

CAMBIOS MORFOMETRICOS EN UNA LAGUNA PAMPEANA (ARGENTINA) COMO CONSECUENCIA DE LA VARIABILIDAD PLUVIOMÉTRICA (1960-2015) Y SUS POSIBLES EFECTOS SOBRE LA COMUNIDAD ICTICA

MORPHOMETRICAL CHANGES IN A PAMPEAN SHALLOW LAKE (ARGENTINA) AS A CONSEQUENCE OF RAINFALL VARIABILITY (1960-2015): POSSIBLE EFFECTS ON FISH COMMUNITY

Josefina ZUNINO¹, Federico FERRELLI¹, María Cintia PICCOLO^{1,2}

¹Instituto Argentino de Oceanografía, Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas. Buenos Aires, Argentina.

Email: jzunino@iado-conicet.gob.ar; fferrelli@iado-conicet.gob.ar

²Departamento de Geografía y Turismo, Universidad Nacional del Sur, Buenos Aires, Argentina.

Email: ofpiccol@criba.edu.ar

Introducción
Materiales y Métodos
Área de estudio
Metodología
Análisis pluviométrico
Parámetros morfométricos
Caracterización limnológica
Resultados
Variabilidad de las precipitaciones
Batimetría y morfometría
Caracterización limnológica y calidad del agua
Discusión
Conclusión
Agradecimientos
Referencias

RESUMO - O objetivo deste estudo foi analisar a variabilidade da precipitação e os seus efeitos sobre as alterações morfométricas e limnológicas na Lagoa Puan (Argentina) a fim de interpretar a dinâmica das populações das espécies *Odontesthes bonariensis*, para estudar mudanças no habitat durante no período 1960-2015. Para isso, os dados de precipitação foram estudados com o método Quintile e o Índice de Precipitação Padronizado. Os parâmetros morfométricos foram calculados por processamento digital de imagens de satélite LANDSAT 8 OLI-TIRS. As variáveis limnológicas foram estudadas a partir de dados registrados *in situ*. Além disso, foram analisados dados da espécie *Odontesthes bonariensis* fornecidos pelo Ministério de Assuntos Agrários da Argentina. Os resultados mostraram que o tamanho e a quantidade de peixes de *O. bonariensis* apresentaram correlação significativa com a área da lagoa. A redução da área lagunar ocorreu em 2013 e o aumento na condutividade e o aumento da temperatura da água, juntamente com uma pesca intensiva, levaram ao ecossistema condições tão críticas para esta espécie que atualmente não é encontrada na lagoa. Os resultados obtidos representam um banco de dados necessário para orientar futuras estratégias de manejo sustentável em uma lagoa rasa com atividade de turismo de lazer e pesca esportiva.

Palabras clave: Lagoa de Puan; Precipitações; Parâmetros morfométricos; Variações limnológicas.

ABSTRACT - The aim of this study was to analyze the pluviometric variability and its effects on the morphometric and limnological variations in the shallow lake of Puan (Argentina) in order to interpret the population dynamics of the specie *Odontesthes bonariensis* considering the alternation between wet and dry events, during the period 1960-2015. Standard Precipitation Index (SPI) and Quintiles method were applied in order to study the rainfalls behavior. Morphometric parameters were calculated from digital processing of LANDSAT 8 OLI-TIRS, while limnological variables were studied with samples taken *in situ*. Besides, data of the *O. bonaerensis* provided by the Ministry of Agrarian Affairs (Argentina) were analyzed. The results evidenced that the size and quantity of *O. bonariensis* have a significant correlation with the area. In addition, during 2013 the decrease of the area and the conductivity along with the increase in the water temperature and an intensive fishing occasioned critical condition in the ecosystem and currently the *O. bonariensis* is absent in this shallow lake. The results obtained in this study, represent a tool to establish sustainable management strategies on a shallow lake with recreational and touristic activities.

Keywords: Puan shallow lake; rainfalls; morphometric parameters; limnological variations.

INTRODUCCIÓN

La influencia del régimen de lluvias en la morfometría de lagos poco profundos ha sido ampliamente estudiada (Ezzat Elshamy et al., 2006; Swenson & Wahr, 2009; Turner et al., 2010). Sin embargo, los estudios que relacionan la variabilidad pluviométrica con los cambios morfométricos y ambientales orientados a

interpretar posibles consecuencias sobre las comunidades ícticas, son escasos. Las lagunas someras presentan variaciones en diferentes escalas temporales y espaciales (Wetzel, 2001) debido no sólo a procesos regionales y locales, sino también a fenómenos globales (ej., El Niño-Oscilación Sur (ENSO)).

La variación espacial de un lago depende del uso antrópico de la cuenca, la geomorfología y el clima (por ejemplo: la variabilidad pluviométrica). Los cambios significativos de nivel del agua y el área de lagos poco profundos pueden modificar las condiciones fisicoquímicas del agua y afectar directamente las comunidades biológicas (Quiros et al., 2002; Meyer et al., 2005; Walsh et al., 2005; Steele et al., 2014). La morfometría es una característica que permite estudiar de manera integrada los ecosistemas lacustres y proporciona una herramienta para analizar su productividad biológica y la pesca deportiva (Ayenew & Demlie, 2004; Bohn et al., 2016).

Las lagunas de la Región Pampeana (Argentina) son lagos de llanura poco profundos (0,5 - 5 m) altamente variables en salinidad y permanencia del agua. Su hidrología está estrechamente relacionada con las precipitaciones locales. Al estar ubicadas en una zona de suaves pendientes y suelos fértiles hay una tendencia a la carga de nutrientes (Quiros et al., 2002; Sosnovsky & Quirós 2006). Son un distintivo del paisaje pampeano y están fuertemente relacionadas a la economía regional por su explotación turística y pesquera. La pesca comercial y deportiva tiene gran importancia para las economías locales y regionales.

Actualmente, existen numerosos trabajos referidos al efecto de las precipitaciones sobre la dinámica morfométrica de los cuerpos de agua temporarios o permanentes (Dangavs, 2005; Dukatz et al., 2005; Torremorel et al., 2007; Bohn, 2009, Bohn et al., 2011, 2016; Ferrelli & Aliaga, 2016). En lo que respecta a la importancia ecológica de la morfometría, Tavernini et al. (2003) estudiaron su influencia sobre la distribución de algunas especies de zooplancton. En este contexto, se destaca que los estudios que involucran los efectos sobre los peces ayudan a comprender la dinámica ecológica de lagunas someras, dada la sensibilidad de las

mismas a la variabilidad climática y la actividad antrópica.

El área de estudio de la presente investigación es la laguna pampeana de Puan. La misma se localiza en el sudoeste de la provincia de Buenos Aires (Argentina). Sobre sus márgenes se emplaza una ciudad, por lo que su comportamiento es similar a la de los lagos urbanos. Funcionalmente, este tipo de lagos son diferentes dado que con frecuencia se vuelven más vulnerables a la acción humana ya que actúan como receptores directos de vertidos de diferente naturaleza. Esto acelera el proceso de eutrofización y deteriora progresivamente la calidad del agua (Oliva Martinez et al., 2008; Albornoz et al., 2009; Ezekiel et al., 2015). La principal actividad económica de la laguna de Puan es la recreación, en donde la pesca deportiva y artesanal de pejerrey (*Odontesthes bonariensis*) es reconocida regionalmente (Somoza et al., 2008; Garcia de Souza et al., 2015).

Sin embargo, se ha observado que la población de esta especie se ha reducido considerablemente en número y tamaño (Dirección Nacional de Pesca, Ministerio de Asuntos Agrarios de la provincia de Buenos Aires, Argentina, 2014).

Son escasos los estudios realizados sobre esta laguna (Grosman et al., 2005; Campo et al., 2012; Geraldí et al., 2011; Bohn et al., 2016). Los mismos permiten inferir que su área y sus características limnológicas han variado a través de los años. Sin embargo, en ninguno de ellos se evalúa la implicancia de estas variaciones sobre el pejerrey. Por lo tanto, el objetivo de este trabajo fue analizar la variabilidad pluviométrica y sus efectos sobre las variaciones morfométricas y limnológicas de la laguna de Puan con el fin de interpretar la dinámica poblacional de la especie *Odontesthes bonariensis* ante los cambios de hábitat derivados de la alternancia de períodos húmedos y secos.

ÁREA DE ESTUDIO

La laguna de Puan (37°33'13"S; 62°47'46"W) está localizada en el partido homónimo al sudoeste de la provincia de Buenos Aires, Argentina. Su área es de 7 km² y se caracteriza por ser altamente influenciado por la alternancia de eventos secos y húmedos (Figura 1). Su clima es templado, con estacionalidad

térmica y pluviométrica (Bohn, 2009). Se encuentra en una zona de fuertes vientos y con suelos drenados. En sus márgenes noroeste se encuentra la ciudad de Puan, con 4738 habitantes según el censo del Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INDEC, 2010). El Arroyo Pichincay, de carácter semipermanente,

es su único afluente. El mismo, se origina a 8 km al sudeste de la laguna en la base de los afloramientos del Sistema Ventania. Este último es el sistema serrano más alto de la Provincia de Buenos Aires con orientación noroeste-sudoeste y da origen a numerosos ríos y lagunas. Tanto la extensión del arroyo como

su caudal dependen directamente de las precipitaciones y la descarga que aportan las sierras. El Sistema Ventania da origen a la isla central que forma parte de la laguna. Es representativa de un ambiente léntico de tipo fluvial, poco profundo con sus costas de barrancas bajas de tosca.

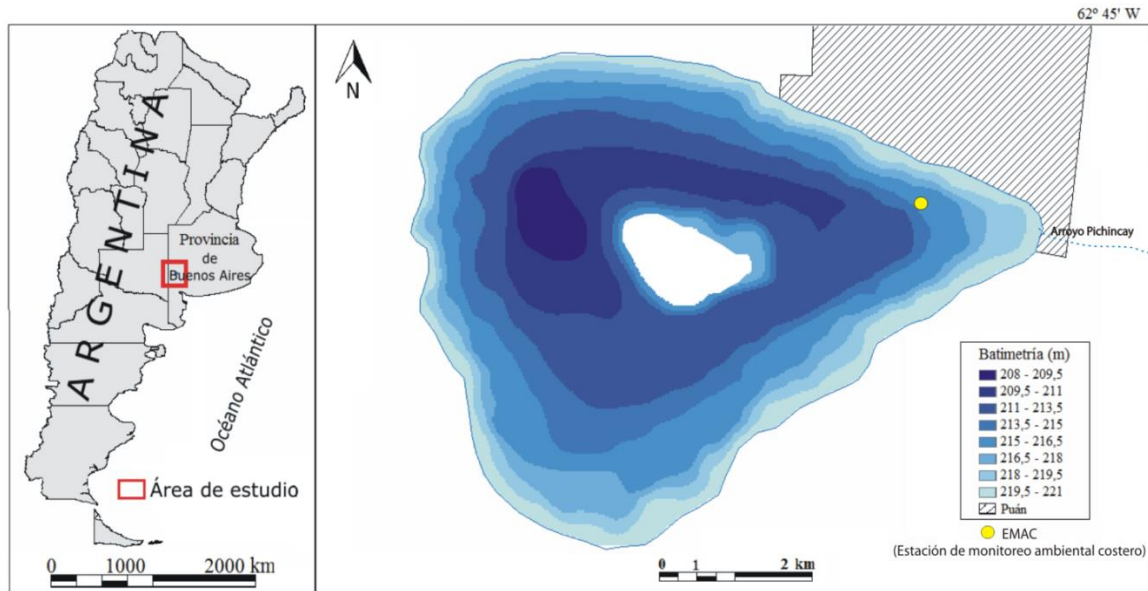


Figura 1 - Localización del área de estudio y batimetría de la Laguna de Puan.

METODOLOGIA

La metodología aplicada en este estudio se dividió en cuatro pasos y se presenta en la figura 2. El primero fue el estudio de la variabilidad pluviométrica de la región durante el período 1960-2015, destacando principalmente en el período 2007-2015. Esto se realizó ya que este período es el que corresponde con la disponibilidad de datos de las otras variables ambientales consideradas en los pasos siguientes.

El segundo paso fue la selección de un período seco (2013) y otro húmedo (2015) para verificar si la laguna de Puan presenta una variación morfométrica como resultado de la alternancia de eventos secos y húmedos. Posteriormente, en el tercer paso se verificó si el efecto de estos eventos pluviométricos impacta además en las características limnológicas de la laguna. Finalmente, considerando las variables de temperatura del agua, peso y cantidad de peces, área de la laguna y precipitación (denominadas variables ambientales), se realizó un estudio temporal de las variaciones de la especie *O. bonaerensis* para interpretar el efecto de estas variables

sobre el comportamiento de estos peces. A continuación, se detalla la metodología aplicada en cada uno de los pasos seleccionados.

Variabilidad pluviométrica

Para conocer la dinámica hidrográfica de la laguna se realizó un análisis histórico de las precipitaciones mensuales de una serie de tiempo de 55 años (1960-2015) con el fin de caracterizar la variabilidad pluviométrica local y la alternancia de períodos húmedos y secos.

Con este análisis se caracterizó el período 2007- 2015 considerando la transición de un período seco a uno húmedo que ocurrió durante 2013-2015. Se estudiaron los períodos secos y húmedos de la región y su relación con la intensidad del Índice Oceánico El Niño (ONI. *Ocean Niño Index, Prediction Climatic Center*). La precipitación fue estudiada utilizando tres métodos. Se consideró la distribución de sus frecuencias en relación a la distribución normal y a las medidas de tendencia central (Ferrelli et al., 2012); se calculó el Índice Estandarizado de Precipitación (IEP) propuesto por Edwards & McKee (1997) y el método de Quintiles (Bolognesi, 1971).

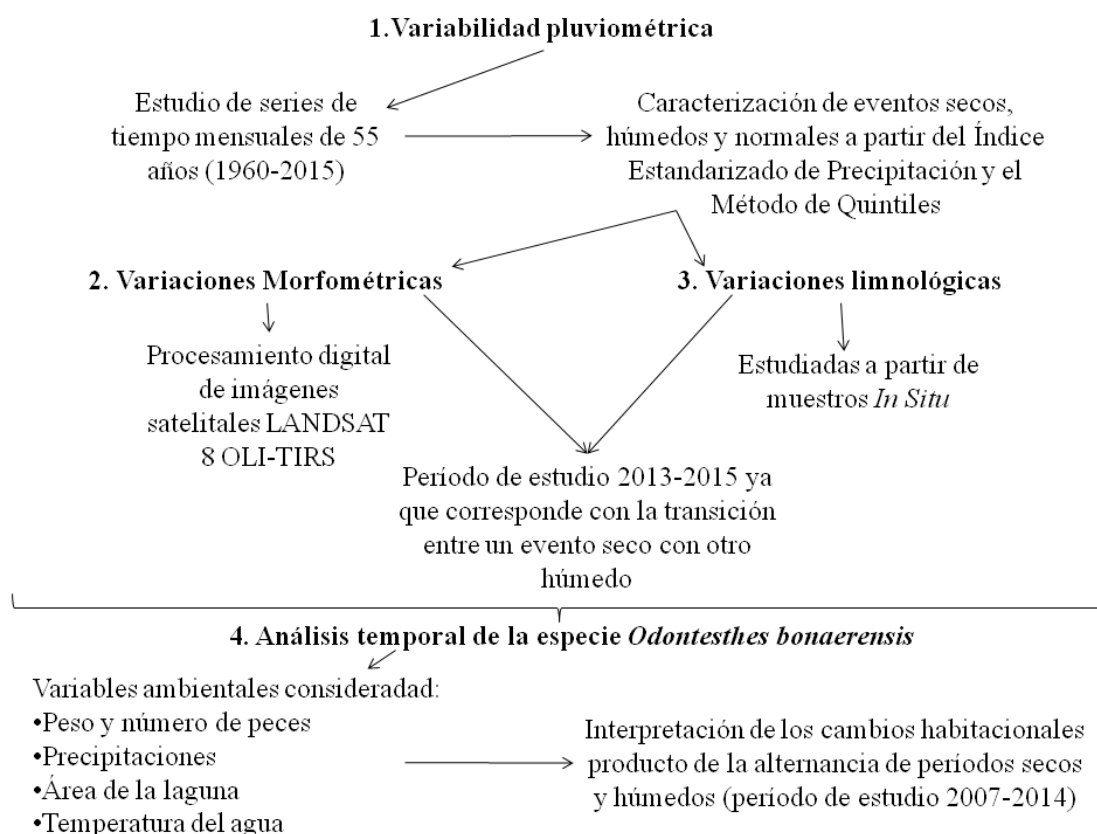


Figura 2 - Esquema metodológico utilizado en esta investigación.

Para el cálculo del IEP, se ajustaron los datos a una distribución estadísticamente normal de manera tal que el 0 correspondiese con el valor medio. Posteriormente, se caracterizaron los períodos según lo expresado en la tabla 1 (Edwards & McKee, 1997). El

método de Quintiles permitió caracterizar los años en secos, lluviosos y normales. Se calcularon los quintiles del período de estudio y se tuvo en cuenta el criterio presentado en la Tabla 1 para la clasificación de los totales anuales de precipitación (Bolognesi, 1971).

Tabla 1 - Clasificación de los períodos anuales de precipitación según el Método de Quintiles (Bolognesi, 1971) y el IEP (P=precipitación anual).

Método de Quintiles		IEP	
		Extremadamente seco	<-2
Muy Seco	$P_p < 1Q$	Muy Seco	>-1,5<-2
Seco	$1Q \leq P_p < 2Q$	Seco	>-1<-1,5
Normal	$2Q \leq P_p < 3Q$	Normal	<1 >-1
Lluvioso	$3Q \leq P_p < 4Q$	Húmedo	>1<1,5
		Muy Húmedo	>1,5<2
Muy Lluvioso	$P_p \geq 4Q$	Extremadamente Húmedo	>2

Variaciones morfométricas

El cálculo de estos parámetros requirió de la batimetría de la laguna de Puan. En un primer momento se realizaron salidas de campo con un GPS convencional (Garmin Etrex 9) para identificar las cotas en msnm (metros sobre el

nivel del mar) detalladas en el mapa batimétrico de Nervi (1983). Posteriormente, se seleccionaron puntos de control en los que se midieron las distintas profundidades con una sonda multiparamétrica YSI V2, considerando un muestreo de tipo discrecional. Se registraron

126 puntos de control sobre el oeste de la laguna (donde las variaciones de profundidad son mayores) y 96 al este (donde las pendientes son más suaves). Una vez obtenidos los datos se incorporaron en el Sistema de Información Geográfica ArcGIS 9.3 y se los interpoló con el método Kriging de tipo ordinario y con un modelo esférico.

Con el objetivo de analizar las variaciones espacio-temporales de la laguna durante períodos pluviométricos contrastantes (2013 seco, 2015 muy lluvioso), se calcularon distintos parámetros morfométricos a partir del procesamiento de imágenes satelitales LANDSAT 8 OLI-TIRS (path 227, row 086). Los índices calculados para la laguna fueron los propuestos por Hutchinson (1957) y Häkanson (1981): Área (A); Perímetro (P); Profundidad Máxima (Z); Volumen de agua (V) ($V = A \cdot Z$), Relación entre la longitud máxima y el ancho medio de la laguna (LW); Longitud Máxima Total (LMT); Ancho Medio (AMe) ($AMe = A/L$); Ancho máximo (AM) y Desarrollo de línea de costa (DLC). Este parámetro refleja el potencial del lago al desarrollo de comunidades litorales. Este parámetro está dado por la Ecuación 1:

$$DLC = (P / 2(\pi A)^{1/2}) \quad (\text{Ecuación 1})$$

Para el cálculo de estos parámetros se utilizaron dos imágenes satelitales LANDSAT 8 OLI-TIRS correspondientes al 28 de noviembre de 2013 y 20 de diciembre de 2015. Estas fueron adquiridas del *United States Geological Survey* (USGS, Estados Unidos). Se procesaron con el método no supervisado ISODATA (*Interactive Self-Organizing Data Analysis Technique Algorithm*) aplicado en los estudios de Bohn (2009); Ferrelli & Aliaga (2016). El mismo permitió diferenciar los cuerpos de agua de la superficie terrestre debido a sus diferencias radiactivas y reflectivas. Este método fue validado para la Región Pampeana con imágenes de mayor resolución espacial (SPOT 5) por Aliaga et al. (2016b).

Por otro lado, se midió la variación del nivel del agua en alta frecuencia (10 minutos) con un limnógrafo localizado en la margen oeste de la laguna. El sensor es parte de una de las Estaciones de Monitoreo Ambiental Costero (EMAC) pertenecientes al Instituto Argentino de Oceanografía (IADO-CONICET) (Figura 1).

Variaciones limnológicas

Durante el período 2013-2015, se realizaron muestreos mensuales de agua a nivel superficial para determinar la concentración de clorofila *a* y el total de sólidos en suspensión (seston). Las muestras se adquirieron en tres puntos de la laguna y representaron las condiciones de la costa, la zona media y la parte más profunda de la misma. Además, se midió *in situ* la transparencia del agua con Disco de Secchi (DS) y las variables fisicoquímicas de conductividad, salinidad, oxígeno disuelto y pH con una sonda multiparamétrica (Horiba U-10). La concentración de clorofila *a* se obtuvo fluorométricamente siguiendo el protocolo APHA AWWA WEF (2005). La concentración del total de sólidos en suspensión (seston) se calculó gravimétricamente (APHA, 2005).

Se efectuó un análisis químico del agua para determinar cationes, aniones, alcalinidad, fluoruros, arsénico y dureza. Se registraron 3 muestras de agua, las cuales fueron registradas, transportadas y analizadas conforme a las recomendaciones detalladas en APHA (1995). La determinación representa los valores medios de las tres réplicas adquiridas una vez durante el período de estudio ya que el objetivo fue el de evaluar la calidad general del agua.

Análisis temporal de *Odontesthes bonariensis*

Para el estudio ictiológico, se analizaron datos históricos publicados por el Ministerio de Asuntos Agrarios de la provincia de Buenos Aires (Argentina) referidos al estado general de la comunidad íctica lagunar durante el período 2007-2014. Los muestreos estuvieron dirigidos al estado poblacional del pejerrey (*Odontesthes bonariensis*) dado que en la laguna de Puan se practica la pesca deportiva de esta especie. La población fue evaluada en todos los muestreos mediante captura por unidad de esfuerzo (CPUE) definida como el promedio de las capturas para un tiempo de tendido de 12 horas de duración, en cantidad (CPUE_n) y en peso (CPUE_w) y registradas en ind u.e⁻¹ y kg u.e⁻¹.

Por último, se estudiaron las variaciones temporales de la temperatura del agua, la modificación del área de la laguna y CPUE_n y CPUE_w para comprender los cambios ambientales que pudiesen afectar la población de *Odontesthes bonariensis*. Dado que se está

midiendo la temperatura del agua desde 2014, para estimar la temperatura del agua desde el año 2007 se efectuó un análisis de regresión, tomando como variable independiente la temperatura del aire de la Estación Experimental Agropecuaria (EEA) Bordenave (INTA, Argentina) del período

2007-2015. El resultado del mismo fue altamente significativo ($p < 0,01$) con un coeficiente de determinación $R^2 = 0,92$. Sobre la base de datos conformada por CPUEw, CPUEn, temperatura del agua, área y precipitaciones se aplicó un análisis de correlación de Pearson.

RESULTADOS

Variabilidad de las precipitaciones (1960-2015)

La precipitación media anual de Puan es 652mm. Según el Índice Estandarizado de Precipitación (IEP), la laguna está afectada por numerosos períodos secos y húmedos (Figura 3). Los períodos Extremadamente Secos ocurrieron en 1961-1962, 1988-1989 y 2008-

2009. Los mismos coincidieron con períodos La Niña moderada y fuerte según el *Oceanic Niño Index* (ONI).

El período 2014-2015, se caracterizó por ser Extremadamente Húmedo. En la serie estudiada (1960-2015), sólo se registraron dos eventos de esta intensidad, el más intenso ocurrió en 1990-1992 (Figura 3).

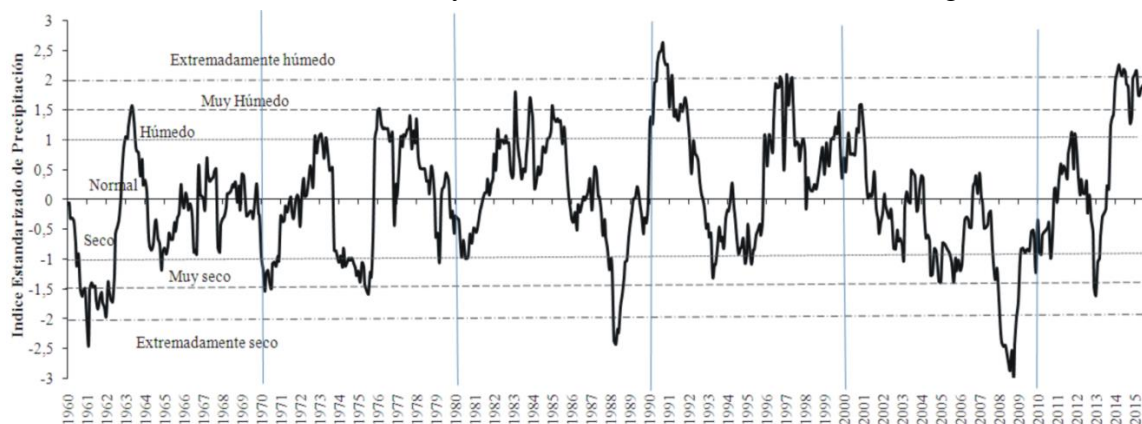


Figura 3 - Índice Estandarizado de Precipitación (IEP). Período 1960 – 2015.

En 2013 se registraron 427 mm anuales. En ese momento, la laguna se encontraba bajo la influencia de un período seco. Luego las precipitaciones se incrementaron a 841 mm en 2014 y a 1122 mm en 2015 (Tabla 2).

Los años 2014 y 2015 se correspondieron con eventos El Niño moderado y muy fuerte, respectivamente. Durante 2014, las precipitaciones fueron mayores en la primavera

y el otoño. El mes más lluvioso fue octubre (276 mm).

El año 2015 presentó el abril más lluvioso de los últimos 55 años (258 mm) y fue el mes más lluvioso de ese año.

A partir de entonces, las precipitaciones comenzaron a disminuir, pero ocasionaron que el nivel del agua de la laguna se mantuviera constante ($\cong 1,3$ m).

Tabla 2 - Precipitación anual, resultados de Quintiles, Índice estandarizado de precipitación (IEP) y anomalías de precipitación durante el período 2007-2015 en la Laguna de Puan. Se resalta la transición entre un evento muy seco y uno muy lluvioso.

Precipitación		Anomalía		
Años	anual	Precipitación	Quintiles	IEP
2007	673,7	21,8	Normal	0,31
2008	447,8	-204,1	Seco	-1,41
2009	345,7	-306,2	Muy seco	-2,86
2010	438,8	-213,1	Seco	-1,33
2011	674,4	22,5	Normal	-0,87
2012	883,8	231,9	Lluvioso	0,62
2013	427,1	-224,8	Muy seco	-1,61
2014	841,5	189,6	Lluvioso	1,97
2015	1122,8	470,8	Muy lluvioso	2,19

Batimetría y morfometría (2013-2015)

La batimetría de la laguna de Puan (Figura 1) mostró que es un cuerpo de agua somero cuya profundidad máxima es 5,5 m. Según el índice de desarrollo de línea de costa es una cubeta de forma elipsoidal. Posee una isla subcentral de una superficie de 0,35 km². En el sur del cuerpo de agua se observan pendientes suaves (0,04 %) y como consecuencia de ello es la zona más afectada durante los períodos de inundaciones. En diciembre 2015, la costa de la laguna llegaba hasta la cota 212 msnm (metros sobre el nivel del mar). El límite costero de la localidad de Puan se ubica a los 218 msnm, siendo este el valor límite por encima del cual

se comienza a inundar la ciudad.

Desde diciembre de 2013 hasta diciembre de 2015 el área de la laguna se incrementó un 50,8 % es decir 3 km². Asimismo, se registró un aumento del perímetro (1,2 km) y la profundidad máxima (0,3 m), el volumen de agua, la longitud máxima (0,4 km), el nivel (0,8 m) y el ancho medio (0,3 km). El DLC no presentó cambios (Tabla 3).

Caracterización limnológica y calidad del agua (2013-2015)

Debido a las intensas precipitaciones observadas durante los años 2014 y 2015 el nivel del agua aumentó ocasionando una disminución de la conductividad del agua (Figura 4).

Tabla 3 - Variación de los parámetros morfométricos de la laguna de Puan en un año muy seco (2013) y uno muy lluvioso (2015).

Parámetros Morfométricos	Año muy seco	Año muy lluvioso
Área (km ²)	5,9	8,9
Perímetro (km)	10	11,2
Profundidad Máxima (m)	2,9	3,2
Volumen de la laguna (m ³)	0,019	0,023
Longitud Máxima (km)	3,5	3,9
Ancho Medio (km)	2,5	2,8
LW (km)	1,4	1,4
Desarrollo de Línea de Costa	1,1	1,1
Nivel del agua	0,5	1,3

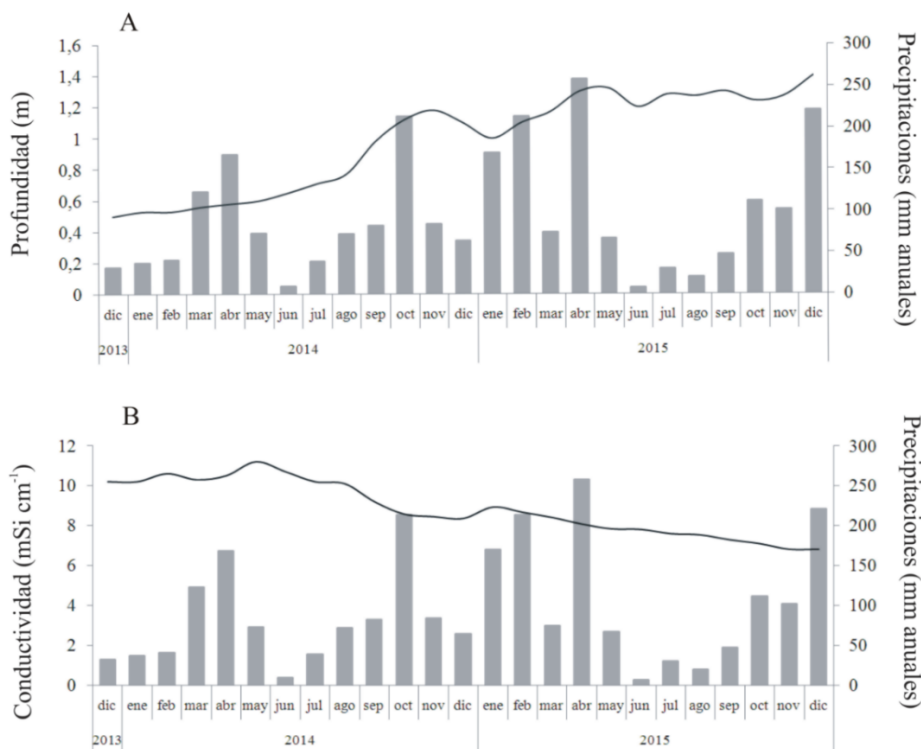


Figura 4. A. Variación del nivel de agua y la precipitación durante el período de estudio; B. Variación de la conductividad y la precipitación. Para ambos casos, las precipitaciones se graficaron en barras.

La transparencia (analizada a partir del Disco Secchi) registró un valor medio de 0,41 cm. Los valores más altos, correspondientes a las mayores transparencias, se observaron en los meses de invierno (junio, julio, agosto) de 2015. El pH medio fue 9,5 y siempre fue alcalino, su valor mínimo se registró en junio de 2015 y el oxígeno disuelto fue mayor a 7 mg

l^{-1} durante todo el periodo. Su tendencia fue decreciente ya que en diciembre 2013 registró 9 $mg\ l^{-1}$ y en diciembre 2015, 6 $mg\ l^{-1}$. Los valores de seston fueron inferiores a 100 $mg\ l^{-1}$, con valor medio de 35,6 $mg\ l^{-1}$.

La clorofila *a* fue inferior a 10 $\mu g\ l^{-1}$ incluso durante el mes de octubre donde el fluorómetro no registró absorbancia (Tabla 4).

Tabla 4. Variación de los parámetros fisicoquímicos de la Laguna de Puan entre un año seco (2013) y un año lluvioso (2015). **Med:** valor medio, **Min:** valor mínimo, **Max:** valor máximo.

	Año Seco (2013)			Año Lluvioso (2015)		
	Med	Min	Max	Med	Min	Max
Disco Secchi (m)	0,40 ± 0,18	0,23	0,62	0,65 ± 0,09	0,42	0,82
Temperatura del agua (°C)	12,6 ± 7,5	7,4	22,8	15,64 ± 6,5	7,81	23,1
Oxígeno disuelto (mg/L)	9,79 ± 3,21	9,0	11,64	10,76 ± 3,1	5,31	18,6
pH	9,8 ± 0,8	8,7	11,6	9,23 ± 0,6	8,28	10,39
Salinidad	6,34 ± 0,06	5,2	8,00	4,38 ± 0,01	4,00	4,9
Conductividad (mS/cm)	9,8 ± 1,3	8,36	11,2	7,77 ± 0,8	6,82	8,93
Seston (mg/L)	46,3 ± 7,6	25,00	94,00	17,5 ± 4,2	6,74	54,13
Clorofila <i>a</i> ($\mu g/L$)	2,97 ± 7,5	0,00	10,4	2,50 ± 5,3	0,33	7,49

Por otro lado, en relación a los parámetros fisicoquímicos, el análisis químico del agua determinó que la laguna de Puan es inodora y de color pardo. La dureza total medida en $CaCO_3$ es 60 $mg\ l^{-1}$. Los cloruros (Cl) son 850 $mg\ l^{-1}$, los sulfatos (SO_4) 825 $mg\ l^{-1}$, el calcio 7 $mg\ l^{-1}$, sodio (Na) 2272 $mg\ l^{-1}$, magnesio (Mg) 10 $mg\ l^{-1}$, fluoruros (F) 19,55 $mg\ l^{-1}$ y de

arsénico de 0,25 $mg\ l^{-1}$. El análisis de la temperatura del agua reveló que sin bien se observa un comportamiento estacional típico de latitudes medias, durante el período 2009-2012 las máximas superaron los 25 °C (valor crítico) particularmente en los meses comprendidos entre noviembre-marzo (2009-2010) y noviembre-enero (2012-2013) (Figura 5).

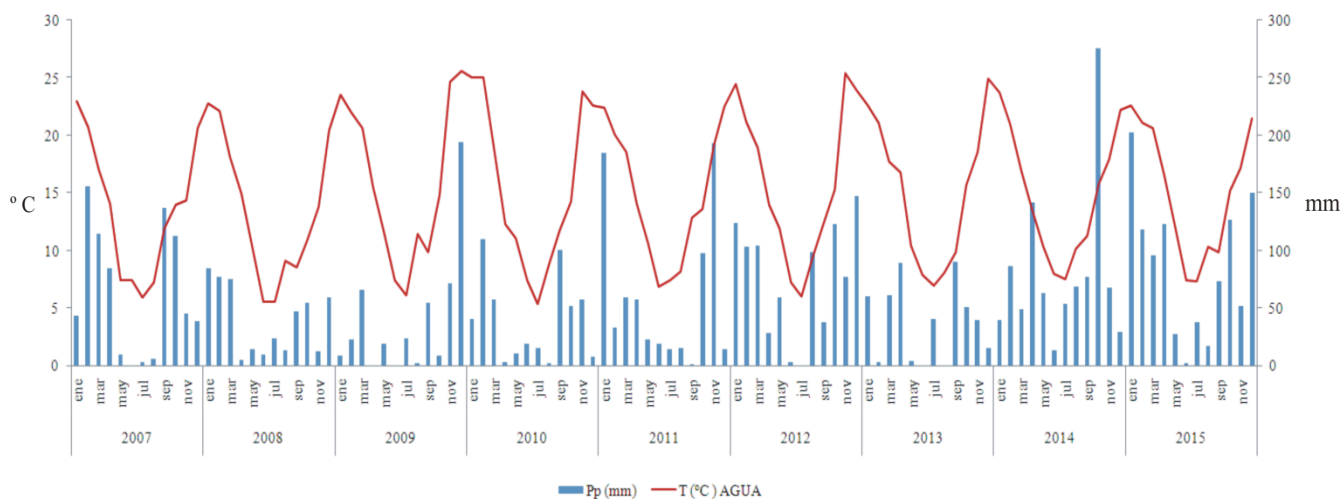


Figura 5 - Distribución temporal de la temperatura del agua (°C) y las precipitaciones mensuales para el período 2007-2015.

Análisis temporal de *Odontesthes bonariensis* (2007-2014)

En el año 2009 (período de sequía), se registró el valor más alto de CPUEn y la CPUEw se mantuvo cercana a los valores del año 2007. En el 2009 se calcularon aproximadamente 3,7 kg de pejerrey por hectárea. Los mismos tuvieron una longitud mayor a 245 mm, refiriéndose a una población de pejerrey de bajo valor deportivo o comercial. Durante ese año la temperatura media anual del agua fue 2 °C mayor que en 2007 (15,6 y 13,6 °C, respectivamente). El área lagunar fue 6,4 km² en 2009, 5,9 km² en 2013 y 8,9 km² en

2014. Durante 2009-2013 se observa una disminución del hábitat acompañado por el aumento en la temperatura del agua. Ambos factores están relacionados con las escasas precipitaciones. Simultáneamente, la comunidad íctica de la laguna de Puan se redujo significativamente durante el período 2007-2014 (Figura 6). En particular, en los años 2013 y 2014 los muestreos de captura no arrojaron resultados (Figura 7) y se observó la desaparición de las especies de interés deportivo y comercial (*Odontesthes bonariensis*). A partir de este momento, las variables CPUEn y CPUEw presentaron valores de cero (Figura 6).

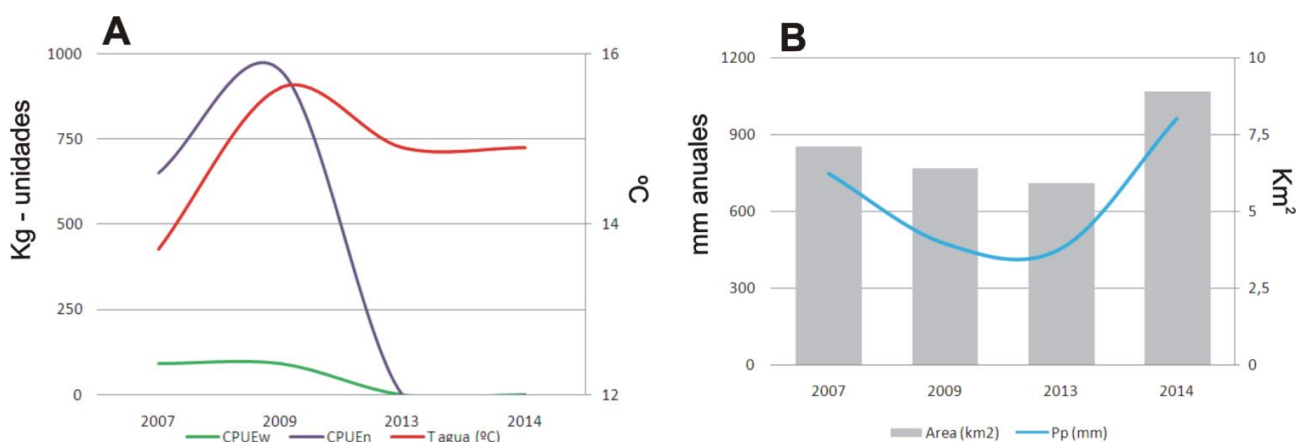


Figura 6 - Distribución temporal de distintos parámetros para el período 2007-2014. **A.** CPUEw: Captura por unidad de esfuerzo por peso, CPUEn: Captura por unidad de esfuerzo por cantidad y T agua: Temperatura media anual del agua y **B.** Pp: Precipitaciones anuales (mm) y Área.

En la Tabla 5 se presentan los resultados del análisis de correlación de Pearson para las variables referidas al tamaño y la cantidad de presas (CPUEw u CPUEn) y las ambientales (precipitación, área y temperatura del agua). El CPUEw y CPUEn se correlacionaron con el área de la laguna 0,89 y 0,65 respectivamente.

Mientras que se evidenció una alta correlación entre el área y las precipitaciones 0,89. La temperatura del agua tuvo una correlación negativa con las precipitaciones (-0,83). Estos resultados evidenciaron la existencia de una relación lineal entre el tamaño y la cantidad de peces con el régimen de precipitaciones.

Tabla 5 - Índice de correlación de Pearson aplicado a las variables de **CPUEw**: Captura por unidad de esfuerzo en peso; **CPUEn**: Captura por unidad de esfuerzo en cantidad; **T agua (°C)**: Temperatura del agua; **Pp (mm)**: Precipitación; y **Área (Km²)**.

	CPUEw	CPUEn	T agua (°C)	Pp (mm)	Área (km ²)
CPUEw	1	,924	-,057	,599	,893
CPUEn	,924	1	,328	,248	,654
T agua (°C)	-,057	,328	1	-,834	-,500
Pp (mm)	,599	,248	-,834	1	,895
Área (km ²)	,893	,654	-,500	,895	1

DISCUSIÓN

Al considerar la serie histórica 1960-2015 se destacan los años 1991, 2001 y 2015 como los más lluviosos. Todos ellos superaron los 1000

mm anuales. Los más secos fueron 1962 y 2009 con precipitaciones anuales inferiores a 400 mm. Los diferentes índices (IEP, método de

quintiles, ONI) mostraron los mismos resultados. En este contexto, el año 2015 fue Extremadamente Húmedo con la presencia de un evento El Niño de carácter Fuerte o Severo. Sólo en 1991 se registró un evento de similares características pluviométricas. El periodo 2014 - 2015 representó el segundo más lluvioso de los últimos 55 años.

Se encontró una relación directa entre las precipitaciones locales y la variación de los parámetros morfométricos en la Laguna de Puan. Esto coincide con lo observado por Bohn et al. (2016). El nivel del agua en la laguna de Puan en 2013 era 0,5 m y aumentó a 1,3 m en 2015. El bajo nivel coincide con que el año 2013 fue muy seco. Las mayores precipitaciones ocurrieron durante los meses de octubre 2014 y abril 2015 (1077 mm acumulados), el aumento del nivel se mantuvo y aunque las lluvias luego de abril 2015 no fueron intensas, el nivel lagunar fue estable. En 1982 la precipitación anual fue 759 mm y el área lagunar 5,7 km², en 2003 la precipitación anual fue 664 mm y la superficie de la laguna fue 7,8 km², 2009 registró 345,7 mm, ocupando 6,4 km², aproximadamente. En 2015, con un registro de 1128 mm anuales, el área de la laguna fue 8,9 km².

La gran precipitación registrada en 2014 y 2015 causaron el aumento del área y perímetro lagunar. Las lagunas pampeanas son influenciadas por la variabilidad de las precipitaciones dependiendo del régimen pluviométrico en la cual estén localizadas. La laguna de Puan pertenece a la subregión pampeana húmeda, es decir que los eventos extremos pluviométricos y sus efectos sobre la respuesta espacio-temporal de los cuerpos de agua tiene una intensidad moderada en relación con el resto de la región (Aliaga et al., 2016a).

En cuanto a las variables fisicoquímicas en el año 2015 se observó que el pH disminuyó como consecuencia de las abundantes precipitaciones, de todas formas, la laguna siempre se mantuvo alcalina. La conductividad eléctrica también decreció de 10,5 mSi cm⁻¹ en diciembre 2013 a 6,8 mSi cm⁻¹ en diciembre 2014, esto podría deberse por la dilución de las sales (Díaz & Colasurdo, 2008). Por otro lado, este efecto actuaría también en la transparencia del agua. El Disco Secchi mostró valores más elevados durante el año lluvioso, lo que

significa que hubo un mayor porcentaje de penetración de la luz. Aunque es destacable que la acción del viento podría afectar la transparencia ya que en los lagos pocos profundos, esta variable interfiere en la suspensión del sedimento (Torremorell et al., 2009). La clorofila *a* y el seston presentaron registros menores durante el año lluvioso. Estos últimos dos parámetros fueron más bajos que lo observado en otras lagunas de la Región Pampeana (Sosnovsky & Quirós, 2006).

En el caso particular de la clorofila *a* los valores registrados son bajos en relación a lo observado por Llamas et al. (2013). Sin embargo, son similares a los registrados para la laguna Chasicó (Región Pampeana) (Koprio et al., 2010). La especie *Odonthestes bonariensis* es típicamente zooplancívora (Casseiro et al., 2003). La ausencia de esta especie y las bajas concentraciones de clorofila *a* durante el período de estudio, podría estar asociada a un desequilibrio en la cadena trófica (Carpenter & Kitchell, 1996).

Por otro lado, el análisis de calidad de agua realizado en 2015 en la laguna de Puan reveló que se trata de un cuerpo de agua alcalino y con alta concentración de fluor y arsénico. Los valores de pH son elevados y cercanos al límite de tolerancia en peces y el de arsénico es superior al límite para la protección de la vida acuática (Arrignon, 1979; Alcalde et al., 2004). Debe notarse que la acción de ambos compuestos se potencia cuando los dos parámetros son elevados. Sin embargo, se han publicado estudios que muestran la presencia de mojarrita panzona (*Jenynsia multidentata*) y pejerrey (*Odonthestes bonariensis*) en lagunas con pH cercanos a 9,3 y concentraciones de arsénico de hasta 0,4 mg l⁻¹ y alta concentración de Fluor (Colautti et al., 2010). En lagunas de la provincia de Buenos Aires, se considera que 2 mg l⁻¹ de arsénico es el valor límite de tolerancia del pejerrey (Baigun et al., 2010).

Estos resultados, pueden ser relevantes considerando la situación observada con la población de pejerrey, especie de importancia comercial y deportiva en la laguna de Puan. Durante este estudio se detectó la desaparición de dicha población. En 2009, el número de individuos fue el más alto registrado para esta laguna, pero su tamaño se mantuvo constante con respecto a lo registrado en 2007. En 2013 y

2014 no se registraron capturas. La población de *Odonthestes bonariensis* en la laguna de Puan, podría estar sufriendo lo que Gilpin & Soule (1986) denominan Vórtice de Extinción Local. Estos autores postularon que algunos factores pueden generar una retroalimentación positiva que afecte el desarrollo de las poblaciones, ejemplos de esto son: la disminución del hábitat, el incremento de las perturbaciones ambientales y la pérdida de variabilidad genética. Estas condiciones podrían actuar de manera sinérgica y modificar el tamaño poblacional.

En este contexto, durante el 2009 se observaron cambios ambientales de importancia. Por un lado, se presentó una de las sequías más intensas de los últimos 50 años (345,7 mm, IEP = -2,86) coincidente con un evento La Niña. Además, considerando que el límite de tolerancia de las gónadas es de 25 °C (Soria et al., 2008) en la laguna de Puan se determinó que en el período noviembre-diciembre 2009 y enero-febrero 2010, la temperatura media del agua fue 25,3 °C. Estas condiciones podrían haber afectado el normal desarrollo de estas gónadas y su determinación sexual, ya que según Strüssmann et al. (1997) las larvas expuestas a temperaturas constantes de 17 °C generan individuos hembras, mientras

que a temperaturas de 25 °C, machos. Por lo tanto, es posible inferir que en la laguna de Puan, se generó un desequilibrio en la estructura poblacional de *Odonthestes bonariensis*. Sin embargo, es necesario profundizar en estudios referidos a la reproducción de esta especie en esta laguna.

Es importante destacar que una disminución del área durante un período seco y el consecuente aumento en la temperatura del agua, sumada a las condiciones intrínsecas de la población y a una posible pesca intensiva, podría haber sido la causa de dirigir el tamaño mínimo de la población de pejerrey a un estado crítico del que ya no pudo recuperarse. Colautti et al. (2015) atribuyen la temperatura del agua como un factor crítico para el desarrollo de la población de pejerrey en lagos poco profundos, además de la afinidad de *Odonthestes bonariensis* al agua salobre. Por su parte, mostraron una reducción del número de individuos durante períodos de inundación en lagunas pampeanas. Si bien no se han realizado estudios de evaluación de la intensidad de la pesca deportiva en la laguna, de acuerdo a lo expuesto por Mancini & Grosman (2001) no se descarta que pudiera haber ayudado a la extinción de esta especie.

CONCLUSIÓN

En este trabajo se mostró cómo la laguna de Puan responde a la variabilidad pluviométrica. Se cuantificó la modificación de algunos parámetros morfométricos de acuerdo a los ciclos de la precipitación. La ocurrencia de eventos El Niño y La Niña modifican tanto las características morfométricas como los parámetros limnológicos. Estos cambios a nivel físico-químico, se observaron en la transparencia

del agua, la conductividad y el seston, valores más bajos del promedio se observaron con mayor precipitación. Estos resultados representan un avance para entender cómo la variabilidad climática puede influir en la biota de un lago somero. En este caso, se considera que tanto los períodos de sequía como de inundaciones están afectando la dinámica poblacional de *Odonthestes bonariensis*.

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean agradecer por la financiación total del presente estudio al Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas y la Universidad Nacional del Sur. A los proyectos de investigación PAMPA² – CONICET y Sensing the Americas Freshwater Ecosystem Risk (SAFER) subvencionado por Instituto Interamericano para la Investigación del Cambio Global (IAI) CRN3038 que es apoyado por la Fundación Nacional de Ciencia de Estados Unidos (Grant GEO-1128040). Además, al Ministerio de Asuntos Agrarios de la Provincia de Buenos Aires, al Instituto Nacional del Tecnología Agropecuaria (INTA) y al United States Geological Survey (USGS) por el suministro de la información meteorológica y satelital.

REFERENCIAS

- ALCALDE, R.; PERL, J.E.; ANDRES, F.O. **Calidad del Medio Acuático: Programa Integral de Calidad de Agua del Río Colorado**. Centro de Documentación del Co.I.R.Co. Bahía Blanca. 127p., 2004.
- ALBORNOZ, H.; GONZALEZ CASTELAIN, J.; CIFUENTES, M.; RODRIGUEZ, L. Estado trófico y monitoreo de variables limnológicas en un lago artificial (lago del Fuerte. Tandil. Buenos Aires). **Biología Acuática**, v. 26, p. 1-6, 2009.
- ALIAGA, V.; FERRELLI, F.; ALBERDI ALGARAÑAZ, E.D.; BOHN, V.Y.; PICCOLO, M.C. Distribución y variabilidad de la precipitación en la región pampeana argentina. **Cuadernos de Investigación Geográfica**, v. 42, n.1, p. 261-280. 2016a.
- ALIAGA, V.; FERRELLI, F.; BOHN, V.Y.; PICCOLO, M.C. Utilización de imágenes satelitales para comprender la dinámica lagunar en la Región Pampeana. **Revista de Teledetección**, v. 46, p. 133-146, 2016b.
- APHA - **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 19th edn. American Public Health Association, Washington DC.
- APHA - **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 21st edn. American Public Health Association, Washington DC. 2005.
- ARRIGNON, J. **Ecología y piscicultura de aguas dulces**. Ed. Mundi-Prensa. Madrid. 390p., 1974.
- AYENEW, T.; DEMLIE, M. Bathymetric Survey and Estimation of Water balance of Lake Ardibo, Northern Ethiopia. **SINET: Ethiopian Journal Science**, v. 27, n. 1, p. 61-68, 2004.
- BOHN, V.Y. **Geomorfología e hidrografía de las lagunas del Sur de la provincia de Buenos Aires**. Bahía Blanca. Tesis doctoral. Departamento de Geografía y Turismo. Universidad Nacional del Sur. 244p. 2009.
- BOHN, V. Y.; PICCOLO, M. C.; PERILLO, G. M. E. Análisis de los períodos secos y húmedos en el sudoeste de la provincia de Buenos Aires (Argentina). **Revista de Climatología**, v. 11, p. 31 – 43. 2011
- BOHN, V.Y.; DELGADO, A.L.; PICCOLO, M.C.; PERILLO, G.M.E. Assessment of climate variability and land use effect on shallow lakes in temperate plains of Argentina. **Environmental Earth Sciences**, v. 75, n. 9, p. 1-15, 2016.
- BOLOGNESI, E. Análisis de criterios para clasificar totales mensuales de precipitación aplicados a series de República Argentina. **Meteorología**. Centro Argentino de Meteorólogos. v. 2, n. 1, p. 2-3. 1971.
- CAMPO, A.M.; BAGNULO, C.; PACHECO, R. Cambios en el Régimen pluviométrico y sus efectos sobre la producción agropecuaria en el Partido de Puan. **Revista Electrónica de Geografía Austral**, v. 4, n 1, 2012.
- CARPENTER, S.R. & KITCHELL, J.F. **The trophic cascade in lakes**. Cambridge University Press, Cambridge, New York. 385 pp. 1996.
- CASSEMIRO, F.A. S.; HAHN, N. S., RANGEL, T.F.L.V.D. Diet and trophic ecomorphology of the silverside, *Odontesthes bonariensis*, of the Salto Caxias reservoir, rio Iguaçú, Paraná, Brazil. **Neotropical ichthyology**. v. 1, no 2, p. 127-131. 2003
- COLAUTTI, D.C.; GARCIA DE SOUZA, J.R.; BALBONI, L.; BAIGUN, C.R.M. Extensive cage culture of pejerrey (*Odontesthes bonariensis*) in a shallow pampean lake in Argentina. **Aquaculture research**, v. 41 n. 10, p. 376-384, 2010.
- COLAUTTI, D. C.; BAIGÚN, C. R. M.; LLOMPART, F.; MAIZTEGUI, T.; GARCIA DE SOUZA, J. R.; SOLIMANO, P.; BALBONI, L. & BERASAIN, G. E. Fish assemblage of a Pampean shallow lake, a story of instability. **Hydrobiologia**, v. 1 p. 175 – 186. 2015.
- DUKATZ, F.; FERRATI, R.; CANZIANI, G. Clasificación de lagos someros pampeanos mediante imágenes Landsat TM. **Biología Acuática**, v. 22, p. 95-101. 2005.
- DANGAVS, N.V. **Los ambientes acuáticos de la provincia de Buenos Aires**. En: Geología y Recursos Minerales de la Provincia de Buenos Aires. Relatorio del XVI Congreso Geológico Argentino. La Plata. p. 2019-2036 2005.
- DÍAZ, O. & COLASURDO, V. **El agua revela sus secretos. Química de las lagunas pampeanas. Espejos en la llanura. Nuestras lagunas de la región pampeana**. GROSAN, F. (ed.). Universidad del Centro de la provincia de Buenos Aires, Tandil, p. 47-64. 2008.
- EDWARDS, D. & MCKEE, T. Characteristics of 20th century drought in the United States at multiple time scales. **Climatology Report** p. 97-2, Colorado State University. 1997.
- ESTACIONES DE MONITOREO AMBIENTAL COSTERO. INSTITUTO ARGENTINO DE OCEANOGRAFÍA. CONSEJO NACIONAL DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS Y TÉCNICAS (ARGENTINA). <http://emac.criba.edu.ar>
- EZZAT ELSHAMY, M.; WHEATER, H.S.; GEDNEY, N.; HUNTINGFORD, C. Evaluation of the rainfall component of a weather generator for climate impact studies. **Journal of Hydrology**, v. 326 p. 1–24, 2006.
- EZEKIEL, Y.; TUKUR, A.L.; MUBI, A.M. Morphometric characteristics of selected fluvial lakes in the Upper Benue Valley Area of Adamawa State. Northeastern Nigeria. **Journal of Geography and Regional Planning**, v. 8, n. 3, p. 56-64, 2015.
- FERRELLI, F. La sequía 2008-2009 en el Sudoeste de la provincia de Buenos Aires (Argentina). **Ecosistemas: Revista Científica y Técnica de Ecología y Medio Ambiente**. Asociación Española de Ecología Terrestre, v. 21, n. 1-2, p. 235-238, 2012.
- FERRELLI, F & ALIAGA, V. S. Variabilidad de las precipitaciones y sus efectos sobre la respuesta espacio-temporal de cuerpos de agua en la Región Pampeana, Argentina **Revista Huellas**; v. 20 p. 242 – 246. 2016.
- GARCIA DE SOUZA, J.R.; SOLIMANO, P.J.; MAIZTEGUI, T.; BAIGUN, C.R.M.; COLAUTTI, D.C. Effects of stocking density and natural food availability on the extensive cage culture of pejerrey (*Odontesthes bonariensis*) in a shallow Pampean lake in Argentina. **Aquaculture Research**, v. 46, n. 6, p. 1332-1344, 2015.
- GERALDI, A.M.; PICCOLO, M.C.; PERILLO, G.M. Lagunas bonaerenses: en el paisaje pampeano. **Ciencia hoy**, v. 21, n. 123, p. 16-22, 2011.
- GILPIN, ME & SOULE M.E Minimum viable populations: the processes of species extinction. In: SOULE, M.E. (ed) **Conservation biology: the science of scarcity and diversity**. Sinauer, Sunderland, MA, p 13–34. 1986.
- GROSAN, F.; SANZANO, P.; RUDZIK, G. Diagnóstico limnológico pesquero de 6 lagunas del partido de Puán. **Biología Acuática**. v. 22 p.177-188. 2005.
- HÄKANSON, L. **A manual on lake morphometry**. Springer Verlag, Berlín. 78p.1981.
- HUTCHINSON, G.E. **A Treatise on Limnology**, v. 1, Geography Physics. Chemistry New York: John Wiley & Sons, Inc. 1957.
- KOPPRIO, G.A.; FREIJE, R.H.; STRUSSMANN, C.A.; KATTNER, G.; HOFFMEYER, M.S.; POPOVICH, C.A.; LARA, R.J. Vulnerability of pejerrey *Odontesthes bonariensis* populations to climate change in pampean lakes of Argentina. **Journal of Fish Biology**, v. 77, n. 8, p. 1856-1866, 2010.
- LLAMES, M.E.; DEL GIORGIO, P.; ZAGARESE, H.E.;

- FERRARO, M.; IZAGUIRRE, I. Alternative States drive the patterns in the bacterioplankton composition in shallow Pampean lakes (Argentina). **Environmental Microbiology Reports**, v. 5 p. 310 – 321. 2013.
- MANCINI, M.; GROSMAN, F. Efecto de la pesca deportiva sobre una población de pejerrey (*Odontesthes bonariensis*). Fundamentos biológicos, económicos y sociales para una correcta gestión del recurso pejerrey. *Ed. Astyanax*. p. 105-110. 2001.
- MEYER, J.L., PAUL M.J.; TAULBEEI W. K. Stream ecosystem function in urbanizing landscapes. **Journal of the North American Benthological Society**. v. 24. P. 602–612. 2005.
- MINISTERIO DE ASUNTOS AGRARIOS DE LA PROVINCIA DE BUENOS AIRES (ARGENTINA). www.agroindustria.gov.ar. 2014.
- OLIVA MARTINEZ, M.G.; RODRIGUEZ ROCHA, A.; LUGO, A.; SÁNCHEZ RODRÍGUEZ, M.D.R. Composición y dinámica del fitoplancton en un lago urbano hipertrófico. **Hidrobiológica**, v. 18, p. 1-13, 2008.
- ONI. Ocean Niño Index. **Climate Prediction Center**. National Weather Service. Estados Unidos. Disp. en: <http://www.cpc.ncep.noaa.gov/>. Acceso, 14 de abril 2015.
- PREDICTION CLIMATIC CENTER WEBPAGE OF THE NATIONAL AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION (NASA). <http://www.cpc.ncep.noaa.gov>.
- QUIRÓS, R.; RENNELLA, A.M.; BOVERI, M.A.; ROSSO, J.J.; SOSNOVSKY, A. Factores que afectan la estructura y el funcionamiento de las lagunas pampeanas. **Ecología austral**, v. 12 (2). p. 175-185. 2002.
- SOMOZA, G.M.; MIRANDA, L.A.; BERASAIN, G.E., COLAUTTI, D., REMES LENICOV, M.; STRUSSMANN, C.A. Historical aspects, current status and prospects of pejerrey aquaculture in South America. **Aquaculture Research**, v. 39, n. 7, p. 784-793, 2008.
- SORIA, F.N.; STRÜSSMANN, C.A.; MIRANDA, L.A. High water temperatures impair the reproductive ability of the pejerrey fish *Odontesthes bonariensis*: effects on the hypophyseal-gonadal axis. **Physiological and Biochemical Zoology**. v. 81, n 6, p. 898-905. 2008.
- SOSNOVSKY, A.; QUIRÓS, R. El estado trófico de pequeñas lagunas pampeanas, su relación con la hidrología y el uso de la tierra. **Ecología austral**. v. 16, n 2. p. 115-124. 2006.
- STEELE, M.K., & HEFFERNAN, J.B. Morphological characteristics of urban water bodies: mechanisms of change and implications for ecosystem function. **Ecological Applications**, v. 24, n. 5, p. 1070-1084; 2014.
- STRÜSSMANN, C.A., SAITO, T.; USUI, M.; YAMADA, H.; TAKASHIMA, F. Thermal thresholds and critical period of thermolabile sex determination in two atherinid fishes, *Odontesthes bonariensis* and *Patagonina hatcheri*. **Journal Experimental Zoology**. v. 278 p. 167–177. 1997.
- SWENSON, S. & WAHR, J. Monitoring the water balance of Lake Victoria, East Africa, from space. **Journal of Hydrology**, v. 370, p. 163–176. 2009.
- TAVERNINI, S., FRATTA, E., SARTORE, F.; ROSSETTI, G. Distribution and ecology of calanoid species in relation to morphometric and chemical characteristics of lakes and ponds of the Northern Apennines (Italy). **Journal of Limnology**, v. 62 (1) p. 28-34. 2003.
- ORRY, J.; ESCARAY, R.; ZAGARESE, H.E. Seasonal dynamics of a large, shallow lake, laguna Chascomús: the role of light limitation and other physical variables. **Limnologia-Ecology and Management of Inland Waters**. V. 37 (1). p.: 100-108. 2007.
- TORREMORELL, A.; LLAMES, M.E.; PÉREZ, G.L.; ESCARAY, R.; BUSTINGORRY, J.; ZAGARESE, H. Annual patterns of phytoplankton density and primary production in a large, shallow lake: the central role of light. **Freshwater Biology**, v. 54, n. 3, p. 437-449, 2009.
- TURNER, K.W.; WOLFE, B.B.; EDWARDS, T.W.D. Characterizing the role of hydrological processes on lakewater balances in the Old Crow Flats, Yukon Territory, Canada, using water isotope tracers. **Journal of Hydrology**, v. 386, p. 103–117, 2010.
- WALSH, C.J.; ROY, A.H.; FAMINELLA, J.W.; COTTINGHAM, P.D.; GROFFMAN, P.M.; MORGAN, R.P. The urban stream syndrome: current knowledge and the search for a cure. **Journal of the North American Benthological Society**, v. 24, p. 706–723, 2005.
- WETZEL, R.G. **Limnology**. Lake and River Ecosystems, 3rd edn. Elsevier Academic Press, San Diego, 2001

Submetido em 1º de novembro de 2016
Aceito em 29 de junho de 2018