriendo el período de aplicaciones de agroquímicos y fertilizantes.

Con relación a la metodología operativa de campaña, cuidados, preservaciones (materiales, métodos y tiempos) y a los principios a ser observados en la definición de los requerimientos analíticos (objetivos de exactitud, límites de detección, etc.), se siguieron las normas indicadas en la Guía Operativa GEMS/ AGUA (OMS, PNUMA, UNESCO, OMM), y del Standard Methods (21<sup>st</sup> Edition, American Public Health Association, 2005).

Se efectuaron mediciones de los parámetros In-situ oxígeno disuelto, pH, conductividad y turbidez utilizando para ese efecto un oxímetro de la marca WTW, provisto de cable para inmersión, con sensor de temperatura y compensador de presión, pHmetro de la marca WTW, conductímetro Methron y turbidímetro Hach.

Las muestras de agua fueron extraídas con una bomba de funcionamiento a batería y acondicionadas en sus respectivos frascos. Los parámetros medidos en el laboratorio fueron: N-NH<sub>3</sub>, Nitrito, N-NO<sub>3</sub>, NTK, O-Fosfato, P-Total, D.B.O.<sub>5</sub>, D.Q.O.,

Arsénico, Cobre, Cadmio, Plomo, Mercurio y Biocida; en sedimentos (material dragado), pH, N-Nitratos, NTK, N-Amoniacal, P-Total, Arsénico, Cobre, Cadmio y Plomo.

Con los resultados de los análisis proveídos por el laboratorio y de los datos in-situ se realizó una estadística descriptiva de cada parámetro, las comparaciones realizadas con la prueba de Kruskal-Wallis y ANOVA, probabilidades asociadas y sus tamaños de muestras. Se describe la probabilidad asociada a la prueba de homogeneidad de la varianza (Levene) y a la existencia o no de diferencia significativa, diferencias de medias y tamaño de muestra y en algunos casos el de las medianas (U de Mann-Whitney), (Mongomery, D. 2005).

El estudio comparativo, análisis estadístico Inferencia aplicado, tanto entre los puntos del río Tebicuary, como entre el agua de Entrada y de Salida a los arrozales, permite determinar que parámetro presenta o no diferencia estadísticamente significativa, o que ha sufrido modificaciones cuantitativas, lo que equivaldría al cambio en la calidad de agua ocasionado por la actividad antrópica y que impacta sobre el ecosistema acuático.

Se confeccionan las gráficas de barra de error, la media, el tamaño de la muestra e intervalo de confianza al 95% para la media de todas las variables,

en una comparación entre los puntos de muestreo, Entrada y Salida de los arrozales contrastadas con las estaciones del Río Tebicuary situadas en San Rafael y Ciervo Blanco. Se utilizó el método de la DMS, como prueba de post-hoc, para detectar diferencias de medias por pares.

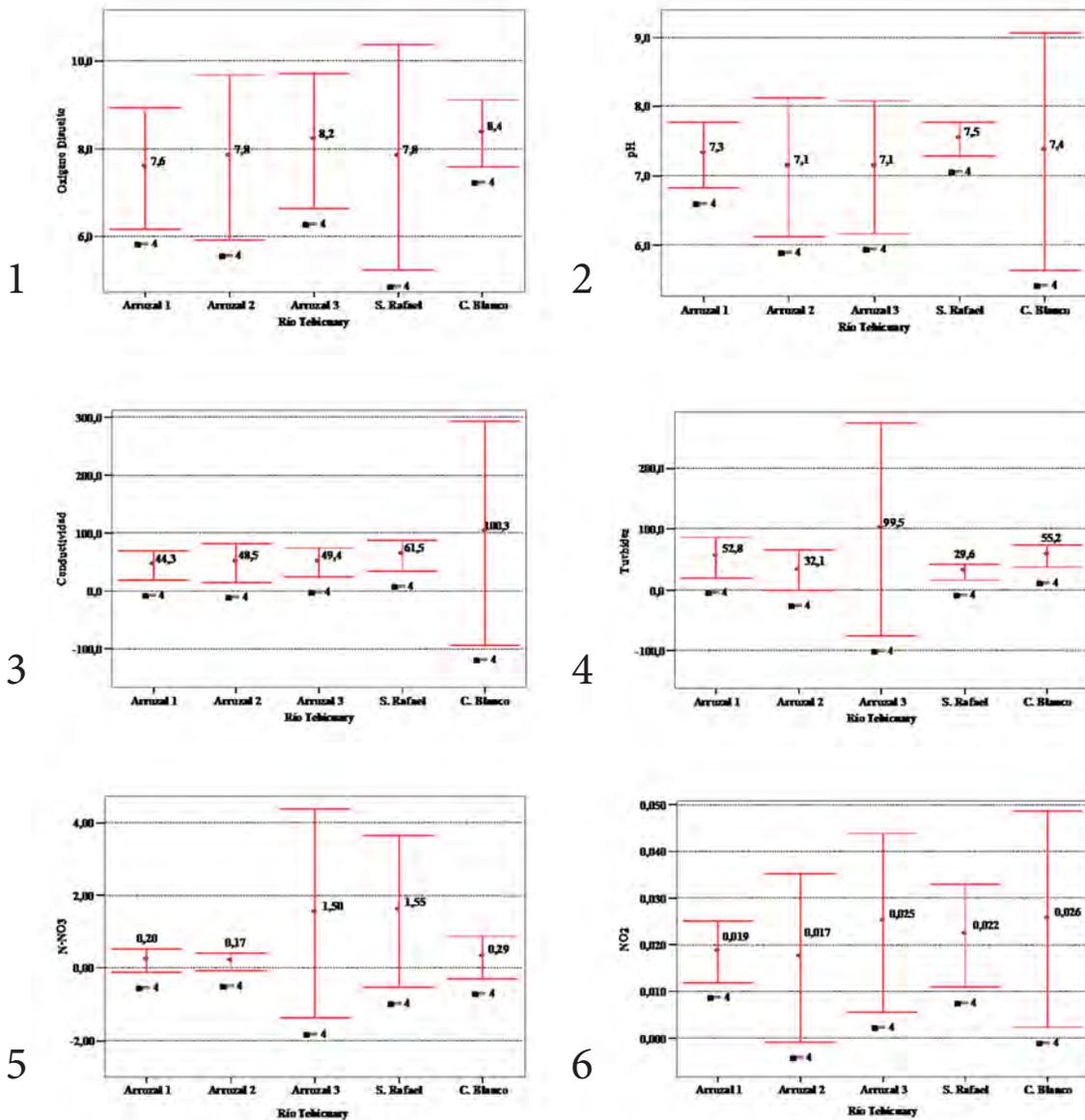
## DESARROLLO

### Diferencias de medias y medianas en los puntos de muestreo denominados entrada a los arrozales y San Rafael y Ciervo Blanco. (condición del río Tebicuary)

Desarrollamos en esta sección, el análisis estadístico comparativo de los parámetros fisicoquímicos de las aguas provenientes del Río Tebicuary para su utilización en los arrozales, en los puntos de muestreo denominados Entradas, Reserva San Rafael y Ciervo Blanco. Se desarrollan las gráficas de barra de error para las variables estudiadas, la media, intervalo de confianza al 95% para la media y sus tamaños de muestras, en la condición de Río Tebicuary. Se describe la probabilidad asociada a la prueba de homogeneidad de la varianza (Levene) y a la existencia o no de diferencia significativa, diferencias de medias (ANOVA), tamaño de muestra para: Oxígeno Disuelto, NO<sub>2</sub>, N-NH<sub>3</sub>, N-Total Kjeldall, P-Total y D.B.O.5 y de las medianas

**Tabla 1.** Prueba de homogeneidad de varianzas, diferencia de medias y medianas. (a) ANOVA. (b) Kruskal-Wallis.

Parámetros	Homogeneidad *		Diferencia Significativa *		N
	Cumple	p	Cumple	p	
Oxígeno Disuelto	Si	>0,05	No(a)	>0,05	20
pH	No	<0,05	No(b)	>0,05	20
Conductividad	No	<0,05	No(b)	>0,05	20
Turbidez	No	<0,05	No(b)	>0,05	20
N-NO <sub>3</sub>	No	<0,05	No(b)	>0,05	20
NO <sub>2</sub>	Si	>0,05	No(a)	>0,05	20
N-NH <sub>3</sub>	Si	>0,05	No(a)	>0,05	20
N-Tot. Kjeldall	Si	>0,05	No(a)	>0,05	20
P-Total	Si	>0,05	No(a)	>0,05	20
O-Fosfato	No	<0,05	Si(b)	<0,05	20
D.B.O.5	Si	>0,05	No(a)	>0,05	20
D.Q.O.	No	<0,05	No(b)	>0,05	20



Figuras 1-6. Gráficas de barra de error, media, intervalo de confianza al 95% para la media y sus tamaños de muestra, en la condición de Río Tobicuary para diferentes parámetros de calidad del agua. 1) Oxígeno disuelto; 2) pH. 3) conductividad; 4) turbidez; 5) N-NO3; 6) NO2.

(Kruskal-Wallis y U de Mann-Whitney) para: pH, Conductividad, Turbidez, N-NO3, O-Fosfato y D. Q. O.

La Tabla 1, resume los resultados de la estadística aplicada a las variables, en los puntos de muestreo, Entrada a los Arrozales (1, 2 y 3), San

Rafael y Ciervo Blanco, el primero el punto más alto aguas arriba y el segundo el punto mas bajo.

Los parámetros Oxígeno Disuelto, NO2, N-NH3, N-Total Kjeldall, P-Total y D.B.O.5, cumplen con la homogeneidad de varianza ( $p > 0,05$ ) y ninguno de ellos presenta diferencia significativa

en sus promedios. Los demás: pH, Conductividad, Turbidez, N-NO<sub>3</sub>, O-Fosfato y D.Q.O., no son homogéneos ( $p < 0,05$ ) y sólo O-Fosfato presenta diferencia significativa en sus valores de las medianas (Kruskal-Wallis), donde San Rafael presenta diferencia con el resto de los puntos (U de Mann-Whitney).

Figura 1, gráfica de barra de error para el oxígeno disuelto. Las variabilidades son relativamente diferentes, donde la mayor corresponde a S. Rafael y la menor a C. Blanco, sin embargo las diferencias no son estadísticamente significativa (homogéneo) ( $p > 0,05$ ). Los valores promedios oscilan entre 7,6 y 8,4 y no presentan diferencia significativa, ( $p > 0,05$ ), tamaño de la muestra ( $n=4$ ).

Figura 2, gráfica de barra de error para el pH. Las variabilidades son relativamente diferentes, donde la mayor corresponde a C. Blanco y la menor a S. Rafael, estadísticamente significativa (heterogéneo), ( $p < 0,05$ ). Los valores promedios oscilan entre 7,1 y 7,5. Las medianas no presentan diferencias significativas, ( $p > 0,05$ ), con tamaño de muestra ( $n=4$ ) en todos los casos.

Figura 3, gráfica de barra de error para la conductividad. La mayor variabilidad corresponde a C. Blanco y en los demás son similares, con diferencia estadísticamente significativa (heterogéneo) ( $p < 0,05$ ). Los valores promedios oscilan entre 44,3 y 100,3. Las medianas no presentan diferencias significativas, ( $p > 0,05$ ), con ( $n=4$ ).

Figura 4, gráfica de barra de error para la turbidez. La mayor variabilidad corresponde al (Arrozal 3), en los demás son similares, dichas diferencias son estadísticamente significativa (heterogéneo), ( $p < 0,05$ ). Los valores promedios oscilan entre 29,6 y 99,5. Las medianas no presentan diferencias significativas ( $p > 0,05$ ) ( $n=4$ ).

Figura 5, gráfica de barra de error para el N-NO<sub>3</sub>. La mayor variabilidad corresponde al (Arrozal 3) seguido de S. Rafael, en los demás son similares, dando diferencias estadísticamente significativas (heterogéneo), ( $p < 0,05$ ). Los valores promedios oscilan entre 0,17 y 1,55. Las medianas no presentan diferencias significativas, ( $p > 0,05$ ) con tamaño de muestra ( $n=4$ ).

Figura 6, barra de error para el NO<sub>2</sub>. Las variabilidades son relativamente diferentes, correspondiéndole la mayor a C. Blanco, seguido del (Arrozal 3) y la menor al (Arrozal 1), las diferencias no son significativas ( $p > 0,05$ ), promedios entre 0,017 y 0,026 tampoco presentan diferencia significativa, ( $p > 0,05$ ) con ( $n=4$ ).

Figura 7, gráfica de error del N-NH<sub>3</sub>. Las variabilidades son relativamente diferentes, donde la menor corresponde a S. Rafael y la mayor a C. Blanco, sin embargo las diferencias no son estadísticamente significativa (homogéneo), ( $p > 0,05$ ). Los promedios oscilan entre 0,05 y 0,07 y no presentan diferencia significativa, ( $p > 0,05$ ) con ( $n=4$ ).

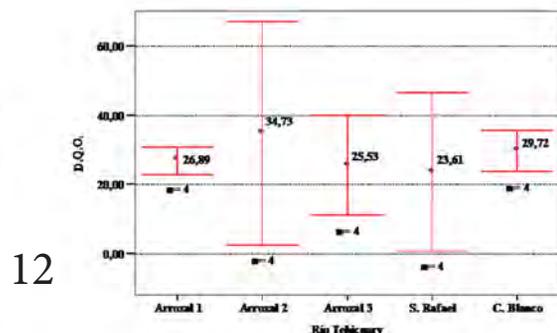
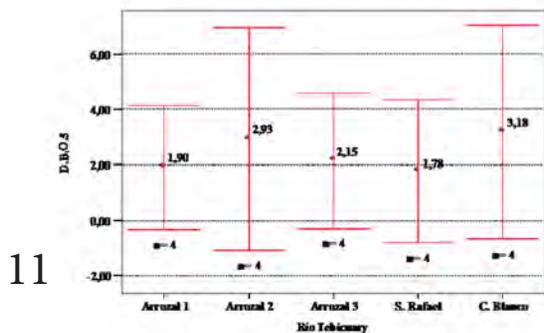
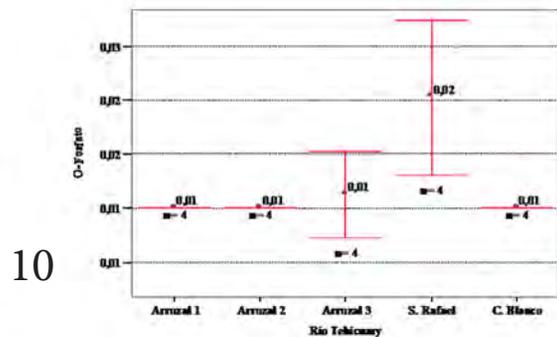
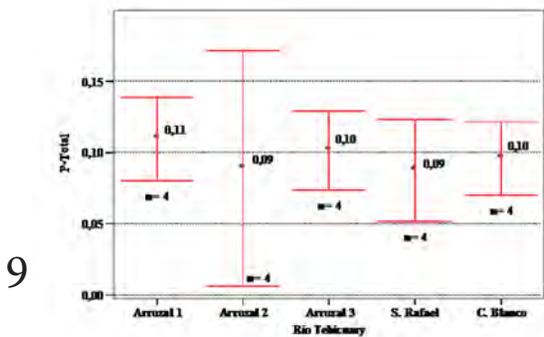
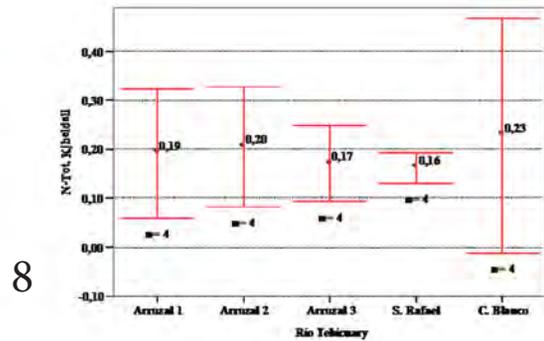
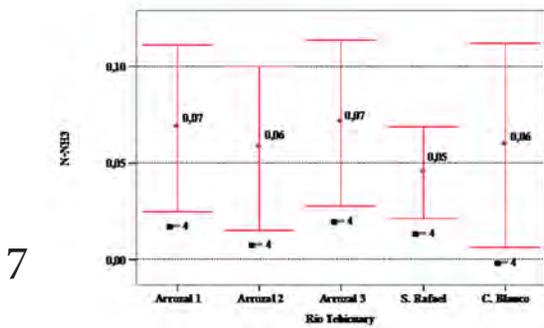
Figura 8, barra de error para el N-Total Kjehldall. La mayor variabilidad corresponde a C. Blanco y la menor a S. Rafael. Las diferencias no son estadísticamente significativa (homogéneo), ( $p > 0,05$ ). Los promedios entre 0,16 y 0,23 y no presentan diferencia significativa ( $p > 0,05$ ) con ( $n=4$ ).

Figura 9, barra de error para el P-Total. La mayor variabilidad corresponde al (Arrozal 2), en las demás son similares. Las diferencias no son estadísticamente significativa (homogéneo) ( $p > 0,05$ ). Los valores promedios oscilan entre 0,09 y 0,11 y no presentan diferencia significativa, ( $p > 0,05$ ) con tamaño de muestra igual ( $n=4$ ).

Figura 10, gráfica de barra de error para O-Fosfato. La mayor variabilidad corresponde a S. Rafael seguido del (Arrozal 3), en los demás son constantes, las diferencias son estadísticamente significativa (heterogéneo) ( $p < 0,05$ ). Los promedios oscilan entre 0,01 y 0,02. Las medianas presentan diferencias significativas, donde los mayores valores corresponden a S. Rafael, ( $p < 0,05$ ) con tamaño de muestra ( $n=4$ ).

Figura 11, gráfica de barra de error para D.B.O.<sub>5</sub>. La mayor variabilidad corresponde al (Arrozal 2) y C. Blanco, en las demás son similares. Las diferencias observadas no son estadísticamente significativa (homogéneo) ( $p > 0,05$ ). Los valores promedios oscilan entre 1,78 y 3,18 y no presentan diferencia significativa, ( $p > 0,05$ ) con ( $n=4$ ).

Figura 12, gráfico de barra de error para la D.Q.O. La mayor variabilidad corresponde al (Ar-



Figuras 7-12. Graficas de barra de error, media, intervalo de confianza al 95% para la media y sus tamaños de muestra, en la condición de Rio Tobicuary, para diferentes parámetros de calidad del agua. 7) N-NH3; 8) N-Total Kjeldahl; 9) P-Total; 10) O-Fosfato; 11) D.B.O.5; 12) D.Q.O.

rozal 2) y la menor al (Arrozal 1), las diferencias son estadísticamente significativa (heterogéneo), ( $p < 0,05$ ). Los valores promedios oscilan entre 23,61 y 34,73. Las medianas no presentan diferencias significativas, ( $p > 0,05$ ), (Anexo). El tamaño de la muestra es igual a cuatro en todos los casos ( $n=4$ ).

### Estudio comparativo del agua de entrada y salida de los arrozales (1, 2 y 3)

En esta Sección desarrollamos el estudio comparativo entre la Entrada y la Salida del agua para los (Arrozales 1, 2 y 3). Los puntos de muestreo San Rafael y Ciervo Blanco, se incluyen en las

gráficas de manera comparativa para visualizar su comportamiento y variabilidades, el primero el punto mas alto aguas arriba y el segundo el punto mas bajo. Se presentan las gráficas de barras de error, la media con sus intervalos de confianzas al 95% y los tamaños de muestras. También incluye el test de Levene, las comparaciones de medias (ANOVA) y en algunos casos el de las medianas (U de Mann-Whitney).

La Tabla 2, es el resumen de las comparaciones entre la Entrada y la Salida de los arrozales (1, 2 y 3) para las pruebas de homogeneidad de varianzas, las diferencias de medias y medianas para cada una de las variables, incluyendo la respuesta al test de Levene, las comparaciones de medias (ANOVA) y en algunos casos el de las medianas (U de Mann-Whitney) con nivel del 95%.

En el Arrozal (1) los parámetros: Oxígeno Disuelto, pH, Turbidez, N-Nitrato, N-Amoniacal, N-Total Kjeldall, P-Total, D.B.O.5, D.Q.O. con la prueba de Levene son homogéneos, ( $p > 0,05$ ). La Conductividad y el Nitrito son heterogéneos, ( $p < 0,05$ ). Los valores de O-Fosfato son constantes. No se detectó diferencia significativa en prome-

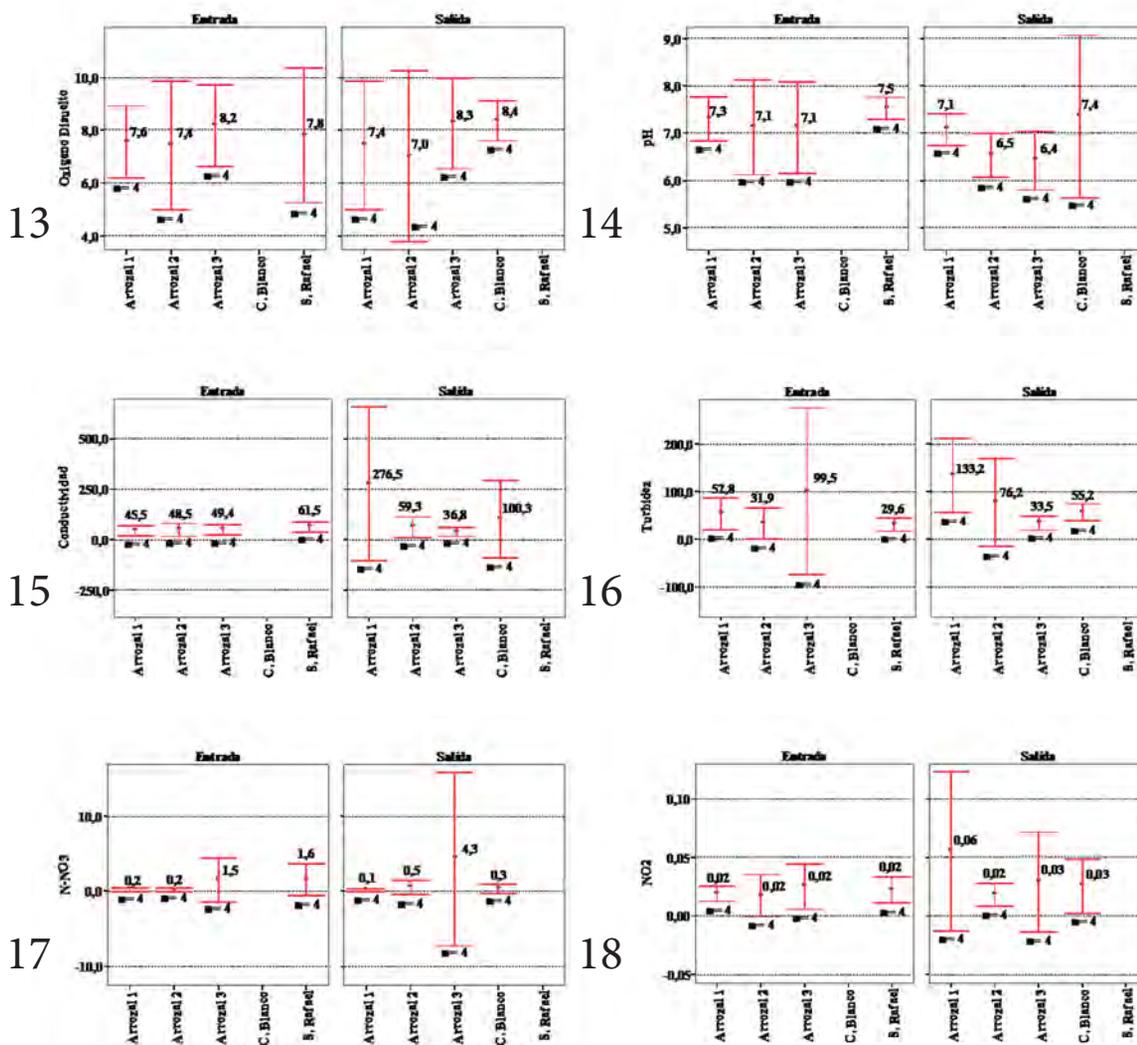
dios para: Oxígeno Disuelto, pH, N-Nitrato, N-Amoniacal, N-Total Kjeldall, P-Total, D.B.O.5 y D.Q.O., ( $p > 0,05$ ). En la Turbidez se detectó diferencia significativa (ANOVA) ( $p < 0,05$ ), donde el mayor valor corresponde a la salida (133,225) y la Conductividad con diferencia significativa de las medianas donde el mayor valor corresponde a la salida. En Nitrito no se detectó diferencia en las medianas ( $p > 0,05$ ) (U de Mann-Whitney).

En el Arrozal (2) los valores de O-Fosfato son constantes. Todas las variables Oxígeno Disuelto, pH, Conductividad, Turbidez, N-Nitrato, Nitrito, N-Amoniacal, N-Total Kjeldall, P-Total, O-Fosfato, D.B.O.5 y D.Q.O. cumplen con la homogeneidad (Levene) ( $p > 0,05$ ). En todos los casos no se detectaron diferencia significativa en los valores promedios (ANOVA), ( $p > 0,05$ ).

En el Arrozal (3) con la prueba de homogeneidad de varianza, las variables Oxígeno Disuelto, pH, Conductividad, N-Nitrato, Nitrito, N-Amoniacal, N-Total Kjeldall, P-Total, O-Fosfato, D.B.O.5 y D.Q.O. son homogéneos ( $p > 0,05$ ) y no presentaron diferencia significativa en los valores promedios (ANOVA); la Turbidez presenta heterogeneidad

**Tabla 2.** Prueba de homogeneidad de varianzas, diferencia de medias y medianas probabilidad asociada y tamaño de muestra para los Arrozales (1, 2 y 3). (a) ANOVA. (b) Kruskal-Wallis.

Parámetros	Arrozal 1				Arrozal 2				Arrozal 3			
	Homogéneo*		Diferencia Significativa*		Homogéneo*		Diferencia Significativa*		Homogéneo*		Diferencia Significativa*	
	Cumple	P	Cumple	P	Cumple	P	Cumple	P	Cumple	P	Cumple	P
Oxígeno Disuelto	Si	0,33	No	0,89(a)	Si	0,22	No	0,75(a)	Si	0,90	No	0,92(a)
PH	Si	0,17	No	0,26(a)	Si	0,20	No	0,13(a)	Si	0,60	No	0,10(a)
Conductividad	No	<0,001**	Si	0,03(b)**	Si	0,54	No	0,60(a)	Si	0,90	No	0,27(a)
Turbidez	Si	0,25	Si	0,02(a)**	Si	0,20	No	0,20(a)	No	0,03**	No	0,11(b)
N-NO3	Si	0,42	No	0,63(a)	Si	0,09	No	0,33(a)	Si	0,08	No	0,48(a)
NO2	No	<0,001**	No	0,34(b)	Si	0,39	No	0,94(a)	Si	0,18	No	0,78(a)
N-NH3	Si	0,48	No	0,67(a)	Si	0,07	No	0,74(a)	Si	0,51	No	0,55(a)
N-Tot. Kjeldall	Si	0,22	No	0,61(a)	Si	0,91	No	0,91(a)	Si	0,51	No	0,86(a)
P-Total	Si	0,18	No	0,37(a)	Si	0,97	No	0,40(a)	Si	0,71	No	0,60(a)
O-Fosfato	-	-	No	1,00(a)	-	-	No	1,00(a)	Si	0,71	No	0,90(a)
D.B.O.5	Si	0,19	No	0,60(a)	Si	0,47	No	0,20(a)	Si	0,12	No	0,23(a)
D.Q.O.	Si	0,07	No	0,48(a)	Si	0,30	No	0,25(a)	Si	0,35	No	0,21(a)



**Figuras 13-18.** Gráficas de barra de error, media, intervalo de confianza al 95% para la media y sus tamaños de muestra, en la entrada y salida del muestreo, para diferentes parámetros de calidad del agua. 13) oxígeno disuelto; 14) pH; 15) conductividad; 16) turbidez; 17) N-NO3; 18) NO2.

( $p < 0,05$ ) no existe diferencia significativa en las medianas (U de Mann-Whitney) ( $p > 0,05$ ).

La Figura 13, muestra la gráfica de barra de error para el oxígeno disuelto. Las variabilidades son ligeramente diferentes donde la mayor corresponde al Arrozal (2) y la menor a C. Blanco, sin embargo las diferencias no son estadísticamente significativas para los Arrozales (1, 2 y 3) ( $p > 0,05$ ). Los valores promedios oscilan entre 7,0 y 8,4 no detectándose diferencia significativa para la Entrada

y Salida ( $p > 0,05$ ) con tamaño de la muestra igual a cuatro ( $n = 4$ ).

En la Figura 14, la gráfica de barra de error para el pH, en la Entrada y Salida de los Arrozales. La mayor variabilidad corresponde a Ciervo Blanco y la menor a San Rafael, pero las diferencias no son estadísticamente significativas, ( $p > 0,05$ ), con promedios oscilando entre 6,4 y 7,5.

La Figura 15, gráfica de barra de error para la conductividad, para la Entrada y la Salida. La

mayor variabilidad corresponde al (Arrozal 1), donde la diferencia es significativa, ( $p < 0,05$ ); en los demás arrozales las variabilidades son homogéneas, ( $p > 0,05$ ). Los valores promedios oscilan entre 36,8 y un pico de 276,5 no habiendo diferencia significativa entre el (Arrozal 2 y 3), ( $p > 0,05$ ); en el caso del (Arrozal 1) las medianas son diferentes, ( $p < 0,05$ ) con el tamaño de muestra ( $n=4$ ).

Figura 16, gráfica de la barra de error para la turbidez para la Entrada y la Salida. La mayor variabilidad corresponde al (Arrozal 3), donde la diferencia es significativa, ( $p < 0,05$ ); en los demás las variabilidades son homogéneas, ( $p > 0,05$ ). Los promedios oscilan entre 29,6 y 133,2. La diferencia de medias es significativo en el Arrozal 1 ( $p < 0,05$ ) pero no en el Arrozal 2 ( $p > 0,05$ ); en el (Arrozal 3) no se dio diferencia significativa de las medianas ( $p > 0,05$ ), tamaño de muestra ( $n=4$ ).

En la Figura 17, se muestra la gráfica de barra de error para el N-NO<sub>3</sub>. La mayor variabilidad corresponde a la Salida (Arrozal 3), las diferencias no son estadísticamente significativas para los Arrozales (1, 2 y 3) ( $p > 0,05$ ). Los promedios difieren en 0,1 con un pico de 4,3 no existiendo diferencia significativa ( $p > 0,05$ ) ( $n=4$ ).

Figura 18, gráfica de barra de error para el NO<sub>2</sub>. La mayor variabilidad corresponde al Arrozal 1 (Salida), con diferencia significativa para este punto ( $p < 0,05$ ); en los demás Arrozales (2 y 3) las variabilidades son homogéneas, ( $p > 0,05$ ). Los valores promedios oscilan entre 0,02 y 0,06 no habiendo diferencia significativa entre las medias para los Arrozales (2 y 3) y para el Arrozal (1) las medianas no difieren, ( $p > 0,05$ ) con ( $n=4$ ).

Figura 19, gráfica de barra de error para el N-NH<sub>3</sub>. Las variabilidades son similares en todos los Arrozales, donde se cumple la homogeneidad, ( $p > 0,05$ ). Entre S. Rafael y C. Blanco la mayor variabilidad corresponde a C. Blanco. Los promedios entre 0,05 y 0,08, sin diferencia significativa para los Arrozales (1, 2 y 3), ( $p > 0,05$ ) ( $n=4$ ).

En la Figura 20, se muestra la gráfica de barra de error para el N-Total Kjeldall. Las variabilidades son ligeramente diferentes en todos los Arrozales, sin embargo las diferencias no son significativas,

( $p > 0,05$ ). Entre S. Rafael y C. Blanco la mayor variabilidad corresponde a C. Blanco. Los valores promedios oscilan entre 0,16 y 0,23 no existiendo diferencia significativa para los Arrozales, ( $p > 0,05$ ) ( $n=4$ ).

La Figura 21, es la gráfica de barra de error para el P-Total, media, intervalo de confianza al 95% para la media y sus tamaños de la muestra, en la Entrada y Salida (Arrozales). Las variabilidades son ligeramente diferentes donde la mayor corresponde al Arrozal (1 Salida), sin embargo las diferencias no son significativas en los Arrozales (1, 2 y 3), ( $p > 0,05$ ). Entre S. Rafael y C. Blanco las variabilidades son similares. Los valores promedios oscilan entre 0,08 y 0,11 no habiendo diferencia significativa para los Arrozales (1, 2 y 3), ( $p > 0,05$ ).

En la Figura 22, se muestra la gráfica de barra de error para el O-Fosfato, media, intervalo de confianza al 95% para la media y sus tamaños de la muestra. Las variabilidades son similares y en el caso de los Arrozales (1 y 2) los valores son constantes (0,01), con variabilidades homogéneas en todos los arrozales, ( $p > 0,05$ ). Entre S. Rafael y C. Blanco la mayor variabilidad corresponde a S. Rafael. Los valores promedios oscilan entre 0,01 y 0,02 no habiendo diferencia significativa entre la Entrada y la Salida para los Arrozales (1, 2 y 3) ( $p > 0,05$ ).

Figura 23, gráfica de barra de error para la D.B.O.5, media, intervalo de confianza al 95% para la media y sus tamaños de la muestra. La mayor variabilidad en el Arrozal (3 Salida), las diferencias no son significativas entre los Arrozales y entre S. Rafael y C. Blanco las variabilidades son similares. Los promedios entre 1,5 y 6,4 sin diferencia significativa entre los Arrozales, ( $p > 0,05$ ).

La Figura 24, corresponde a la gráfica de barra de error para la D.Q.O, media, intervalo de confianza al 95% para la media y sus tamaños de la muestra, en la Entrada y Salida de los puntos de muestreo. La mayor variabilidad corresponde a los Arrozales (2 y 3 Salida), sin embargo, las diferencias no son significativas, Arrozales (1, 2 y 3), ( $p > 0,05$ ). Entre S. Rafael y C. Blanco la mayor variabilidad corresponde a S. Rafael. Los valores

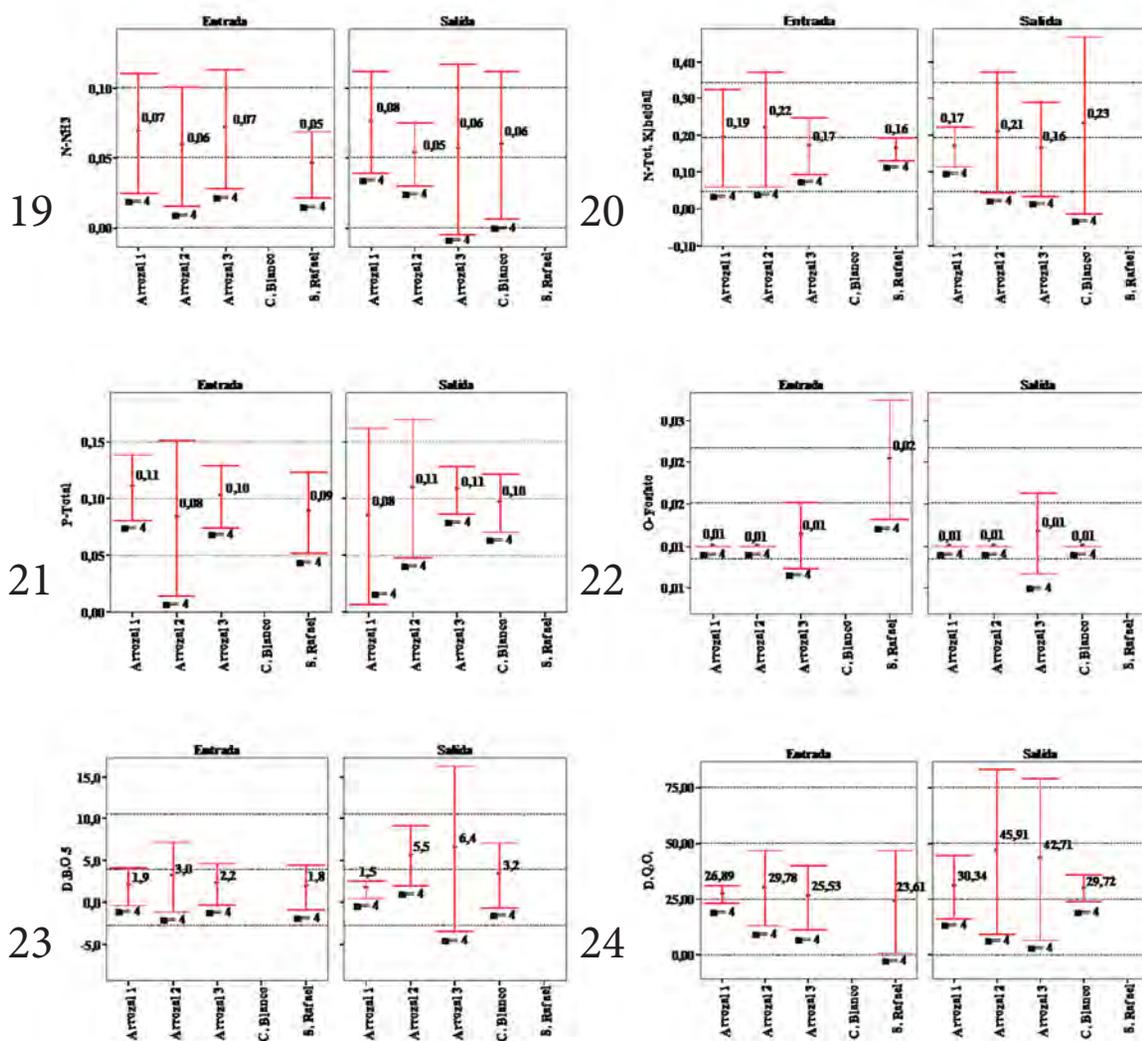


Figura 19-24. Grafica de barra de error, media, intervalo de confianza al 95% para la media y sus tamaños de muestra, para diferentes parámetros de calidad del agua. 19) N-NH<sub>3</sub>; 20) N-Total Kjeldahl; 21) p-Total; 22) O-Fosfato; 23) D.B.O.5; 24) D.Q.O.

promedios oscilan entre 23,61 y 45,91 y no existe diferencia significativa entre los Arrozales (1, 2 y 3) en sus puntos Entrada y Salida, ( $p > 0,05$ ). (Anexo). El tamaño de la muestra es igual a cuatro en todos los casos ( $n=4$ ).

### CONCLUSIÓN

Del análisis descriptivo y comparativo entre las puntos situados sobre el Río Tebicuary denominados Entrada a los arrozales (1,2,3), San Rafael y Ciervo Blanco que corresponden a aguas de dicho

río, se desprenden los siguientes comentarios en base a cuatro muestreos:

Los parámetros Oxígeno Disuelto, NO<sub>2</sub>, N-NH<sub>3</sub>, N-Total Kjeldahl, P-Total y D.B.O.5, cumplen con la homogeneidad de varianza y ninguno de ellos presenta diferencia significativa en sus promedios.

Los demás parámetros como pH, Conductividad, Turbidez, N-NO<sub>3</sub>, O-Fosfato y D.Q.O., no son homogéneos, y sólo O-Fosfato presenta diferencia significativa en sus valores de las medianas, donde

S. Rafael presenta diferencia con el resto de los puntos.

La D.Q.O., en la condición de Río Tebicuary, la mayor variabilidad corresponde al Arrozal (2) y la menor al Arrozal (1) y las medianas no presentan diferencias significativas.

Estudio comparativo entre el agua de Entrada y de Salida, Arrozales (1, 2 y 3).

En el Arrozal 1 los parámetros Oxígeno Disuelto, pH, Turbidez, N-Nitrato, N-Amónico, N-Total Kjeldall, P-Total, D.B.O.5, D.Q.O. son homogéneos y no se detectaron diferencia significativa a excepción de la Turbidez, donde el mayor valor corresponde a la Salida

La Conductividad y el Nitrito son heterogéneos y ambos parámetros presentaron diferencia significativa en sus medianas. El mayor valor de la Conductividad también se dio a la Salida.

Los valores de O-Fosfato fueron constantes.

En el Arrozal (2) los valores de O-Fosfato son constantes.

Todas las variables Oxígeno Disuelto, pH, Conductividad, Turbidez, N-Nitrato, Nitrito, N-Amónico, N-Total Kjeldall, P-Total, O-Fosfato, D.B.O.<sub>5</sub> y DQO cumplen con la homogeneidad y en todos los casos no se detectó diferencia significativa en los valores promedios.

En el Arrozal (3) las variables Oxígeno Disuelto, pH, Conductividad, N-Nitrato, Nitrito, N-Amónico, N-Total Kjeldall, P-Total, O-Fosfato, D.B.O.5 y D.Q.O. son homogéneos y no presentaron diferencia significativa en los valores promedios.

La Turbidez presenta heterogeneidad y no se observa diferencia significativa en la mediana.

Los análisis de biocida Cipermetrina, Imidacloprid y Carbaril realizados sobre muestras de agua de entrada y salida no arrojaron resultados positivos.

No se ha detectado la presencia de metales pesados Arsénico, Plomo, Cadmio, Mercurio y Cobre

en las muestras de agua de entrada y salida ni en los sedimentos analizados.

## BIBLIOGRAFÍA

- ALEXANDRATOS, N. 1995. Agricultura mundial: hacia el 2010, Un estudio de la FAO. Ediciones mundi-Prensa, Madrid, pp: 125-136.
- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. 2005. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewaters, 21<sup>st</sup> Edition. Centennial Edition. APHA, American Water Works Association, Water Environmental Federation, Washington, DC.
- FAOSTAT. Latin America and the Caribbean in the World Economy 2005-2006 <http://faostat.fao.org/>
- MOLINAS, A. 2007 Importancia, Potencialidades y Desafíos del Sector Agro-Rural Paraguayo.
- FACETTI, J. F. 2002. Estado Ambiental del Paraguay. ENAPRENA, 2002.
- SMYTH, A.J. AND J. DUMANSKI. 1993. FESLM: An international framework for evaluating sustainable land management. World Soil Report 73, FAO, Rome. p 74.
- DUMANSKI, J. 1994. Proceedings of the International Workshop on Sustainable Land Management for the 21<sup>st</sup> Century. Volume 1: Workshop Summary. The Organizing Committee. International Workshop on Sustainable Land Management. Agricultural Institute of Canada, Ottawa. p 50.
- MONGOMERY, D. 2005. Diseño y Análisis de Experimentos. México: Editorial Limusa. Capítulo. 3, p. 76-83: Experimentos con un solo factor: el análisis de varianza.
- PEREZ, C. L. 2004. Técnicas de Análisis Multivariante de Datos. Ediciones Pearson Prentice Hall. Madrid. Capítulo. 2, p. 55-65: Primeros pasos en el análisis multivariante. Análisis exploratorio de datos.