

“Hidroecosistemas” de la Puna y Altos Andes de Argentina

Izquierdo, Andrea E.*; Javier Foguet; H. Ricardo Grau

Instituto de Ecología Regional (IER), Universidad Nacional de Tucumán – CONICET.

Correspondencia a: Andrea E. Izquierdo, CC34, (4107) Yerba Buena, Tucumán, Argentina.

* aeizquierdo@gmail.com

► **Resumen** — Los humedales son zonas en donde el agua es el principal factor que controla el funcionamiento ecológico del área. Especialmente en zonas áridas como la Puna, estos sistemas son de enorme importancia para la biodiversidad y las poblaciones locales que dependen de los servicios ecosistémicos que éstos proveen. En este trabajo presentamos un mapa de los principales humedales de un área de 14.3 millones de ha de la Puna argentina: salares, lagos y lagunas y vegas; basado en clasificación de imágenes satelitales. A partir de esa información cuantificamos y caracterizamos estos sistemas desde una perspectiva regional de uso del territorio y conservación. Nuestro análisis reporta 866.580 ha de humedales de las cuales 654.076 ha corresponden a salares (4,6% de la superficie del área de estudio), 40.486 ha a cuerpos de agua (0,28%), 61.123 ha a vega salitrosa (0,43%) y 110.895 ha a vegas (0,78%). A su vez la unión de áreas de diferentes clases colindantes resultó en 15 complejos de “hidroecosistemas” que totalizan 634.851 ha, los cuales cuentan con zonas de transición entre clases que consideramos fluctuarán entre una y otra de acuerdo a la respuesta de los diferentes humedales a la variabilidad climática y/o presiones antrópicas. La información de este inventario de humedales y la consideración de los mismos como sistemas complejos funcionales en “hidroecosistemas” son un aporte relevante a la conservación y manejo de estos ecosistemas de alto valor ecológico, económico, social y cultural; y pueden contribuir a iniciativas específicas como la Ley de Humedales, actualmente en discusión.

Palabras clave: Salares, lagos y lagunas, vegas, hidroecosistemas, Puna, SIG.

► **Abstract** — Wetlands are areas where water is the primary factor controlling ecological functions. Especially in arid areas such as the Puna, these systems are extremely important for biodiversity and local populations that depend on ecosystem services these wetlands provide. Here, we present a map of wetlands based on satellite images classification of an area of 14.3 million ha in the Argentine Puna: salt flats, lakes and ponds and peatbogs. Based on this information, we quantify and characterize these systems from a regional perspective of land use and conservation. We report 866,580 ha of wetlands spread over 654,076 ha of salt flats (4.6% of the study area surface), 40,486 ha of water bodies (0.28%), 61,123 ha of “salty peatbogs” (0.43%) and 110,895 ha of peatbogs (0.78%). In turn, the union of neighboring areas of different classes resulted in 15 complexes “hydro-ecosystems” totaling 634,851 ha, which have transitional areas between classes that fluctuate between them according to the response of different wetlands to seasonal weather changes and /or anthropic impact. This wetland inventory and its consideration as complex systems as functional “hydro-ecosystems” are a relevant contribution to the conservation and management of these ecosystems of high ecological, economic, social and cultural value; and could specifically contribute to the currently discussed wetlands law of Argentina

Keywords: Salt flat, lagoons and lakes, peatbogs, hydro-ecosystems, Puna, GIS.

1. INTRODUCCIÓN

Los humedales son áreas controladas principalmente por el agua donde la capa freática se encuentra en o cerca de la super-

ficie del terreno o donde el terreno está cubierto por agua temporal o permanentemente (Ramsar 2015). Estos ecosistemas son de enorme importancia estratégica para las comunidades bióticas y humanas de las regiones áridas como la Puna. Su valor ecológico, económico, social y cultural debe ser tenido

en cuenta para el diseño y ejecución de políticas de desarrollo, manejo y conservación de los países en los que se encuentran. Por ejemplo, a escala global ya desde el año 1971 se reconoció este valor en el Convenio Ramsar, cuyo objetivo es «la conservación y el uso racional de los humedales mediante acciones locales, regionales y nacionales y gracias a la cooperación internacional, como contribución al logro de un desarrollo sostenible en todo el mundo» (Ramsar 2015). En Argentina, país miembro de dicho convenio, en los últimos años se había avanzado en la formulación de la Ley de Presupuestos Mínimos para la Conservación, Protección y Uso Racional y Sostenible de los Humedales (Proyecto de Ley 1.628/13), conocida como la Ley de Humedales. A pesar de su importancia reconocida y de haber sido sancionada sin observaciones en la Cámara de Senadores la Ley de Humedales perdió estado parlamentario a la espera de su tratamiento en la Cámara de Diputados y actualmente se discute un nuevo proyecto el cual conserva los puntos básicos del anterior. Uno de dichos puntos es el inventario de los humedales del país para su cuantificación, caracterización y análisis.

Los humedales altoandinos más característicos y extensos son vegas, lagos y lagunas, y salares (Ramsar 2005). Entre ellos y dentro de cada uno de estos tipos hay una gran variabilidad de tipologías morfológicas y funcionales, que difieren en estacionalidad, tamaños, formas, conectividad o características hidroquímicas (Caziani y Derlindati 1999). Estos distintos tipos de humedales se encuentran frecuentemente asociados espacialmente y sus límites pueden fluctuar entre una clase y otra; por ejemplo los salares pueden temporariamente convertirse en cuerpos de agua (i.e. lagunas) en algún momento determinado, y exhiben distinta fragilidad ecológica a fluctuaciones hídricas asociadas a causas climáticas, (e.g. prolongadas sequías, alta irradiación, fuertes vientos y amplitudes térmicas extremas; Caziani y Derlindati 1999); o antrópicas como la minería y el pastoreo (Reboratti 2006).

Los rasgos de los diferentes humedales y

su respuesta a los distintos impactos antrópicos tienen consecuencias particulares para el estado y conservación del mismo. Vegas o bofedales son altamente sensibles a cambios hidrológicos tanto en volumen como en la velocidad de flujo del agua que es un factor clave para mantener la vegetación cespitosa y su configuración de «varias y pequeñas represas» que la forma y la mantiene (Ruthsatz 1993, Squeo *et al.* 2006). Lagos y lagunas de la región son sensibles a cambios en los patrones de balance hídrico (Carilla *et al.* 2013, Morales *et al.* 2015), que ha mostrado una tendencia decreciente que posiblemente se prolongue en el futuro (Beniston *et al.* 1997, Morales *et al.* 2015). Los salares son de diferente tipo según sus atributos físicos y químicos lo que hace que tengan distinta importancia económica, y por lo tanto distinta presión antrópica, dependiendo del mineral que los forma (Ballivian y Risacher 1981). A su vez, la compleja interacción entre uno y otro tipo de humedal vecino o aledaño podría influir en el estado de degradación del sistema como un todo.

Las diferentes características físicas y geográficas de los humedales, además de determinar su vulnerabilidad al impacto antrópico dependiendo del recurso o servicio que provean, les proporcionan ciertos atributos que pueden dificultar su mapeo a través de sensores remotos. Por ejemplo, las vegas tienen formas y localizaciones particulares donde la topografía dificulta el mapeo de las unidades funcionales completas (Izquierdo *et al.* 2015). Lagos y lagunas, si bien son en general más fáciles de mapear por su contraste marcado con la matriz circundante, merecen especial atención y rigor en la definición de límites para permitir el monitoreo en el tiempo dada su sensibilidad a cambios climáticos e hidrológicos (Carilla *et al.* 2013). Los salares por su parte, pueden tener diferente aspecto dependiendo de las características geológicas de las áreas circundantes que a través de la erosión acumula y concentra diferentes minerales bajo la costra salina. La extensión y profundidad de dicha costra, en combinación con la dinámica de evaporación, condiciona la «textura» de la

superficie (Ballivian y Risacher, 1981) y dicha micro-topografía le confiere distintas características espectrales. Finalmente, la definición del límite entre un tipo de humedal y otro aledaño varía en el tiempo de acuerdo al estado en el que se encuentra el hidroecosistema como un todo. Por ejemplo, la superficie entre salar y laguna varía durante y entre años de acuerdo a fluctuaciones en el balance hídrico; o la transición «Vega salitrosa» puede fluctuar entre salar y vega de acuerdo al nivel de concentración de sal y humedad del suelo, que afectan las propiedades espectrales.

El objetivo de este trabajo fue realizar un primer inventario regional de los principales humedales de la Puna de Argentina. Incluyendo el mapeo de lagos, lagunas y salares y la actualización del mapeo de vegas de Izquierdo *et al.* 2015. Presentamos aquí: 1) un método aplicable a escala regional para el mapeo y monitoreo de humedales, 2) el primer inventario regional de los principales humedales de la región puneña de las provincias de San Juan, La Rioja, Catamarca, Salta y Jujuy; y 3) una definición de hidroecosistema basada en la complejidad funcional de las diferentes clases de humedales para la consideración en el manejo y la conservación de éstos sistemas.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio, de 14.3 millones de ha se delimita al Norte y Oeste por los límites internacionales con Bolivia y Chile respectivamente; al Este por la cota altitudinal de los 3200 msnm; y al Sur por los límites de la Reserva de Biosfera San Guillermo en la provincia de San Juan (Figura 1, Izquierdo *et al.* 2015). La región se caracteriza por el clima árido, con una precipitación media anual de entre 100 y 400 mm; temperatura media anual de 9° a 0° en las zonas más altas (Cabrera 1976) y una gran amplitud térmica diaria. La altitud del área de estudio va de los 2900 (por zonas de menor altitud en el interior del área de estudio) a los 6900 msnm, lo cual determina altos niveles de

radiación que junto a los fuertes vientos de la región provocan altas tasas de evaporación.

Estas características de la región definen muchos de los atributos de los humedales y con ello su importancia socioeconómica. Por un lado, muchos humedales, principalmente lagos y lagunas, son la fuente sobre la que se impulsa el turismo (por ejemplo Pozuelos, Vilama, Diamante) y la razón de ejecutar programas de protección y seguimiento de sus recursos naturales y/o culturales (Tabla 1). Aunque las áreas protegidas de la región son creadas para poner en valor los cuerpos de agua más importantes (Tabla 1), las mismas podrían ayudar a la protección de otros humedales menos reconocidos como las vegas asociadas o cercanas. Paralelamente, el incremento de la minería en la región es muy dependiente de los humedales, tanto para la provisión de agua en el proceso productivo, como para la provisión de recursos minerales como es el caso de los salares. Los salares de altura de mayor extensión del mundo se encuentran en la puna sudamericana. De los 20 mayores salares del mundo, que totalizan aproximadamente 58 millones ha, 11 se encuentran en Argentina (63% de la superficie total), de los cuales nueve (14% de la superficie total) se encuentran en nuestra área de estudio (Tabla 2). A su vez los seis mayores salares de mayor altitud se encuentran en Argentina en nuestra área de estudio (Tabla 2) lo cual es una característica de interés productivo para la extracción de minerales basada en piletones de evaporación solar como la de litio, boratos y cloruro de sodio.

2.2. MÉTODOS

La identificación de humedales se llevó a cabo a partir de una clasificación supervisada sobre mosaicos de 19 imágenes Landsat 5TM (entre las filas 231 a 233, y las columnas 75 a 81) y una Landsat 8 (232/80), con píxeles de 30x30 y nivel de pre-procesamiento LT1 (http://landsat.usgs.gov/descriptions_for_the_levels_of_processing.php). Para construir un mosaico libre de nubes usamos escenas de diferentes años (entre 2009 y 2011 para las imágenes 5TM y 2013 la ima-

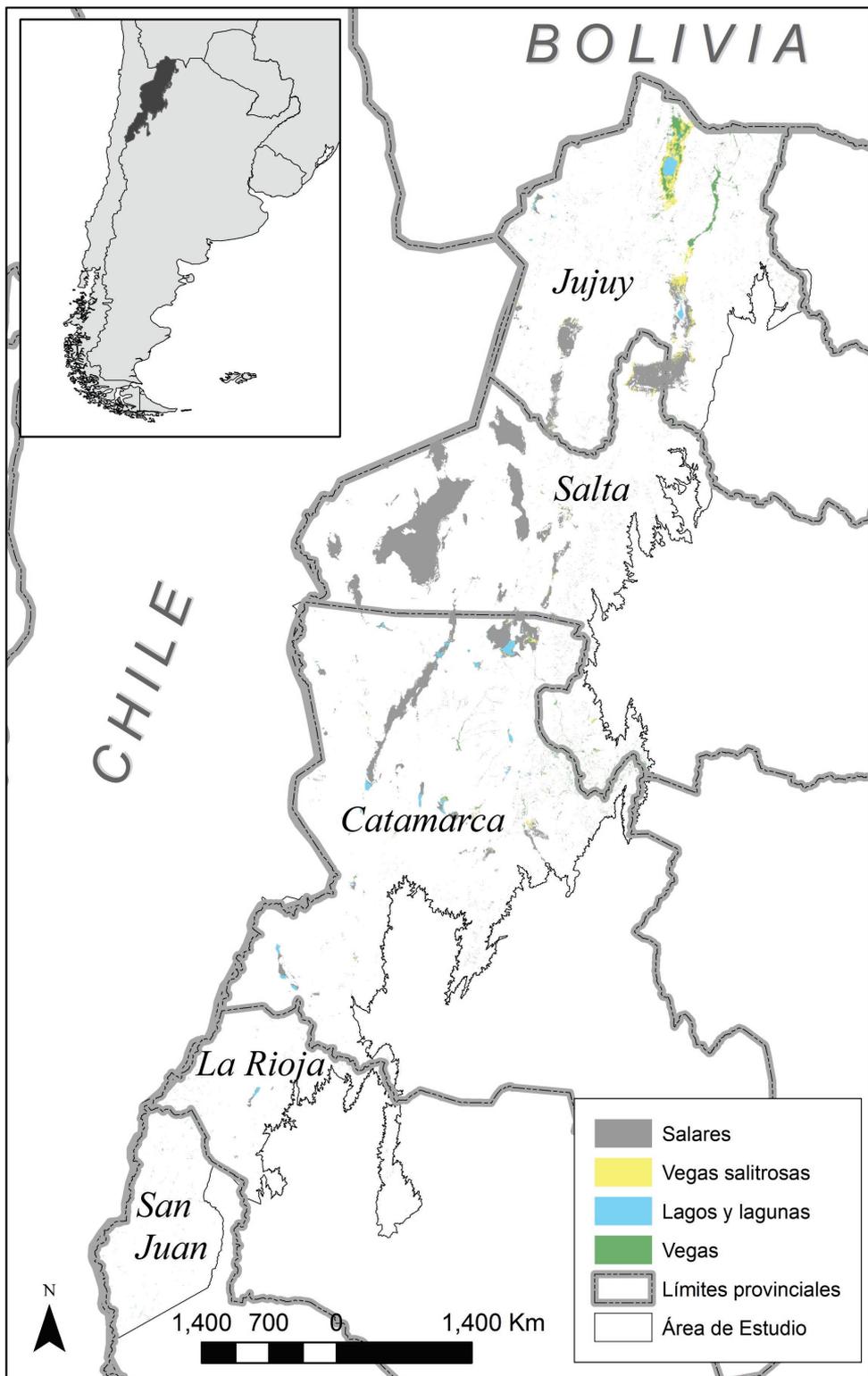


Figura 1. Área de Estudio y humedales mapeados: Salares, Lagos y Lagunas, y Vegas.

Tabla 1. Áreas Protegidas de la región que incluyen humedales relevantes para la conservación.

Humedal (es)	Característica ambiental relevante	Estatus de conservación
Lagunas de Pozuelos (Jujuy)	Sitio de nidificación de aves migratorias incluyendo 3 especies de flamencos.	Monumento Natural, Reserva de Biosfera y Sitio Ramsar.
Laguna Blanca (Catamarca)	Incluida en el Sitio Ramsar Lagunas Altoandinas y Puneñas de Catamarca.	Reserva de Biosfera.
Lagunas de Vilama (Jujuy)	Sistema de lagunas altoandinas con una importante comunidad de aves asociada, con especies amenazadas y/o endémicas como la gallareta cornuda (<i>Fulica cornuta</i>) y los flamencos de james (<i>Phoenicoparrus jamesi</i>) y andino (<i>P. andinus</i>).	Sitio Ramsar.
Lagunas Altoandinas y Puneñas (Catamarca)	Serie de cuencas endorreicas, con depósito de salares (Carachi Pampa) o lagunas (Grande, Diamante, Baya, del Salitre, Aparoma, Purulla y Peinado (Subsitio Norte) y las cumbres más altas de América comprendiendo las lagunas, Aparejos, Las Tunas, Azul, Negra, Verde y Tres Quebradas (subsitio Sur).	Sitio Ramsar.
Laguna Brava (La Rioja)	Sistema de lagunas altoandinas de aguas salinas e hipersalinas de escasa profundidad con vegas asociadas que preservan especies y diversidad genética de la región.	Sitio Ramsar.

gen Landsat 8); y para maximizar el contraste de los humedales con la matriz circundante usamos escenas de los meses húmedos (enero-abril) Las escenas usadas fueron: Landsat 5TM; Marzo 2010 (231/75, 231/76, 231/77), Abril 2011 (231/78), Febrero 2008 (231/79), Febrero 2009 (232/75), Febrero 2010 (232/76, 232/77, 232/78, 232/79), Enero 2009 (233/77, 233/79), Febrero 2009 (233/78), Marzo 2011 (233/80), Febrero 2011 (233/81); y Landsat 8; Abril 2013 (232/80). Para la clasificación de humedales se siguió una metodología en dos pasos.

A partir de un análisis exploratorio con clasificación no supervisada K-means, se optó por considerar como «humedal» a las siguientes clases temático-espectrales: salares blancos, salares oscuros, cuerpos de agua y vegas salitrosas. Posteriormente, se llevó a cabo la clasificación supervisada utilizando el algoritmo de máxima verosimilitud sobre las 7 bandas originales y una máscara que deja fuera del análisis a las porciones de terreno con pendientes mayores al 1 %. Los datos de entrenamiento y de validación fueron obtenidos en campo (en diferentes cam-

Tabla 2. Caracterización de los principales salares del mundo.

Nombre	Área estimada	País	Altitud media (msnm)
Salinas Grandes (a)	30.000.000	Argentina	200
Uyuni (b)	10.582.000	Bolivia	3680
Etosha	4.800.000	Namibia	1000
Atacama	3.000.000	Chile	2305
Arizaro	2.337.000	Argentina	4028
Coipasa	2.239.000	Bolivia	3657
Hombre Muerto	537.000	Argentina	4000
Antofalla	709.000	Argentina	3900
Pipanaco	600.000	Argentina	712
Empexa	483.000	Bolivia	3723
Rincón	397.000	Argentina	3900
Pocitos	393.000	Argentina	3710
Pedernales	335.000	Chile	3250
Bonneville	260.000	EEUU	1280
Olaroz	260.000	Argentina	3903
Chiguana	254.000	Bolivia	3650
Punta Negra	250.000	Chile	3000
Salinas Grandes (c)	212.000	Argentina	3400
Cauchari	198.000	Argentina	3900
Rio Grande	180.000	Argentina	3700
TOTAL	58.005.000		
	% Argentina	63	
	% Área de Estudio	14	

(a) Salinas Grandes del Centro de Argentina: mayor salar en comarca del mundo; 6.000.000 ha continuo.

(b) Mayor salar continuo del mundo.

(c) Salinas Grandes del Norte de Argentina, incluidas en nuestra área de estudio.

pañas en meses de verano entre diciembre de 2013 y enero de 2015) y a partir de análisis visual simultáneo en las imágenes Landsat y en imágenes de alta resolución en GoogleEarth®. Junto a las clases de «humedal», se tomaron muestras de distintas clases espectrales de «no humedal» para reducir la variabilidad de una superclase «no-humedal» y eventualmente minimizar la confusión de la clasificación. La clasificación se ejecutó sobre submosaicos de escenas con características espectrales homogéneas utilizando un set de entrenamiento por cada sub-mosaico. Finalmente se unieron los sub-mosaicos en un solo mosaico de toda el área de estudio.

Para la actualización del mapa de vegas se utilizó el mismo mosaico usado previamente (Izquierdo *et al.* 2015) y descripto arriba; y se seleccionaron más polígonos de entrenamiento mejor distribuidos. Dado que

la fragmentación en el interior de las vegas era la principal limitación del mapa base (Izquierdo *et al.* 2015), para su actualización se buscó lograr una representación más continua de cada vega. Para ello se reclasificaron en mapas dicotómicos los NDVI de cada sub-mosaico tomando como umbral el mínimo valor presente en los polígonos de entrenamiento de vega. El mapa final es la unión entre el mapa base y los nuevos mapas dicotómicos vega –no vega.

Posteriormente todas las clases fueron editadas de acuerdo a la definición asumida para cada una con la finalidad de darle unidad espacial a las unidades ecológicas. Para ello en la clase «Salar» se unieron polígonos adyacentes entre sí y se nombraron por el nombre conocido del salar. En caso de no conocerse nombre o de haber polígonos pequeños separados, se nombraron al conjunto de éstos por el nombre de la subcuenca a la

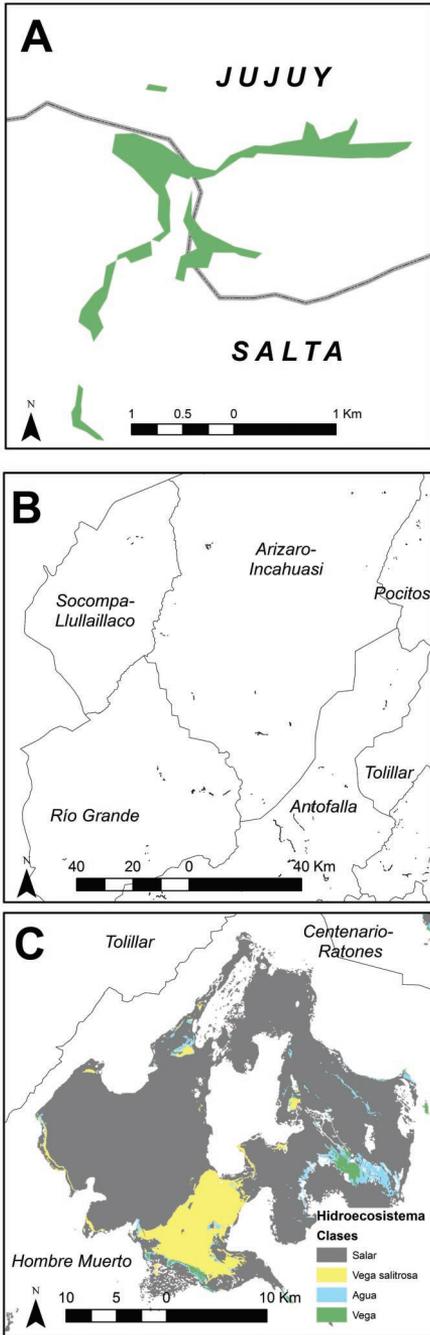


Figura 2. Ejemplos: (A) del alcance del nuevo mapa en cuanto a unificación de polígonos en acercamiento correspondiente a la vega Tocomar; (B) y de precisión en zonas más áridas en acercamiento a las vegas detectadas en el nuevo mapa en la subcuenca de Socompa; y (C) hidroecosistema conformado por diferentes clases de humedales.

que pertenecen. Los mismos criterios se usaron para la clase «Lagos y Lagunas». Para la clase «Vega Salitrosa» se eliminaron las áreas de ésta que solapaban con el mapa actualizado de vegas priorizando así la categoría más general de «Vegas».

Por último realizamos un análisis de vecindad identificando los polígonos de cada clase que limitaban con polígonos de otra clase y unimos a éstos en una super-clase que denominamos «Hidroecosistema»; es decir, unidades que incluyen todos los humedales adyacentes independientemente de su categorización. Con éstos sistemas complejos queremos poner en relevancia la característica fluctuante e independiente entre las distintas clases por lo cual su separación, sería difícil y no representativa de la complejidad del sistema; que deberían ser considerados como una unidad funcional a los fines del manejo y la conservación.

3. RESULTADOS

El mapeo final reporta 866.580 ha de humedales, de los cuales 654.076 ha son salares (6.04% de la superficie del área de estudio), 40.486 ha son cuerpos de agua (0,28%), 61.123 ha son vega salitrosa (0,43%) y 110.895 ha son vegas (0,78%) (Figura 1, Tabla 3).

La clasificación de salares, lagos y lagunas, y vegas salitrosas tiene una confiabilidad global de 88% y un kappa de 0,78. Mientras el mapa actualizado de vegas aumenta de 85,5% a 87,15% de precisión con respecto al mapa de vegas reportado en Izquierdo *et al.* (2015); (Tabla 4) mejorando la precisión particularmente en las áreas más áridas del oeste donde el mapa anterior subestimaba la cobertura de vegas (Izquierdo *et al.* 2015, Figura 2A-B).

Salares, y lagos y lagunas se distribuyen entre un amplio rango de clases de tamaño (Figura 3A). Los salares son menos numerosos (33 unidades) y van de las pocas hectáreas (11 de entre 1 a 10 hectáreas) hasta 234.000 ha en el salar de Arizaro que es el mayor salar de la región (Figura 3A). Lagos y lagunas son más numerosos (113 unida-

Tabla 3. Superficies totales por clase de humedal.

Clase	Superficie (ha)	Porcentaje	
		Superficie total	Área estudio
Salar	654.076	75.5	6.04
Agua	40.486	4.7	0.28
Vega salitrosa	61.123	7	0.43
Vegas	Izquierdo <i>et al.</i> 2015	/	0.66
	Actualizado	110.895	0.78
TOTAL	866.580	100	8,19

(a) No incluido en la suma total.

des) pero de menor extensión; van de menos de 10 ha (unas 66 unidades) a 11.038 ha que reporta el mapa para el sistema de lagunas de Pozuelos (Figura 3A). Mientras tanto la distribución en rangos de tamaños de las vegas mantienen los patrones reportados en Izquierdo *et al.* 2015 con leves modificaciones en la cantidad de unidades en cada rango (Figura 3B). Especialmente se observan mayor cantidad de unidades en el rango de 1 a 10 ha (11.025 actualmente a diferencia de las 8.095 del mapa anterior), mientras en el resto de los rangos de tamaño el número de vegas en el mapa actualizado es menor que en el mapa de Izquierdo *et al.* 2015 (Figura 3B).

La unión de áreas de diferentes clases colindantes resultó en 15 complejos de *Hidroecosistemas* que totalizan 634.851 ha, los cuales cuentan con zonas de transición entre clases que consideramos fluctuarán entre

una y otra (Figura 2C). La clase *Vegas Salitrosas* es la clase de transición por excelencia ya que es la clase que tiene la mayor superficie en contacto con otras clases. El 84% de la superficie de *Vegas Salitrosas* se sitúa en polígonos colindantes con la clase *Salar*, el 81% en polígonos vecinos a la clase *Vegas* y un 54% de su superficie pertenece a polígonos que colindan con *Lagos y Lagunas* (Tabla 5). El 35% de la superficie total de salares es de polígonos que limitan alguna parte de sus bordes con *Lagos y Lagunas* (Tabla 5) mientras el 64% de la superficie total de *Salar* colindan con *Vegas Salitrosas*. La clase *Vegas* solo tiene límites compartidos con *Vegas Salitrosas* (43% del total de su superficie).

De la superficie total (634.851 ha) de Complejos de *Hidroecosistemas*, 321.488 ha (50.6%) se encuentra bajo algún tipo de protección (Figura 4), de las cuales 224.753 ha

Tabla 4. Comparación de la precisión entre mapa de vegas de Izquierdo *et al.* 2015 y mapa actualizado.

	Izquierdo <i>et al.</i> 2015		Vegas actualizado	
	Vegas	No Vegas	Vegas	No Vegas
Vegas	384 (71%)	156	404 (74,8%)	136
No Vegas	3	1370 (99,8%)	6	1367 (99,5%)
Precisión	85,5%		87,15%	
Polígonos	10.429		77.537 (a)	

(a) Posteriormente se eliminaron los polígonos menores a 1 ha obteniendo un número final de polígonos de 13.118.

lo están solo bajo jurisdicción de áreas protegidas provinciales que suelen ser de muy poca eficiencia en los controles. Sólo 96.735 ha (el 15% de la superficie total) se encuentran bajo categorías de protección más eficaces tales como Reservas de Biosfera o Sitios Ramsar (Figura 4).

4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Los humedales son unidades funcionales de suma importancia, especialmente en regiones áridas donde proveen tanto recursos hídricos para el sustento de la biodiversidad y poblaciones locales; como minerales y

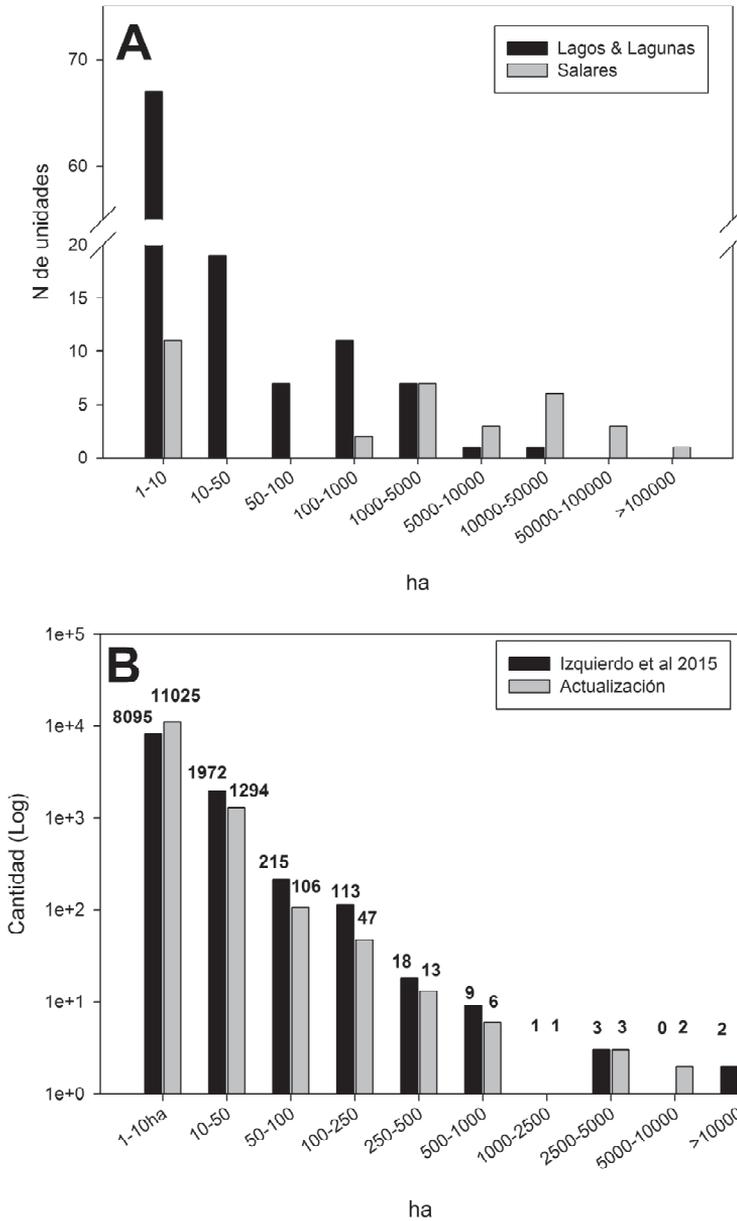


Figura 3. Distribución de tamaños de Salares y Lagos y Lagunas (A) y comparación en la distribución de tamaños entre el mapa de vegas de Izquierdo *et al.* 2015 y el mapa de vegas actualizado (B).

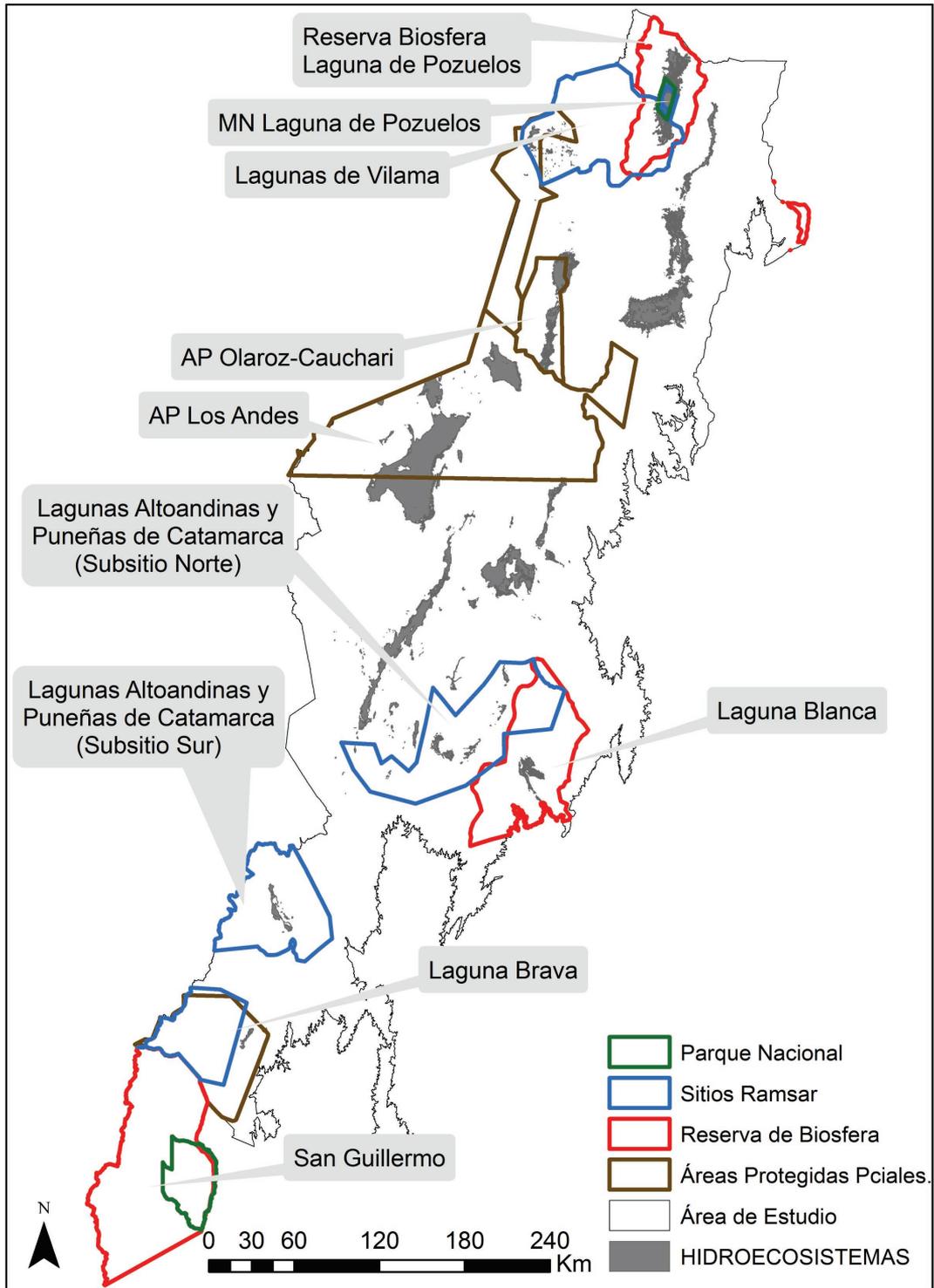


Figura 4. Ubicación de los complejos de hidroecosistemas propuestos y límites de áreas protegidas de la región de estudio.

Tabla 5. Distribución de tamaños de las diferentes clases de humedales en los Complejos de Hidroecosistemas.

	Superficie de polígonos colindantes (ha)			
	Salares	Agua	Vega salitrosa	Vega
Salares	/	21849.66 (54%)	51673.4049 (84%)	0
Agua	228249.063 (34%)	/	34984.5421 (57%)	0
Vega salitrosa	420380.865 (64%)	36297.54 (89%)	/	48248.8216 (43%)
Vega	0	0	49530.1323 (81%)	/
TOTAL	654076	40486	61123	110895

atractivos turísticos para el desarrollo local y regional (MEA 2005). En nuestra región de estudio se encuentran tipos muy particulares de humedales, como lagos y lagunas (la mayoría salinas) que soportan importantes poblaciones de aves migratorias (Caziani y Derlindati 1999, Tabla 1); los salares de mayor altitud conocidos y con importantes recursos mineros como cloruro de sodio (sal común de mesa), boratos y litio; y las vegas, que debido a sus características funcionales y sus patrones de distribución espacial son el soporte de la biodiversidad (Izquierdo *et al.* 2015, Nieto *et al.*, 2016) y los proveedores de servicios ecosistémicos básicos a las poblaciones locales (Anderson *et al.* 2009).

El manejo y conservación de los ecosistemas en general, y de los humedales en particular, se ve ampliamente beneficiado con el inventario de los mismos (Ramsar 2010) el cual proporciona información básica para la propuesta y ejecución de planes de manejo y conservación. En Argentina los propuestos proyectos de Ley de Humedales plantean ya el desarrollo del Inventario Nacional de Humedales para luego, sobre los humedales inventariados poder aplicar las herramientas de gestión y ordenamiento. El inventario regional de los mismos presentado aquí (Figura 1) ofrece información espacialmente explícita de su ubicación y patrones espaciales

de interés para la planificación territorial en el manejo y la conservación de éstos ecosistemas, que a pesar de su reconocida importancia han sido poco estudiados. El área relevada en este estudio incluye la mayor proporción de las zonas por encima de los 3200 m en la Argentina, y como tal, representa una contribución mayor al mapeo de humedales de montaña

El inventario de humedales completo (Figura 1, Tabla 3) muestra que la mayor superficie de humedales es la ocupada por salares (75%), seguidos por vegas (12,8% de vegas y 7% de vegas salitrosas) y finalmente lagos y lagunas (4,7%). Sin embargo el foco de las áreas de protección de la región se encuentra mayormente puesto en los cuerpos de agua y específicamente en su importancia para las aves migratorias (Tabla 1). Aunque no es un criterio menor, la expansión de dicho criterio incluyendo otras características relevantes y explícitamente otras clases de humedales en las áreas protegidas, podrían al menos hacer un importante cambio en la percepción de la importancia de las mismas. Un ejemplo emblemático puede ser quizás la creación en 2010 por el gobierno de Salta del área protegida de Socompa y Tolar Grande. Aunque ésta también es un área de lagunas incluye salares, y el objeto de conservación son los estromatolitos, agrupaciones de

microbios fotosintéticos asociados a distintos grupos bacterianos y concreciones calcáreas, que cuentan con gran relevancia científica, al permitir estudiar el origen de la vida y los ciclos geoquímicos de los elementos que la sostienen (Farias 2012). Los estromatolitos de la Puna, serían los primeros reportados en ambientes de altura, lo cual tiene una relevancia especial por ser ambientes similares a los de la tierra arcaica sin capa de ozono, donde se originó la vida (Farias *et al.* 2013).

La información espacial de calidad es crucial para una planificación territorial que considere las diferentes características de un área más allá de las más obvias. La actualización del mapa de vegas presentado aquí muestra mayor precisión en la captación de vegas que el mapa precedente (Tabla 3, Figura 2A B), lo cual se observa en la mayor cantidad de vegas de pequeño tamaño y el menor número de vegas en los otros rangos de tamaño (Figura 3B). Esto puede deberse a que las vegas de las zonas más áridas (e.g. Socompa) que anteriormente no fueron captadas si lo son en ésta actualización (Figura 2B); mientras que el hecho de no necesitar el post procesamiento de agru-pamiento de polígonos vecinos para representar las verdaderas unidades funcionales (Izquierdo *et al.* 2015), no incrementa la superficie de las vegas de manera innecesaria especialmente en las de mayor superficie respetando mucho mejor los límites reales (Figura 2A).

A su vez, un conocimiento integrado de las diferentes clases de humedales en la región muestra la gran interacción y contacto espacial entre clases (Figura 2C, Tabla 5), la cual además fluctúa entre estaciones y entre años de acuerdo a variaciones climáticas naturales y/o modificaciones antrópicas de componentes del ciclo hidrológicos. Por ésta razón, la consideración de los humedales como un complejo de «hidroecosistema» que incorpore éstas interacciones y fluctuaciones entre clases de humedal podría ser relevante para el diagnóstico y monitoreo tendiente al manejo y la conservación del ecosistema. Del porcentaje de éstos de estos ecosistemas cla-

ves que tiene algún tipo de protección en la actualidad (Tabla 1, Figura 4) sólo una pequeña proporción está bajo áreas de jurisdicción reconocidas como medianamente eficientes. Como en otras regiones en desarrollo y subdesarrolladas, la eficiencia de las áreas protegidas que incluyen humedales es diversa y entre las áreas protegidas existentes se encuentran algunas sin medidas efectivas de control («áreas de papel», CBD 2010). Nosotros creemos que en el caso de las áreas protegidas que incluyen humedales altoandinos deberían evaluarse su real nivel de implementación considerando la diversidad de clases de éstos y sus dinámicas espaciales, presentadas aquí, para lo cual creemos que el concepto de complejo de hidroecosistema puede ser útil. Adicionalmente es necesario avanzar en análisis de series temporales que permitan caracterizar las dinámicas de fluctuaciones en el tiempo para ser consideradas en lineamientos de manejo sustentable.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido financiado por CONICET, FONCYT a través del PICT 2012-1565 y becas de Rufford Foundation y FOCA-Galicia a Andrea E. Izquierdo.

REFERENCIAS

- Anderson, E. P., Marengo, J., Villalba, R., Halloy, S., Young, B., Cordero, D. y Ruiz, D. 2011. Consequences of climate change for ecosystems and ecosystem services in the tropical Andes. Climate Change and Biodiversity in the Tropical Andes. MacArthur Foundation, Inter-American Institute for Global Change Research (IAI), Scientific Committee on Problems of the Environment (SCOPE), 1-5.
- Ballivian, O. y F. Risacher. 1981. Los salares del altiplano boliviano: métodos de estudio y estimación económica. IRD ediciones. Bolivia, 249 pp.
- Beniston M, Diaz H, Bradley R. 1997. Climatic change at high elevation sites. An overview. Climatic Change 36, 233-251.
- Cabrera, A. L. 1976. Regiones fitogeográficas argentinas. Editorial Acme. Bs As, Argentina.
- Carilla, J., H. R. Grau, L. Paolini and M. Morales. 2013. Lake Fluctuations, Plant Productivity, and Long-Term Variability in High-Elevation Tropical

- Andean Ecosystems. Arctic, Antarctic, and Alpine Research 45 (2): 179-189.
- Caziani, S. y E. Derlindati. 1999. Humedales Altoandinos del Noroeste de Argentina: su contribución a la biodiversidad regional. *En*: Tópicos de Humedales Subtropicales y Templados de Sudamérica. A. I. Malvarez (ed). MAB UNESCO, Montevideo, Uruguay.
- CBD. 2010. Perspectiva Mundial sobre la Diversidad Biológica 3. Secretaría del Convenio sobre la Diversidad Biológica. Montreal. 94 pp.
- Farías, M.E. 2012. Microorganismos que viven en condiciones extremas en lagunas altoandinas. *Ciencia Hoy* 21 (126): 26-33.
- Farías ME, Rascovan N, Toneatti DM, Albarracín VH, Flores MR, *et al.* 2013 The Discovery of Stromatolites Developing at 3570 m above Sea Level in a High-Altitude Volcanic Lake Socompa, Argentinean Andes. *PLoS ONE* 8(1): e53497. doi:10.1371/journal.pone.0053497.
- Izquierdo, A. E., J. Foguet, H.R. Grau. (2015). Mapping and spatial characterization of Argentine High Andean peatbogs. *Wetlands Ecology and Management* 23(5): 963-976. DOI 10.1007/s11273-015-9433-3.
- Millennium Ecosystem Assessment (MEA). 2005. Ecosystems and Human Well-Being: Biodiversity Synthesis; World Resource Institute: Washington, DC, USA.
- Morales, M., J. Carilla, H.R. Grau, R. Villalba. 2015. Multi-century lake area changes in the Andean high - elevation ecosystems of the Southern Altiplano. *Climate of the Past* 11:1821-1855.
- Nieto, C., A. Malizia, J. Carilla, A. E. Izquierdo, J. Rodríguez, S. Cuello, M. Zannier y H. R. Grau. 2016. Patrones espaciales en comunidades de macroinvertebrados acuáticos de la Puna. Argentina. *Biología Tropical* 62(2):1-16.
- Ramsar. 2005. Regional Strategy for the Conservation and Sustainable Use of High Andean Wetlands. Kampala, Uganda.
- Ramsar. 2015. La convención y su misión. <http://www.ramsar.org/es/acerca-de/la-convenci%C3%B3n-de-ramsar-y-su-misi%C3%B3n> Consultado el 30 de Noviembre de 2015.
- Ramsar. 2010. Inventario, evaluación y monitoreo: Marco Integrado para el inventario, la evaluación y el monitoreo de humedales. Manuales Ramsar para el uso racional de los humedales, 4ª edición, vol. 13. Secretaría de la Convención de Ramsar, Gland (Suiza).
- Reboratti C. 2006. La situación ambiental en las eco-regiones Puna y Altos Andes. En Brown AD, Martínez Ortiz U, Acerbi M, Corcuera J (Eds). *La Situación Ambiental Argentina 2005*. Fundación Vida Silvestre Argentina
- Ruthsatz, B. 1993. Flora and ecological conditions of high Andean peatlands of Chile between 18°00' (Arica) and 40°30' (Osorno) south latitude. *Phytocoenologia* 25: 185-234.
- Squeo, F. A., Warner, B. G., Aravena, R. and Espinoza, D. 2006. Bofedales: high altitude peatlands of the central Andes. *Revista Chilena de Historia Natural* 79: 245-255.