

**UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS**

ESCUELA DE PREGRADO

MEMORIA DE TÍTULO

**AGUAS PRÍSTINAS COMO REFERENCIA PARA EVALUAR EL IMPACTO DE
LA ACTIVIDAD AGRÍCOLA EN LA REGIÓN DEL LIBERTADOR GENERAL
BERNARDO O'HIGGINS**

ALICIA MARIELA GALDAMES VARGAS

**Santiago, Chile
2015**

**UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS**

ESCUELA DE PREGRADO

MEMORIA DE TÍTULO

**AGUAS PRÍSTINAS COMO REFERENCIA PARA EVALUAR EL IMPACTO DE
LA ACTIVIDAD AGRÍCOLA EN LA REGIÓN DEL LIBERTADOR GENERAL
BERNARDO O'HIGGINS**

**PRISTINE WATERS REFERENCE TO ASSESS THE IMPACT OF
AGRICULTURAL ACTIVITY IN THE LIBERTADOR GENERAL BERNARDO
O'HIGGINS REGION**

ALICIA MARIELA GALDAMES VARGAS

**Santiago, Chile
2015**

**UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS**

ESCUELA DE PREGRADO

**AGUAS PRÍSTINAS COMO REFERENCIA PARA EVALUAR EL IMPACTO DE
LA ACTIVIDAD AGRÍCOLA EN LA REGIÓN DEL LIBERTADOR GENERAL
BERNARDO O'HIGGINS**

Memoria para optar al Título Profesional de:
Ingeniera en Recursos Naturales Renovables

ALICIA MARIELA GALDAMES VARGAS

PROFESOR GUÍA

Sr. Osvaldo Salazar G.
Ingeniero Agrónomo, M.S., Ph.D.

CALIFICACIONES

7,0

PROFESORES EVALUADORES

Sr. Rodrigo Fuster G.
Ingeniero Agrónomo, M.S. Dr.

6,5

Sr. María Teresa Varnero M.
Químico-Farmacéutico

6,5

**Santiago, Chile
2015**

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mi profesor guía Osvaldo Salazar, por su apoyo y colaboración constante en el desarrollo de mi memoria de título y a todo el equipo del Laboratorio de Química de Suelos y Aguas, por la ayuda y cariño entregado a lo largo de este proceso.

A mi novio Cristóbal, le doy las gracias por ser mi compañero de vida y apoyo incondicional a lo largo de mi formación universitaria.

A mi familia, le dedico este trabajo y mis logros, en especial a mis papas Alfredo y Alicia y mi hermana Daniela, que son un pilar fundamental en mi vida, entregándome su apoyo, amor y todas las herramientas para convertirme en una profesional.

ÍNDICE

RESUMEN.....	1
ABSTRACT.....	2
INTRODUCCIÓN.....	3
Objetivo general.....	5
Objetivos específicos.....	5
MATERIALES Y MÉTODOS.....	6
Área de estudio.....	6
Zona 1: Parque Nacional Las Palmas de Cocalán.....	7
Zona 2: Campos agrícolas.....	8
Materiales.....	9
Métodos.....	9
Caracterización del estado de las aguas superficiales.....	11
Análisis estadístico.....	12
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	13
Condiciones climáticas en el periodo de estudio.....	13
Análisis descriptivo.....	14
Análisis de series de tiempo.....	21
Caracterización de calidad de las aguas.....	27
Análisis componentes principales.....	29
CONCLUSIONES.....	32
BIBLIOGRAFÍA.....	33
APÉNDICES.....	38
Apéndice I.....	38
Apéndice II.....	40

RESUMEN

El objetivo principal de este estudio fue determinar la calidad del agua superficial del Parque Nacional Las Palmas de Cocalán para establecer un nivel de referencia de calidad prístina en la Región de O'Higgins; y así poder evaluar la calidad de las aguas superficiales cercanas a campos agrícolas, además de determinar la variabilidad temporal de los parámetros de calidad de agua. Con este fin se establecieron dos puntos de muestreo en el Parque Nacional, y otros dos en canales cercanos a campos de maíz en la comuna de Pichidegua, realizando un monitoreo de la calidad del agua cada dos semanas, desde diciembre de 2013 hasta julio de 2014. Durante este periodo se evaluaron los parámetros N total (NT), N-amoniaco (N-NH₃), N-nitrato (N-NO₃), fosfato (PO₄³⁻), P total (PT), turbidez (Tur), demanda química de oxígeno (DQO), sólidos totales (ST), conductividad eléctrica (CE), pH y temperatura (T). Las concentraciones medias registradas en las aguas superficiales del Parque Nacional fueron de 0,32 mg N-NH₃ L⁻¹, 0,89 mg N-NO₃ L⁻¹ y 0,26 mg PO₄³⁻ L⁻¹; mientras que en el canal que presentó mayores concentraciones se encontraron valores de 1,23 mg N-NH₃ L⁻¹, 8,59 mg N-NO₃ L⁻¹ y 0,61 mg PO₄³⁻ L⁻¹. De acuerdo a los criterios de caracterización del estado de las aguas, las aguas superficiales del Parque Nacional presentan una calidad de clase excepcional, a diferencia de los canales de riego, que superaron los límites establecidos para ST, CE, Tur, T y N-NO₃, este último solo en la temporada de invierno de 2014, época en la que también se observó un aumento de las concentraciones de PO₄³⁻. Las variables PO₄³⁻ y N-NO₃ presentaron una alta relación entre ellas ($r = 0,87^*$), además de presentar cada una relación con la CE ($r = 0,78^*$) y ($r = 0,74^*$), respectivamente. Se concluyó que: (i) las aguas superficiales en condiciones prístinas presentan bajas concentraciones de N y P; (ii) los análisis realizados dejan nuevamente en evidencia la contaminación causada por la agricultura en la Región de O'Higgins, con grandes aportes de N y P a las aguas superficiales y (iii) las precipitaciones son un factor relevante en la disponibilidad de contaminantes en las aguas superficiales cercanas a campos agrícolas.

Palabras claves: calidad del agua, contaminación del agua superficial, fertilización, nitrógeno, fósforo.

ABSTRACT

Pristine waters reference to assess the impact of agricultural activity in the Libertador General Bernardo O'Higgins Region.

The main aim of this study was to determine the surface water quality of Las Palmas de Cocalán National Park, to establish a reference of pristine water quality in the O'Higgins Region, to assess the quality surface waters nearby maize fields, and also to determine the temporal variability of water quality parameters. For this purpose established two sampling points in the National Park, and two in channels nearby maize fields, monitoring of the quality water every two weeks, from December 2013 to July 2014. Was evaluated N total (NT), N-ammonia (N-NH₃), N-nitrate (N-NO₃), phosphate (PO₄³⁻), P total (PT), turbidity (Tur), chemical oxygen demand (DQO), total solids (ST), electrical conductivity (CE), pH and temperature (T). The mean concentrations registered in the surface waters of the National Park were of 0,32 mg N-NH₃ L⁻¹, 0,89 mg N-NO₃ L⁻¹ and 0,26 mg PO₄³⁻ L⁻¹; in the irrigation channel with higher concentrations was observed 1,23 mg N-NH₃ L⁻¹, 8,59 mg N-NO₃ L⁻¹ and 0,61 mg PO₄³⁻ L⁻¹. According to the standards for characterization of water status, the surface waters of the National Park have an exceptional quality of class, in contrast to irrigation channels, which exceeded the limits for ST, EC, Tur, T and N-NO₃, the latter only in the winter of 2014, period in which also increases concentrations of PO₄³⁻. The PO₄³⁻ and N-NO₃ variables have a high relationship between them ($r = 0.87^*$), besides presenting each relationship to CE ($r = 0,78^*$) and ($r = 0,74^*$), respectively. It was concluded that (i) surface water in pristine condition containing low concentrations of N and P; (ii) the analyzes leave again evident pollution caused by agriculture in the region of O'Higgins, with high inputs of N and P to surface waters and (iii) the rainfall is an important factor in the availability of pollutants surface water in nearby agricultural fields.

Keywords: water quality, surface water contamination, fertilization, nitrogen, phosphorus.

INTRODUCCIÓN

Durante el siglo XX, hubo un aumento explosivo en el uso de fertilizantes nitrogenados a nivel mundial (Burt *et al.*, 1993; Fixen y West, 2002). Contexto que originó diversas problemáticas por la contaminación de los cuerpos de agua con formas de nitrógeno (N) y fósforo (P), quedando en evidencia en numerosos estudios, como algunos realizados en Chile por Rojas *et al.* (2007), Pizarro *et al.* (2010), Corradini *et al.* (2015) y Nájera *et al.* (2015).

La calidad de las aguas superficiales, se ha visto perjudicada por elementos que provienen de fuentes de contaminación puntual y/o fuentes de contaminación difusa (Wu y Chen, 2013). Es importante tener presente que las pérdidas de N desde los suelos hacia las aguas ocurre de forma natural en todos los ecosistemas, presentando en general bajas concentraciones (Smith *et al.*, 1999). Sin embargo, la agricultura ha sido reconocida como la principal fuente de contaminación difusa por N del recurso hídrico (Burt *et al.*, 1993). Las características principales de las fuentes difusas, también llamadas fuentes no localizadas, es que se componen de una variedad de pequeñas fuentes de descargas que ingresan a los cuerpos de agua por derrames o filtración, comprendiendo una gran extensión, situación que dificulta su medición y control (Camargo y Alonso, 2006; MMA, 2012). Según lo señala la UNESCO (2009) solo un 20% de las cuencas hidrográficas cuenta con una calidad prístina del agua, debido al aumento de las concentraciones de formas de N y P en los cursos de agua, situación que se ha incrementado considerablemente durante los últimos 150 a 200 años.

El riego excesivo y la alta aplicación de fertilizantes, son las actividades agrícolas que han contribuido en mayor medida a la contaminación difusa de las aguas superficiales y subterráneas, a través de distintas rutas, que incluyen: i) escurrimiento superficial, ii) flujo lateral subsuperficial hacia drenes y iii) lixiviación hacia napas subterráneas (Dowd *et al.*, 2008; Winpenny *et al.*, 2010). A nivel mundial casi el 90% de los fertilizantes nitrogenados se compone de amonio (NH_4^+), transformándose a un estado soluble como nitrato (NO_3^-) por la presencia de bacterias nitrificantes en los suelos; además la baja capacidad de adsorción de aniones en los suelos, evita que el PO_4^{3-} y NO_3^- sean retenidos, siendo transportados hacia ríos, lagos y acuíferos (Díaz y Rosenberg, 2008; Salazar *et al.*, 2011).

De manera global, el principal problema de la calidad del agua superficial es la eutrofización generada por los excesivos aportes de N y P utilizados en la agricultura (UNESCO, 2009). Condición que ha deteriorado los usos benéficos del agua, por la proliferación de algas y otros microorganismos generando un desequilibrio biológico en aguas continentales y aguas costeras, registrándose en los casos más dramáticos zonas de hipoxia permanente (Díaz y Rosenberg, 2008; Robertson y Vitousek, 2009). En las aguas subterráneas la lixiviación de NO_3^- ha sido la principal fuente contaminante, provocando acidificación de las aguas (Robertson y Vitousek, 2009). Estudios han detectado altas

concentraciones de NO_3^- en las aguas subterráneas, situación que representa una amenaza para la salud humana (Golembeski, 2004; Iriarte, 2007). La alta concentración de NO_3^- en el agua de consumo humano puede producir sobre todo en lactantes menores de 6 meses, metahemoglobinemia o síndrome del recién nacido cianótico, además de problemas gastrointestinales en adultos (Doménech, 2002). La OMS (2006) estableció un valor de referencia para el NO_3^- de $10 \text{ mg N-NO}_3 \text{ L}^{-1}$, para proteger a los lactantes de la metahemoglobinemia frente a una exposición a corto plazo.

Se estima que las concentraciones de NO_3^- en aguas de sitios prístinos son bajas, siendo un buen indicador de la contaminación causada por las actividades antropogénicas (Smith *et al.*, 1999). La DGA (2003) establece que “la calidad del agua es la expresión objetiva de las características físicoquímicas y biológicas que tiene un cuerpo de agua, permitiendo interpretar el estado en que éstas se encuentran, tanto en sentido temporal como espacial”, donde cada cuerpo de agua presenta una calidad original, la cual se encuentra en los tramos de cabecera de cada cuenca y se caracteriza por no presentar intervención antrópica.

En Chile las aguas en régimen natural presentan variabilidad espacial con respecto a su composición química, dificultando la diferenciación de las contribuciones de un contaminante por causa natural y antropogénica (MMA, 2012). Un estudio realizado por Pizarro *et al.* (2010), ha detectado un impacto de las actividades humanas en la cuencas de las regiones del centro-sur de Chile en los últimos 30 años, principalmente por el uso de los suelos que ha cambiado de actividades silvoagropecuarias de pequeña escala a gran escala.

La Región del Libertador General Bernardo O’Higgins posee una fuerte vocación agrícola, con sistemas de producción a gran escala destinados principalmente a mercados internacionales, abarcando un 8,2% de la superficie nacional dedicada a rubros silvoagropecuarios, representando los cereales el 15,6% de la superficie cultivada de la región, de acuerdo al Censo Agropecuario y Forestal de 2007 (GORE Región de O’Higgins, 2012; ODEPA, 2015). Según datos de ODEPA (2015), la superficie sembrada con maíz grano en la Región de O’Higgins durante la temporada 2012/2013 alcanzó las 55.678 ha, y para la temporada 2013/2014 la superficie sembrada con maíz grano fue de 47.768 ha. Estudios realizados en la región, observaron que este cultivo ha sido sobrefertilizado, por la alta aplicación de N (mezcla maicera y urea), con dosis que exceden entre un 30% a un 90% la dosis de N óptima productiva; provocando un desbalance en el ciclo de N y atribuyéndose como la principal fuente de contaminación difusa con N de la cuenca del río Rapel (Corradini *et al.*, 2015; Nájera *et al.*, 2015). Según señalan Pizarro *et al.* (2010) el río Rapel podría llegar a ser uno de los ríos más contaminados del mundo, por la tendencia en aumento de las concentraciones de N disuelto presentada durante los últimos 20 años. Sin embargo, se desconocen los niveles de referencia de calidad original, variables necesarias para poder identificar el impacto real que ha generado la agricultura en los cuerpos de agua de esta Región.

En este trabajo se propone realizar un diagnóstico y caracterización de los parámetros de calidad del agua superficial de una microcuenca ubicada en el Parque Nacional Las Palmas

de Cocalán, seleccionando puntos de muestro que se encuentran sin intervención antrópica, para establecer valores de referencia de la calidad original o prístina de los cuerpos de agua superficiales presentes en la provincia de Cachapoal, región del Libertador General Bernardo O'Higgins; permitiendo evaluar la calidad de las aguas superficiales (canales de desagüe) cercanas a campos cultivados con maíz grano.

Objetivo general

Determinar la calidad del agua del Parque Nacional Las Palmas de Cocalán para establecer un nivel de referencia de calidad original en la Región del Libertador General Bernardo O'Higgins.

Objetivos específicos

1. Evaluar el estado de la calidad de las aguas superficiales cercanas a campos agrícolas utilizando como referencia la calidad de las aguas del Parque Nacional Las Palmas de Cocalán.
2. Determinar la variabilidad temporal de los parámetros de calidad del agua superficial durante un periodo de ocho meses (temporada verano 2013 - 2014 e invierno 2014) en los distintos puntos de muestreo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

La presente investigación se realizó en la cuenca hidrográfica del río Rapel ubicada en la Región del Libertador General Bernardo O'Higgins. Para el estudio se registraron dos zonas, ambas ubicadas en la Provincia del Cachapoal. La zona 1 se encuentra en el Parque Nacional Las Palmas de Cocalán, y la zona 2 en superficies de campos de cultivos de maíz grano. En la Figura 1 se observa en detalle la ubicación espacial de los puntos de muestreo.

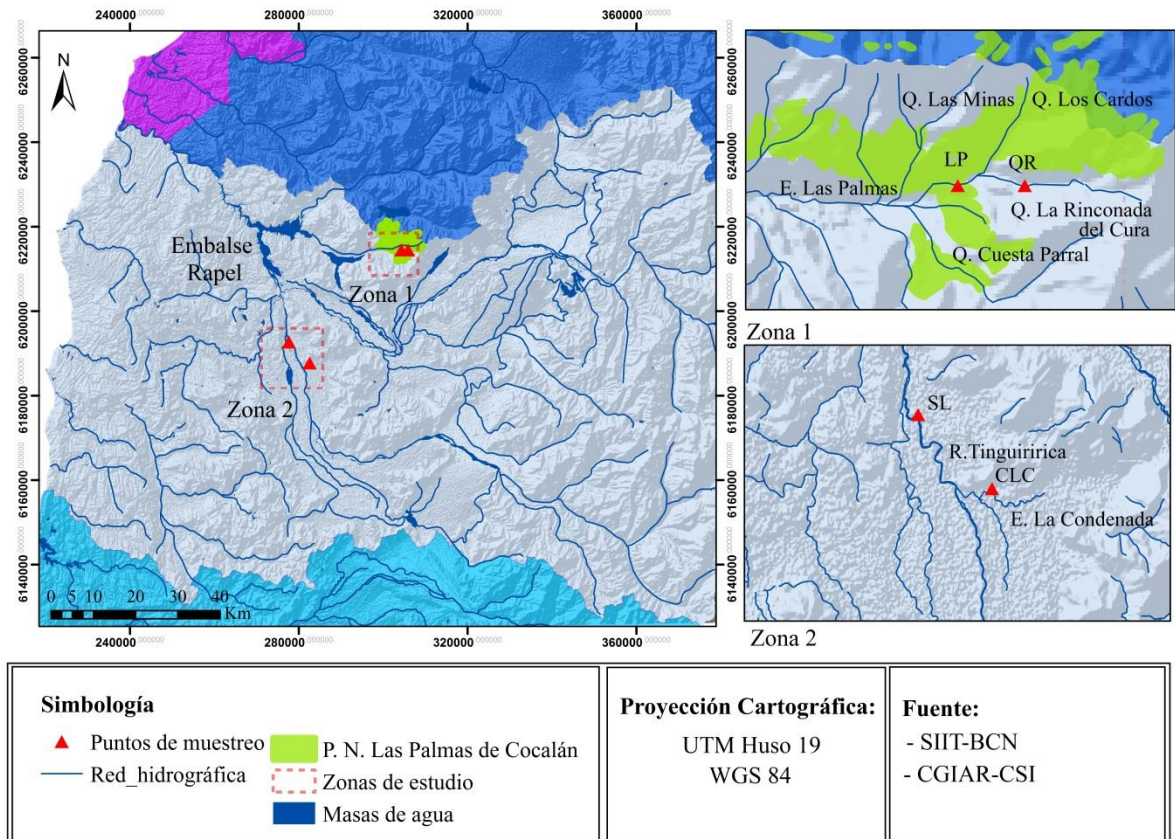


Figura 1. Distribución espacial de los puntos de muestreo en la red hidrográfica de la Región del Libertador General Bernardo O'Higgins. Zona 1: QR (71°6'27"W, 34°11'32"S); LP (71°7'28"W, 34°11'33"S). Zona 2: SL (71°25'2"W, 34°23'4"S); CLC (71°21'53"W, 34°25'45"S).

Zona 1: Parque Nacional Las Palmas de Cocalán

El presente estudio se realizó en una microcuenca ubicada en el Parque Nacional Las Palmas de Cocalán situado en el límite norte de la Región del Libertador General Bernardo O'Higgins, Provincia de Cachapoal, Comuna de Las Cabras. El Parque Nacional Las Palmas de Cocalán forma parte del Sistema Nacional de Áreas Silvestres Protegidas del Estado (SNASPE) desde 1971, con la finalidad de proteger de la explotación irracional la Palma Chilena (*Jubaea chilensis*), especie endémica de Chile (SURPLAN LTDA., 2012). Posee una superficie de 3.709 ha, las cuales son de propiedad privada. La empresa Sociedad Agrícola y Forestal Las Palmas de Cocalán se ha encargado de aplicar un plan de manejo en el área con fines forestales en el sector del valle, conservando las zonas de quebradas, donde se encuentran presentes bosques mixtos de Trevo (*Dasyphyllum diacanthoides*), Boldo (*Peumus boldus*), Espino (*Acacia caven*), Peumo (*Cryptocarya alba*), Lingue (*Persea lingue*), Patagua (*Crinodendron patagua*), y en las áreas más expuestas se observa Colliguay (*Colliguaja odorífera*) y Chagual (*Puya chilensis*) (CONAF, 2014; SURPLAN LTDA., 2012).

Su red hidrográfica se compone principalmente por el estero Las Palmas, curso de agua que se extiende por 22 km y forma parte de la cuenca del río Rapel junto a otros afluentes, siendo los más importantes el río Cachapoal y Tinguiririca (DGA, 2004). Dentro de sus principales tributarios se encuentran las quebradas Las Minas, Los Cardos, Cuesta Parral y Rinconada del Cura. Siendo esta última la seleccionada para ubicar dos puntos de muestreo, por sus condiciones de accesibilidad y naturalidad de las aguas, característica exclusiva del sector alto de Las Palmas de Cocalán por la ausencia de actividades silvoagropecuarias.

La microcuenca a estudiar se extiende aproximadamente por 5,8 km y ofrece una orientación suroeste, con algunas variaciones locales de rumbo, confluyendo con la quebrada Los Cardos. Los puntos de muestreo seleccionados fueron denominados QR ubicado directamente en el curso de agua de la quebrada, y LP punto de descarga de las aguas de la quebrada a un tranque de riego.

El clima en la localidad Palmas de Cocalán es de tipo Templado Mesotermal inferior estenotérmico Mediterráneo semiárido. Presentando temperaturas que varían en promedio, entre una máxima de enero de 29,8°C y una mínima de julio de 5,0°C. El régimen hídrico se caracteriza por una precipitación media anual de 497 mm, un déficit hídrico de 1009 mm, y un periodo seco de 8 meses (Santibáñez y Uribe, 1993).

Zona 2: Campos agrícolas

Los puntos de muestreo con influencia antrópica se ubican en campos con un sistema de producción maíz-barbecho, ubicados en la Región del Libertador General Bernardo O'Higgins, Provincia de Cachapoal, comuna de Pichidegua.

En la localidad de San Luis se estableció el punto SL que corresponde a un canal de desagüe con una orientación noroeste que desemboca en el río Tinguiririca.

El punto de muestreo CLC se situó en la localidad de El Caleuche, en un canal de riego que desemboca en el estero La Condenada el cual se extiende por 6,2 km, y es afluente del río Tinguiririca.

En el Cuadro 1, se pueden observar las características de los campos agrícolas, de acuerdo a lo declarado por los agricultores de cada predio para la temporada 2013 – 2014. Las siembras de maíz en el campo San Luis (SL) y El Caleuche (CLC) se realizaron en octubre de 2013, aplicándose 500 kg ha⁻¹ de fertilizante (20% de N, 15% de P y 15% de K) en cada campo. Posteriormente en el periodo de aporca (noviembre de 2013), se aplicó urea granulada (46% de N, 0% de P y 0% de K), 500 kg ha⁻¹ en SL y 700 kg ha⁻¹ en CLC.

La temporada de riego en los campos SL y CLC comenzó en noviembre de 2013 (periodo de aporca) y finalizó en febrero de 2014, realizándose cada 8 días en SL (10 riegos durante la temporada), y cada 12 días en CLC (7 riegos durante la temporada).

El clima en la Comuna de Pichidegua es Templado Mesotermal inferior estenotérmico Mediterráneo semiárido. Presentando temperaturas que varían en promedio, entre una máxima de enero de 29,0°C y una mínima de julio de 4,9°C. El régimen hídrico se caracteriza por una precipitación media anual de 696 mm, un déficit hídrico de 931 mm, y un periodo seco de 7 meses (Santibáñez y Uribe, 1993).

Cuadro 1. Resumen comparativo de las características de los campos agrícolas para la temporada 2013 – 2014.

Punto de muestreo	Características de los campos agrícolas				
	Tipo de suelo	Clase textural	Superficie de siembra	Dosis de fertilización	Rendimiento promedio
	-	-	ha	kg ha ⁻¹	qqm ha ⁻¹
SL	Franco arenoso	Moderadamente gruesa	10	1000	140
CLC	Franco arcilloso	Moderadamente fina	12	1200	152

Materiales

Para el análisis experimental en terreno se utilizó un medidor portátil de pH y conductividad eléctrica, con corrector de temperatura automática (Hanna Instruments HI 991301, Romania).

En el laboratorio, la turbidez (Tur) fue medida por un turbidímetro (Hanna Instruments HI 83414, USA), y para la determinación de sólidos totales (ST) se utilizó una estufa de secado (Wisd Laboratory Instruments WON-105, Korea).

Previamente a la utilización de los kits, las muestras de agua fueron introducidas en un filtro de pirinola (Biofil syringe filter, China) para eliminar microorganismos y partículas. Las concentraciones de fósforo (PO_4^{3-}), N-nitrato (N-NO_3) y N-amoniaco (N-NH_3) fueron determinadas utilizando kits Hach (Reactive Phosphate 0-5 mg L^{-1} PO_4^{3-} Reagent, USA; Nitrover X Reagent, USA; AmVer High Range Ammonia Test' N Tube Reagent, USA; respectivamente), y un espectrofotómetro (Hach DR 5000, USA) para cuantificar la cantidad de cada sustancia a través de la longitud de onda.

En los análisis de N total (NT), P total (PT) y demanda química de oxígeno (DQO) se utilizó un reactor digital (Hach DRB 200, USA), y posteriormente el espectrofotómetro (Hach DR 5000, USA) junto a los kits Hach (Total Nitrogen Hydroxide Reagent y Total Nitrogen Acid Solution Reagent, USA; TNT 843 Phosphorus Total and Reactive Low Range, USA; Digestion Solution for COD 3-150 mg L^{-1} Range; respectivamente).

Los materiales e instrumentos utilizados pertenecen al Laboratorio de Química de Suelos y Aguas de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de Chile.

Para el análisis de los resultados se utilizó un informe climatológico del periodo diciembre 2013 – agosto 2014 de las estaciones Navidad ($71^\circ 49' \text{W}$, $33^\circ 57' \text{S}$) y San José de Marchigüe ($71^\circ 26' \text{W}$, $34^\circ 17' \text{S}$), otorgado por la Dirección Meteorológica de Chile (2015).

Métodos

Los puntos de muestreo se ubicaron en cada curso de agua superficial para controlar la calidad, realizando tres repeticiones por cada sitio y fecha de muestreo. Las muestras de agua se recogieron aproximadamente cada dos semanas, entre diciembre de 2013 y julio de 2014, estableciéndose la temporada verano 2013 – 2014 (10 de diciembre 2013 al 19 de marzo 2014) y la temporada invierno 2014 (1 de abril 2014 al 17 de julio 2014), excluyendo el mes de febrero (Cuadro 2). En cada muestreo se obtuvieron 235 mL de agua manualmente, como lo plantea Sadzawka (2006) desde la parte central tanto horizontal

como verticalmente, sumergiendo el envase y llenándolo con la muestra en ríos y canales. Y de forma contigua a la tubería de entrada en el estanque de almacenamiento. Para luego tapar herméticamente, refrigerar y enviar al Laboratorio de Química de Suelos y Aguas de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de Chile, donde se analizaron las variables en estudio (Cuadro 3) dentro de 48 horas. El pH, conductividad eléctrica (CE) y temperatura (T) se determinaron *in situ* utilizando equipos portátiles.

La determinación de Tur se realizó mediante el método de nefelometría según EPA (1993), y el análisis de ST por el procedimiento sólidos totales secados a 103 –105°C según Sadzawka (2006). Las concentraciones de NT, N-NH₃, N-NO₃, PT, PO₄³⁻ y DQO, se determinaron utilizando kits de reactivos de la empresa Hach, mediante métodos colorimétricos (HACH, 2005), para luego ser calculadas en el espectrofotómetro. Las concentraciones de P, en ambos casos se analizaron por el método del ácido ascórbico, diferenciándose P total en la digestión de 60 minutos. En el caso de N total se aplicó el método de digestión con persulfato (30 minutos), y para DQO una digestión con dicromato de potasio (120 minutos). Para N-NH₃ se realizó una reacción con cloro y salicilato; y en el caso de N-NO₃ se utilizó el método del ácido cromotrópico.

Cuadro 2. Fechas de medición en cada punto de estudio.

Fechas de muestreo			
QR	LP	SL	CLC
10/12/2013	10/12/2013	10/12/2013	10/12/2013
07/01/2014	07/01/2014	07/01/2014	07/01/2014
21/01/2014	21/01/2014	21/01/2014	21/01/2014
19/03/2014	19/03/2014	19/03/2014	19/03/2014
01/04/2014	01/04/2014	01/04/2014	x ³
15/04/2014	15/04/2014	15/04/2014	x ³
06/05/2014	06/05/2014	06/05/2014	06/05/2014
10/06/2014	x ¹	10/06/2014	10/06/2014
26/06/2014	x ¹	x ²	26/06/2014
17/07/2014	x ¹	x ²	17/07/2014

x¹ = fechas sin muestreo en el punto LP, por la destrucción de la tubería producto de las precipitaciones.

x² = fechas sin muestreo en el punto SL, por el bajo caudal presente en el canal (agua estancada).

x³ = fechas sin muestreo en el canal CLC, por el bajo caudal presente en el canal (agua estancada).

Cuadro 3. Parámetros de calidad de agua en estudio con sus unidades de medición y abreviaturas utilizadas en el texto.

VARIABLES DE ESTUDIO	SÍMBOLO	UNIDAD
Nitrógeno total	NT	mg N L ⁻¹
Nitrógeno-amoniaco	N-NH ₃	mg N-NH ₃ L ⁻¹
Nitrógeno-nitrato	N-NO ₃	mg N-NO ₃ L ⁻¹
Fosfato	PO ₄ ³⁻	mg PO ₄ ³⁻ L ⁻¹
Fósforo total	PT	mg P L ⁻¹
Demanda química de oxígeno	DQO	mg L ⁻¹
Sólidos totales	ST	mg L ⁻¹
Conductividad eléctrica	CE	μS cm ⁻¹
pH	pH	-
Turbidez	Tur	NTU
Temperatura	T	°C

Caracterización del estado de las aguas superficiales

Para caracterizar la calidad del agua en los puntos de muestreo, se revisaron los parámetros de calidad de agua estudiados en estándares nacionales e internacionales, estableciendo un criterio integral de calidad de agua en cuerpos de agua continentales (Cuadro 4), tomando como primera opción la clase excepcional planteada por la DGA (2003), la cual “indica que por su extraordinaria pureza y escasez, forma parte única del patrimonio ambiental de la República”. En los casos que no hubo valores de referencia para las variables, se utilizó la Norma Chilena 1333.Of.87 Requisitos de calidad de agua para diferentes usos, el Decreto Supremo N°90/2000 Norma de emisión para la regulación de contaminantes asociados a las descargas de residuos líquidos a aguas marinas y continentales superficiales y los criterios de calidad de agua para la agricultura planteados por Ayers y Westcot (1994); priorizando los valores planteados por el Gobierno de Chile para la caracterización. El N-NH₃, PO₄³⁻ y la DQO no presentan referencias en las documentaciones consideradas.

Cuadro 4. Resumen de criterios para la caracterización de los parámetros de calidad de las aguas.

Normas estándar	Variables de calidad de agua										
	NT	N-NH ₃	N-NO ₃	PO ₄ ³⁻	PT	DQO	ST	Tur	CE	pH	T
	-----			mg L ⁻¹	-----			NTU	μS cm ⁻¹	-	°C
DGA	-	-	-	-	-	-	-	-	<600	6,5 - 8,5	-
NCh 1333	-	-	<10	-	-	-	≤ 500	<50	≤ 750	5,5 - 9,0	<30
DS N°90	<50	-	-	-	<10	-	-	-	-	6,0 - 8,5	<35
FAO	-	-	<5	-	-	-	-	-	<700	6,5 - 8,4	-
Resumen	<50	-	<10	-	<10	-	≤ 500	<50	<600	6,5 - 8,5	<30

Análisis estadístico

El estudio realizado se basó en un diseño de campo no experimental, en el que se sometieron al estudio cuatro puntos de muestreo escogidos de forma no aleatoria. Se utilizó el test de Shapiro-Wilk para analizar la normalidad de la serie de datos, y el test de Dixon para detectar valores atípicos.

Se realizó un análisis descriptivo sobre las muestras recolectadas, observando las medidas de centralización y dispersión mediante tablas y box-plot. Para observar el comportamiento de los parámetros de calidad de agua en el tiempo, se realizó un análisis de series de tiempo, detectando la temporalidad de las diferentes concentraciones estudiadas. Y por último se llevó a cabo el análisis de componentes principales, para visualizar la correlación entre las variables medidas en los diferentes puntos de muestreo. Todos los análisis estadísticos se realizaron utilizando el software InfoStat y Microsoft Excel 2010.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Condiciones climáticas en el periodo de estudio

Durante el periodo de estudio (diciembre 2013 – julio 2014), la precipitación acumulada en la zona 1 (estación Navidad) fue de 362 mm, un 29% más baja que la precipitación media registrada en la zona según Santibáñez y Uribe (1993). En la zona 2 (estación San José de Marchigue) la precipitación acumulada fue de 303 mm en el periodo de estudio, un 39% más baja que el valor registrado por Santibáñez y Uribe (1993). En ambos casos el 100% de la cantidad total de precipitaciones se concentró en la temporada invierno 2014 (Figura 2).

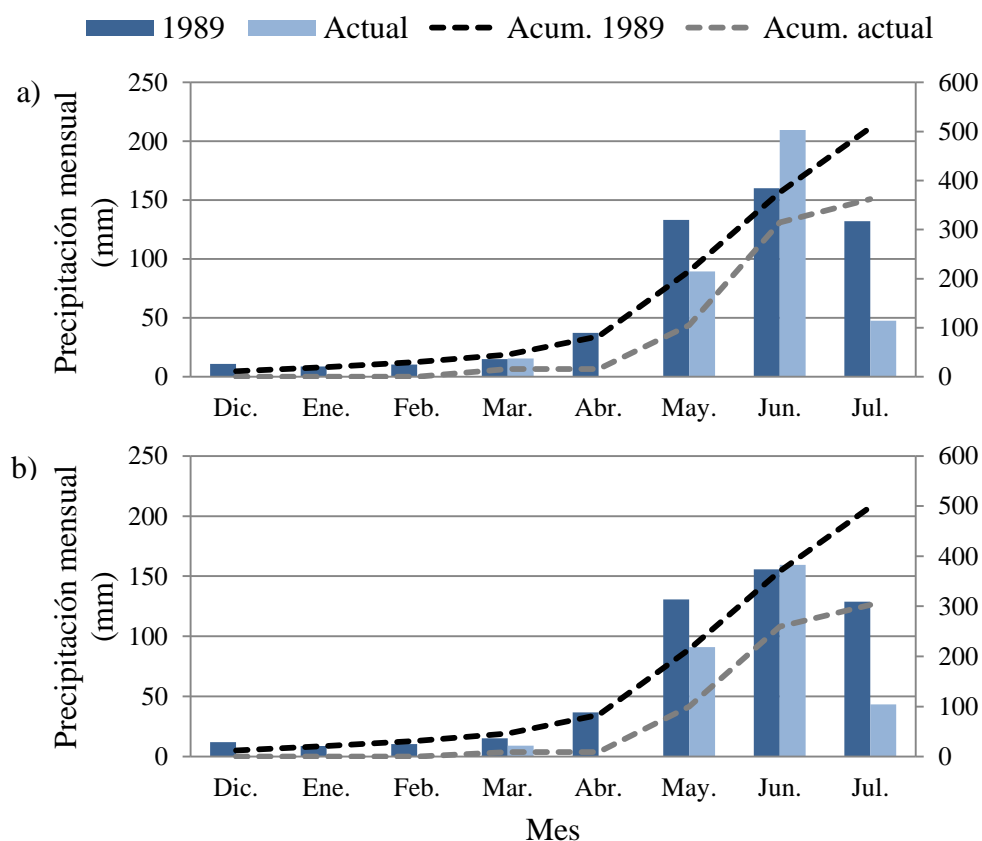


Figura 2. Gráfico comparativo entre la precipitación mensual (mm) y acumulada (mm) durante el período de estudio, y la media histórica registrada en cada zona (INIA, 1989). a) Estación Navidad y b) Estación San José de Marchigue. Abreviatura: Acum. = precipitación acumulada.

Análisis descriptivo

En los cuadros 5 y 6, se presentan los resultados de los estadísticos descriptivos de los parámetros de calidad de agua en estudio. Entre QR y LP se observa homogeneidad en las distintas concentraciones, sin embargo, el primero es seleccionado como el más representativo del estado natural de las aguas del Parque Nacional Las Palmas de Cocalán, por su continuidad en la disponibilidad de agua durante el periodo de estudio ($n=10$) y por su ubicación geográfica. En los canales de riego SL y CLC no se observa homogeneidad entre sus distribuciones. No obstante, en ambos casos, se presentan valores de la media aritmética considerablemente superiores a los de QR, para NT (77% SL; 92% CLC), $N-NH_3$ (63% SL; 74% CLC), $N-NO_3$ (74% SL; 90% CLC), PO_4^{3-} (38% SL; 57% CLC) y PT (55% SL; 66% CLC). Resultados que se asocian al estudio realizado por Rojas *et al.* (2007) en el valle del Cachapoal, región del Libertador General Bernardo O'Higgins, donde se encontraron concentraciones de $N-NO_3$ más altas en canales de riego ($8,6 \text{ mg L}^{-1}$) que en cursos naturales de aguas ($0,7 \text{ mg L}^{-1}$), es decir, un 92 % superiores; lo cual se relaciona con el uso de los canales como vía de descarga de residuos y a la menor dilución de sus aguas.

En los canales SL y CLC las descargas de compuestos de N y P a las aguas superficiales, se relacionan directamente con la aplicación de fertilizantes en los campos (Cuadro 1), concordando con los resultados presentados por Matysik *et al.* (2015), Ribbe *et al.* (2008), los cuales concluyen que las prácticas agrícolas inadecuadas han generado un fuerte impacto en la calidad de las aguas superficiales y subterráneas, por la lixiviación de sustancias biogénicas, en un estudio realizado en las cuencas de los ríos de la zona centro-sur de Chile, se posicionó la cuenca del río Rapel entre las que presentan las más altas concentraciones de $N-NO_3$ ($> 0,5 \text{ mg L}^{-1}$), comparándose con los niveles encontrados en las cuencas de Europa o ríos de China (Pizarro *et al.*, 2010). Iriarte (2007) asocia las altas concentraciones de $N-NO_3$ en las aguas subterráneas, a la intensidad agrícola, influyendo en el riesgo de contaminación difusa por estos nutrientes. Además confirma la hipótesis de que la subcuenca del río Cachapoal bajo tiene grandes entradas de fertilizantes nitrogenados en los suelos agrícolas, aplicándose en muchos casos dosis superiores a los requerimientos necesarios. Cabe destacar que las concentraciones de $N-NO_3$ encontradas en las aguas superficiales son inferiores a las presentes en las aguas subsuperficiales y subterráneas. Rojas *et al.* (2007), encontraron en la VI región valores de $N-NO_3$ de 23 mg L^{-1} en las aguas subsuperficiales, 22 mg L^{-1} en las aguas subterráneas y 7 mg L^{-1} en las aguas superficiales; situación que se explica por la disminución de la acción radicular y la lenta renovación de las aguas existentes bajo la superficie terrestre, siendo reservorios de los compuestos químicos lixiviados desde la superficie del suelo (Iriarte, 2007; Rojas *et al.*, 2007). Los compuestos de P encontrados en las aguas superficiales de SL y CLC, también se pueden asociar a las excesivas dosis de P aplicadas en los suelos, ya que aumentan el potencial de pérdidas a las aguas superficiales por escorrentía superficial y por lixiviación a las aguas subterráneas; escenario que dependerá de la textura, granulometría y homogeneidad de los suelos (Salazar *et al.*, 2011; Bolland y Gilkes, 1998). En el estudio

realizado por Pizarro *et al.* (2010) entre el año 1985 y 2005, se observa que los ríos de la cuenca del río Rapel han mostrado un incremento de 10 veces en las concentraciones de PO_4^{3-} desde el año 2000.

Las diferencias encontradas en las concentraciones de compuestos de N y P en los canales SL y CLC, se pueden asociar al tipo de suelo y su clase textural. SL presenta un suelo franco arenoso con textura moderadamente gruesa y CLC un suelo franco arcilloso con textura moderadamente fina; existiendo en los suelos finos una menor capacidad de infiltración y más probabilidad de generar escorrentía superficial, que los suelos arenosos, donde la lixiviación es principalmente vertical (González *et al.*, 2003). Lo que explica las mayores concentraciones de N y P en las aguas superficiales del canal CLC, y permite deducir que existen mayores concentraciones de nutrientes en las aguas subterráneas de SL, Tesoriero y Voss (1997) en una investigación realizada en la cuenca de Puget Sound, Washington, demostraron que la concentración de N- NO_3 en las aguas subterráneas es más alta en los suelos arenosos de textura media a gruesa, y baja en las áreas de los suelos de textura fina; de igual forma Salazar *et al.* (2009) confirma que la tasa de lixiviación de N- NO_3 hacia las aguas subterráneas es mayor en suelos con textura gruesa con baja retención de agua; investigaciones que confirman el supuesto de este trabajo.

Cuadro 5. Media aritmética (\pm desviación estándar) de la concentración de nitrógeno total (NT), N-amoniaco (N- NH_3), N-nitrato (N- NO_3), fosfato (PO_4^{3-}), fósforo total (PT) y demanda química de oxígeno (DQO) en los puntos de muestreo.

Punto	Variables de calidad de aguas					
	NT	N- NH_3	N- NO_3	PO_4^{3-}	PT	DQO
	-----mg L ⁻¹ -----					
QR	0,77 \pm 0,29	0,32 \pm 0,37	0,89 \pm 0,22	0,26 \pm 0,05	0,17 \pm 0,07	6,12 \pm 4,61
LP	0,75 \pm 0,35	0,53 \pm 0,76	0,90 \pm 0,25	0,28 \pm 0,05	0,20 \pm 0,03	5,00 \pm 5,92
SL	3,40 \pm 1,29	0,86 \pm 1,15	3,42 \pm 1,21	0,42 \pm 0,24	0,38 \pm 0,25	17,89 \pm 13,9
CLC	9,10 \pm 8,23	1,23 \pm 2,47	8,59 \pm 8,74	0,61 \pm 0,36	0,50 \pm 0,34	31,8 \pm 15,02

Cuadro 6. Media aritmética (\pm desviación estándar) de la conductividad eléctrica (CE), pH, turbidez (Tur), sólidos totales (ST) y temperatura (T) en los puntos de muestreo.

Punto	Variables de calidad de aguas				
	CE	pH	Tur	ST	T
	$\mu\text{S cm}^{-1}$	-	NTU	mg L ⁻¹	°C
QR	135,31 \pm 16,90	7,56 \pm 0,30	2,55 \pm 1,08	128,83 \pm 56,36	11,83 \pm 3,68
LP	122,71 \pm 22,82	7,71 \pm 0,26	2,35 \pm 1,70	156,67 \pm 71,69	17,95 \pm 4,53
SL	583,96 \pm 123,48	7,86 \pm 0,44	33,17 \pm 34,02	497,50 \pm 146,46	16,80 \pm 4,24
CLC	790,46 \pm 457,95	7,64 \pm 0,60	408,33 \pm 506,10	1198,33 \pm 384,98	17,79 \pm 8,69

Las distribuciones de los valores de calidad de agua en los cuatro puntos de estudio se presentan en las figuras 3, 4, 5 y 6 (Apéndice I). Para las concentraciones de P se observan comportamientos similares en la distribución de las variables (PT y PO_4^{3-}), presentándose

mayor dispersión en los valores de los canales de riego, los cuales muestran una asimetría positiva y valores extremos, observándose las mayores concentraciones en CLC. Los cuerpos de agua QR y LP presentan distribuciones similares, con bajas concentraciones de P y poca dispersión en sus concentraciones. Los valores de NT y N-NO₃ en QR y LP presentan distribuciones con baja dispersión. En SL y CLC, se observan distribuciones asimétricas positivas, con valores superiores en CLC. N-NH₃ presenta distribuciones asimétricas con bajas concentraciones en todos los puntos de muestreo. La conductividad eléctrica muestra una alta dispersión en CLC, en relación a SL; en ambos casos con valores muy superiores a los presentes en las aguas del Parque Nacional, situación que se repite para los valores de ST. La DQO presenta distribuciones asimétricas, con una alta dispersión en los campos agrícolas, y valores superiores a los presentados en QR y LP, los que igualmente tienen una distribución asimétrica.

Las asimetrías observadas en las distribuciones de los valores de calidad de agua, y la presencia de datos atípicos, se asocian a la temporalidad de las variables en las aguas, principalmente por eventos de precipitaciones intensas; fenómeno que se explicará en detalle en el análisis de series de tiempo.

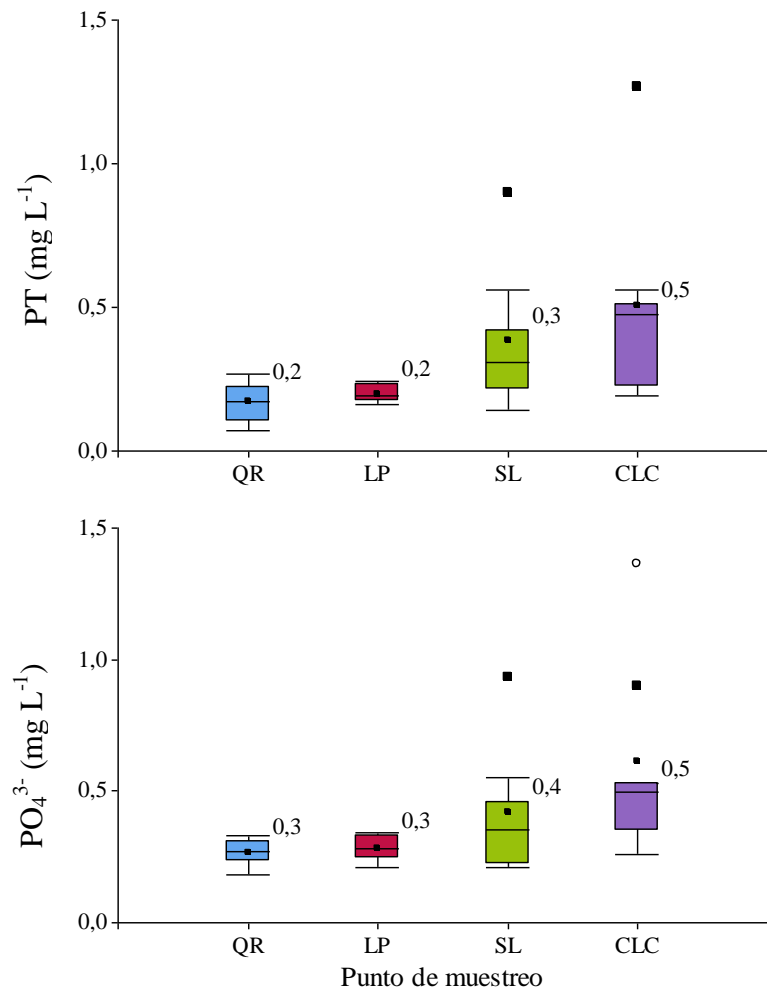


Figura 3. Diagrama de cajas (Box-Plot) con los valores de la mediana para las concentraciones de PT (mg L⁻¹) y PO₄³⁻ (mg L⁻¹), en los cursos de agua QR y LP, y en los canales de riego SL y CLC.

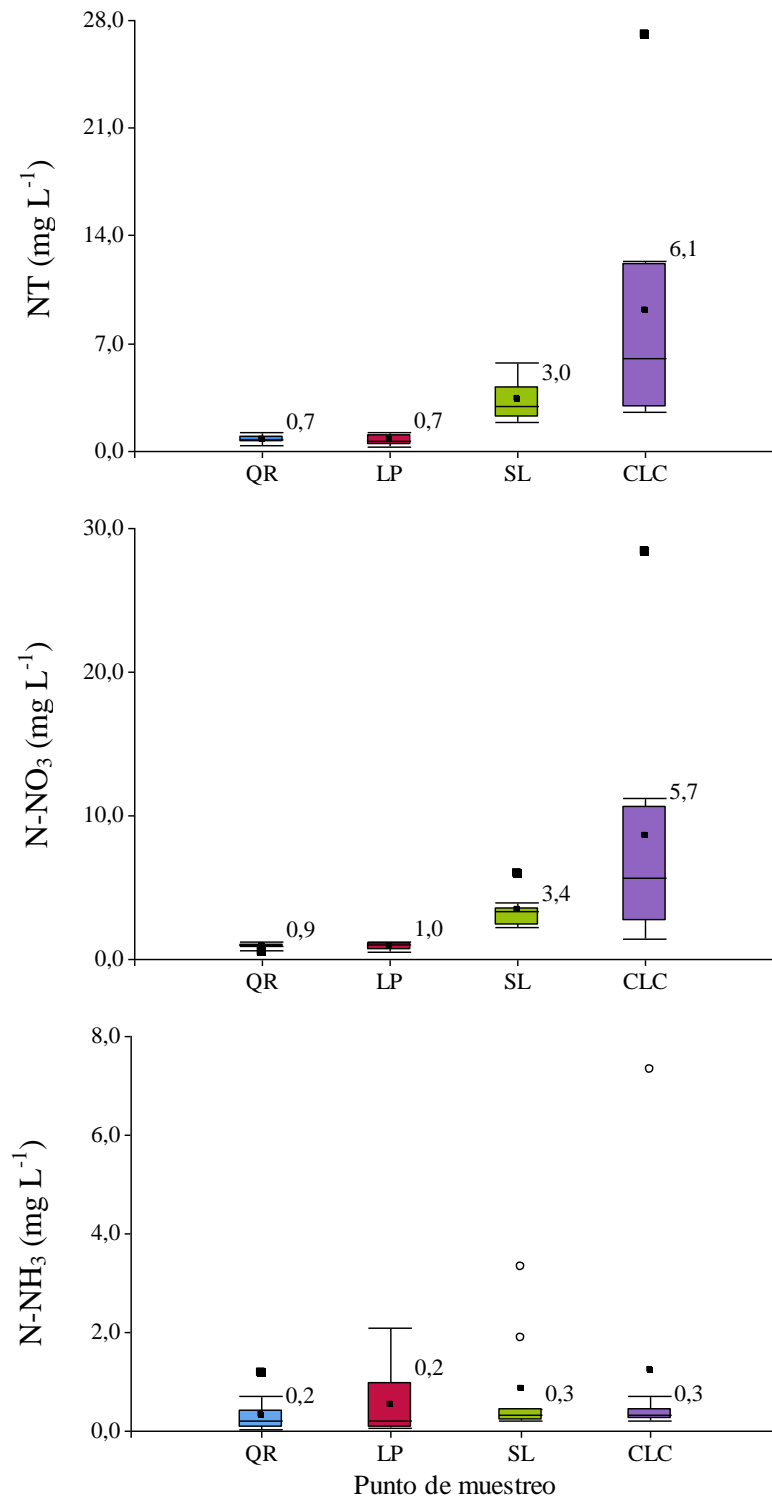


Figura 4. Diagrama de cajas (Box-Plot) con los valores de la mediana para las concentraciones de NT (mg L⁻¹), N-NO₃ (mg L⁻¹) y N-NH₃ (mg L⁻¹) en los cursos de agua QR y LP, y en los canales de riego SL y CLC.

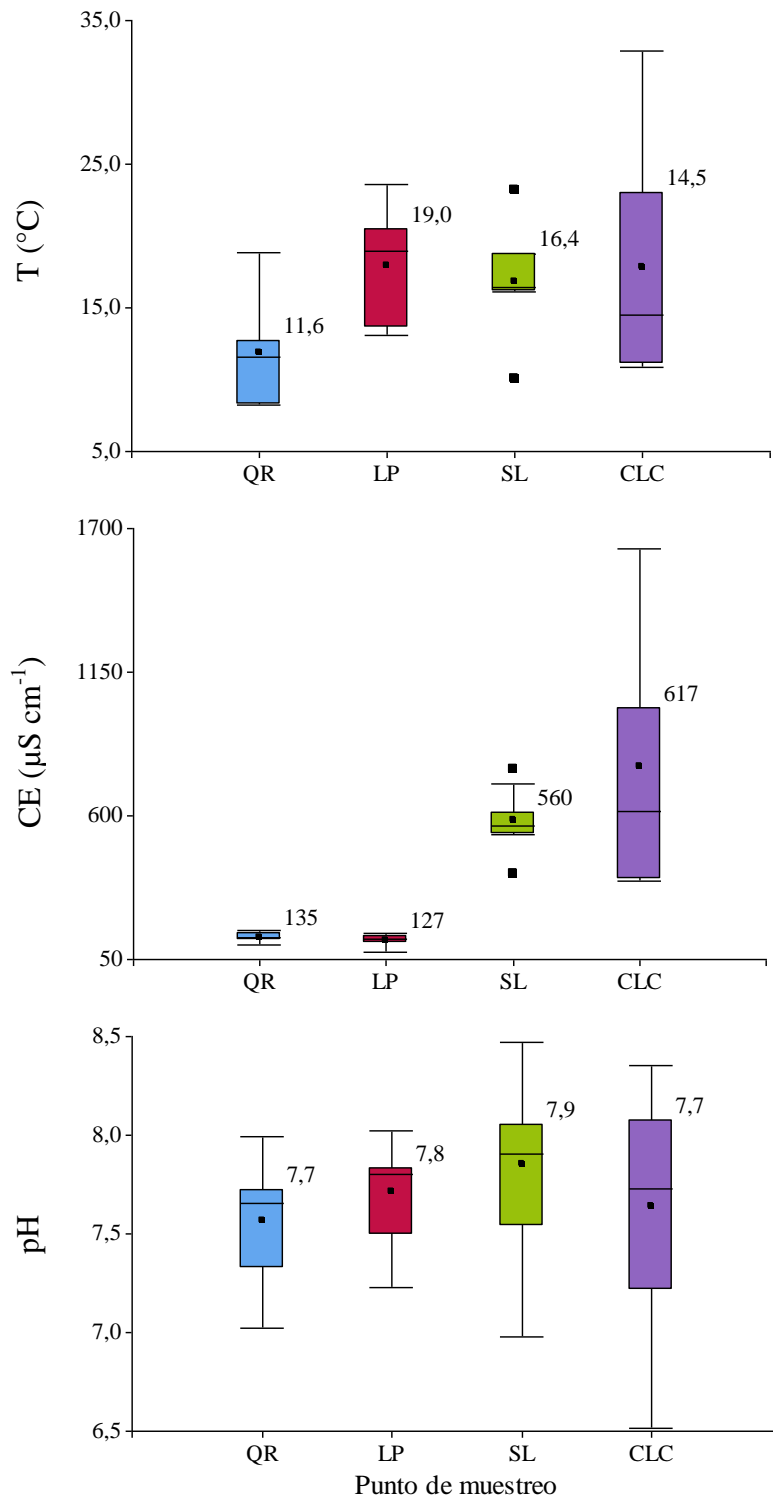


Figura 5. Diagrama de cajas (Box-Plot) con los valores de la mediana, para T ($^{\circ}\text{C}$), CE ($\mu\text{S cm}^{-1}$) y pH en los cursos de agua QR y LP, y en los canales de riego SL y CLC.

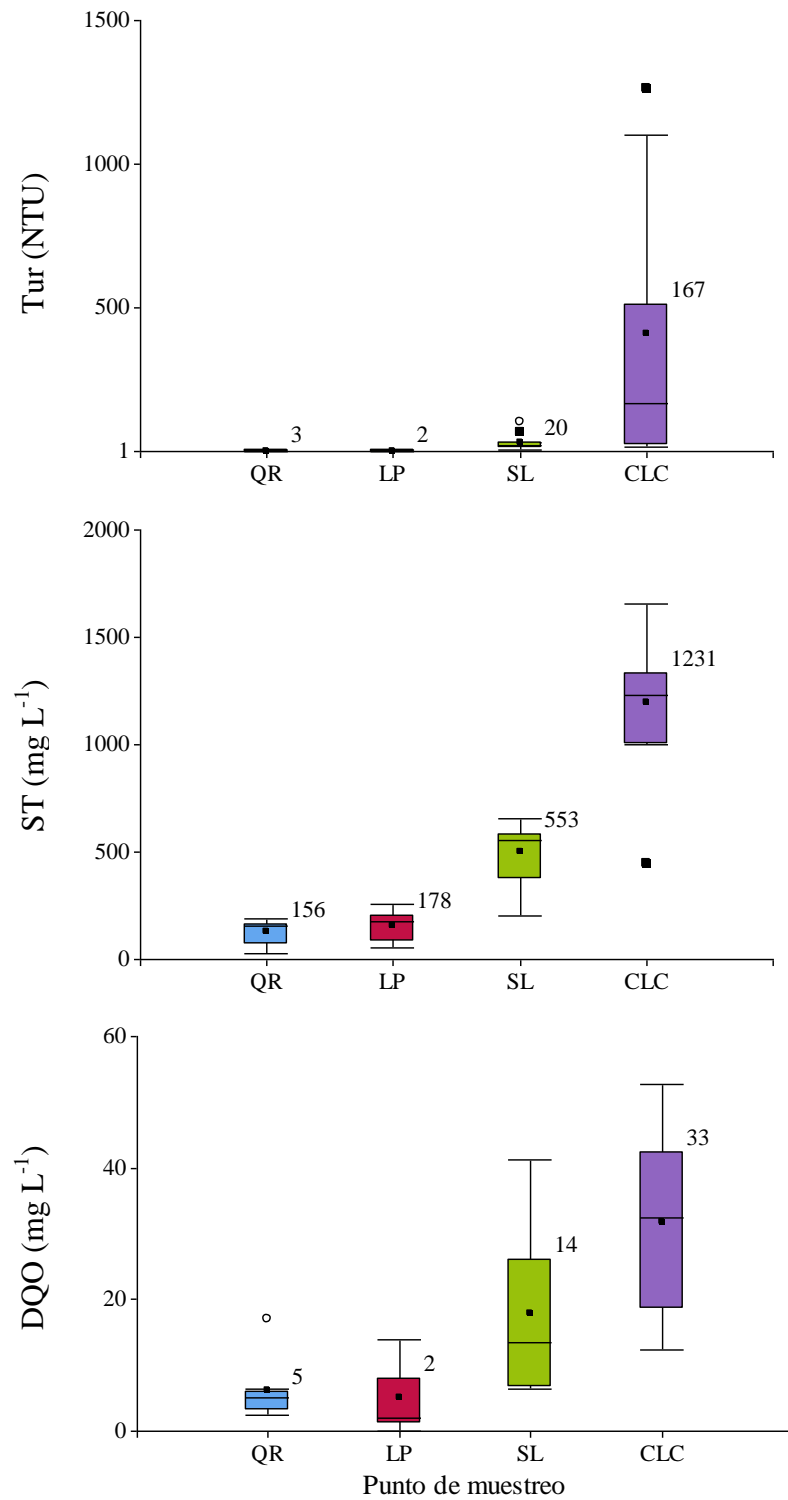


Figura 6. Diagrama de cajas (Box-Plot) con los valores de la mediana, para las concentraciones de ST (mg L^{-1}), Tur (NTU) y DQO (mg L^{-1}) en los cursos de agua QR y LP, y en los canales de riego SL y CLC.

Análisis de series de tiempo

Durante el periodo de estudio se registraron variaciones temporales en las variables evaluadas producto del clima, y de los factores de manejo de suelo en los casos de los puntos de muestreo ubicados en los canales SL y CLC (ver Cuadro 1).

En las figuras 7 y 8, se pueden observar las series temporales de las concentraciones de P y N en los distintos puntos de muestreo. Se encontró un aumento del P en los canales de riego en la temporada invierno del año 2014, registrando valores máximos de PT (SL 0,90 mg L⁻¹; CLC 1,27 mg L⁻¹) y PO₄³⁻ (SL 0,93 mg L⁻¹; CLC 1,36 mg L⁻¹); mientras que en las aguas del Parque Nacional Las Palmas de Cocalán los niveles de P se mantuvieron bajos durante todo el periodo de estudio (PT < 0,27 mg L⁻¹), presentando leves variaciones a lo largo del tiempo. Las concentraciones de NT y N-NO₃ en los canales de riego, de igual forma registraron un aumento en la temporada invierno del año 2014, alcanzando valores máximos de NT (SL 5,7 mg L⁻¹; CLC 27 mg L⁻¹) y N-NO₃ (SL 6 mg N-NO₃ L⁻¹; CLC 28 mg N-NO₃ L⁻¹). La variable N-NH₃ registro mínimas variaciones en el tiempo, con excepción de los valores máximos registrados; en SL (3,3 mg N-NH₃ L⁻¹) en la temporada de invierno de 2014 y en CLC (7,3 mg N-NH₃ L⁻¹) en la temporada verano 2013 - 2014. Las concentraciones de NT, N-NO₃ y N-NH₃ en QR, se mantuvieron bajas en las dos temporadas (NT < 1,2 mg L⁻¹), presentando una tendencia similar LP.

De los resultados obtenidos, se puede asociar la temporalidad de las concentraciones de N y P en los canales SL y CLC, principalmente a las precipitaciones. Complementándose con el estado de los campos, que se mantuvieron sin cultivos (barbecho) durante la temporada de invierno del año 2014, aumentando el riesgo de movimientos de N y P hacia las aguas superficiales y subsuperficiales. En las aguas naturales no se observa dicha temporalidad, por la ausencia de fuentes contaminantes en el Parque Nacional Las Palmas de Cocalán. Por lo que las bajas concentraciones de nutrientes observadas en QR y LP, se pueden relacionar con contribuciones por causas naturales, manteniendo el ecosistema en equilibrio. La temporalidad observada en SL y CLC, se reafirma en los estudios realizados por Corradini *et al.* (2015) y Casalí *et al.* (2008), los que observaron un aumento de las cargas de N y P en canales de riego durante la temporada de otoño-invierno, debido al aumento de la disponibilidad de agua, incrementando la capacidad de transporte de contaminantes desde los campos hasta los cuerpos de agua, como flujo de agua subterránea y escorrentía superficial.

Li *et al.* (2009), demostraron que la variación estacional de N está fuertemente relacionada con las precipitaciones, presentando mayores concentraciones en las aguas en la temporada de invierno. Sin embargo, el parámetro N-NH₃ es la excepción, presentado un incremento en verano 2013 – 2014, lo que se relaciona con la aplicación de riegos; y otro aumento en invierno del año 2014, manteniendo leves variaciones durante el periodo de estudio. Esta situación se relaciona probablemente con la rápida adsorción del contaminante en el suelo (Corradini *et al.*, 2015). En el caso de las concentraciones de P en el agua, Hanrahan *et al.*

(2003) y Sanchez *et al.* (2007) concluyeron que la mayor parte de PO_4^{3-} es transportado a los ríos durante las tormentas, en el periodo de invierno, en respuesta al aumento de su solubilidad en las aguas.

En las figuras 9 y 10, se observan las series temporales de los valores de T, CE, pH, ST, Tur y DQO. Se observó una disminución de T en la temporada invierno del año 2014 en los cuatro sitios de estudio, presentando CLC los valores más altos en verano ($32\text{ }^\circ\text{C}$). La CE no presentó variaciones significativas en QR y LP, presentando valores máximos de $164\text{ }\mu\text{S cm}^{-1}$ y $150\text{ }\mu\text{S cm}^{-1}$, respectivamente. En los canales de riego los valores fueron mucho más elevados, especialmente en CLC, presentando sus valores máximos en el invierno del año 2014 (SL $77\text{ }\mu\text{S cm}^{-1}$; CLC $1.623\text{ }\mu\text{S cm}^{-1}$). En el pH no se observa temporalidad, presentando variaciones en el tiempo en todos los puntos. El valor más básico se presentó en SL (8,46) en la temporada verano 2013 – 2014; y el más ácido en CLC (6,51) en la temporada invierno del 2014. Las concentraciones de ST en las aguas del Parque Nacional se mantuvieron bajas a lo largo del estudio, a diferencia de SL y CLC que registraron incrementos en ambas temporadas, presentando valores máximos de 658 mg L^{-1} en SL y 1.658 mg L^{-1} en CLC. La variable Tur presentó una variabilidad temporal baja en los puntos QR, LP y SL, a diferencia de CLC que presentó su valor máximo (1.262 NTU) en la temporada de verano 2013 – 2014. Se observa un incremento generalizado de DQO en la temporada invierno 2014, presentándose concentraciones más altas en los canales de riego, con máximas de 41 mg L^{-1} en SL y 53 mg L^{-1} en CLC.

La temporalidad de los valores de la DQO y CE, se pueden relacionar con las precipitaciones, aumentando en ambos casos durante el invierno del año 2014, fenómeno observado solo en los canales de riego. Además los incrementos de ST y TUR, en SL y CLC en la temporada verano 2013 – 2014, se pueden relacionar con los riegos aplicados a los campos durante ese periodo. Ambos fenómenos ocurren por el transporte de elementos y compuestos desde los campos hacia los canales por escorrentía superficial.

En el análisis de correlación lineal (Cuadro 7), se observa que gran parte de los parámetros de calidad de agua presentan una correlación con el tiempo (directa e inversa). El valor más significativo (correlación perfecta) se encuentra en T, la cual presenta una relación inversa en todos los puntos de muestreo. Sin embargo, para las variables N-NH₃ (punto SL), Tur (puntos LP y SL) y pH (punto QR), no existe relación lineal con el tiempo.

Cuadro 7. Coeficiente de Pearson (r), para las variables de calidad de agua en relación con el tiempo, en los distintos puntos de muestreo.

	Variables de calidad de agua										
	NT	N-NH ₃	N-NO ₃	PO ₄ ³⁻	PT	DQO	ST	Tur	CE	pH	T
	----- Grado de relación lineal -----										
QR	0,65*	-0,18*	-0,12*	-0,83*	-0,92*	0,70*	-0,61*	0,50*	0,46*	0,00	-0,90*
LP	0,25*	-0,47*	0,54*	-0,64*	-0,46*	0,29*	0,29*	0,06	0,12*	0,45*	-0,98*
SL	0,43*	-0,06	0,40*	0,52*	0,52*	0,36*	0,43*	0,06	0,66*	-0,28*	-0,92*
CLC	0,54*	-0,49*	0,49*	0,46*	0,17*	0,71*	0,52*	-0,84*	0,48*	-0,89*	-0,93*

* Variables que presentan algún grado de correlación con el tiempo.

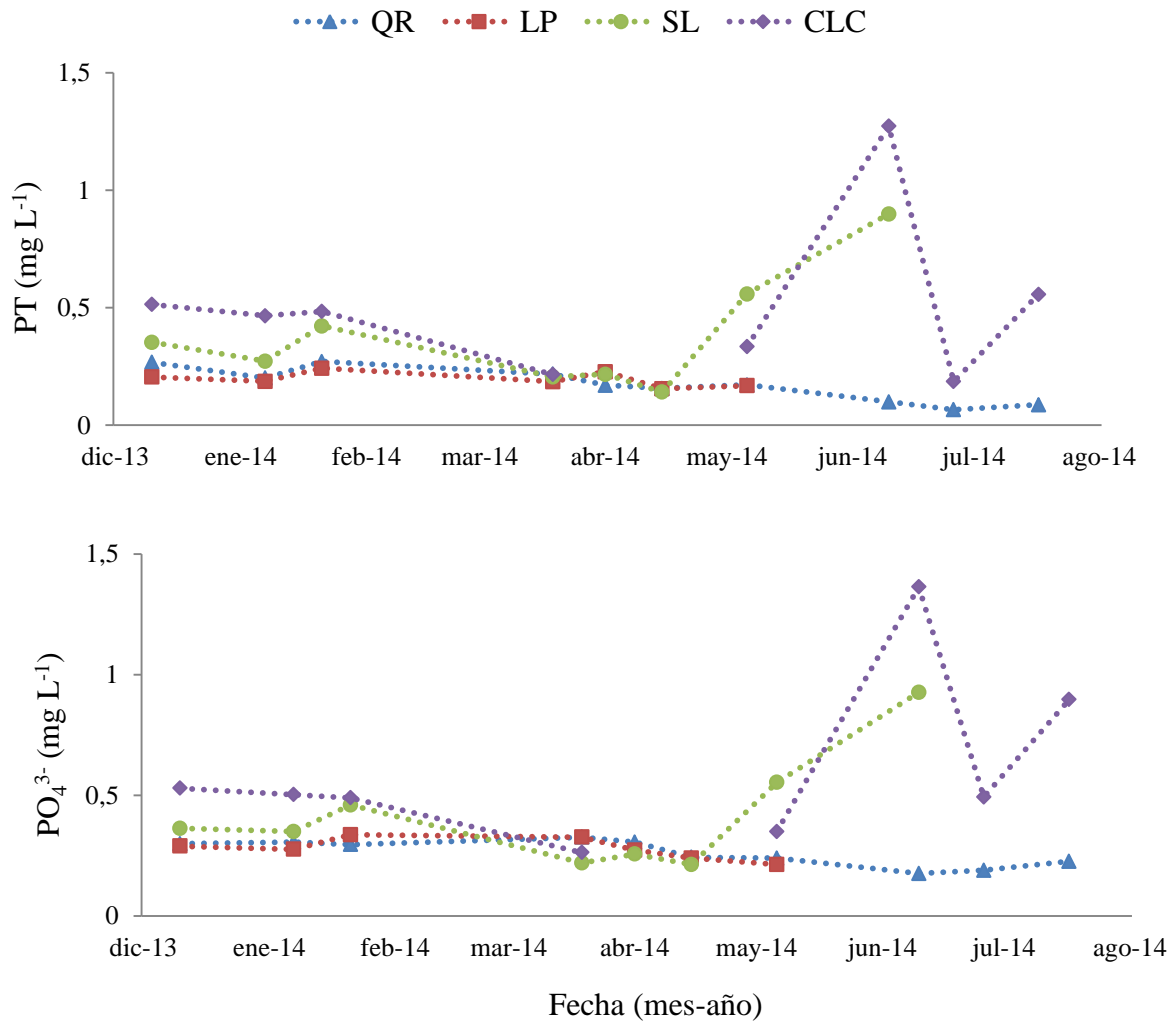


Figura 7. Series temporales de las concentraciones de P en los cursos de agua QR y LP, y en los canales de riego SL y CLC. Entre diciembre de 2013 y julio de 2014.

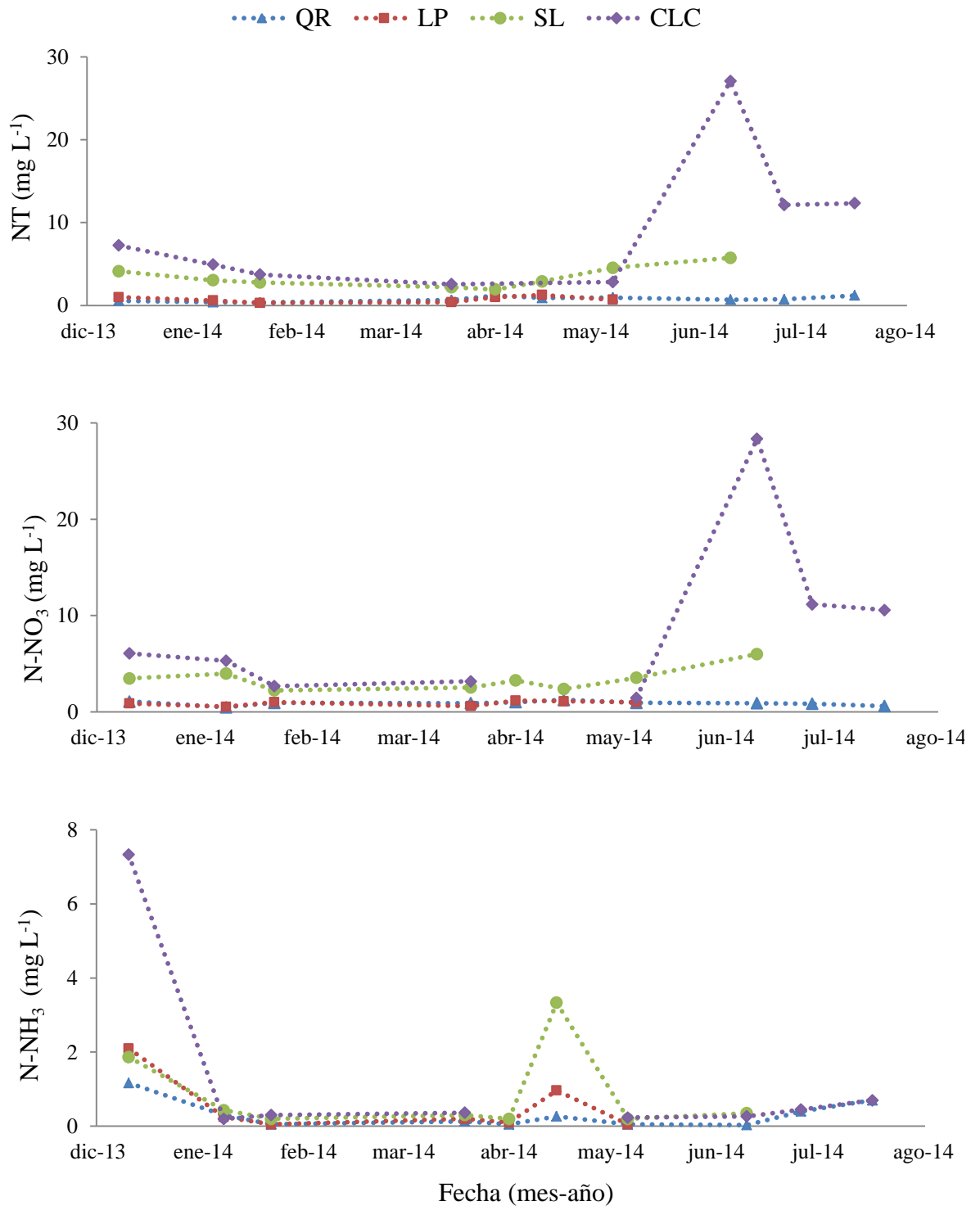


Figura 8. Series temporales de las concentraciones de N en los cursos de agua QR y LP, y en los canales de riego SL y CLC. Entre diciembre de 2013 y julio de 2014.

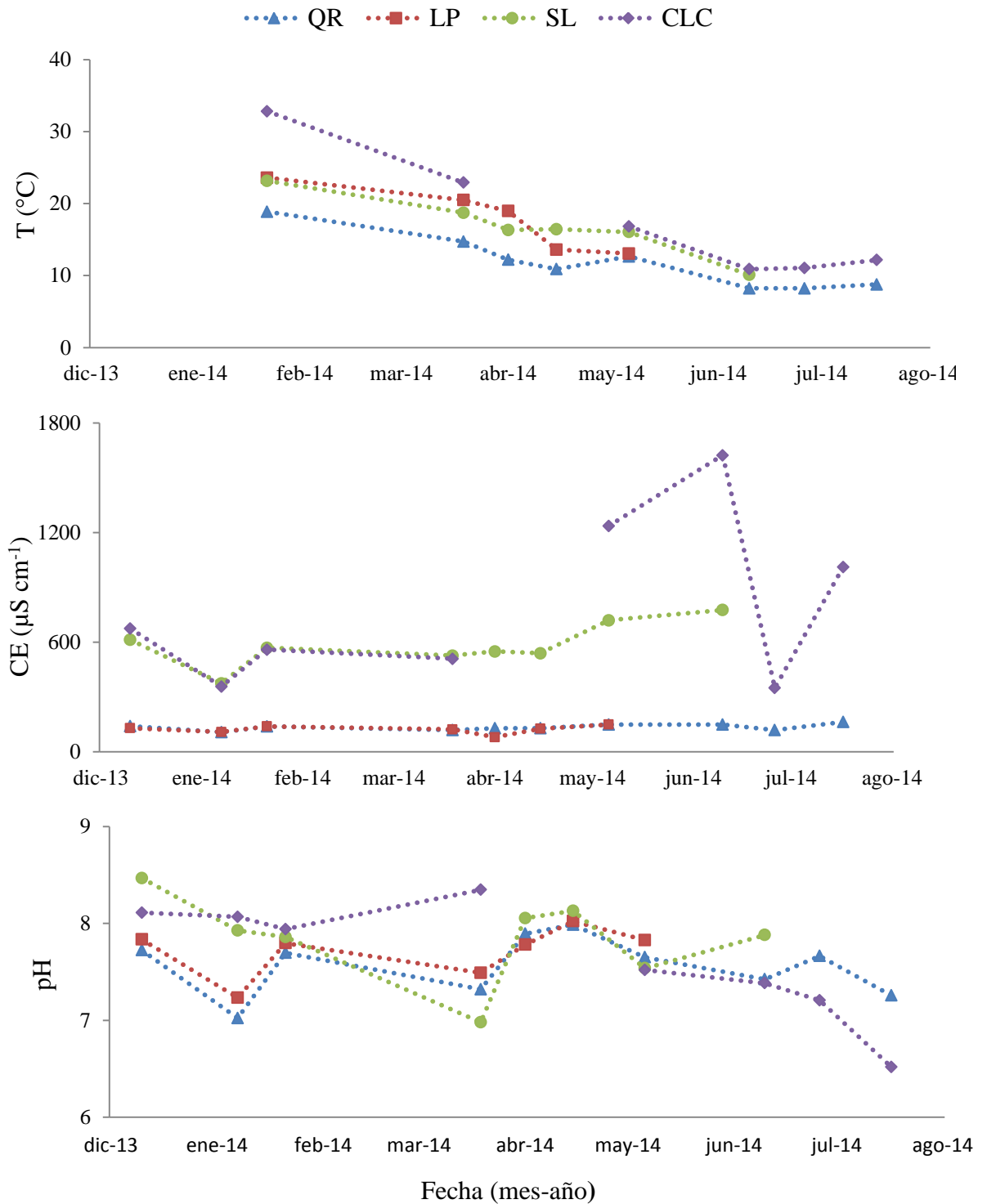


Figura 9. Series temporales de los valores de T, CE y pH en los cursos de agua QR y LP, y en los canales de riego SL y CLC. Entre diciembre de 2013 y julio de 2014. Abreviaturas: T = temperatura; CE = conductividad eléctrica.

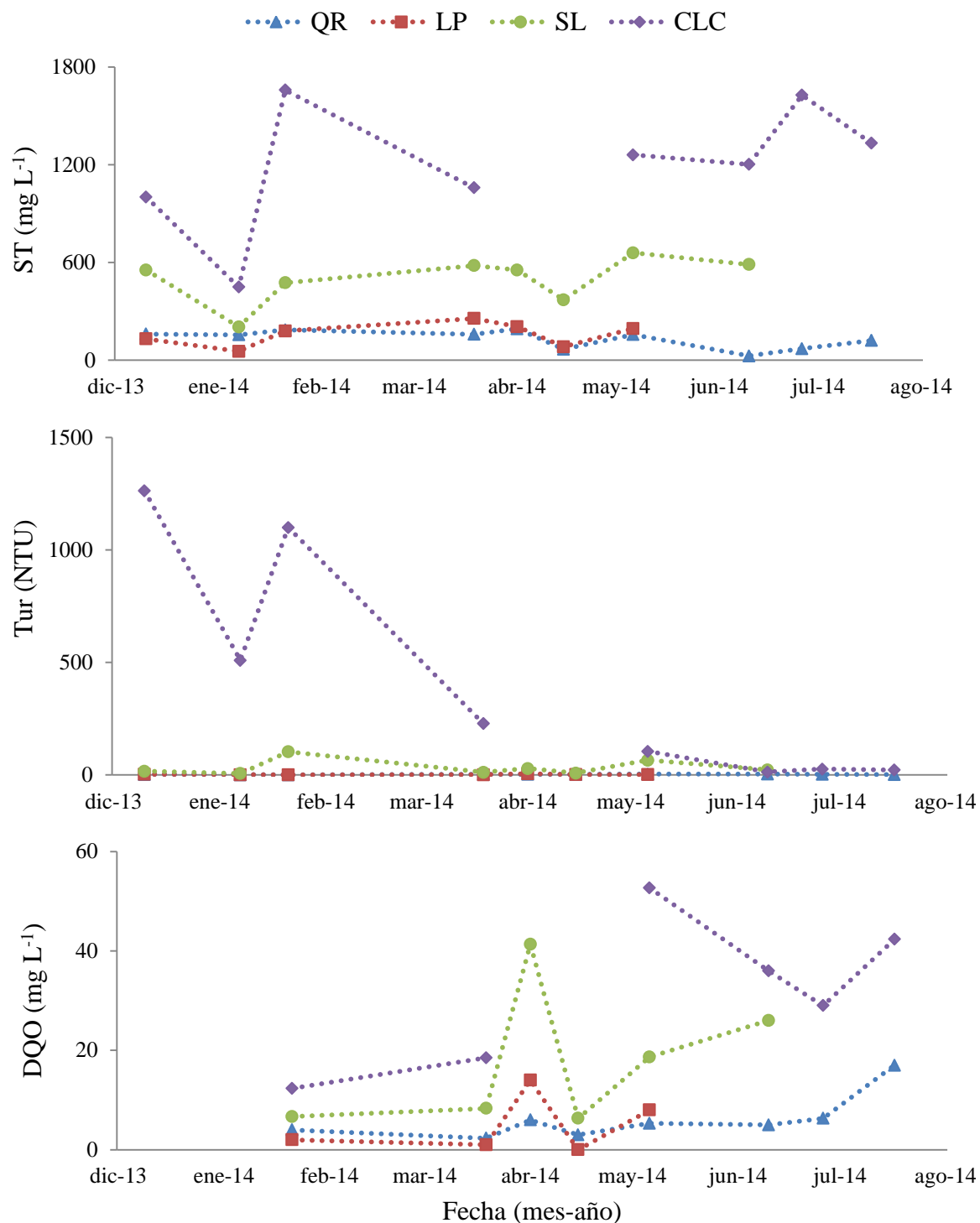


Figura 10. Series temporales de las concentraciones de sólidos totales, turbidez y demanda química de oxígeno en los cursos de agua QR y LP, y en los canales de riego SL y CLC. Entre diciembre de 2013 y julio de 2014. Abreviaturas: ST = sólidos totales; Tur = turbidez; DQO = demanda química de oxígeno.

Caracterización de calidad de las aguas

La Figura 11 muestra los resultados de la caracterización de las aguas en relación con el total de las muestras recogidas, de acuerdo a los criterios presentados en el Cuadro 4. Los puntos QR y LP no presentaron valores sobre los estándares máximos permitidos para ninguno de los parámetros estudiados, clasificándose como aguas de clase excepcional según DGA, lo que se asocia a la ausencia de actividades antrópicas en la zona, a diferencia de SL que superó la norma para ST, CE y Tur, y en el caso de CLC para N-NO₃, ST, CE, Tur y T.

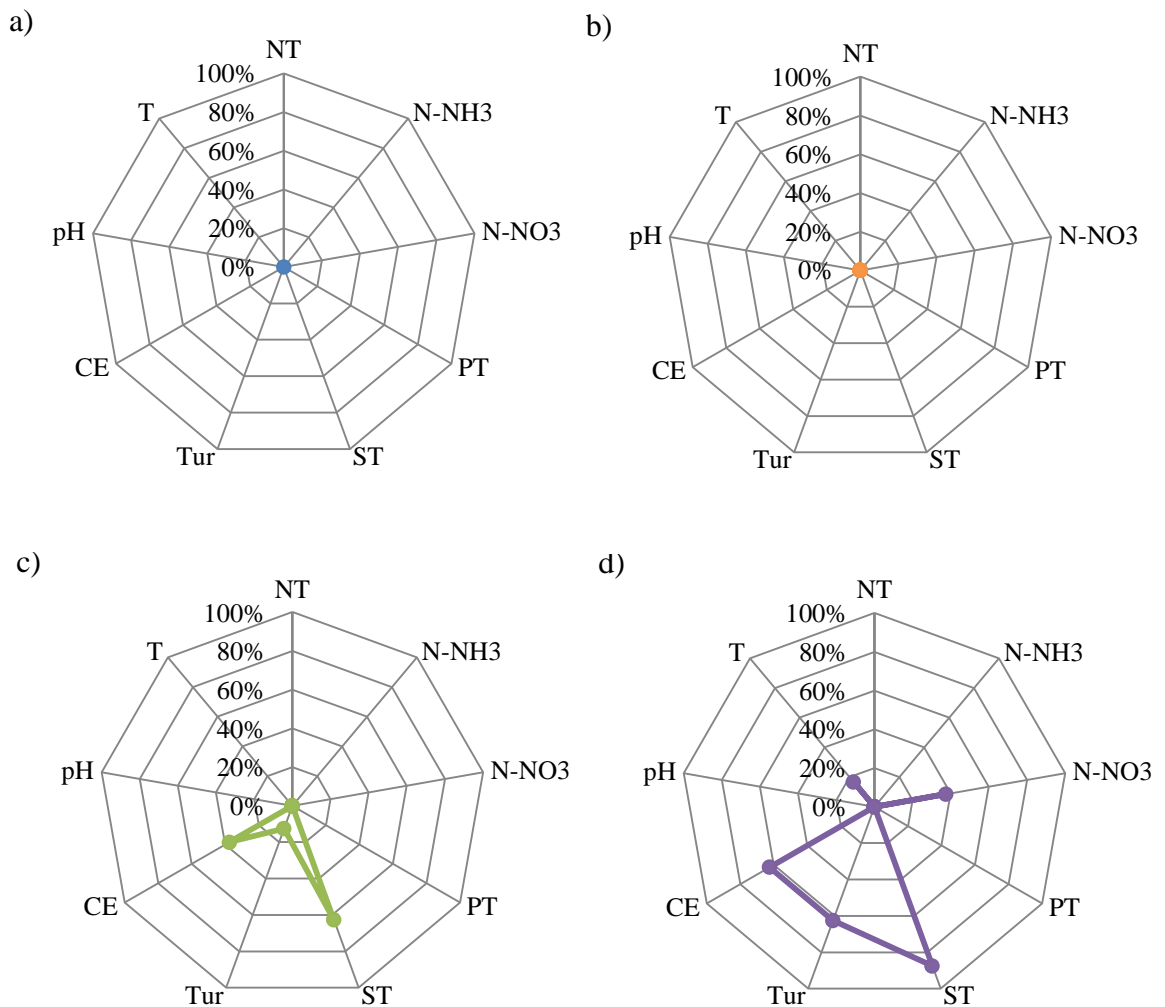


Figura 11. Gráficos radiales de calidad de agua. Los puntos indican el porcentaje del número total de muestras en que se excedieron las normas. a) cuerpo de agua QR; b) cuerpo de agua LP; c) canal SL y d) canal CLC.

En las figuras 12 y 13, se presentan los resultados de los valores por encima de los estándares máximos permisibles para la temporada verano 2013 - 2014 e invierno 2014, en relación con el total de muestras recogidas en cada época, para los puntos de muestreo SL y CLC. En el verano 2013-2014 el canal SL presentó valores por encima de los estándares máximos permisibles para ST (50%) y CE (25%), mientras CLC tuvo valores por encima de los estándares para ST (75%), CE (25%), Tur (100%) y T (25%). Por otro lado, durante el invierno de 2014, tanto SL y CLC tuvieron valores por encima de las normas, para los ST (75% SL, 100% CLC), Tur (25% en ambos), CE (50% SL, 100% CLC) y N-NO₃ (75% CLC).

De los resultados observados, se destaca que las concentraciones de N-NO₃ encontradas en la temporada invierno 2014 en el canal CLC superaron la norma de los 10 mg N-NO₃ L⁻¹ en las aguas superficiales. A diferencia de SL que no excedió las normas en ninguna de las fechas evaluadas, lo que se explica a la diferencia en su tipo de suelo y clase textural. Corradini *et al.* (2015) en su estudio de la calidad de las aguas superficiales cercanas a campos agrícolas en la comuna de Pichidegua, también encontraron un aumento invernal de las concentraciones de N-NO₃. Otros estudios realizados en la región, también encontraron concentraciones de N-NO₃ superiores al límite establecido por la NCh 1333, como Iriarte (2007) en la cuenca del Cachapoal, el cual encontró que la mayoría de las muestras tomadas de los ríos, canales y pozos contenían concentraciones superiores a 10 mg N-NO₃ L⁻¹; al igual que Golembeski (2004), en su estudio de la cuenca del Tinguiririca encontró concentraciones > 10 mg N-NO₃ L⁻¹ en todos los pozos muestreados.

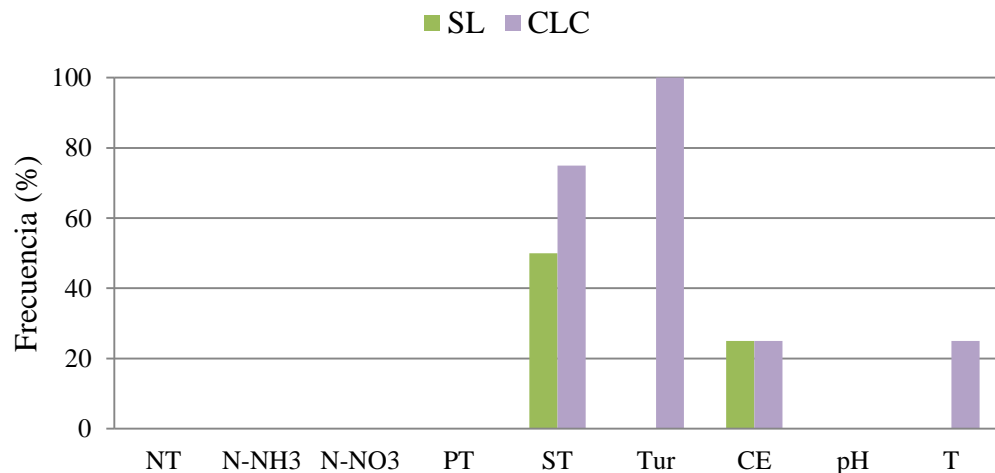


Figura 12. Gráficos de barras de las frecuencias (%) en que se sobrepasaron los estándares máximos permitidos, para el total de muestras recogidas en la temporada de verano del año 2013 - 2014 en los canales de riego SL y CLC.

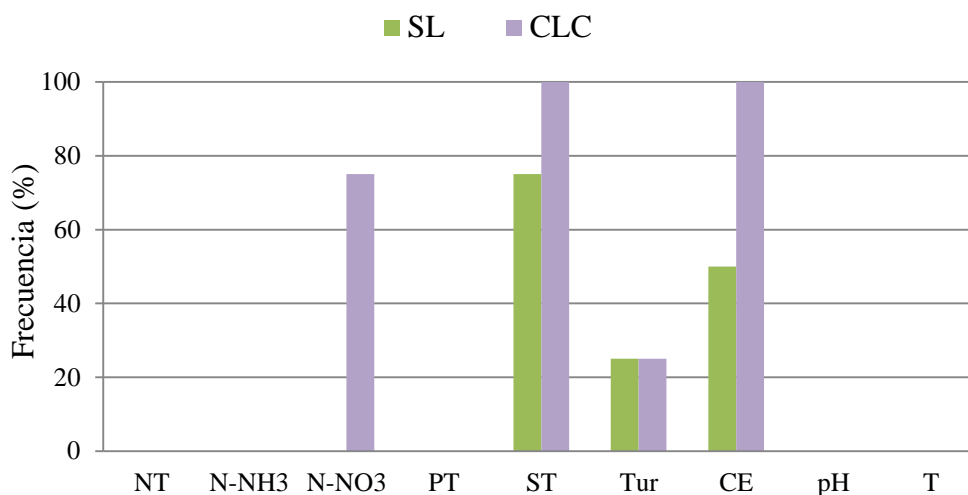


Figura 13. Gráficos de barras de las frecuencias (%) en que se sobrepasaron los estándares máximos permitidos, para el total de muestras recogidas la temporada de invierno del año 2014, en los canales de riego SL y CLC.

Análisis componentes principales

En la matriz de correlación (Cuadro 8), se observa que un 31,82% de las correlaciones son significativas ($r > 0,5$). Existiendo correlaciones significativas positivas entre las concentraciones de N-NO₃ y PO₄³⁻, y estas de forma independiente con las variables DQO, CE y ST. Además existen correlaciones significativas entre DQO y ST, DQO y CE, CE y ST, y por último Tur con ST y T. La variable N-NH₃ no presentó ninguna correlación significativa con alguna de las variables. La fuerte correlación entre N-NO₃ y PO₄³⁻ ($r = 0,87^*$), se puede explicar por el similar comportamiento presentado en la disponibilidad de estos contaminantes en las aguas superficiales cercanas a campos agrícolas a lo largo del periodo de estudio, registrando en ambos casos aumentos invernales.

En la combinación lineal de las variables originales previamente estandarizadas (Apéndice II), se encontraron dos componentes principales, los cuales explican el 68,60% de la variabilidad total en las observaciones. La primera componente (CP 1) explica por sí sola el 49,6% de la variabilidad total, y está fuertemente correlacionado con NT (0,94), PO₄³⁻ (0,93), N-NO₃ (0,91), CE (0,91), PT (0,88), ST (0,75) y DQO (0,74), mientras que la segunda componente (CP 2) explica por sí sola el 19% de la variabilidad total, relacionándose con Tur (0,90), T (0,90) y pH (0,43). La variable N-NH₃ no presentó correlación con ninguna de las dos componentes.

Cuadro 8. Matriz de correlación para las variables analizadas. Por debajo de la diagonal principal se observan los coeficientes de correlación r.

	NT	N-NH ₃	N-NO ₃	PO ₄ ³⁻	PT	DQO	CE	pH	Tur	ST	T
NT	1										
N-NH ₃	0,06	1									
N-NO ₃	0,99*	0,02	1								
PO ₄ ³⁻	0,88*	-0,07	0,87*	1							
PT	0,80*	-0,10	0,80*	0,96*	1						
DQO	0,56*	-0,04	0,53*	0,53*	0,49	1					
CE	0,77*	0,11	0,74*	0,78*	0,80*	0,78*	1				
pH	-0,38	0,16	-0,33	-0,33	-0,17	-0,30	-0,25	1			
Tur	0,01	-0,04	-0,03	0,07	0,15	0,04	0,15	0,22	1		
ST	0,63*	0,02	0,57*	0,55*	0,49	0,70*	0,70*	-0,25	0,54*	1	
T	-0,21	-0,05	-0,21	-0,11	0,01	-0,13	0,02	0,32	0,68*	0,31	1

* Correlaciones significativas.

En la Figura 14, se puede diferenciar las mediciones realizadas en los distintos puntos de muestreo. Se observa que la primera componente (CP 1) separa el pH y T de las variables Tur, ST, CE, PT, DQO, PO₄³⁻, NT y N-NO₃, siendo estas últimas las que se proyectan en la CP 1, y tienen en común la presencia de valores elevados durante la temporada de invierno 2014. Además, se puede observar que la CP 1 discrimina entre los distintos puntos de muestreo, presentando CLC los mayores riesgos de contaminación del agua por ST, CE, PT, DQO, PO₄³⁻, NT y N-NO₃; continuando el punto de muestreo SL y sin riesgos QR y LP. En la segunda componente (CP 2), se observa una proyección de las variables pH, T, Tur y ST, en las cuales los puntos de muestreo presentan la misma distribución en el eje; presentando los valores más elevados el punto CLC. También se puede asociar una discriminación en la CP 2 entre las variables que presentan valores más elevados en la temporada de verano 2013 – 2014. El parámetro N-NH₃ no tiene proyección en ninguna de las componentes, lo que se asocia a la ausencia de temporalidad, y a las bajas concentraciones presentadas en SL y CLC, a diferencia de NT y N-NO₃.

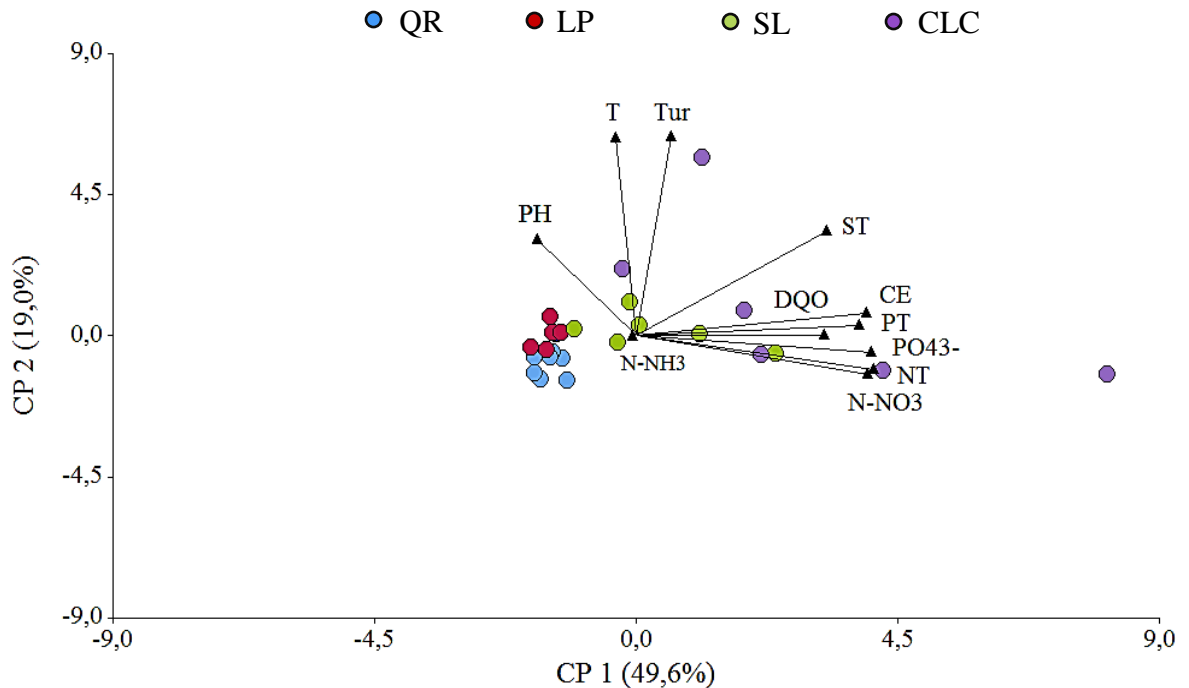


Figura 14. Gráfico biplot del análisis de componentes principales, obtenidos con los datos estandarizados. Abreviaturas: T = temperatura; Tur = turbidez; ST = sólidos totales; CE = conductividad eléctrica; PT = fósforo total; DQO = demanda química de oxígeno; PO₄³⁻ = fosfato; NT = nitrógeno total; N-NH₃ = nitrógeno-amoniaco; N-NO₃ = nitrógeno-nitrato.

Las parámetros N total, N-NO₃, P total, PO₄³⁻, DQO, CE y ST (vectores positivos), son los que tuvieron mayor inercia en la primera componente, lo que se relaciona con las concentraciones presentes en la temporada de invierno del año 2014 en las aguas superficiales cercanas a campos agrícolas, observándose a la vez una disminución de la temperatura (vector negativo), variable que presenta el menor peso sobre la primera componente (Apéndice II). Los aumentos invernales se relacionan directamente con la presencia de precipitaciones, ya que aumentan el transporte de compuestos hacia los canales, como lo explican Li *et al.* (2009) y Sánchez *et al.* (2007). Según lo observado, se puede concluir que esta componente solo incluye los canales SL y CLC, sin tener incidencia las concentraciones presentadas en los cursos de agua QR y LP ubicados en el Parque Nacional Las Palmas de Cocalán.

La segunda componente presenta el mayor peso por parte de la T y Tur (vectores positivos), asociándose la fracción positiva de este componente al aumento de la temperatura en la temporada de verano de los años 2013 - 2014, y en el caso de la Tur se puede relacionar con la aplicación de riego en los campos agrícolas durante el verano 2013 - 2014.

CONCLUSIONES

El análisis de calidad de agua realizado en el sector alto del Parque Nacional Las Palmas de Cocalán, documenta las condiciones originales de cuerpos de agua superficiales presentes en la provincia de Cachapoal, región del Libertador General Bernardo O'Higgins. Se determinó que la calidad del agua del sector es de clase excepcional, según los once parámetros estudiados, presentando bajas concentraciones de N y P en las aguas superficiales durante el periodo de estudio; valores que podrían ser utilizados como referencia de calidad original en la Región del Libertador General Bernardo O'Higgins.

Utilizando como referencia la calidad de las aguas del Parque Nacional Las Palmas de Cocalán, se estableció que el estado de la calidad de las aguas superficiales cercanas a campos agrícolas es de mala calidad, con concentraciones que sobrepasan hasta en 12 veces la cantidad de N-NO₃ y 3 veces la cantidad de PO₄³⁻ del presentado en las aguas del Parque Nacional. Para los estándares establecidos, las aguas superficiales cercanas a campos agrícolas superaron los límites máximos permitidos de N-NO₃, sólidos totales, turbidez, conductividad eléctrica y temperatura. Resultados que dejan en evidencia la contaminación difusa causada por la agricultura en la Región, con grandes aportes de N y P a las aguas superficiales.

El estudio de la variabilidad temporal de los parámetros de calidad del agua superficial, determinó que las precipitaciones son un factor relevante en la disponibilidad de contaminantes en las aguas superficiales cercanas a campos agrícolas, registrándose un aumento en la temporada invierno del año 2014 en la cantidad de N y P de las aguas. Sin embargo, no se observó el mismo patrón en las aguas superficiales del Parque Nacional Las Palmas de Cocalán, ya que no se manifestó temporalidad en las concentraciones de los parámetros en estudio durante los ocho meses que duró la investigación.

BIBLIOGRAFÍA

Ayers, R. and D. Westcot. 1994. Water quality for agriculture. (Doc. N°29), FAO. [en línea]. Rome, Italy. Recuperado en: <<http://www.fao.org/DOCRp/003/T0234e/T0234E00.htm#pre>> Consultado el: 10 de enero de 2015.

Bolland, M. and R. Gilkes. 1998. The relative effectiveness of superphosphate and rock phosphate for soils where vertical and lateral leaching of phosphate occurs. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 51: 139-153.

Burt, T.; A. Heathwaite and S. Trudgill. 1993. Nitrate: Processes, Patterns and Management. Chichester, England: John Wiley & Sons Ltd. 444p.

Camargo, J. and A. Alonso. 2006, jun. Ecological and toxicological effects of inorganic nitrogen pollution in aquatic ecosystems: A global assessment. *Environment International*, 32(6): 831-849.

Casalí, J.; R. Gastesi; J. Álvarez-Mozos; L.M. De Santisteban; J. Del Valle de Lersundi; R. Giménez *et al.* 2008, oct. Runoff, erosion, and water quality of agricultural watersheds in central Navarre (Spain). *Agricultural Water Management*, 95(10): 1111–1128.

CONAF (Corporación Nacional Forestal), Chile. 2014. Parque Nacional Las Palmas de Cocalán. [en línea]. Santiago, Chile: CONAF. Recuperado en: <<http://www.conaf.cl/parques/parque-nacional-las-palmas-de-cocalan/>> Consultado el: 15 de noviembre de 2013.

Corradini, F.; F. Nájera; M. Casanova; Y. Tapia; R. Singh and O. Salazar. 2015, oct. Effects of maize cultivation on nitrogen and phosphorus loading to drainage channels in Central Chile. *Environ Monit Assess*, 187(11): 697-714.

Decreto N° 90. Establece norma de emisión para la regulación de contaminantes asociados a las descargas de residuos líquidos a aguas marinas y continentales superficiales. Ministerio Secretaría General de la Presidencia, 2000. 16p. [Publicada en Diario Oficial el: 7 de marzo de 2001].

DGA (Dirección General de Aguas). 2003, dic. Diagnóstico y clasificación de los cursos y cuerpos de agua según objetivos de calidad: Informe Final. (Doc. Téc N°1), CADE-IDEPE Consultores en Ingeniería. Santiago, Chile. 362p.

DGA (Dirección General de Aguas). 2004, dic. Diagnóstico y clasificación de cursos y cuerpos de agua según objetivos de calidad: Cuenca del Río Rapel. (Doc. Téc N°1), CADE-IDEPE Consultores en Ingeniería. Santiago, Chile. 183p.

Díaz, R. and R. Rosenberg. 2008, aug. Spreading dead zones and consequences for marine ecosystems. *Science*, 321(5891): 926-929.

Dirección meteorológica de Chile. 2015, oct. Informe climatológico. (Inf. N° 363). Dirección meteorológica de Chile. 2p.

Doménech, J. 2002, nov. Control de la calidad del agua. *Offarm*, 21(10): 138-146.

Dowd, B.; D. Press and M. Los Huertos. 2008, nov. Agricultural nonpoint source water pollution policy: The case of California's Central Coast. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 128(3): 151-161.

EPA (Environmental Protection Agency). 1993. Determination of turbidity by nephelometry. EPA method 180.1. Environmental Monitoring Systems Laboratory. Office of Research and Development. U.S. Environmental protection Agency. Cincinnati, Ohio. 10p.

Fixen, P. and F. West. 2002, mar. Nitrogen fertilizers: Meeting contemporary challengers. *Ambio*, 31(2): 169-176.

Golembeski, R. 2004. Agricultural practices and nitrate pollution in ground water in the central valley of Chile. Master of Science, Program of Marine Science. University of North Carolina at Wilmington. 79h.

González, L.; A. González y M. Mardones. 2003, jul. Evaluación de la vulnerabilidad natural del acuífero freático en la cuenca del río Laja, centro-sur de Chile. *Geológica de Chile*, 30(1): 3-22.

GORE Región del Libertador General Bernardo O'Higgins (Gobierno Regional Región del Libertador General Bernardo O'Higgins), Chile. 2012. Estrategia Regional de Innovación 2012 – 2015 Región del Libertador General Bernardo O'Higgins. [en línea]. Santiago, Chile: Gobierno de Chile. 127p. Recuperado en: <http://dellibertador.cl/planificacion/estrategia_innovacion_ohiggins_2012-2015.pdf> Consultado el: 25 de noviembre de 2013.

Hach. 2005, nov. DR5000 Spectrophotometer procedures manual. (Tech. Doc. N°2), Hach Company. Germany: Hach. 846p.

Hanrahan, G.; M. Gledhill; W. House and P. Worsfold. 2003. Evaluation of phosphorus concentrations in relation to annual and seasonal physico-chemical water quality parameters in a UK chalk stream. *Water Research*, 37(15): 3579-3589.

Instituto Nacional de Normalización, Chile. NCh1333. Of78. Requisitos de calidad del agua para diferentes usos. Santiago, Chile: INN, 1987. III, 9p.

Iriarte, A. 2007. Evaluación espacial de la lixiviación potencial de nitratos en suelos de la subcuenca del río Cachapoal bajo. Memoria Geógrafo. Santiago, Chile: Universidad de Chile. 124 h.

Li, S.; W. Liu; S. Gu; X. Cheng; Z. Xu and Q. Zhang. 2009, mar. Spatio-temporal dynamics of nutrients in the upper Han River basin, China. *Hazardous Materials*, 162(2-3): 1340-1346.

Matysik, M.; D. Absalon and M. Ruman. 2015. Surface Water Quality in Relation to Land Cover in Agricultural Catchments (Liswarta River Basin Case Study). *Polish Journal of Environmental Studies*, 24(1): 174-184.

MMA (Ministerio de Medio Ambiente), Chile. 2012. Informe del Estado del Medio Ambiente 2011. (Inf. N°2), MMA, Gobierno de Chile. [en línea]. Santiago, Chile: MMA. 512p. Recuperado en: <http://www.mma.gob.cl/1304/articles-52016_InformeEstadoMedioAmbiente_Completo_2011.pdf> Consultado el: 20 de noviembre de 2013.

Nájera, F.; Y. Tapia; C. Baginsky; V. Figueroa; R. Cabeza and O. Salazar. 2015, mar. Evaluation of soil fertility and fertilisation practices for irrigated maize (*Zea mays* L.) under Mediterranean conditions in central Chile. *Soil science and plant nutrition*, 15(1): 84-97.

ODEPA (Oficina de Estudios y Políticas Agrarias), Ministerio de Agricultura, Chile. 2015. Región del Libertador Bernardo O'Higgins, Información regional 2015. [base de datos en línea]. (Inf. Téc.), ODEPA. Chile: ODEPA. 12p. Recuperado en: <<http://www.odepa.cl/estadisticas/censos-y-catastros/>> Consultado el: 17 de noviembre de 2015.

OMS (Organización Mundial de la Salud). 2006. Guías para la calidad del agua potable, Recomendaciones. (Doc. N°1), OMS. [en línea]. Ginebra, Suiza. 398p. Recuperado en: <http://apps.who.int/water_sanitation_health/dwq/gdwq3_es_full_lowres.pdf?ua=1> Consultado el: 20 de noviembre de 2015.

Pizarro, J.; P. Vergara; J. Rodríguez; P. Sanhueza and S. Castro. 2010, mar. Nutrients dynamics in the main river basins of the centre-southern region of Chile. *Hazardous Materials*, 175(1-3): 608-613.

Ribbe, L; P. Delgado; E. Salgado and W. Flügel. 2008, jun. Nitrate pollution of surface water induced by agricultural non-point pollution in the Pochay watershed, Chile. *Desalination*, 226 (1-3): 13-20.

Robertson, G. and P. Vitousek. 2009, jul. Nitrogen in Agriculture: Balancing the Cost of an Essential. *Resource Annual Review of Environment and Resources*, 34(125): 34-97.

Rojas, C.; A. Chacón; S. Moyano P. Estay; P. Sepúlveda; J. Ormeño *et al.* 2007. Manejo de agroquímicos en sistemas hortícolas. (Bol. Téc. N° 167), Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Santiago, Chile: INIA. 198p.

Sadzawka, A. 2006, nov. Métodos de análisis de agua para riego. (Doc. Téc. N°37), Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Santiago, Chile: INIA. 332p.

Salazar, O.; I. Wesström and A. Joel. 2011. Identification of hydrological factors controlling phosphorus concentration in drainage water in sandy soils. *Soil Science and Plant Nutrition*, 11(2): 31-46.

Salazar, O.; I. Wesström; M. Youssef; R. Wayne and A. Joel. 2009, feb. Evaluation of the DRAINMOD–N II model for predicting nitrogen losses in a loamy sand under cultivation in south-east Sweden. *Agricultural Water Management*, 96(2): 267-281.

Sanchez, C.; C. Mandramootoo and N. Stämpfli. 2007, apr. Water table management impacts on phosphorus loads in tile drainage. *Agricultural Water Management*, 89(1-2): 71-80.

Santibáñez, F. y J. Uribe. 1993. Atlas Agroclimático de Chile: regiones sexta, séptima, octava y novena. Santiago, Chile: Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad de Chile. Esc. 1:1500.000. 99p.

Smith, V.; G. Tilman and J. Nekola. 1999. Eutrophication: impacts of excess nutrient inputs on freshwater, marine, and terrestrial ecosystems. *Environmental Pollution*, 100(1-3): 179-196.

SURPLAN LTDA. 2012, dic. Plan Regulador Comunal de Las Cabras: Estudio complementario paisaje y verde urbano. (Inf. Téc). SURPLAN LTDA. Chile. 22p.

Tesoriero, A. and F. Voss. 1997. Predicting the Probability of Elevated Nitrate Concentrations in the Puget Sound Basin: Implications for Aquifer Susceptibility and Vulnerability. *Groundwater*, 35(6): 1029-1039.

UNESCO (United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization). 2009. Water in a Changing World. (Tech. Rep. N°3), World Water Assessment Programme, UNESCO. [en línea]. París, Francia: UNESCO, and London, England: Earthscan. 318p. Recuperado en:

<http://webworld.unesco.org/water/wwap/wwdr/wwdr3/pdf/WWDR3_Water_in_a_Changing_World.pdf> Consultado el: 19 de febrero de 2014.

Winpenny, J.; I. Heinz; S. Koo-Oshima; M. Salgot; J. Collado; F. Hernández. *et al.* 2010. The wealth of waste: The economics of wastewater use in agriculture. (Tech. Rep. N°35), Food and Agriculture Organization of the United Nations. [en línea]. Rome, Italy: FAO. 129p. Recuperado en: <<http://www.fao.org/docrep/012/i1629e/i1629e.pdf>> Consultado el: 8 de noviembre de 2013.

Wu, I. and J. Chen. 2013, sep. Investigating the effects of point source and nonpoint source pollution on the water quality of the East River (Dongjiang) in South China. *Ecological Indicators*, 32: 294-304.

APÉNDICES

Apéndice I

Medidas de posición, valores mínimos y valores máximos utilizados en la construcción de los diagramas de cajas

Medidas de posición, valores máximos y valores mínimos de los siguientes parámetros de calidad de agua: NT = N total; N-NH₃ = N-amoniaco; N-NO₃ = N-nitrato; PO₄³⁻ = fosfato; PT = P total; DQO = demanda química de oxígeno; CE = conductividad eléctrica; Tur = turbidez; ST = sólidos totales y T = temperatura, muestreados en los puntos ubicados en el Parque Nacional Las Palmas de Cocalán.

Variables	Medidas y valores muestreados en QR				
	Mínimo	Máximo	Mediana	Cuartil 1	Cuartil 3
NT	0,37	1,20	0,72	0,57	0,95
N-NH ₃	0,03	1,17	0,20	0,05	0,40
N-NO ₃	0,47	1,23	0,92	0,83	1,00
PO ₄ ³⁻	0,18	0,33	0,27	0,23	0,31
PT	0,07	0,27	0,17	0,10	0,22
DQO	2,33	48,00	5,17	3,00	6,33
CE	108,03	163,77	135,00	120,00	150,00
pH	7,02	7,99	7,66	7,32	7,72
Tur	0,76	4,20	2,60	1,84	3,34
ST	25,00	191,67	155,84	70,00	160,00
T	8,23	18,87	11,55	8,23	12,67
Variables	Medidas y valores muestreados en LP				
	Mínimo	Máximo	Mediana	Cuartil 1	Cuartil 3
NT	0,30	1,27	0,70	0,40	1,00
N-NH ₃	0,05	2,10	0,20	0,05	0,97
N-NO ₃	0,53	1,17	1,00	0,60	1,10
PO ₄ ³⁻	0,21	0,34	0,28	0,24	0,33
PT	0,16	0,24	0,19	0,17	0,23
DQO	0,00	14,00	2,00	1,00	8,00
CE	80,00	150,00	126,67	108,97	140,00
pH	7,23	8,02	7,80	7,49	7,83
Tur	0,94	5,78	1,78	1,20	3,36
ST	53,33	255,00	178,33	81,67	205,00
T	13,07	23,60	18,97	13,60	20,50

Medidas de posición, valores máximos y valores mínimos de los siguientes parámetros de calidad de agua: NT = N total; N-NH₃ = N-amoniaco; N-NO₃ = N-nitrato; PO₄³⁻ = fosfato; PT = P total; DQO = demanda química de oxígeno; CE = conductividad eléctrica; Tur = turbidez; ST = sólidos totales y T = temperatura, muestreados en los puntos ubicados en campos agrícolas.

Variables	Medidas y valores muestreados en SL				
	Mínimo	Máximo	Mediana	Cuartil 1	Cuartil 3
NT	1,93	5,73	2,96	2,20	4,13
N-NH ₃	0,20	3,33	0,33	0,20	0,43
N-NO ₃	2,23	6,00	3,37	2,37	3,53
PO ₄ ³⁻	0,21	0,93	0,35	0,22	0,46
PT	0,14	0,90	0,31	0,21	0,42
DQO	6,33	41,33	13,50	6,67	26,00
CE	273,33	776,67	550,00	526,67	613,33
pH	6,98	8,47	7,93	7,86	8,06
Tur	6,86	103,07	19,83	8,35	29,03
ST	203,33	658,33	553,33	370,00	580,00
T	10,10	23,17	16,33	13,37	18,73
Medidas y valores muestreados en CLC					
NT	2,57	27,07	6,08	2,83	12,13
N-NH ₃	0,20	7,33	0,34	0,23	0,45
N-NO ₃	1,43	28,37	5,68	2,67	10,57
PO ₄ ³⁻	0,26	1,36	0,49	0,35	0,53
PT	0,19	1,27	0,47	0,22	0,51
DQO	12,33	52,67	32,50	18,50	42,33
CE	350,00	1623,33	617,34	357,67	1011,33
pH	6,52	8,35	7,73	7,21	8,07
Tur	13,17	1262,33	166,92	22,17	509,33
ST	448,33	1658,33	1230,84	1001,67	1331,67
T	10,90	32,83	14,50	11,07	22,93

Apéndice II

Análisis Componentes Principales: Correlaciones con las variables originales

Componentes Principales (CP) generadas de la combinación lineal de las variables originales previamente estandarizadas. Abreviaturas: NT = N total; N-NH₃ = N-amoniaco; N-NO₃ = N-nitrato; PO₄³⁻ = fosfato; PT = P total; DQO = demanda química de oxígeno; CE = conductividad eléctrica; Tur = turbidez; ST = sólidos totales y T = temperatura

Variables	Componentes principales	
	CP 1	CP 2
NT	0,94	-0,15
N-NH ₃	-0,01	-3,6E-03
N-NO ₃	0,91	-0,18
PO ₄ ³⁻	0,93	-0,07
PT	0,88	0,05
DQO	0,74	2,8E-04
CE	0,91	0,10
PH	-0,39	0,43
Tur	0,14	0,90
ST	0,75	0,47
T	-0,08	0,90