

Hidrología de laguna albufera Reserva El Yali, humedal RAMSAR, Chile

PABLO GALDAMES, CHI SUN & ALEJANDRO DUSSAILLANT J.

Departamento de Ingeniería Hidráulica y Ambiental, Pontificia Universidad Católica de Chile, Vicuña Mackenna 4860, Santiago, Chile.

pgaldame@ing.puc.cl

Resumen La laguna albufera El Yali es un humedal de gran importancia en la zona central de Chile, especialmente debido a su relación con la avifauna tanto nativa como foránea que llega aquí periódicamente, siendo hábitat para cerca de un 25% de la biodiversidad de aves en Chile. Este estudio pretende identificar y cuantificar las principales variables del ciclo hidrológico de la laguna e caracterizar las principales variables físico-químicas de las aguas superficiales y subterráneas, en pos de estimar un balance hidrológico del humedal que permita en el futuro evaluar la vulnerabilidad de este cuerpo de agua. Los datos aún no permiten identificar el ciclo hidrológico de la laguna, pero serán presentados los registros recabados, incluyendo el comportamiento de la napa en los lados costero e interior de la laguna. Se ha detectado una importante concentración de fosfatos provenientes del acuífero, cuya magnitud (sobre los $2 \text{ mg (PO)}_4^{3-} \text{ L}^{-1}$) triplica la existente en el cuerpo de agua (alrededor de $1 \text{ mg (PO)}_4^{3-} \text{ L}^{-1}$).

Palabras clave humedal; eutroficación; laguna costera; balance hídrico; nutrientes

Hydrology of the El Yali coastal marsh reserve, a RAMSAR site in Chile

Abstract The El Yali tidal salt marsh is a very important wetland in the central zone of Chile, especially due to its relation with the native bird fauna; it is the habitat for about 25% of the bird biodiversity in Chile. This study is trying to identify and quantify the main variables in the hydrological cycle of the lagoon and to characterize the main physiochemical variables for the surface water and groundwater. This will be the base information from which to estimate a hydrological budget for the wetland that allows evaluation of the vulnerability of this water body in the future. The data collected does not allow us to quantify the hydrological cycle for the lagoon as yet, but cumulative data are presented, including the groundwater signals on the oceanic and interior sides of the lagoon. An important concentration of phosphates coming from the aquifer has been detected, with a magnitude greater than $2 \text{ mg (PO)}_4^{3-} \text{ L}^{-1}$, which triples that existing in the water body (around $1 \text{ mg (PO)}_4^{3-} \text{ L}^{-1}$).

Key words wetland; eutrophication; coastal lagoon; hydrologic budget; nutrients

INTRODUCCIÓN

El Yali comprende más de 10 cuerpos y cursos de agua, y es el único humedal mediterráneo del neotrópico que está adherido a la Convención Ramsar (Möder *et al.*, 2002). Constituye un área de concentración y descanso de varias especies migratorias tanto a nivel altitudinal, latitudinal como inter-hemisferios. Este complejo posee un alto dinamismo estacional (invierno-verano) y cíclico, esto último asociado al fenómeno ENSO (Möder *et al.*, 2002). Parte del Complejo de Humedales El Yali es un área silvestre protegida administrada por la Corporación Nacional Forestal (CONAF), el servicio forestal chileno, y tiene una superficie de 520 ha, denominada "Reserva Nacional El Yali", que se encuentra en la Comuna de Santo Domingo, en la V Región de Chile, $33^{\circ}44'$ a $33^{\circ}47'S$ y $71^{\circ}39'$ a $71^{\circ}46'N$ (Dussailant, 2005).

El clima de la zona es mediterráneo, atenuado por la influencia marina, presentando una marcada estacionalidad en relación a las precipitaciones, con otoño e inviernos lluviosos y veranos secos. Como típica cuenca costera de la zona, la cuenca del humedal tiene régimen puramente pluvial. Tanto el estero El Yali como sus afluentes permanecen largos períodos de tiempo secos, presentando escurrimiento superficial solamente después de precipitaciones intensas (DGA, 2000).

En general el sector ha sido de particular interés (y por tanto protegido) básicamente debido a la abundancia de avifauna, unas 115 especies, lo que representa aproximadamente el 25% de la diversidad autóctona de avifauna chilena (Leiva *et al.*, 1995). El sector es fuente de un estudio ecológico en proceso sobre la respuesta de las comunidades vegetacionales a gradientes de variables físico-químicas y en particular de nutrientes (Fariña *et al.*, 2004).

En base a visitas en terreno, recopilación de antecedentes y datos, así como análisis, se estima que el balance hidrológico de la laguna es función de los siguientes elementos: precipitación (invernal), estero Yali, drenaje de las aguas lluvia por acequias desde pendiente arriba, conexión

esporádica superficial con el océano (inundaciones mareales y tormentas de invierno), intrusión subsuperficial de agua desde (y hacia) océano, flujo de agua dulce subterránea desde pendiente arriba y evapotranspiración.

La dinámica hidrológica de la laguna albúfera es de singular importancia, pues afecta al menos los siguientes: altura de agua en la laguna y su efecto en la distribución y abundancia de plantas; elementos abióticos: temperatura, pH, potencial redox, solutos (sales, nutrientes)—también con efecto en zonación y abundancia de especies vegetales (y animales). A su vez, la dinámica hidrológica puede ser afectada potencialmente por las siguientes perturbaciones naturales y antrópicas: extracción de agua subterránea por crecimiento del turismo y cultivos (palta) en el balance de agua de la laguna; cambio climático y El Niño (precipitaciones, tormentas costeras); erosión y depositación de sedimento; contaminación de aguas entrantes a la laguna (Dussailant, 2005).

Hasta la fecha se desconoce el balance hídrico correspondiente a las entradas y salidas de agua que presenta la laguna albúfera de la Reserva El Yali, por lo que este estudio tiene por objetivos identificar y cuantificar los principales flujos de agua de la laguna albúfera, establecer la calidad de las aguas entrantes y salientes del sistema, realizar un balance de masa de variables físicoquímicas (oxígeno disuelto, pH, nitrógeno, fósforo, salinidad) y determinar las variaciones estacionales de cantidad y calidad de las aguas, así como los procesos clave que afectan éstos.

METODOLOGÍA

La laguna tiene una forma alargada, dispuesta en forma paralela a la playa, conectada en un extremo con el Estero Yali, y eventualmente conectada en forma superficial con el mar. Una imagen satelital de la laguna se muestra en la Fig. 1. Dada su configuración, se destacan dos zonas con características diferentes: pendiente arriba de la laguna, donde el flujo se relaciona con el acuífero de la cuenca que, en teoría, estaría descargando hacia esta zona, y en el sector entre la laguna y el mar hay influencia de este último tanto en la magnitud de los flujos como en la calidad de éstos.

Debido a la fuerte dependencia del nivel de la laguna—y presumiblemente, la napa adyacente—con el nivel de la marea, los monitoreos se están realizando para los eventos de luna llena de cada mes, ya que para entonces las mareas son más vivas, registrando mayores amplitudes en la oscilación diaria, por lo que la hipótesis es que en estas ocasiones se debiera producir un mayor movimiento del agua y las sustancias presentes en ella se estarían transportando en mayor volumen.

Medición de la cantidad de agua

Para la medición de la cantidad de las aguas que ingresan al sistema por vía subterránea se utilizará la ecuación de Darcy para suelos saturados: $Q = S \cdot K_s \cdot \Delta H$, con Q el caudal circulante, S , la sección de flujo, K_s , conductividad hidráulica saturada y ΔH , el gradiente de energía entre dos puntos de medición de la napa. La conductividad hidráulica saturada se ha obtenido con pruebas de laboratorio, pero se espera realizar mediciones en terreno para corroborar los valores obtenidos. En cuanto a la obtención del gradiente de energía, se ha instalado una red de piezómetros dispuestos a ambos lados de la laguna: hacia la zona de pendiente arriba para conocer la conexión con el acuífero de la cuenca, y en dirección al mar para estimar flujos hacia y desde el mar. Los piezómetros están instalados algunos centímetros bajo el nivel de la napa, de manera de obtener información sobre la posición de la superficie libre para todo momento y acceder así a información sobre la dependencia de estos niveles con las fluctuaciones de las mareas.

La medición de la cantidad de agua que ingresa al sistema vía superficial se realizará mediante la instalación de una estación de aforo en el estero Yali, y de aforadores en acequias existentes en la zona de pendiente arriba del sistema. Además, se instalarán piezómetros en los costados de las acequias para determinar si existe influencia de la napa en el flujo y calidad de agua que circula por ellas

Medición de la calidad de agua

Además de la determinación de la cantidad de agua que está entrando o saliendo, se quiere conocer el gradiente de concentración de sales y nutrientes presentes (específicamente se están analizando concentraciones de nitratos y fosfatos disueltos), para obtener información acerca de la dependencia

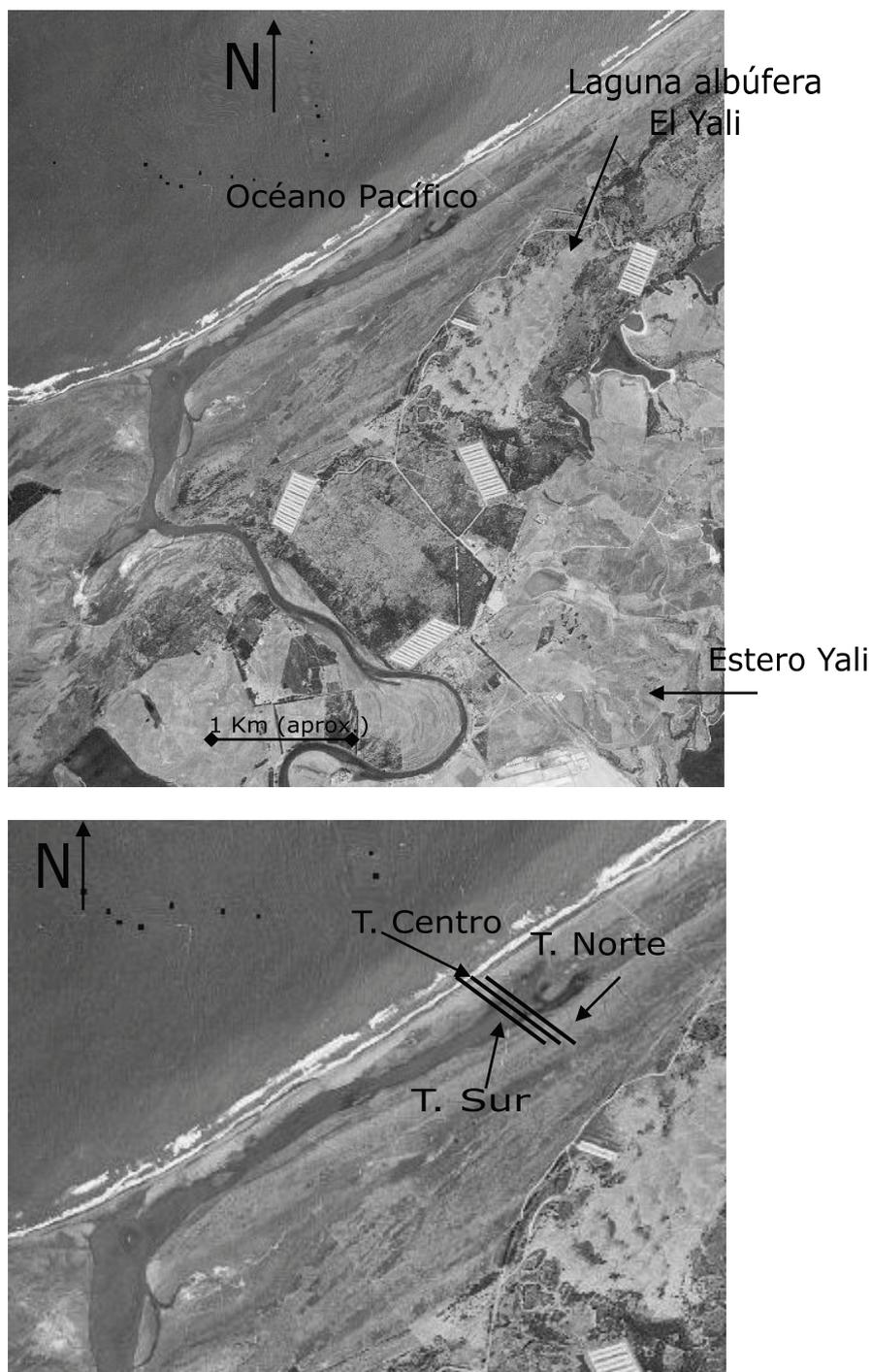


Fig. 1 Imagen satelital de laguna albúfera El Yali con ubicación general (arriba) y de transectos de piezómetros (abajo).

con el mar y tener indicios sobre la vulnerabilidad de este humedal a la posibilidad de sufrir eutrofización natural o antropogénica. Además, se registran los valores medidos de oxígeno disuelto y acidez (pH) para tener más información de las condiciones ambientales existentes. Esta información está siendo recolectada desde los piezómetros instalados en terreno, la laguna albúfera, el mar, el estero y las acequias.

RESULTADOS PARCIALES

Con los datos que se obtengan en el desarrollo del estudio se tendrá información desconocida hasta el momento sobre la magnitud de los principales ingresos y egresos de agua a la laguna albúfera, y

de la vulnerabilidad de este sistema lacustre frente a posibles contaminantes que pudieran ingresar desde la parte alta de la cuenca o desde el mar. Se conocerá la dependencia de la fluctuación del nivel de agua de la laguna con la variación de las mareas tanto a nivel diario como estacional, así como las principales características físico-químicas de las aguas del humedal y las zonas aledañas.

Actualmente los datos con los que se cuenta no permiten llegar a conclusiones definitivas, pero se puede indicar que en todo el sector adyacente a la albúfera hay un buen drenaje, ya que son suelos gruesos que contienen grava y arena fina cuya conductividad hidráulica saturada varía entre los 2.5 a 4.5 m d⁻¹ en el lado oriente de la laguna para los ensayos realizados, mientras que en el lado poniente (Fig. 1) el rango es entre 0.5 a 0.6 m d⁻¹. En base a información hidrogeológica que sostiene que en la zona en que acuífero llega al mar, éste tiene una profundidad promedio de 100m (MOP, 2005), y con niveles registrados en pozos de observación durante el verano, se estima que durante esta época es el mar quien recarga al acuífero con caudales entre los 1.8 y 2.2 m³ d⁻¹ por metro de ancho de la zona de flujo, dependiendo de la fase de la Luna. En invierno, se produce una conexión directa por vía superficial entre el mar y la laguna, induciendo una oscilación diaria del nivel de la laguna alrededor de un orden de magnitud mayor a lo registrado en verano; este efecto se encuentra aún en estudio hasta el momento de la publicación de este artículo.

En lo referente a la calidad de las aguas, se puede apreciar que las aguas provenientes desde el acuífero superior son claramente aguas dulces, presentando salinidades promedio inferiores a 3‰, mientras que la laguna presenta valores de salinidad promedio de 35‰ en la zona oriente y 45‰ en la zona poniente, cercana al mar, existiendo así un gradiente de salinidad al interior del cuerpo de agua (Fig. 2). Además, en la zona subterránea entre la laguna y el mar, se detectó que la salinidad del agua disminuye conforme se aleja de ambos cuerpos de agua alcanzando un promedio mínimo cercano a 10‰, aproximadamente a 27 m de la orilla poniente de la laguna, por lo que se estaría en presencia de una doble cuña salina producida por la presencia de cuerpos de agua salobre a ambos lados de la napa en este sector de estudio, como se puede apreciar en la Fig. 2, de un transecto representativo de la zona.

En cuanto a la acidez de las aguas, en la napa se registran todos los valores en niveles neutros, alcanzando en los pozos estudiados un promedio mínimo de 6.53 y máximo de 7.76, mientras que en la laguna misma los promedios son de 8.60 y 8.62 para la orilla oriente y poniente, respectivamente, a la vez que el mar se sitúa en 8.06.

El oxígeno disuelto no parece seguir un patrón espacial definido. Los valores en la napa se sitúan entre los 2 y 4 mg L⁻¹, mientras que las aguas superficiales de la laguna (máximo medido de 12 mg L⁻¹) y el mar son del orden de 6 a 9 mg L⁻¹.

De los nutrientes evaluados en las muestras, el nitrato se presenta en forma relativamente constante tanto en los piezómetros como en los cuerpos superficiales de agua, tomando valores inferiores a 1.0 mg N-NO₃⁻ L⁻¹ en gran parte de las muestras evaluadas (Fig. 2). Por otro lado, el fosfato presenta un comportamiento bastante diferente al del nitrato, ya que los promedios de las concentraciones registradas parecen manifestar una clara tendencia a ir descendiendo a medida que el agua se va acercando al mar (Fig. 2). Los puntos más orientales de medición están prácticamente todos sobre los 2.0 mg (PO)₄³⁻ L⁻¹ (salvo el pozo margen oriental, situación que aún se encuentra en estudio) manifestando un punto con un peak de 25.6 mg (PO)₄³⁻ L⁻¹, con un promedio alrededor de 0.97 mg (PO)₄³⁻ L⁻¹ en la laguna y valores de la napa poniente que decrecen hasta llegar a los 0.21 mg (PO)₄³⁻ L⁻¹ en el mar. Para el caso de las aguas que fluyen por las acequias, las muestras presentan una concentración más alta de nitrato comparado con el agua subterránea y la laguna, y varía dependiendo del punto de muestreo. Una posible explicación a esta variación es la presencia, en forma ocasional durante el día, de ganado bovino en el humedal que ocupan las acequias como fuentes de agua. Los resultados de los análisis en tres puntos de muestreos, de este a oeste, arrojaron valores promedios de 1.09, 1.97 y 2.00 mg N-NO₃⁻ L⁻¹, con un máximo de 4.6 mg N-NO₃⁻ L⁻¹, medido en la acequia central. El fosfato también presenta una variación espacial y con concentraciones tan altas, salvo en un punto de muestreo, como los medidos en el agua subterránea. El promedio de las concentraciones es de 2.73, 4.19 y 2.03 mg (PO)₄³⁻ L⁻¹, con un máximo de 9.28, registrado en la acequia sur de muestreo.

TRABAJO FUTURO

Dado que el proyecto se encuentra aún en una fase inicial, el trabajo que se vislumbra a futuro pretende completar las mediciones de la conductividad saturada de campo con las cuales se podría mejorar la estimación de la recarga de agua dulce desde el acuífero al humedal (o recarga al acuífero desde el humedal si la información recolectada del nivel de la napa y salinidad así lo indicasen), además, se analizará el efecto de las mareas -y consecuente nivel de la laguna- con el sentido del flujo vertical del fondo de la laguna mediante la implementación de un sistema de *seepage meters*.

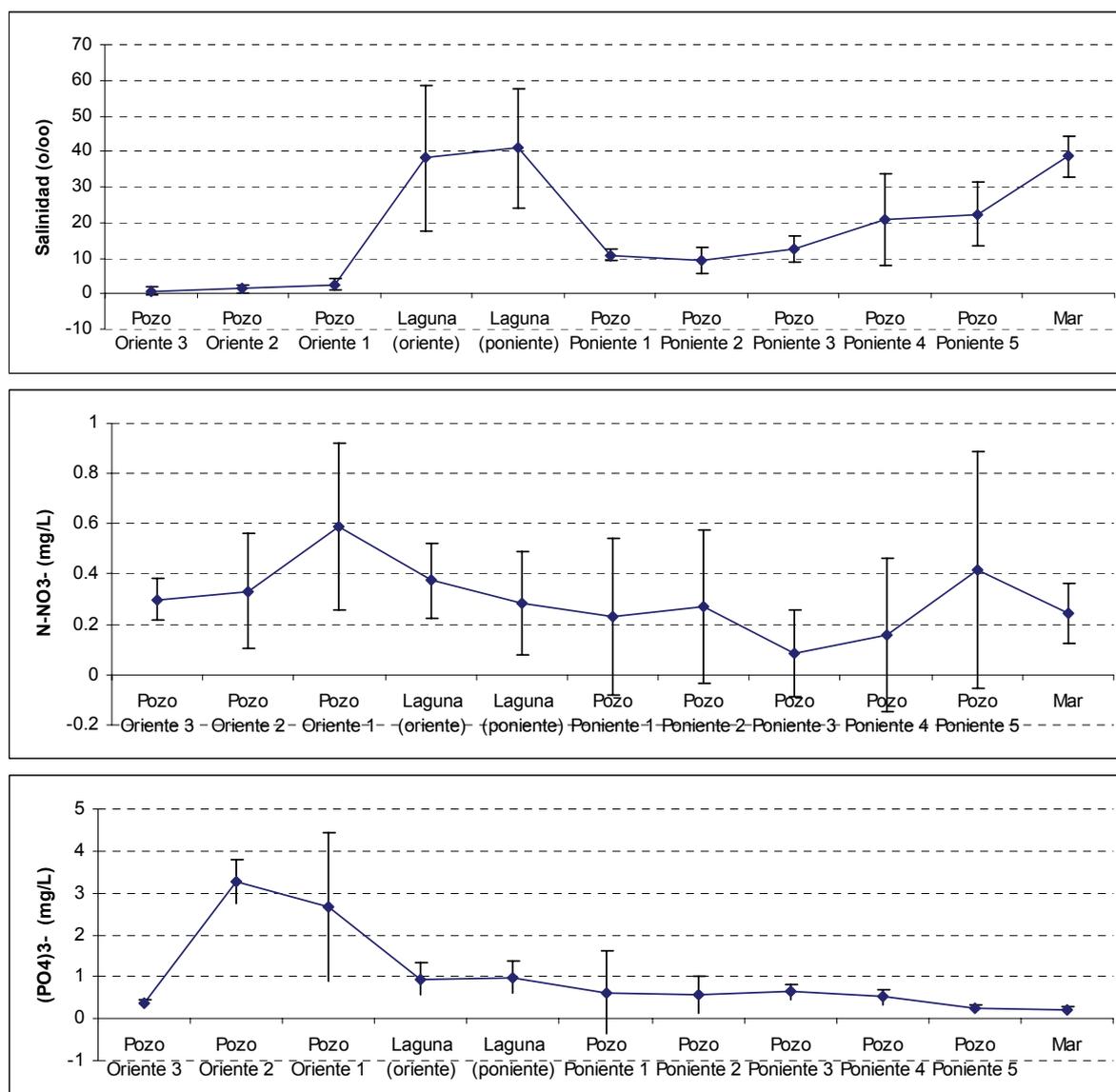


Fig. 2 Calidad de agua subterránea en un transecto de piezómetros representativo: salinidad (arriba), nitrato (medio), fosfato (abajo). Promedios \pm desviación estándar.

Además, se mantendrán las mediciones periódicas de los niveles de la laguna y de piezómetros de la napa (transductores con data logger), y análisis químico de las muestras obtenidas para completar la base de datos y poder tener una certeza estadística del comportamiento de los parámetros estudiados. Adicionalmente, se estudia la aplicación de un modelo de simulación del agua subterránea.

Agradecimientos Los autores agradecen el permiso y apoyo en terreno de la Corporación Nacional Forestal (CONAF-Chile) V Región, así como la colaboración con el grupo de ecología de ecosistemas del Dr. José Miguel Fariña del CASEB PUC.

REFERENCIAS

- DGA (Dirección General de Aguas, Ministerio de Obras Públicas) (2000) Evaluación de los Recursos Hídricos Subterráneos Cuenca Estero Yali: Informe Final.
- Dussailant, A. (2005) Propuesta de investigación aplicada RAMSAR. Hidrología y efectos ecológicos en laguna albúfera Reserva Nacional El Yali, V Región, Chile.
- Fariña, J. M., Bertness, M. D. & Silliman, B. (2004) Informe de Resultados Primer Año. Efectos de la competencia, estrés ambiental y herbivoría en los patrones de zonación del ensamble de plantas presentes en el humedal costero de El Yali, V Región, Chile.
- Leiva, I., Meza, J. & Möder, L. (1995) Fundamentos para la creación de la Reserva Nacional El Yali. CONAF.
- Ministerio de Obras Públicas (MOP) (2005) Area de restricción sector hidrogeológico de aprovechamiento común de Yali bajo El Prado.
- Möder L., Gallardo H., Vilina Y. (2002) Ficha informativa de los humedales Ramsar. Humedal El Yali.