

**ANÁLISIS DE LOS POTENCIALES IMPACTOS DE UN SISTEMA DE ROTACIÓN ARROZ-PASTURAS
SOBRE LA CALIDAD DEL AGUA DEL
ARROYO DEL TALA (SALTO, URUGUAY)**



Andrea Tommasino Améndola

Licenciatura en Ciencias Biológicas, Orientación Ecología

Tutora: Dra. Gabriela Eguren

Abril 2012, Montevideo - Uruguay

Agradecimientos

A mi padre por su apoyo incondicional en esta etapa y por sus acertados aportes académicos que tanto me sirvieron.

A mi hermano Nico, por todo su apoyo y las incontables veces que me sacó de apuros en imprevistos durante este trabajo.

A mi madre, que me dejó grandes enseñanzas, entre ellas que otro mundo es posible, y hay que intentarlo desde lo personal y lo profesional.

A todas mis amigas, y en especial a Valita y Sole, que me tuvieron una gran paciencia durante tanto tiempo!!

A Nuria, por su compañía, reflexiones y apoyo en toda esta última etapa, no tengo palabras para agradecerte lo que te “bancaste”, gracias!

A mi tutora Gabriela Eguren, por su guía y apoyo en este trabajo, todos sus conocimientos compartidos, nunca escatimados y siempre con mucha humildad, gracias!

A Leonidas Carrasco por sus aportes al trabajo y a Claudio García.

ÍNDICE

Resumen

1. Introducción	4
1.1 Agricultura y ambiente	4
1.2 Producción arroceras en Uruguay	6
1.3 Métodos para la evaluación de la calidad de agua	8
1.4 Antecedentes de estudio	9
1.5 Investigación propuesta	9
2. Hipótesis y objetivos	10
2.1 Hipótesis	10
2.2 Objetivo general	10
2.3 Objetivos específicos	10
3. Materiales y métodos	11
3.1 Área de estudio	11
3.2 Diseño de muestreo	12
3.3 Variables físico-químicas	13
3.4 Análisis de datos	14
4. Resultados	14
4.1.1 Temperatura	15
4.1.2 Oxígeno disuelto (OD)	18
4.1.3 Acidez	19
4.1.4 Alcalinidad	20
4.1.5 Conductividad	21
4.1.6 Demanda química de oxígeno (DQO)	21
4.1.7 Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)	22
4.1.8 Coliformes fecales	23
4.1.9 Nitrógeno total (Nt)	24
4.1.10 Fósforo total (Pt)	25
4.1.11 Sólidos totales suspendidos (STS)	26
4.1.12 Materia orgánica en suspensión (MOS)	27
4.2.13 Correlaciones	28
5. Discusión	28
6. Conclusiones	35
7. Consideraciones finales	35
8. Referencias bibliográficas	37

Resumen

Las actividades agropecuarias han sido uno de los principales promotores de cambios en los ecosistemas naturales, así como también uno de los mayores usuarios de agua dulce y principales fuentes de contaminación difusa de cursos de agua superficial en el mundo.

El objetivo general del presente estudio fue determinar los potenciales impactos de un sistema de producción arroz-pasturas sobre la calidad del agua del arroyo del Tala (Salto, Uruguay). Para ello se analizó la variación temporal durante el período comprendido entre 2007-2011 sobre el curso principal del arroyo, de once parámetros físico-químicos: temperatura, oxígeno disuelto, acidez, alcalinidad, conductividad, demanda química de oxígeno, demanda biológica de oxígeno, nitrógeno total, fósforo total, sólidos totales suspendidos y materia orgánica en suspensión y un parámetro microbiológico, coliformes fecales. A su vez, se compararon los resultados obtenidos para cada parámetro con los valores establecidos por la normativa de nuestro país, para corroborar si cumplen con los requisitos para aguas de riego.

Los resultados, muestran que si bien este tipo de actividad tiene impactos sobre la calidad del agua, es en momentos puntuales de la producción ya que luego en la mayoría de las variables se observa una recuperación pasados dichos eventos. Las etapas que se consideran tienen un mayor impacto son la aplicación de fertilizantes y la apertura de canales, ya que los muestreos correspondientes a dichas etapas es cuando se encontraron los valores que indican menor calidad de los distintos parámetros.

El monitoreo de la calidad del agua es fundamental para tener un registro de las condiciones y poder evaluar si el ecosistema está siendo afectado por el uso y/o por el tipo de manejo que se realiza en el lugar. Se considera que el monitoreo en este lugar debería seguir realizándose, y en futuras investigaciones se podría contemplar a su vez la variación de los parámetros a nivel espacial, además de utilizar bioindicadores para generar una visión integral del ecosistema.

1. Introducción

1.1 Agricultura y ambiente

Para la agricultura, el agua y el suelo son los principales recursos naturales que la sustentan. Sin embargo, estos se ven comprometidos debido al uso cada vez más intensivo de la tierra con el fin de obtener máximos rendimientos por hectárea (Matson *et al.*, 1997; Molden *et al.*, 2007). Para ello, se ha incrementado la utilización de maquinaria y el uso de insumos como fertilizantes y productos fitosanitarios, entre otros (Matson *et al.*, 1997; Tongkasame, 2007; Oesterheld, 2008). Esto ha generado problemas a diferentes niveles en el ambiente: degradación de la calidad de agua, erosión del suelo, contaminación y pérdida de biodiversidad (Peters & Meybeck, 2000; Achkar, 2002; Verhoeven *et al.*, 2006; Dale & Polasky, 2007); y a su vez determina variaciones en las propiedades de los ecosistemas y los servicios que estos brindan (Altieri, 1994; Matson *et al.*, 1997; Braga, 2000; Achkar *et al.*, 2004; De la fuente & Suárez, 2008). Actualmente, a nivel mundial existe un mayor compromiso en cuanto a la incorporación de metodologías que permitan un equilibrio entre el desarrollo económico y la conservación del ambiente (Eguren, 2005; Eguren *et al.*, 2007), en procura del denominado “desarrollo sustentable” (Matson *et al.*, 1997; Martínez *et al.*, 2002; Eguren, 2005; Paetzold *et al.*, 2010).

La expansión de la agricultura junto al crecimiento poblacional e industrial, han generado un aumento en la demanda de agua y un mayor deterioro de la calidad de la misma; comprometiendo así muchos de los servicios ecosistémicos que ésta brinda como son: su uso doméstico, comercial y agrícola, producción de energía eléctrica, hábitat para diferentes seres vivos, entre tantos otros (Vitousek *et al.*, 1997; Braga, 2000; Achkar, 2002; Achkar *et al.*, 2004).

De los problemas mencionados, es que surge la preocupación de los diferentes sectores (salud, sociedad, agricultores) por conservar tanto la cantidad como la calidad del agua. Por lo que, el desarrollo sustentable de los ecosistemas de agua dulce es la única forma de preservar los beneficios que de ella emanan (Braga, 2000; Achkar, 2002; Tilman *et al.*, 2002). A los factores de origen antrópico

anteriormente nombrados, están los de origen natural (eventos extremos de precipitación, variaciones climáticas, condiciones edáficas) que también pueden alterar la calidad del agua (Mahavi *et al.*, 2005). Ante esto, el monitoreo de la calidad del agua es fundamental para tener un registro de las condiciones y poder evaluar si el ecosistema está siendo afectado por el uso y/o manejo que se está realizando (Arocena *et al.*, 2008) y de esta forma poder aplicar medidas correctoras en caso necesario.

La agricultura ha sido asociada a procesos de erosión y pérdida de fertilidad del suelo (Kronvang *et al.*, 2007; Leinweber *et al.*, 2002), cambios en la hidrología natural del sistema (Arocena & Rodríguez-Gallego, 2002) e ingreso de sustancias químicas (fertilizantes, productos fitosanitarios) por infiltración profunda y/o escorrentía a cuerpos de agua (Oleaga *et al.*, 2008). Por lo tanto, el actual uso agrícola del suelo puede representar una amenaza para los ecosistemas acuáticos (Molden *et al.*, 2007; Oesterheld, 2008).

La erosión de los suelos es un proceso natural, que hoy en día se ve acelerado por el tipo de prácticas y/o manejos que se realizan en el mismo (laboreo, suelos desnudos, sobrepastoreo). Por lo que la interacción entre las condiciones climáticas y las prácticas agrícolas son determinantes en la magnitud de las pérdidas de suelos y de nutrientes como N, P, K y materia orgánica por erosión hídrica (Oleaga *et al.*, 2008).

Cabe destacar, que el ingreso de nitrógeno y fósforo en cantidades elevadas a los sistemas acuáticos, ya sea por el uso de fertilizantes como el estiércol del ganado, pueden desencadenar proceso de eutrofización (Margalef, 1981), por lo que junto al ingreso de productos fitosanitarios puede contribuir sustancialmente a la degradación del agua (Carpenter *et al.*, 1998; Altieri & Nicholls, 2000; Verhoeven *et al.*, 2006; Dale & Polasky, 2007), así como influir en la salud humana (Vitousek *et al.*, 1997; Oleaga *et al.*, 2008).

En este trabajo se hace especial énfasis sobre las implicaciones que tienen las actividades agropecuarias, en particular el cultivo de arroz, sobre los cambios en la calidad del agua. Este interés surge a partir de que la agricultura es uno de

los mayores usuarios de agua dulce en el mundo y una de las principales fuentes de contaminación difusa del agua (Ongley, 1997); así como también es uno de los principales motores de cambio en los ecosistemas por excelencia (Eguren, 2005).

1.2 Producción arrocerá en Uruguay

El cultivo de arroz en Uruguay se basa en rotaciones de dos años de arroz y cuatro de pasturas, integrado con la producción ganadera (Tommasino, 2003), donde el cultivo de arroz ocupa en la rotación un 25 - 30% del tiempo total. Esta forma de producción es lo que lo diferencia a nivel mundial (Aguerre, 2009) ya que se considera de baja intensidad e impacto ambiental (Cantou *et al.*, 2009). Las pasturas en este sistema permiten la reconstitución del estado del suelo (Benintende *et al.*, 2008; Oleaga *et al.*, 2008; ACA 2009b), estimulando así el uso adecuado y eficiente de los recursos naturales involucrados en el proceso de producción (suelo, agua y biodiversidad) (ACA, 2009b).

El agua para este cultivo es fundamental, ya que el mismo se realiza exclusivamente bajo riego por inundación continua, lo cual aumenta la disponibilidad de nutrientes del suelo para la planta. El período de riego es de diciembre a marzo (duración promedio de 100 días) iniciándose a los 20-30 días luego de la emergencia hasta completar la madurez fisiológica. El consumo promedio de agua es de 12.000 m³/ha y esta puede obtenerse de distintas formas: bombeo desde los ríos, arroyos o lagunas, o por desnivel, lo que implica conducir el agua desde represas ubicadas en zonas más altas que el cultivo (Cantou *et al.*, 2009; ACA, 2010b).

En relación al manejo del cultivo de arroz, las chacras son preparadas para la siembra con un laboreo de verano u otoño que consiste básicamente, en la nivelación de los suelos para eliminar microrelieves y el uso de zanjadoras para abrir los drenajes internos de la chacra. A su vez se realizan tareas de limpieza y mantenimiento de desagües, entre otros. En setiembre - octubre se realizan laboreos secundarios para inmediatamente sembrar (ACA, 2012).

En Uruguay se siembra en seco con distintos métodos, pero todos tienen en común que se inunda la chacra a los 20-30 días luego de la emergencia de la planta y permanece inundado hasta los 15 o 20 días antes de la cosecha, momento en que se abren los canales para que drene el agua que se encuentra sobre el cultivo y poder luego cosechar en seco (Gamarra, 1996).

En cuanto a la aplicación de fertilizantes nitrogenados, esta se realiza en dos etapas, una primera en la siembra, y otra en una o dos coberturas cuando el cultivo ya está en etapas de macollaje y diferenciación del primordio floral. En cambio la fertilización con fósforo y potasio se realiza una sola vez en la siembra (ACA, 2009a). Por último se realiza la cosecha en seco y en el caso de rotación con pasturas, estas se implementan inmediatamente sobre el rastrojo de arroz (Gamarra, 1996).

La superficie agropecuaria total del Uruguay es de 16,4 millones de hectáreas. Para el año 2010, la producción de arroz fue de 309 millones de dólares, el 12% del valor de la producción agrícola del país (MGAP, 2011). El cultivo de arroz ha utilizado en las últimas zafas un promedio de 160.000 hectáreas y se exporta el 95% de la producción (zafa 2009/10) (DIEA, 2010); y convierte a Uruguay en el principal exportador de América Latina y el octavo a nivel mundial (ACA, 2009b).

En Uruguay hay tres zonas arroceras, las cuales están delimitadas por la cuenca hidrográfica a la que se relacionan. La zona este, comprendida por los Departamentos de Rocha, Lavalleja, Treinta y Tres y este de Cerro Largo; que abarca las planicies de la Laguna Marín y del Atlántico y reúne más de la mitad de las tierras bajo cultivo de arroz del país; además cuenta con fuentes de agua muy abundantes. La zona centro que comprende los Departamentos de Rivera, Tacuarembó, oeste de Cerro Largo y norte de Durazno; abarca fundamentalmente la cuenca del Río Negro y está formada por un “mosaico” relativamente discontinuo de áreas con arroz que en general requieren de represas para el riego. Y la zona norte, con los Departamentos de Artigas y Salto, ocupa parte de la cuenca del río Cuareim y del Uruguay; también está formada por áreas más o

menos discontinuas y dispersas, donde las pendientes son, en general, más pronunciadas y como en la zona centro, el mayor porcentaje se riega desde represas (Tommasino, 2003; ACA, 2010a).

1.3 Métodos para la evaluación de la calidad de agua

El monitoreo de la calidad del agua mediante el uso de cuencas hidrográficas como unidad espacial de análisis, es uno de los enfoques más apropiados porque permite entender como interactúan los procesos a nivel del área de drenaje y los cursos de agua asociados (Achkar, 2002; Eguren *et al.*, 2008a).

Los estudios de calidad de agua se pueden realizar en base a la determinación de parámetros biológicos y/o físico-químicos. Los biológicos utilizan características o respuestas de los organismos vivos que habitan los ecosistemas acuáticos, y dado que han coevolucionado con el ambiente adaptándose a las condiciones del mismo permiten integrar los cambios en términos espaciales y temporales. Por otra parte, el monitoreo utilizando parámetros físico-químicos se realiza mediante su determinación periódica en muestras de agua (Alba-Tercedor, 1996; Garbagnati *et al.*, 2005), las que se pueden comparar con valores establecidos por la normativa de cada país (Judova & Jansky, 2005; Huang *et al.*, 2010; Ley 14.859 - Código de Aguas y Decreto Reglamentario 253/79, Uruguay). Esta metodología es muy útil para establecer planes de manejo, pero hay que tener en cuenta que esta herramienta en conjunto con otras (bioindicadores) es la que permite tener una visión integrada del ecosistema (Arocena *et al.*, 2008).

Otra metodología muy utilizada para evaluar la calidad del agua es mediante el uso de Índices de Calidad de Agua (ICA). Un instrumento matemático que integra grandes cantidades de datos de parámetros de calidad del agua en un solo número, el cual representa el nivel de calidad de la misma (Debels *et al.*, 2005; Dos Santos Simões *et al.*, 2008).

1.4 Antecedentes de estudios

A nivel nacional se han desarrollado algunos estudios tendientes a evaluar el impacto ambiental de la producción de arroz. En 1993 el Laboratorio Tecnológico del Uruguay (LATU) y el Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIA), a través del Fondo de Promoción de Tecnología Agropecuaria (FPTA), analizaron residualidad de agroquímicos, la cual dio una baja detección de residuos y en sucesivos años cada vez descendió más. Luego en 2006/07 a través nuevamente de un proyecto financiado por el FPTA con participación de la Asociación de Cultivadores de Arroz (ACA), Gremial de Molinos Arroceros (GMA), Universidad de la República (UDELAR), LATU y Ministerio de Ganadería Agricultura y Pesca (MGAP), se llevó a cabo un estudio sobre la existencia de residuos de agroquímicos en suelo, agua y grano; así como también en una cuenca hidrográfica del río Cebollatí, con más de 10.000 hectáreas de arroz. Los resultados que obtuvieron indicaron que los residuos en grano blanco de los 13 principios activos y metales pesados analizados se hallan en concentraciones por debajo del límite de detección; mientras que en suelo fueron detectados residuos de algunos agroquímicos así como también en el 6,7% de las muestras de agua (Hill & Battello, 2009).

Otro estudio, desarrollado en la cuenca del arroyo del Tala (Departamento de Salto) desde el año 2007, ha evaluado los impactos del sistema de producción arroz-pasturas sobre la calidad del agua mediante el uso de indicadores físico-químicos y biológicos. Los resultados de este trabajo indican que si bien hay una reducción en la calidad del agua durante el desarrollo del cultivo de arroz, los valores siempre se mantienen dentro de los rangos aceptados para su uso actual (riego) (Eguren *et al.*, 2008b).

1.5 Investigación propuesta

Esta investigación se enmarca en el proyecto INIA SA01.4 “Análisis del impacto ambiental de diferentes sistemas de producción intensivos a nivel de Cuencas Hidrográficas”. La propuesta fue analizar el impacto del manejo de un

sistema de rotación arroz-pastura sobre la calidad del agua. Para ello la estrategia utilizada fue el monitoreo de un conjunto de variables físico-químicas del agua tomando como unidad espacial de análisis la cuenca hidrográfica.

2. Hipótesis y objetivos

2.1 Hipótesis

La calidad de los cursos de agua es el producto del procesamiento de materia y energía que ocurre en el área de drenaje. En tal sentido el uso y manejo del suelo determinan las características físicas y químicas de los cursos de agua hacia los cuales drenan.

Predicción: el manejo de un sistema de producción arroz-pastura genera un deterioro en la calidad del agua de los recursos hídricos superficiales asociados a su área de drenaje.

2.2 Objetivo General

Determinar el impacto del sistema de producción arroz-pasturas sobre la calidad del agua del arroyo del Tala.

2.3 Objetivos Específicos

1. Analizar los patrones de variación temporal de parámetros físico-químicos de calidad de agua del arroyo del Tala.
2. Determinar si hay interacciones negativas entre las etapas del cultivo y los parámetros físico-químicos del agua.
3. Determinar si la calidad del agua del arroyo del Tala es apta para su uso en riego.

3. Materiales y métodos

3.1 Área de estudio

La cuenca del arroyo del Tala es una subcuenca del río Arapey Grande, localizada en el litoral oeste (departamento de Salto), y pertenece a la zona norte respecto a la clasificación de las zonas arroceras del país. Presenta una superficie de 159,29 km² y la longitud del curso principal es de 23,1 km. Por otra parte, cabe resaltar la presencia de dos embalses, uno sobre el curso principal de 3,21 km² y otro sobre uno de sus tributarios (cañada del Juncal) de 1,83 km², y un represamiento natural la “Laguna Bonita” (Eguren *et al.*, 2008b).

El clima en Uruguay es mayormente homogéneo a lo largo de su territorio, y se define como templado-húmedo sin estación seca. La temperatura media anual es de aproximadamente 16 °C en el sur y 19 °C en el norte. La temperatura media mensual varía desde 7 °C en julio (invierno) a 31 °C en enero (verano). La precipitación mensual se distribuye uniformemente a lo largo del año, con un leve incremento en el otoño, siendo las precipitaciones medias anuales de 1098 mm (RAU, 2011).

En cuanto a los suelos, la región Norte de Uruguay (Departamentos de Artigas, Salto y parte de Tacuarembó, Rivera, Paysandú y Río Negro) presenta una alta proporción de suelos desarrollados sobre roca basáltica (“lavas del Arapey”). Este tipo de suelo varía según la profundidad que tenga: existiendo suelos con distintas profundidades. Los suelos superficiales (<40 cm) presentan limitaciones en cuanto a arraigamiento y baja capacidad de almacenamiento de agua, y están usualmente asociados con alta pedregosidad y rocosidad. En cambio, las condiciones de suelos profundos y áreas suficientemente grandes son aptos para el cultivo de arroz (Baethgen & Giménez, 2009). Los tipos de suelo de esta zona principalmente son vertisoles y brunosoles (Tommasino, 2003). Estos suelos si bien son distintos, comparten varias características generales como: alta fertilidad, alto contenido de materia orgánica estable, textura fina y una consistencia dura seco y en mojado plástica. Son de estructura fuerte, de lenta permeabilidad e infiltración y también baja erodabilidad, por lo que son

reconocidos como de buena aptitud para uso agrícola y pastoril (Duran *et al.*, 1999).

3.2 Diseño de muestreo

La frecuencia de muestreos de agua se realizó en función de dos criterios: variabilidad natural (cambios estacionales de precipitaciones, caudal, temperatura) y antrópica (patrones de manejo del sistema de producción agrícola-ganadero de la cuenca). Por ello se analizaron cuatro momentos:

- Pre-siembra (PS): previo a la preparación de la chacra para la siembra de arroz (julio-agosto);
- Pos-aplicación (PA): luego de la aplicación de fertilizantes y productos fitosanitarios (mediados de diciembre);
- Apertura de canales (AC): luego del drenado de las chacras (fines de enero principios de febrero); y
- Pos-cosecha (PC): luego de la cosecha (abril-mayo).

En cada momento se colectaron muestras de agua en cuatro sectores del curso principal (E1, E2, E3 y E4), abarcando desde su nacimiento hasta la desembocadura (Fig. 1).

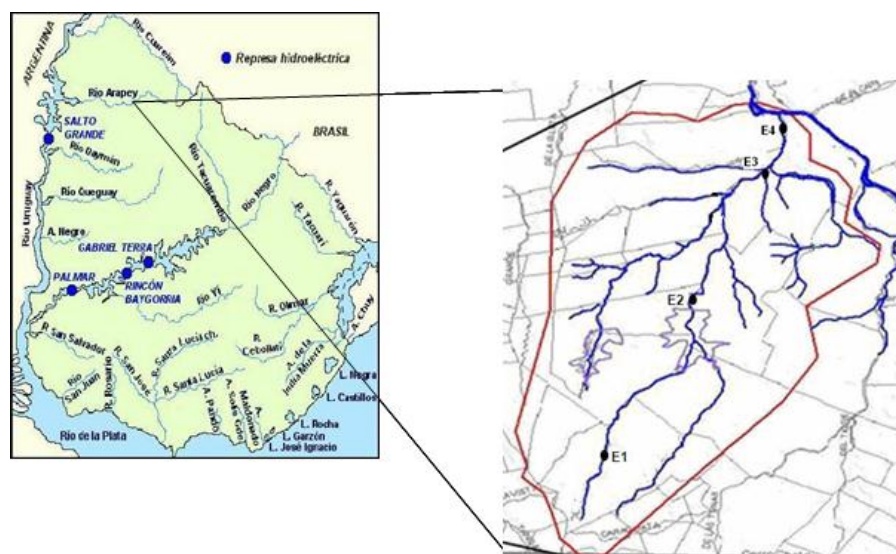


Figura 1. Estaciones de muestreo en el arroyo del Tala.

Para analizar el efecto de sucesivos sistemas de rotación arroz-pasturas sobre la calidad del agua; en principio se iba a realizar con la información de los cuatro momentos (pre-siembra, pos-aplicación, apertura de canales y pos-cosecha) pero debido a inundaciones en los sitios de muestreo en el verano, momentos correspondientes a los muestreos de pos-aplicación y apertura de canales en las zafra 09/10 y 10/11, se compararon los datos correspondientes a los momentos pre-siembra y pos-cosecha de cada zafra (07/08 hasta 10/11).

Para evaluar el efecto del manejo durante el ciclo de producción del arroz, se compararon los muestreos correspondientes a PS, PA, AC y PC de las zafra 07/08 y 08/09 en los cuales se contaba con estos cuatro muestreos.

3.3 Variables físico-químicas

En cada uno de los sectores del curso principal se realizaron diez mediciones “*in situ*”, distribuidas a lo largo de 100 metros, con sondas específicas de los siguientes parámetros: acidez y conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}^2$) se registraron con un Hanna Hi98129; y temperatura ($^{\circ}\text{C}$) y oxígeno disuelto (mg/L) con un medidor Ysi model 58. En cada muestreo se colectaran tres réplicas de agua subsuperficial, las cuales fueron preservadas a 4°C hasta el análisis en laboratorio de los siguientes parámetros: alcalinidad ($\text{mg CaCO}_3/\text{L}$), sólidos totales en suspensión (mg/L) y materia orgánica en suspensión (mg/L), demanda bioquímica de oxígeno (mg/L), demanda química de oxígeno (mg/L), coliformes fecales (UFC/100mL) según el método APHA (1995); nitrógeno total ($\mu\text{g}/\text{L}$) (Valderrama, 1981) y fósforo total ($\mu\text{g}/\text{L}$) (Müller & Weidemann, 1955).

Para determinar la calidad del agua, los resultados de los distintos parámetros fueron comparados con los valores establecidos por la normativa que rige en Uruguay para aguas de riego (clase 3) que lucen en el Decreto 253/79.

3.4 Análisis de datos

Si bien se en cada momento de muestreo (PS, PA, AC y PC) se colectaron muestras de agua en cuatro sectores (E1, E2, E3 y E4) distribuidos a lo largo del curso principal del arroyo del Tala (Fig. 1), se analizaron de forma conjunta ya que en este estudio el énfasis es en la variación temporal y no espacial de los parámetros.

Los análisis estadísticos de los datos físico-químicos y microbiológicos se realizaron utilizando el programa Statistica 7.0, con un nivel de confianza de 95%.

En primera instancias se verificaron los supuestos de distribución normal (prueba de Kolmogorov-Smirnov) y homogeneidad de varianza (prueba de Levene). Si los datos originales no cumplían los supuestos, se realizaron las siguientes transformaciones: $\log X$, $\log (X+1)$, $1/X$ (García-Berthou *et al.*, 2009); cuando de igual forma los supuestos no se cumplían, se utilizó el análisis de varianza no paramétricos con la prueba de Kruskal-Wallis (K-W) y se realizó una comparación múltiple para evaluar el nivel de significancia.

En los casos que se cumplieron los supuestos se realizaron análisis de varianza de una vía (ANOVA) y las diferencias significativas fueron analizadas mediante el test post-hoc de Tukey.

A su vez se realizaron correlaciones entre los parámetros medidos para los cuatro momentos de las dos primeras zafas, con la correlación no paramétrica de Spearman con un nivel de confianza de 95%.

4. Resultados

A los efectos de analizar los potenciales impactos de las sucesivas zafas sobre la calidad del agua, fueron considerados conjuntamente los datos obtenidos únicamente al inicio (PS) y final (PC) de las zafas, por los motivos que se mencionaron en el punto 3.2. En la Tabla 1 se presentan los valores promedio, desvío estándar, máximo y mínimo, de todos los parámetros medidos durante la PS y PC de cada zafra.

Para observar si hay relación entre el manejo del cultivo con los parámetros físico-químicos que se miden en el arroyo del Tala, se analizaron los cuatro momentos definidos en el diseño de muestreo (PS, PA, AC y PC), de las zafras 07/08 y 08/09, dado que en ellas se contaba con todos los valores de estos momentos.

4.1.1 Temperatura

Los datos registrados de temperatura para el análisis entre zafras, mostraron diferencias significativas entre zafras ($p < 0,001$, K-W) excepto entre la primera y última ($p = 0,882$, K-W). Los mayores valores se registraron durante la zafra 09/10 y los menores en la zafra 08/09 (Tabla 1, Fig. 2A).

En la zafra 07/08 se encontraron diferencias significativas entre todos los momentos ($p < 0,05$, K-W) y en la 08/09 también, salvo entre PA-AC ($p = 0,066$, K-W). En ambas zafras el patrón fue similar, las mayores temperaturas se registraron durante la PA y la AC (Fig. 3).

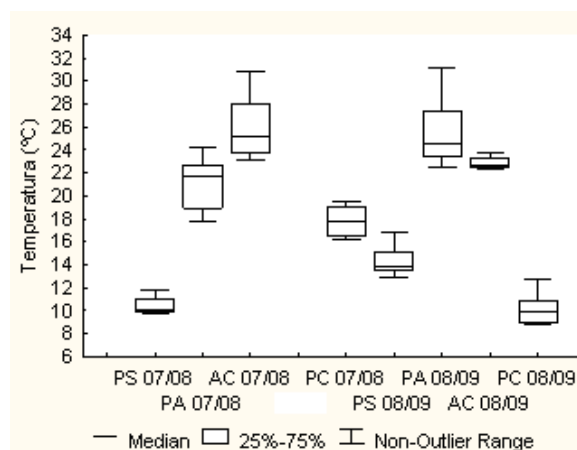


Figura 3. Variación temporal de la temperatura del agua del arroyo del Tala en el ciclo del cultivo de arroz de las zafras 07/08 y 08/09.

Tabla 1. Valores promedios (Prom.), desvíos (σ), máximos (Máx.) y mínimos (Mín.) de: temperatura (T) , oxígeno disuelto (OD), acidez (pH)*, alcalinidad, conductividad, demanda química de oxígeno (DQO), demanda bioquímica de oxígeno (DBO), coliformes fecales, nitrógeno total (Nt), fósforo total (Pt), sólidos totales suspendidos (STS) y materia orgánica en suspensión (MOS) del arroyo del Tala, durante pre-siembra (PS) y pos-cosecha (PC) de las zafras 07/08, 08/09, 09/10 y 10/11.

		zafra 07/08				zafra 08/09				zafra 09/10				zafra 10/11			
		Prom.	σ	Màx.	Mín	Prom.	σ	Màx.	Mín	Prom.	σ	Màx.	Mín	Prom.	σ	Màx.	Mín
T (°C)	PS	10,4	0,8	11,8	9,7	14,4	1,2	16,9	12,9	18,4	1,7	21,1	15,4	16,5	1,5	19,6	14,2
	PC	17,8	1,3	19,5	16,2	10,2	1,3	12,8	8,9	18,5	1,6	21,0	15,5	14,6	0,9	16,6	13,7
OD (mg/L)	PS	10,1	0,9	12,5	9,2	12,0	0,5	13,1	10,9	9,8	4,9	19,9	6,0	10,9	2,7	16,4	8,6
	PC	7,2	2,4	10,3	3,6	10,9	0,3	11,2	10,2	13,1	5,8	19,9	6,5	9,9	0,2	10,0	9,5
Acidez (pH)	PS	7,4	0,1	7,6	7,3	8,7	0,2	9,1	8,5	8,4	0,1	8,6	8,3	8,6	0,1	8,8	8,4
	PC	8,5	0,4	8,9	8,1	8,0	0,2	8,4	7,7	7,8	0,2	8,2	7,5	-	-	-	-
Alcalinidad (mg CaCO ₃ /L)	PS	224,6	24,5	260,0	190,0	324,0	16,3	352,0	310,0	232,2	71,9	360,0	180,0	278,1	43,7	355,0	248,0
	PC	229,5	26,5	280,0	199,0	346,2	34,8	390,0	292,0	300,4	34,1	350,0	34,1	205,8	123,1	420,0	100,0
Conduct. (µS/cm)	PS	482,4	18,0	510,0	450,0	501,8	38,9	568,0	464,0	377,1	95,0	530,0	290,0	439,4	65,0	549,0	383,5
	PC	479,2	47,3	542,0	393,0	558,3	66,7	640,0	390,0	512,5	85,9	578,0	352,0	539,6	38,7	577,0	376,0
DQO (mg/L)	PS	18,8	35,3	125,0	3,0	16,9	5,5	26,0	10,0	19,4	8,6	38,0	10,0	20,7	3,7	25,0	15,0
	PC	22,4	14,2	45,0	10,0	13,0	3,1	20,0	10,0	33,8	21,2	71,0	13,0	13,8	7,1	30,0	10,0
DBO (mg/L)	PS	3,0	0,0	3,0	3,0	6,7	2,6	14,0	5,0	5,0	0,0	5,0	5,0	6,7	1,7	10,0	5,0
	PC	5,1	0,3	6,0	5,0	5,1	0,3	6,0	5,0	5,1	0,3	6,0	5,0	5,0	0,0	5,0	5,0
Colif. fecales (UFC/100ml)	PS	80,0	90,2	310,0	10,0	208,8	201,8	600,0	36,0	649,2	699,1	2000,0	100,0	437,5	369,7	1150,0	100,0
	PC	889,1	2195,4	7500,0	100,0	229,2	62,3	300,0	120,0	187,5	202,1	800,0	100,0	311,7	22,3	330,0	250,0
Nt (mg/L)	PS	0,55	0,31	1,13	0,10	1,20	0,31	1,63	0,65	0,43	0,22	0,95	0,23	0,81	0,22	1,29	0,51
	PC	0,87	0,25	1,34	0,50	1,49	0,44	2,16	0,71	0,87	0,13	1,10	0,65	0,82	0,26	1,54	0,59
PT (mg/L)	PS	0,032	0,016	0,064	0,009	0,021	0,005	0,029	0,014	0,095	0,026	0,139	0,054	0,061	0,012	0,080	0,038
	PC	0,061	0,025	0,108	0,020	0,075	0,017	0,096	0,040	0,111	0,038	0,188	0,074	0,084	0,043	0,197	0,041
STS (mg/L)	PS	5,3	3,3	12,0	2,0	3,9	1,0	6,0	3,0	8,1	4,6	20,0	3,3	6,4	2,4	12,0	4,0
	PC	23,6	34,9	90,0	2,7	15,8	11,5	42,7	4,0	7,2	5,1	15,5	1,3	7,3	8,5	29,0	0,0
MOS (mg/L)	PS	2,4	1,2	4,0	1,0	2,6	0,8	4,0	2,0	3,4	1,3	6,0	1,3	3,1	0,7	4,5	2,3
	PC	6,4	7,6	25,7	1,3	4,3	2,5	8,7	1,3	2,8	2,0	6,0	0,3	4,4	4,8	14,0	0,0

Los valores en negrilla estuvieron fuera de los valores permitidos por el Decreto 253/79 (Uruguay). *Valores de pH de la PC zafra 10/11 no se pudieron medir.

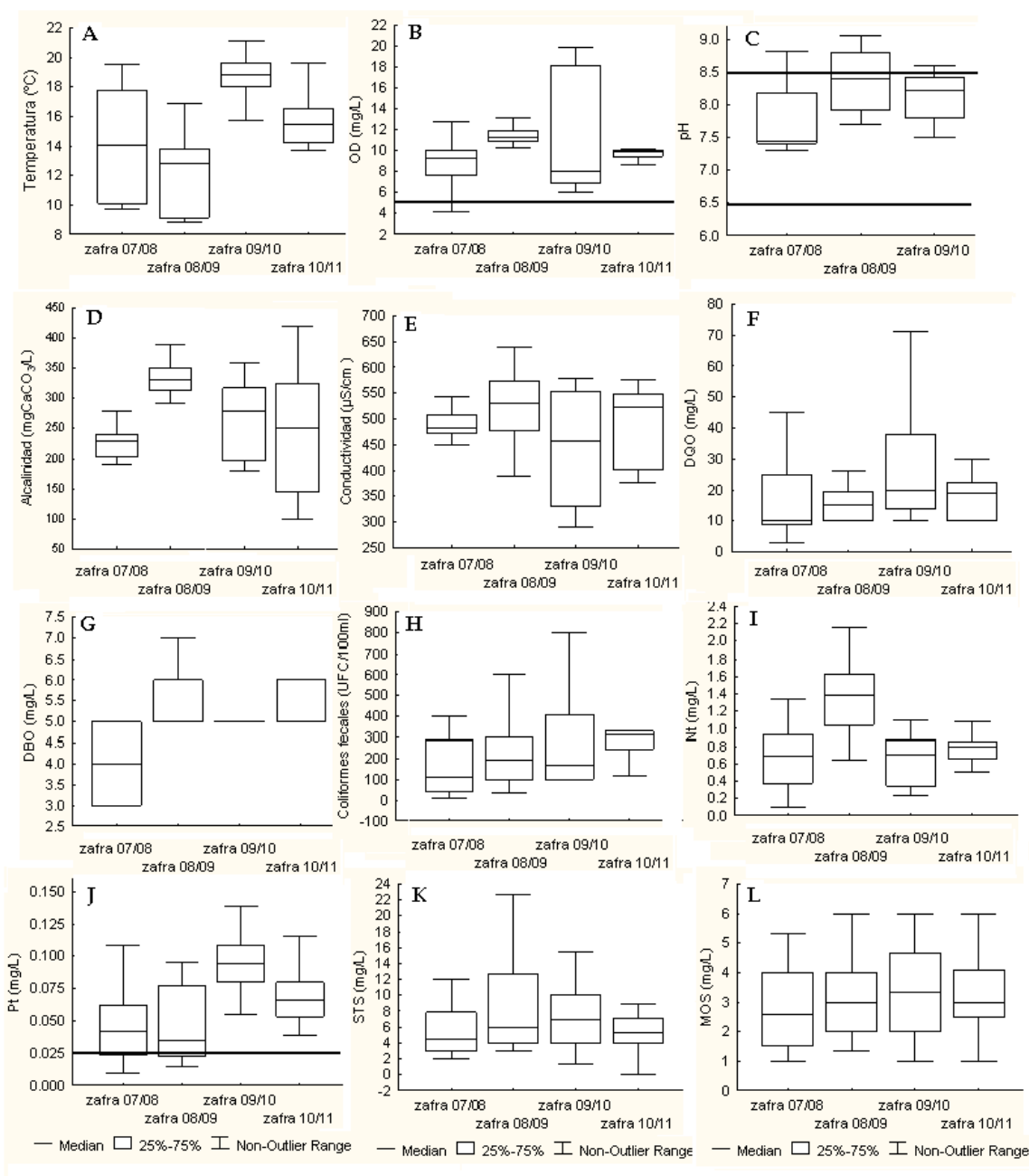


Figura 2. Variación temporal de los parámetros: temperatura (A); oxígeno disuelto (B); acidez (pH) (C)*; alcalinidad (D), conductividad (E), demanda química de oxígeno (DQO) (F), demanda bioquímica de oxígeno (DBO) (G), coliformes fecales (H), nitrógeno total (Nt) (I), fósforo total (Pt) (J), sólidos totales en suspensión (STS) (K), materia orgánica en suspensión (MOS) (L), desde la zafra 07/08 hasta la 10/11. * No se dispone de los valores de PC 10/11. Las líneas horizontales indican los máximos o rangos de valores establecidos por la normativa que rige en Uruguay para aguas de riego (clase 3) que lucen en el Decreto 253/79

4.1.2 Oxígeno Disuelto (OD)

En el análisis de las cuatro zafras, se observó que las concentraciones de OD mostraron los niveles más bajos durante la zafra 07/08 y los valores máximos en la zafra 09/10, siendo esta última la que además presentó una mayor variabilidad. No se hallaron diferencias significativas entre las zafras 09/10-07/08 y 09/10-10/11 ($p>0,05$, K-W). Si bien las concentraciones de oxígeno muestran un incremento en las tres primeras zafras, las diferencias no son estadísticamente significativas ($p>0,05$, K-W) (Fig. 2B).

Al analizar las variaciones de OD en los distintos momentos ciclo de producción de la zafra 07/08, se observaron diferencias significativas entre todas, salvo entre PA-PC ($p=0,601$, K-W). En esta zafra se observó una disminución importante en los valores del OD desde la PS hasta la AC, luego hay un aumento hacia la PC (Fig. 4). En la zafra 08/09 se observaron diferencias significativas entre todos los muestreos del ciclo ($p<0,05$, K-W), y los mayores valores se observaron en la PS, luego disminuyen abruptamente hacia la PA. Hacia el fin de esta zafra los valores aumentan hasta valores similares a los del inicio de la misma.

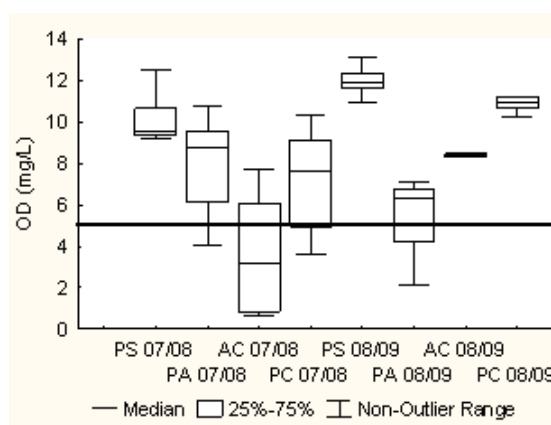


Figura 4. Variación temporal del oxígeno disuelto (OD) del agua del arroyo del Tala en el ciclo del cultivo de arroz de las zafras 07/08 y 08/09. La línea horizontal indica el máximo valor establecidos por la normativa que rige en Uruguay para aguas de riego (clase 3) que lucen en el Decreto 253/79.

4.1.3 Acidez

Se registraron diferencias significativas entre zafras ($p < 0,05$, K-W) y la zafra 08/09 fue donde se alcanzaron los mayores valores (Fig. 2C); a su vez se puede observar cierto aumento en el tiempo (Fig. 5).

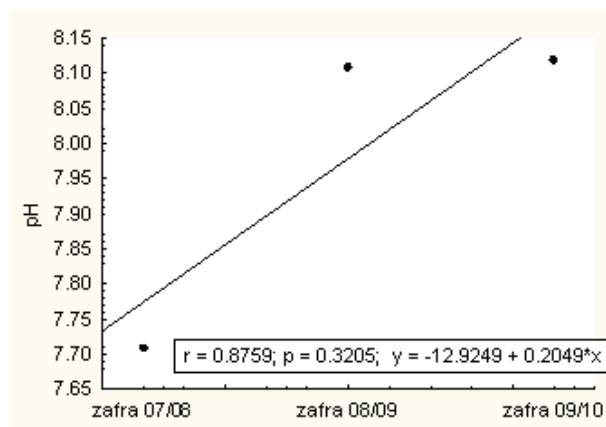


Figura 5. Valores promedios de pH de cada zafra y línea de tendencia.

Los valores de pH para las zafras 07/08 y 08/09 mostraron un comportamiento similar, en ambas hay primero un descenso en los valores de PS a PA, y luego hay una tendencia al aumento hasta la PC. En la zafra 07/08 se encontraron diferencias significativas entre todos los muestreos ($p < 0,05$, K-W) y para la zafra 08/09 se registraron diferencias significativas entre todos los momentos salvo entre AC-PC ($p = 1,0$, K-W) (Fig. 6).

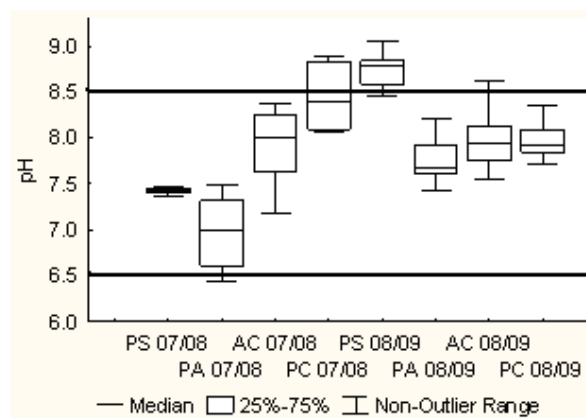


Figura 6. Variación temporal de la acidez (pH) del agua del arroyo del Tala en el ciclo del cultivo de arroz de las zafra 07/08 y 08/09. Líneas horizontales indican el rango de valores establecidos por la normativa que rige en Uruguay para aguas de riego (clase 3) que lucen en el Decreto 253/79.

4.1.4 Alcalinidad

El análisis de este parámetro en cuanto a las zafra mostró que hubo un aumento considerable en los valores de la zafra 07/08 a la 08/09, en cambio para las dos últimas zafra se observó un descenso y una mayor dispersión de los datos (Fig. 2D). La zafra 08/09 presentó los mayores valores y diferencias estadísticas con las restantes ($p < 0,05$, K-W).

Respecto al análisis de los distintos momentos del ciclo, para la zafra 07/08 no se registraron diferencias significativas entre los diferentes momentos ($p > 0,05$, K-W). Mientras que para la zafra 08/09 hubo diferencias significativas entre la PA respecto a la PS y PC y entre AC-PC ($p < 0,05$, K-W) (Fig. 7).

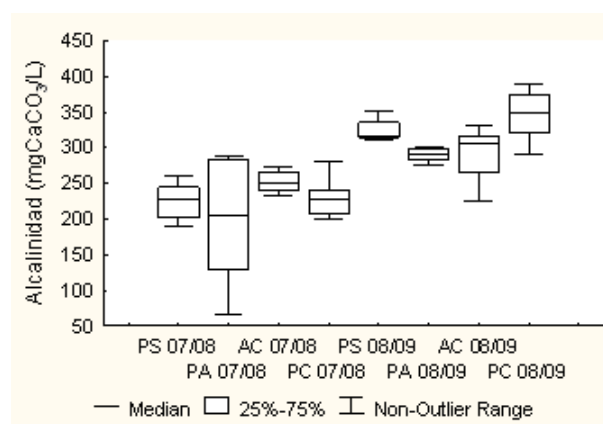


Figura 7. Variación temporal de la alcalinidad del agua del arroyo del Tala en el ciclo del cultivo de arroz de las zafra 07/08 y 08/09.

4.1.5 Conductividad

Del análisis estadístico de la conductividad entre zafras, surge que la zafra 08/09 es la que presentó diferencias significativas con el resto ($p < 0,05$, K-W), y además es cuando se alcanzan los mayores valores (Fig. 2E).

Del análisis respecto a los momentos monitoreados, en la zafra 07/08 se registraron diferencias significativas entre PA-PC y AC-PC ($p < 0,05$, K-W). En la PA de esta zafra se registraron los valores más bajos y es el momento con mayor dispersión en sus datos (Tabla 1, Fig. 8). Para la zafra 08/09 se observaron diferencias significativas entre la PC y el resto de los momentos, y entre AC-PA ($p < 0,05$, K-W).

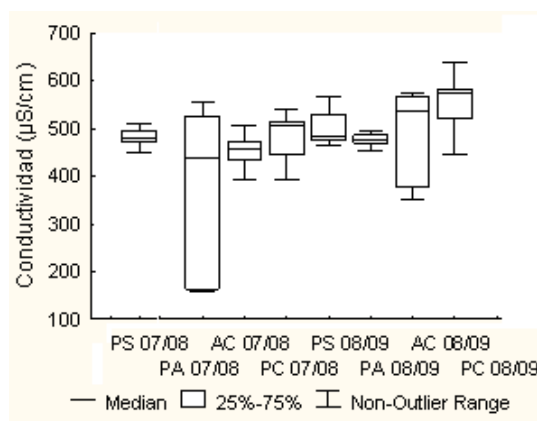


Figura 8. Variación temporal de la conductividad del agua del arroyo del Tala en el ciclo del cultivo de arroz de las zafras 07/08 y 08/09.

4.1.6 Demanda Química de Oxígeno (DQO)

Respecto al análisis entre zafras, las que presentaron mayores valores de DQO fueron la 07/08 y 09/10, ambas con una importante dispersión en sus datos y diferencias significativas entre ellas ($p = 0,011$, K-W) (Tabla 1, Fig. 2F).

En el análisis de los momentos del ciclo para las dos primeras zafras, se encontró que en la zafra 07/08 hubo diferencias significativas entre los muestreos PS-PA y PS-PC ($p < 0,05$, K-W), y cabe destacar que presentó una gran dispersión en sus valores y una tendencias de aumento hacia el fin de la zafra. Por otra parte, la zafra 08/09 no presentó diferencias significativas entre ningún de los muestreos ($p > 0,05$, ANOVA), ni patrón en el correr del tiempo (Fig. 9).

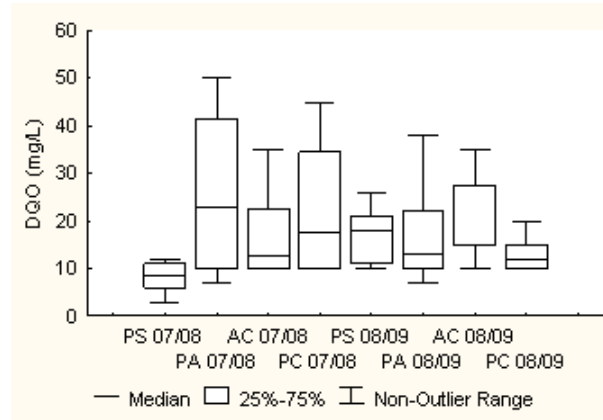


Figura 9. Variación temporal de la demanda química de oxígeno (DQO) del agua del arroyo del Tala en el ciclo del cultivo de arroz de las zafra 07/08 y 08/09.

4.1.7 Demanda Bioquímica de oxígeno (DBO)

Del análisis estadístico entre zafra para este parámetro, se desprende que la zafra 07/08 es la única que presenta diferencias estadísticas con las restantes ($p < 0,05$, K-W) (Fig. 2G), además de ser la zafra con los valores más bajos (Tabla 1, Fig. 10). A su vez se observó cierta tendencia al aumento en el tiempo (Fig. 10).

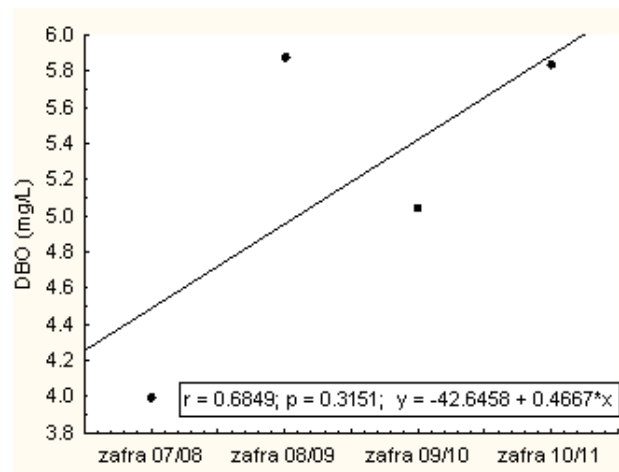


Figura10. Valores promedios de demanda bioquímica de oxígeno (DBO) de cada zafra y línea de tendencia.

En el análisis por momentos se encontró que en la zafra 07/08 hay diferencias significativas entre PC y el resto de los momentos ($p < 0,05$, K-W),

siendo los valores en ese momento los mayores dentro de esta zafra. En cambio para la zafra 08/09 no se encontraron diferencias significativas entre los distintos momentos ($p>0,05$, K-W) y los valores más altos fueron durante la PS (Fig. 11).

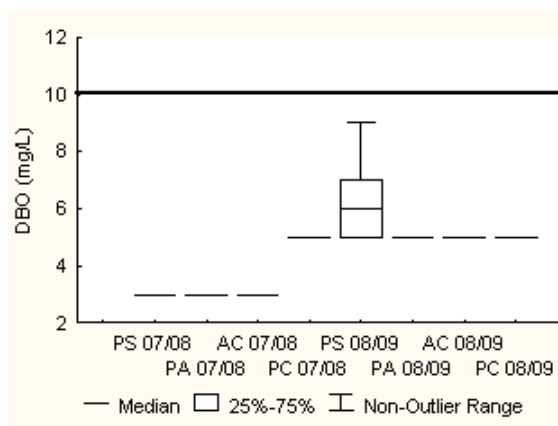


Figura 11. Variación temporal de la demanda biológica de oxígeno (DBO) del agua del arroyo del Tala en el ciclo del cultivo de arroz de las zafra 07/08 y 08/09. La línea horizontal indica el máximo valor establecido por la normativa que rige en Uruguay para aguas de riego (clase 3) que lucen en el Decreto 253/79.

4.1.8 Coliformes fecales

En cuanto a los coliformes fecales, no se observaron diferencias significativas entre zafra 07/08 y 08/09 ($p>0,05$, ANOVA), sin embargo se observa que los mayores valores se registraron durante la zafra 09/10 y las tres primeras zafra 07/08 tienen una mayor dispersión en sus datos que la última (Fig. 2H). En las primeras dos zafra 07/08 los valores desde la PS hacia la PC tienden a aumentar, mientras que para las siguientes zafra 08/09 sucede lo contrario (Tabla 1).

Del análisis por momentos para la zafra 07/08 se encontró diferencias significativas entre todos los momentos salvo entre AC-PC ($p=0,803$, Tukey). En la PA de esta zafra se registraron los valores más altos. Para la zafra 08/09, salvo entre PS-PC y PA-AC, entre el resto de los momentos se encontraron diferencias significativas ($p<0,05$, K-W), y los valores de esta zafra fueron mayores a los de la primera, siendo particularmente destacable los valores alcanzados durante la AC (Fig. 12).

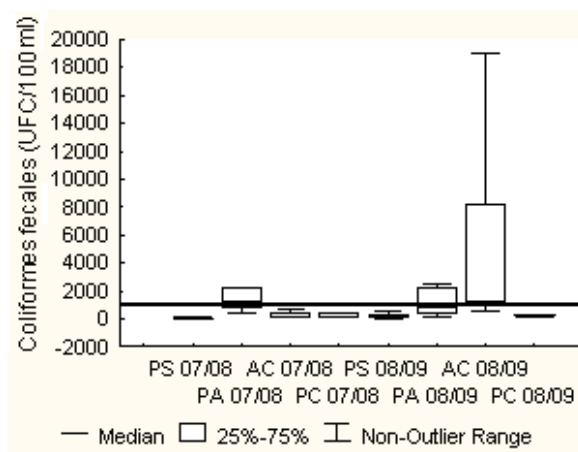


Figura 12. Variación temporal de coliformes fecales del agua del arroyo del Tala en el ciclo del cultivo de arroz de las zafra 07/08 y 08/09. La línea horizontal indica el máximo valor establecido por la normativa que rige en Uruguay para aguas de riego (clase 3) que lucen en el Decreto 253/79 (1000 UFC/100ml).

4.1.9 Nitrógeno total (Nt)

Los datos de Nt para el análisis por zafra muestra que la zafra 08/09 es la única que presenta diferencias estadísticas con las restantes ($p < 0,05$, K-W) y donde se alcanzan los mayores valores (Fig. 2J, Tabla 1).

En la zafra 07/08 se encontraron diferencias significativas entre AC y el resto de los momentos y entre PA-PC ($p < 0,05$, Tukey). Los valores alcanzados en la AC triplicaron los de los muestreos anteriores y luego hay un marcado descenso hacia la PC (Fig. 13). En cambio la zafra 08/09 no presentó diferencias significativas entre los distintos momentos del cultivo ($p > 0,05$, ANOVA), y los mayores valores fueron registrados en la PC.

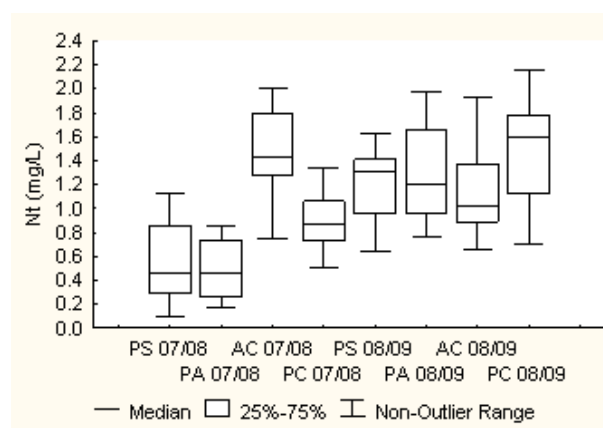


Figura 13. Variación temporal de nitrógeno total (Nt) del agua del arroyo del Tala en el ciclo del cultivo de arroz de las zafra 07/08 y 08/09.

4.1.10 Fósforo total (Pt)

El análisis de los datos de esta variable entre zafra muestra hay diferencias significativas entre todas las zafra, salvo entre 07/08-08/09 ($p > 0,05$, Tukey). A su vez se puede apreciar una tendencia al aumento en los valores en el tiempo, que es evidenciada por el análisis de regresión con un $r = 0,68$ (Tabla 1, Fig. 14).

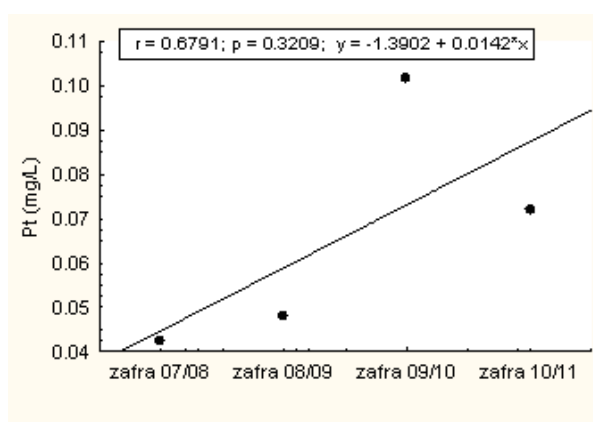


Figura 14. Valores promedios de fósforo total (Pt) de cada zafra y línea de tendencia.

Respecto a los momentos del cultivo, se observó que en la zafra 07/08 hay diferencias significativas entre PS-AC, PS-PC y PA-AC ($p < 0,05$, Tukey), a su vez se observa un aumento desde la PS hacia la AC (Fig. 15). En la zafra 08/09 hubo diferencias significativas entre la PS y el resto de los momentos, y entre PA-PC ($p < 0,05$, Tukey); a diferencias de la zafra anterior, aquí los valores aumentaron notoriamente desde la PS a la PA, momento en que se alcanzan los mayores valores y luego disminuyen hacia la PC.

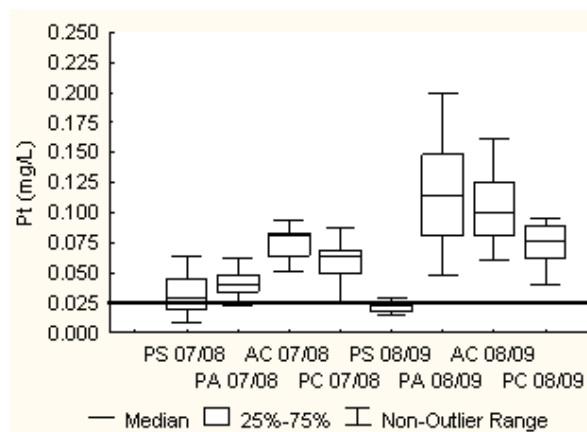


Figura 15. Variación temporal de fósforo total (Pt) del agua del arroyo del Tala en el ciclo del cultivo de arroz de las zafra 07/08 y 08/09. La línea horizontal indica el máximo valor establecido por la normativa que rige en Uruguay para aguas de riego (clase 3) que lucen en el Decreto 253/79.

4.1.11 Sólidos totales sus valores establecidos por la normativa que rige en Uruguay para aguas de riego (clase 3) que lucen en el Decreto 253/79pendidos (STS)

Del análisis de las zafra para los STS se encontró que no hay diferencias significativas entre las zafra ($p > 0,05$, ANOVA). A su vez se puede observar que la zafra donde se alcanzan los mayores valores es en la 08/09 y con mayor dispersión, sin embargo luego disminuye los valores así como su dispersión (Fig. 2K).

Respecto al análisis de los momentos de las dos primeras zafra, se encontró que en la zafra 07/08 hubo diferencias significativas entre PS-PA, PS-AC y AC-PC ($p < 0,05$, Tukey); a su vez se observa una tendencia al aumento desde la PS hacia la AC; salvo en la PS en el resto de los momentos hay una gran dispersión de los datos (Fig. 16). En cambio, la zafra 08/09 mostró una dispersión considerablemente menor en todos los momentos y la tendencia de aumento fue hacia el fin de la zafra; se encontraron diferencias significativas entre los muestreos PS-PC, PA-AC y PA-PC ($p < 0,05$, K-W).

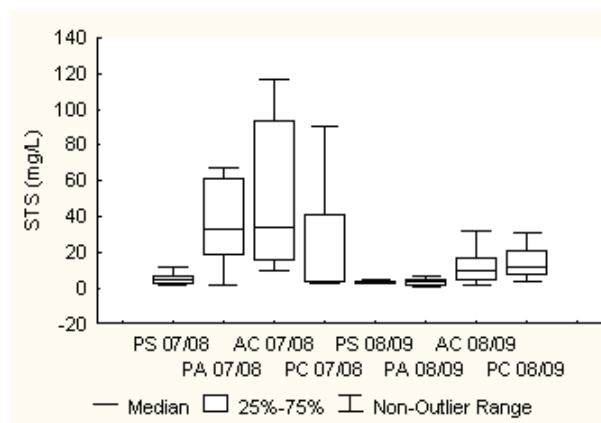


Figura 16. Variación temporal de sólidos totales suspendidos (STS) del agua del arroyo del Tala en el ciclo del cultivo de arroz de las zafra 07/08 y 08/09.

4.1.12 Materia orgánica en suspensión (MOS)

Para la MOS se encontró que no hay diferencias significativas entre las distintas zafra ($p > 0,05$, ANOVA), y la dispersión en sus datos son muy similar (Fig. 2L); sin embargo se puede observar en la Tabla 1 que el máximo valor se alcanza en la primera zafra así como el mayor desvío respecto a los promedios.

Para la zafra 07/08 se encontraron diferencias significativas entre PS-AC y AC-PC ($p < 0,05$, K-W). En esta zafra se observa un claro aumento desde la PS hacia la AC, y luego un notable descenso hacia la PC (Fig. 17). Por otra parte, la zafra 08/09 no presentó diferencias significativas entre sus muestreos ($p > 0,05$, ANOVA) y la dispersión de los datos fue mucho menor que en la zafra anterior.

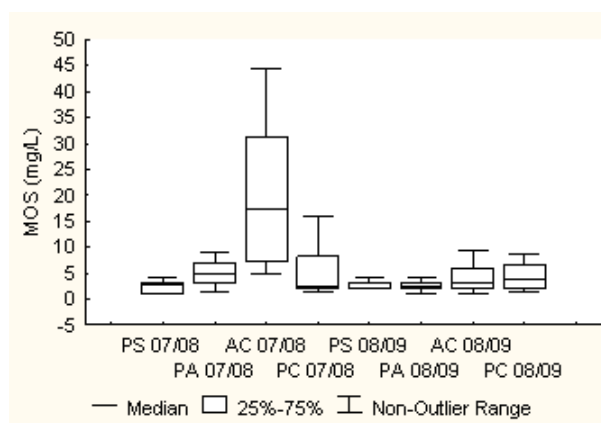


Figura 17. Variación temporal de materia orgánica en suspensión (MOS) del agua del arroyo del Tala en el ciclo del cultivo de arroz de las zafra 07/08 y 08/09.

4.1.13 Correlaciones

La temperatura se correlacionó negativamente con el oxígeno disuelto ($r=-0,833$, $p=0,010$), mientras que la conductividad lo hizo positivamente con el OD ($r=0,738$, $p=0,036$) y con la acidez ($r=0,762$, $p=0,028$). A su vez, la acidez se correlacionó positivamente con el Nt ($r=0,786$, $p=0,020$) y DBO ($r=0,751$, $p=0,032$), pero negativamente con la DQO ($r=-0,714$, $p=0,046$). La alcalinidad se correlacionó positivamente con la DBO ($r=0,743$, $p=0,035$). Los valores de Nt se correlacionaron negativamente con DQO ($r=-0,905$, $p=0,002$) y los sólidos totales suspendidos con la materia orgánica en suspensión tuvieron una correlación positiva ($r=0,905$, $p=0,002$).

Tabla 2. Matriz de correlaciones entre los parámetros medidos en el arroyo del Tala, $n=8$, correlaciones significativas $p<0,05$.

Spearman Correlaciones son significativas con $p<0,05$												
	Temperatura	OD	Conductividad	Alcalinidad	Acidez	NT	PT	STS	MOS	DBO	DQO	Coliformes fecales
Temperatura	1.000											
OD	-0.833	1.000										
Conductividad	-0.619	0.738	1.000									
Alcalinidad	-0.275	0.323	0.575	1.000								
Acidez	-0.214	0.452	0.762	0.647	1.000							
NT	0.095	-0.048	0.357	0.407	0.786	1.000						
PT	0.643	-0.619	-0.048	-0.108	0.238	0.476	1.000					
STS	0.333	-0.476	-0.357	0.216	-0.143	0.143	0.143	1.000				
MOS	0.214	-0.405	-0.405	-0.096	-0.381	-0.071	0.000	0.905	1.000			
DBO	-0.150	0.476	0.651	0.743	0.751	0.275	0.050	-0.250	-0.551	1.000		
DQO	0.143	-0.190	-0.405	-0.311	-0.714	-0.905	-0.143	0.048	0.143	-0.150	1.000	
Coliformes fecales	0.619	-0.476	-0.286	-0.204	-0.143	-0.190	0.619	0.310	0.214	0.100	0.548	1.000

5. Discusión

Para la mayoría de las variables se encontró que existen tanto diferencias significativas entre las zafras que se analizaron, como entre los distintos momentos dentro de cada una. Además, en algunos parámetros no se registraron patrones que permitan relacionarlos al manejo que se realiza respecto al cultivo de arroz.

La variación que se observó en la temperatura del agua intra e inter zafras en nuestro estudio concuerda con la variabilidad natural dada por la temperatura ambiental durante los cuatro años de estudio. Los mayores valores registrados

fueron durante la pos-aplicación y apertura de canales, que se corresponden a los muestreos realizados durante el verano (diciembre-febrero). Ante esto podríamos concluir que esta variable no se ve afectada por el uso y/o manejo del suelo que se realiza en el lugar; sino que es un reflejo de la irradiación incidente del sol del momento (Rodríguez *et al.*, 2002; Rivera *et al.*, 2004).

Para el oxígeno disuelto se encontró que los valores más bajos fueron durante la apertura de canales de la zafra 07/08 los cuales están fuera de lo permitido para aguas de riego según el Decreto 253/79 clase 3 (5 mg/L de mínimo). Este resultado coincide con los registros más altos de temperaturas, nitrógeno, fósforo, sólidos totales suspendidos y materia orgánica en suspensión durante el estudio (Fig. 3, 13, 15, 16 y 17 respectivamente). Luego en el tiempo el oxígeno disuelto y la temperatura mantuvieron una correlación negativa (Tabla 2), como era de esperar. En la apertura de canales de la zafra 08/09, se observa el caso particular de que hay condiciones similares a las planteadas para el caso anterior y sin embargo los niveles de oxígeno son altos, podría deberse a que si hubo una disminución importante en la materia orgánica en suspensión. Respecto a la relación del oxígeno disuelto con los sólidos totales suspendidos y materia orgánica en suspensión, el análisis estadístico no muestra correlación en el tiempo, quizás por que los valores de ambas variables disminuyeron sensiblemente respecto a la zafra anterior (Fig. 16 y 17).

Los valores relativamente bajos de oxígeno disuelto en los muestreos de pos-aplicación de fertilizantes, coinciden al igual que con la apertura de canales con valores altos de nitrógeno y sobre todo de fósforo, que podrían estar asociados a eventos de lluvia luego de la aplicación de los fertilizantes (cuanto más próxima es la lluvia al evento de aplicación, es más probable la pérdida de fertilizantes). El nitrógeno es muy soluble, puede ingresar por lixiviado y/o escorrentías (Martínez *et al.*, 2002), mientras que el fósforo tiene baja solubilidad y generalmente se asocia rápidamente a minerales del suelo y sólo una pequeña fracción es disuelta (Mullins, 2009), por lo que terminan llegando a los cuerpos de agua por erosión producto de las escorrentías (Tongkasame, 2007). Sin embargo, en este estudio no

se encontró correlación entre los sólidos totales suspendidos y el fósforo total (Tabla 2).

Por otra parte, respecto a los valores encontrados de nitrógeno y de fósforo en los muestreos correspondientes a la apertura del canal, podría inferirse que este evento promueve el ingreso de parte de los fertilizantes que quedaron disueltos en la lámina de agua que cubre el cultivo, así como también sólidos disueltos y suspendidos producto del arrastre de cuando el agua sale (Linguist *et al.*, 2009).

Como el ingreso de nutrientes (nitrógeno y fósforo) al sistema generalmente promueven la producción primaria (Toro *et al.*, 2002; Aznar, 2000; GA DNR, 2004), pero también la descomposición de la materia orgánica que implica consumo de oxígeno, esto explicaría los valores encontrados de oxígeno disuelto en los muestreos de pos-aplicación y apertura de canales en este estudio.

Gráficamente se ve como a mayor valor de fósforo total, menor es el valor de oxígeno disuelto (Fig. 15 y 4). Sin embargo, el análisis de Spearman no muestra correlación entre dichos parámetros, esto no implica que no haya otro tipo de relación que no sea lineal.

De todos modos, hay que enfatizar que los valores de oxígeno disuelto hacia el fin de la zafra y comienzos de la siguiente aumentan hasta valores que superan ampliamente el límite mínimo establecido por la normativa, seguramente por que dejan de entrar nutrientes al sistema finalizada la etapa de apertura de canales.

La normativa de Uruguay indica que los niveles de nitratos admisibles para agua de riego son 10,0 mg/L en N máximo (Decreto 253/79), en este trabajo se midió nitrógeno total y el límite admitido en ningún momento se ve superado. Al contrario de lo sucedido con el nitrógeno, el fósforo total en los distintos momentos del ciclo del cultivo lo superaron siempre (máximo 0,025 mg/L en P). De la revisión bibliográfica surge que no hay estándares de calidad para este parámetro en muchos países, por ejemplo, la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos se encuentran realizando las investigaciones pertinentes para lograrlos. Según De León (2011), el valor de la normativa de Uruguay surge a

partir de normativas de otros países, seguramente sin tener en cuenta las particularidades del nuestro, ante esto plantea una revisión de este valor, sustentado en que varios estudios de calidad de aguas superficiales de nuestro país muestran que siempre se está fuera de lo permitido, pero generalmente no se asocian a ningún otro indicador de contaminación.

Respecto a la demanda biológica de oxígeno, se encontró que los valores siempre estuvieron dentro de lo permitido por la normativa, un máximo de 10,0 mg/L (Decreto 253/79). Este parámetro es una medida indirecta del grado de contaminación del agua por materia orgánica (Ramos *et al.*, 2007), sin embargo en nuestro estudio, luego de la primera zafra los valores de la demanda bioquímica de oxígeno aumentaron pero la cantidad de materia orgánica suspendida no. Lo mismo sucede para la demanda química de oxígeno, si bien este es un parámetro similar a la demanda bioquímica de oxígeno, en este análisis se contabiliza aquella materia que no es biooxidable como nitritos, sulfuros, por ello el valor de demanda química de oxígeno es siempre mayor al de demanda bioquímica de oxígeno (Aznar, 2000).

En los resultados de este estudio la cantidad de materia orgánica disminuyó sensiblemente de la zafra 07/08 a la 08/09 y los valores de demanda biológica y química de oxígeno no lo hicieron, esto podría indicar que la materia orgánica que está en el sistema se encuentra disuelta y al contabilizar solo la suspendida no se encuentra relación. Otra situación que podría estar sucediendo, es que la materia orgánica que está en el medio exija mayor cantidad de oxígeno para degradarla por su complejidad y esto eleve los valores de demanda de oxígeno, sin que haya mayor cantidad de la misma. También se podría considerar el consumo de oxígeno destinado a la degradación de materia inorgánica.

Los valores de sólidos totales suspendidos y la materia orgánica en suspensión mostraron una correlación positiva fuerte entre ellos en el análisis de las dos primeras zafas con los valores de los cuatro muestreos (Tabla 2), gráficamente se observa que el comportamiento de ambos parámetros es

prácticamente igual. Entonces parte de los sólidos totales suspendidos son explicados por la materia orgánica suspendida.

En la apertura de canales de la zafra 07/08 se observa un pico respecto al ingreso tanto de sólidos totales en suspensión como de materia orgánica, inmediatamente para la pos-cosecha los valores disminuyeron. Si bien en la zafra 08/09 también se observa un mayor contenido de estos compuestos en la apertura de canales, no son valores de tal magnitud. Por lo que los valores de la apertura de canales de la primera zafra pueden estar relacionados a algún evento de lluvia extremo y no solo al efecto de la apertura de canales. Este evento de lluvia considerado también explicaría los valores de nitrógeno y fósforo para dichos muestreos mencionados anteriormente.

Por otra parte, los resultados del análisis entre las distintas zafras para la materia orgánica suspendida y sólidos totales en suspensión indicaron que no hay diferencias significativas en ambos parámetros, a la vez que se observa una distribución similar de los datos. Esto muestra que en el tiempo no han habido ingresos significativos de estos compuestos al curso de agua, que son considerados como uno de los principales contaminantes producto de la erosión del suelo (Oleaga *et al.*, 2008, Peters & Meybeck, 2000). Respecto a la normativa, no existe en nuestro país valores estandarizados para ninguno de los dos parámetros, aunque tal vez debería haber, ya que elevados niveles de sólidos en agua pueden afectar la biota del lugar.

El estudio de los coliformes fecales, mostró en las tres primeras zafras cierta tendencia al aumento, sin embargo no hay diferencias significativas y ninguno de los valores de estos momentos, comienzo y fin de la zafra (pre-siembra y pos-cosecha respectivamente) estuvo fuera de los valores permitidos por la normativa de nuestro país para aguas de riego, ya que los valores fueron menores a 1000 UFC/100ml. Sin embargo, cuando se analiza todo los momentos del ciclo de producción en las zafras 07/08 y 08/09, se encuentra que durante la pos-aplicación de la primera zafra y luego en los muestreos de pos-aplicación y apertura de canales de la segunda, los valores superaron ampliamente lo

permitido por la normativa de Uruguay para cualquier uso potencial del agua (recreación, riego, consumo). Tal vez estos valores se relacionen con el manejo del ganado en el predio, ya que el mismo desde noviembre a febrero se encuentra dentro de los *feedlots* (corrales de engorde), donde todos los desechos desagotan en un sistema de piletas o represas de contención de efluentes (Da Cunda & Böcking, 2011), pero luego entre marzo y octubre, período que se corresponde a la pre-siembra y apertura de canales, el ganado se encuentra fuera de los mismos. Hay estudios que confirman la preferencia del ganado por defecar cerca o sobre cursos de agua y ser esto responsable de parte del ingreso de fósforo al sistema (Carpenter *et al.*, 1998; Sharpley, 2010). Por ejemplo, Kiersch (2000) afirma que en la Unión Europea el 30% del fósforo que llega al agua proviene de los desechos ganaderos. Ante esto es evidente que hay que seguir monitoreando este parámetro y ver si realmente se pueden relacionar estos valores con el ingreso de fósforo y con el tipo de manejo del ganado en el predio.

En nuestro país el requisito para aguas de riego indica que un pH entre 6,5 y 8,5 es óptimo (Decreto 253/79); valores por debajo de 4,5 o mayores a 9,5 empiezan a tener efectos letales sobre algunos organismos acuáticos (Arocena & Conde, 1999). Los resultados obtenidos del análisis por zafras muestran, que en todas hay valores fuera de lo permitido y cierta tendencia al aumento (Fig. 5), debe aclararse que es una tendencia que se realizó solo con tres valores, por ello la probabilidad de error fue alta.

El análisis de la acidez por momentos en el ciclo de cultivo, muestra un patrón de aumento desde la pos-aplicación hacia la pos-cosecha (Fig. 6). Se podría plantear que hay una mayor actividad fotosintética en el medio que reduce la cantidad de anhídrido carbónico, haciendo entonces que aumente el pH (Henry & Heinke, 1999). Esta mayor actividad fotosintética podría estar promovida por el ingreso de nutrientes, como se ha planteado con anterioridad. De igual forma hay que tener en cuenta que la acidez del medio es un parámetro influenciado por otras condiciones.

Para el parámetro alcalinidad en Uruguay no hay valores estandarizados como criterios de calidad de agua. Sin embargo, es un parámetro importante ya que no sólo representa el principal sistema amortiguador (buffer) del agua dulce si no también la reserva de CO₂ para la fotosíntesis (Rivera *et al.*, 2004), cambios bruscos de la misma podrían afectar la calidad del agua (Barrenechea, 2004). Cuando las aguas tienen alcalinidades bajas se vuelven muy sensibles a la contaminación porque no tienen capacidad para oponerse a las modificaciones que generen disminuciones del pH (acidificación). No se considera que la alcalinidad cause daño al hombre, pero se encuentra asociada al pH, la dureza y los sólidos disueltos que sí pueden producir efectos negativos. En nuestro estudio se observó una disminución en los valores desde la zafra 08/09 a la 10/11, quizás por el aumento de la productividad primaria atribuida al ingreso de nutriente, esto provoca un mayor consumo de CO₂ y si es de la reserva alcalina estaría influyendo en ella. Sin embargo, siempre se está dentro del rango de alcalinidades de medias a altas que amortiguan los cambios de pH (RED MAPSA, 2007).

Para la conductividad, tampoco hay valores establecidos como indicadores de calidad del agua en Uruguay, sin embargo como la conductividad es una medida indirecta de la cantidad de sólidos disueltos (Arocena & Conde, 1999) si hay variaciones importantes en la conductividad podría estar indicando eventos de contaminación (RED MPASA, 2007) lo cual no sucedió en nuestro estudio.

Por último, es importante mencionar que en esta cuenca, si bien predomina la rotación arroz-pastura, junto a la ganadería; no escapa a que en zonas aledañas hay otros tipos de cultivo, como: soja (en expansión), sorgo y maíz, los cuales posiblemente influyan en los parámetros medidos y que son de difícil cuantificación.

6. Conclusiones

En cuanto a la hipótesis y predicción del trabajo, se puede afirmar que el manejo del suelo de la cuenca del arroyo del Tala sí afecta transitoriamente la calidad del agua del arroyo del Tala. Esto se basa en que se encontró que en los

momentos de muestreo de pos-aplicación y apertura de canales, los parámetros: fósforo total, oxígeno disuelto, coliformes fecales están fuera de los valores determinados por la normativa de Uruguay para aguas de riego, la cual contempla a su vez la preservación de fauna y flora hídrica.

Si bien el conjunto de parámetros físico-químicos analizados no denotan un impacto acumulativo, asociado a sucesivas zafas de arroz, los incrementos en los niveles de fósforo total merecen una particular atención ya que podrían favorecer procesos de eutrofización.

Observando los valores de todos los parámetros para cada zafa se llega a la conclusión que la zafa con una calidad inferior fue la 08/09, ya que en ella se encuentran los valores más altos para conductividad, pH, nitrógeno y fósforo total, materia orgánica suspendida y sólidos totales suspendidos. En cuanto a los momentos del cultivo de arroz y su manejo, los resultados parecen indicar que la apertura de canales es la actividad que tiene un mayor efecto negativo en la calidad del agua y esto fue más evidente en la zafa 07/08.

7. Consideraciones finales

El monitoreo en este lugar se debería seguir realizando para tener más certeza sobre algunos eventos que se observan, pero que por falta de datos no se podrían hacer ciertas afirmaciones. A su vez, para tener una visión integral del ecosistema, se debería unir este tipo de investigación con otras que contemplen la dimensión espacial y también el uso de bioindicadores.

Este tipo de estudios se debería aplicar de forma sistemática en otros tipos de producciones agropecuarias que se efectúan en el país (cultivo de soja, maíz, ganadería, entre otros), por el valor que tienen como herramienta para preservar los distintos recursos naturales ya que logran identificar impactos negativos.

Respecto a los coliformes fecales y fósforo total, que fueron una de los parámetros que estuvieron fuera de los valores permitidos, varios autores que fueron citados en este trabajo, hablan sobre distintas prácticas y medidas que se

podrían realizar para minimizar las respectivas entradas a los cursos de agua (Carpenter *et al.*, 1998; Kiersch, 2000; Sharpley, 2010), por lo que se deberían tener en cuenta en el manejo de estas chacras.

8. Referencias bibliográficas

ACA. 2009a. Guía de Buenas Prácticas. Disponible desde: <<http://www.aca.com.uy/>> [Acceso en octubre, 2011].

ACA. 2009b. Informe de mercado. *Revista Arroz* 60: 4-9.

ACA. 2010a. El cultivo de arroz. Disponible desde: <http://www.aca.com.uy/_oldsite/el_cultivo.html> [Acceso en octubre 2011].

ACA. 2010b. El cultivo en Uruguay. Riego y fertilización. Disponible desde: <http://www.aca.com.uy/_oldsite/riego.html> [Acceso en octubre 2011].

ACA. 2012. La producción en el Uruguay. Disponible desde: <http://www.aca.com.uy/index.php?option=com_content&view=category&layout=blog&id=11&Itemid=14> [Acceso en febrero 2012].

Achkar, M. 2002. Hacia la gestión sustentable del agua. Programa: Uruguay sustentable. Laboratorio de desarrollo sustentable y gestión ambiental del territorio. Departamento de Geografía. Facultad de Ciencias. UdelaR. 7pp.

Achkar, M; Cayssials, R; Domínguez, A & Pesce, F. 2004. Hacia un Uruguay sustentable. Gestión integrada de cuencas hidrográficas. Programa: Uruguay Sustentable. 65pp.

Aguerre, T. 2009. Guía de buenas prácticas agrícolas para el cultivo del arroz en Uruguay. *Revista Arroz* 60: 20 - 28.

Alba-Tercedor, J. 1996. Macroinvertebrados acuáticos y calidad de las aguas de los ríos. IV Simposio del agua en Andalucía (SIAGA), *Almería* 2: 203 - 213.

Altieri, M. 1994. Bases agroecológicas para una producción agrícola sustentable. *Agricultura Técnica* 54 (4): 371 - 386.

Altieri, M & Nicholls, C. 2000. Agroecología: teoría y práctica para una agricultura sustentable. Serie Textos Básicos para la Formación ambiental, número 4, PNUMA/ORPALC, México.

APHA. 1995. Standard methods for the examination of water and wastewater. PHA/AWWA/WPCF. Washington. 1268pp.

Arocena, CD & Rodríguez-Gallego, L. 2002. Recursos acuáticos superficiales de Uruguay: ambientes, algunas problemáticas y desafíos para la gestión (I y II). *AMBIOS* 3: 5-9.

Arocena, R; Chalar, G; Fabián, D; De Leon, L; Brugnoli, E; Silva, M; Rodo, E; Machado, I; Pacheco, JP; Castiglioni, R & Gabito, L. 2008. Evaluación ecológica de cursos de agua y biomonitorio. Informe final del convenio DINAMA-Facultad de Ciencias. Sección Limnología.

Arocena, R. & Conde, D. 1999. Métodos en aguas continentales. Con ejemplos de limnología en Uruguay. Edición D.I.R.A.C. Facultad de Ciencias, Universidad de la República. 235pp.

Aznar, A. 2000. Determinación de los parámetros físico-químicos de calidad de las aguas. *Gestión Ambiental* 2(23): 12-19.

Baethgen, WE & Giménez, A. 2009. Seasonal climate forecasts and satellite information: improving decisions in the Uruguayan agricultural sector. Pp: 92-94. In: J. Dodd, R. Lambert, A. Lawrence, S. Townsend (Eds.), *Climate Sense*. WMO, Geneva.

Barrenechea, A. 2004. Aspectos fisicoquímicos de la calidad del agua. En: Tratamientos de agua para consumo humano. Manual I: Teoría. pp: 3-54.

Benintende, SM; Benintende, MC; Sterren, MA & De Battista, JJ. 2008. Soil microbiological indicators of soil quality in four rice rotations systems. *Ecological Indicators* 8: 704 – 708.

Braga, MIJ. 2000. Integración de las funciones y servicios de los ecosistemas de agua dulce a los proyectos de desarrollo hídrico. *Informe Técnico*. 44pp.

Cantou, G; Roel, A; Carlomagno, M & González-Sapienza, G. 2009. Agregado de valor a través de la gestión ambiental. *Revista Arroz* 59: 34 - 40.

Carpenter, SR; Caraco, NF; Correll, DL; Howarth, RW; Sharpley, AN & Smith, VH. 1998. *Ecological Applications* (8) 3: 559 - 568.

Da Cunda, S & Böcking, B. 2011. Jornada Técnica e Informativa: Sociedad Rural de Durazno. Prevención de Impactos Ambientales en los Sistemas de Engorde a Corral. Experiencias en el diseño del tratamiento en Establecimientos de Engorde a Corral en Uruguay. Disponible desde: < <http://www.srd.com.uy/noticias/143-resultados-de-la-jornada-de-dinama.html> > [Acceso en setiembre 2011].

Dale, VH & Polasky, S. 2007. Measures of the effects of agricultural practices on ecosystem services. *Ecological Economic* 64: 286 - 296.

Debels, P; Figueroa, R; Urrutia, R; Barra, R & Niell, X. 2005. Evaluation of water quality in the Chillán River (Central Chile) using physicochemical parameters and a modified water quality index. *Environmental Monitoring and Assessment* 110: 301 – 322.

De la Fuente, E & Suárez, SA. 2008. Problemas ambientales asociados a la actividad humana: la agricultura. *Ecología Austral* 18: 239 - 252.

De León, L. 2011. Evaluación de la calidad del Agua del río Cuareim, período 2006-2010. Proyecto DINAMA-PNUD. RU/07/012- TDR 3.12

DIEA. 2010. Estadísticas Agropecuarias. Ministerio de Ganadería, Agricultura y pesca. Encuesta de Arroz - Zafra 2009/2010- Julio 2010 - (Nº 291). Disponible desde:

<<http://www.mgap.gub.uy/portal/hgxpp001.aspx?7,5,94,O,S,0,MNU;E;2;16;10;1;MNU>> [Acceso en agosto 2010].

Dos Santos Simoes, F; Moreira, A; Bisinoti, MA; Nobre, MC & Santos, MJ. 2008. Water quality index as a simple indicator of aquaculture effects on aquatic bodies. *Ecological Indicators* 8: 476 - 484.

Durán, A; Califra, A & Molfino, J.H. 1999. Suelos del Uruguay según Soil Taxonomy.

Eguren, G. 2005. Recursos Naturales: Base para el sustento de las sociedades humanas. Proyecto SUMA, CUDECOOP. 9pp.

Eguren, G; Rivas, N & Vidal, N. 2007. Manejo integrado de la cuenca hidrográfica del arroyo del Tala (Departamento de Salto). Informe Proyecto INIA SA01.4. 26pp.

Eguren, G; García, C; Rivas-Rivera, N; Bandeira, S; Vidal, N; Moura, M; Teixeira de Mello, F & Böcking, B. 2008a. Producción agropecuaria y conservación de los recursos naturales. *Revista Plan Agropecuario* 28: 48 - 50.

Eguren, G; García, C; Rivas-Rivera, N; Bandeira, S; Vidal, N; Moura, M; Teixeira de Mello, F & Böcking, B. 2008b. Gestión ambiental de cuencas de uso agropecuario. *Revista Arroz* 55: 10 - 20.

GA DNR (Georgia Department of Natural resources). 2004. Georgia Adopt a Stream. Manual de monitoreo biológico y químico en arroyos. Disponible desde: <http://aesl.ces.uga.edu/aascd/Manuals_etc/Spanish/quimico_biologico.pdf> [Acceso en abril 2011].

Gamarra, G. 1996. Arroz: manual de producción. Ed. Hemisferio Sur. Montevideo.

Garbagnati, MA; González, PA; Antón, RI & Mallea, MA. 2005. Características físico-químicas, capacidad buffer y establecimiento de la línea base ambiental del Río Grande, San Luis, Argentina. *Ecología Austral* 15: 59 - 71.

García-Berthou, E; Alcaraz, C; Benejam, L & Benito, J. (2009). Diseño experimental y análisis de datos. En Conceptos y técnicas en ecología fluvial. Fundación BBVA-Rubens Eds. Bilbao. Eds. Elozegi, A; Sabater, S. pp 397.

Henry, JG & Heinke, GW. 1999. Ingeniería Ambiental. Prentice Hall, México. 166 p.
Hill, M & Battello, C. 2009. ACA impulsa nuevamente un emprendimiento del sector. *Revista Arroz* 59: 24 - 33.

Huang, X; Sillanpää, M; Gjessing, E; Peräniemi, S & Vogt, R. 2010. Environmental impact of mining activities on the surface water quality in Tibet: Gyama valley. *Science of the Total Environment* 408: 4177- 4184.

Judova, P & Jansky, B. 2005. Water quality in rural areas of the Czech Republic: Key study Slapanka River catchment. *Limnologica* 35:160 - 168.

Kiersch, B. 2000. Impactos del uso de la tierra sobre los recursos hídricos: una revisión bibliográfica. Taller electrónico. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma, Italia.

Kronvang, B; Vagstad, N; Behrendt, N; Bøgestrand, J & Larsen, SE. 2007. Phosphorus losses at the catchment scale within Europe: an overview. *British Society of Soil Science* 23: 104-116.

Leinweber, P; Turner, BL & Meissner, R. 2002. Phosphorus. In: Agriculture, Hydrology & Water quality (Eds P. Haygarth & S. Jarvis), Cab International Wallingford UK. pp. 29-56.

Ley 14.859 - Código de Aguas y Decreto Reglamentario 253/79, Uruguay.
Disponible desde: < www.parlamento.gub.uy > [Acceso en diciembre 2011].

Linguist, B; Hill, JE; Ruark, M; Firoved, R & Six, J. 2009. Water Quality. California Rice Production Workshop. Disponible desde:

<http://www.plantsciences.ucdavis.edu/uccerice/SWRCB/documents/producton_man.pdf> [Acceso en diciembre 2011].

Mahavi, AH; Nouri, J; Babaei, AA & Nabizadeh, R. 2005. Agricultural activities impact on groundwater nitrate pollution. *International Journal Environmental Science and Technology* 2(1): 41-47.

Margalef, R. 1981. Ecología. Editorial Planeta. 252 pp.

Martínez, Y; Uku, S & Albiac, J. 2002. El control de la contaminación por nitratos en el regadío. *Economía Agraria y Recursos Naturales* (2) 2: 115 - 131.

Matson, PA; Parton, WJ; Power, AG & Swift, MJ. 1997. Agricultural intensification and ecosystem properties. *Science* 277:504-509.

MGAP, anuario estadístico agropecuario 2011. Disponible desde: <<http://www.mgap.gub.uy/portal/hgxpp001.aspx?7,5,583,O,S,0,MNU;E;27;7;MNU;>> [Acceso en diciembre 2011].

Molden, D; Schipper, L; De Fraiture, C; Faurés, JM & Vallée, D. 2007. Evaluación exhaustiva del manejo del agua en agricultura. 2007. Agua para la alimentación, agua para la vida. Earthscan y Colombo: Instituto Internacional del Manejo del Agua (Londres). 57p.

Mullins, G. 2009. Phosphorus: Agriculture and the environment. Virginia Cooperative Extension. Publication 424-029. Disponible desde: <http://pubs.ext.vt.edu/424/424-029/424-029_pdf.pdf>

Müller, R & Weidemann, O. 1955. Die Bestimmung des Nitrates in Wasser. Von Wasser 22: 247p.

Oesterheld, M. 2008. Impact of agriculture on ecosystems: ecological basis and most relevant problems in Argentina. *Ecología Austral* (18) 3: 337-346.

Oleaga, A; Pirelli, H; Rodríguez, L & Vidal, L. 2008. Cambios en el uso de la tierra. En Martino, D (ed) & Methol, M (ed). GEO Uruguay 2008. Informe del estado del ambiente. Montevideo, Uruguay. Pp: 56-117.

Ongley, ED. 1997. Lucha contra la contaminación agrícola de los recursos hídricos. Riego y Drenaje N° 55, FAO, Roma. 116 pp.

Paetzold, A; Warren, PH & Maltby, LL. 2010. A framework for assessing ecological quality based on ecosystem services. *Ecological Complexity* 7: 273-281.

Peters, NE & Meybeck, M. 2000. Water quality degradation effects on freshwater availability: impacts of human activities. *Water international* 25(2): 185 - 193.

Ramos, R; Sepúlveda, R & Villalobos, F. 2007. El agua en el medio ambiente: muestreo y análisis. Universidad Autónoma de Baja California (UABC). Ed. Plaza y Valdez. México. pp 122.

RAU, 2011. Disponible desde: <http://www.rau.edu.uy/uruguay/geografia/Uy_c-info.htm> [Acceso en setiembre 2011].

RED MAPSA (Red de monitoreo ambiental participativo de sistemas acuáticos). 2007. Conductividad. Disponible desde: <http://imasd.fcien.edu.uy/difusion/educamb/propuestas/red/curso_2007/cartillas/tematicas/Conductividad.pdf>

RED MAPSA (Red de Monitoreo ambiental participativo de sistemas acuáticos). 2007. Determinación de la alcalinidad total. Disponible desde: < http://imasd.fcien.edu.uy/difusion/educamb/propuestas/red/cursos/curso_2007/cartillas/tematicas/alcalinidad.pdf >

Rivera, NR; Encina, F; Muñoz-Pedrerros, A & Mejias, P. 2004. La calidad de las aguas en los ríos Cautín e Imperial, IX Región-Chile. *Información Tecnológica* (15) 5: 89 - 101.

Rodríguez, C; Manzini, M; Prosperi, C; Weyers, A; Aclant, G & Ferrero, S. 2002. Variaciones estacionales de la calidad del agua del Río Chocancharava (Río Cuarto), Córdoba, Argentina. *Ecología Austral* 12: 65 - 72.

Sharples, A. 2010. Manejo de fósforo en sistemas de producción agricultura ambientalmente sostenible: desafíos y oportunidades. *Informaciones Agronómicas* 46: 15 - 23.

Tilman, D; Cassman, K; Matson, P; Naylor, R & Polasky, S. 2002. Agricultural sustainability and intensive production practices. *Nature* 468: 671 - 677.

Tommasino, H. 2003. El cultivo de arroz en Uruguay. Contribución a su conocimiento. MGAP – DIEA. Montevideo, Uruguay. 34pp.

Tongkasame, C. 2007. Water pollution caused by rice farming in Thailand. *4th INWEPF Steering Meeting and Symposium*. 16pp.

Toro, M; Robles, S; Avilés, J; Nuño, C; Vivas, S; Bonada, N; Prat, N; Alba-Tercedor, N; Casas, J; Guerrero, C; Jáimez-Cuellar, P; Moreno, JL; Moyá, G; Ramon, G; Suárez, ML; Vidal-Abarca, MR; Alvarez, M & Pardo, I. 2002. Calidad de las aguas de los ríos mediterráneos del proyecto GUADALMED. Características físico-químicas. *Limnetica* 21(3-4): 63 - 75.

Valderrama, JC. 1981. The simultaneous analysis of total N and total P in natural waters. *Marine Chemistry* 10: 109-122.

Verhoeven, JTA; Arheimer, B; Yin, C & Hefting, MM. 2006. Regional and global concerns over wetlands and water quality. *Trends in Ecology and Evolution* 21: 96-103.

Vitousek, PM; Mooney, HA; Lubchenco, J & Melillo, JM. 1997. Human domination of Earth's ecosystems. *Science* 277: 494 - 499.

