

# FLUCTUACION ESPACIO-TEMPORAL DEL COMPLEJO DE LAGUNAS DE GUANACACHE, DIVISADERO Y BEBEDERO DURANTE 1987-2018

SPACE-TEMPORARY FLUCTUATION OF THE LAGUNAS DE GUANACACHE,  
DIVISADERO AND BEBEDERO COMPLEX DURING 1987-2018

**Victoria ARANCIBIA ABRAHAN**

Facultad de Filosofía y Letras. Universidad Nacional de Cuyo

vic.arancibia@hotmail.com

Profesor tutor: Andrés LO VECCHIO

## RESUMEN

El complejo de lagunas de Guanacache, Divisadero y Bebedero (CGDB) es un importante sitio RAMSAR interjurisdiccional, el primero de este tipo en la Argentina, con una gran riqueza cultural y ecológica. Su importancia se remonta a fines del siglo XVI, cuando el lugar era un sitio económicamente productivo. Sin embargo, la aparición y desarrollo de los oasis y zonas productivas de las provincias de Mendoza y San Juan, redujo el volumen de agua de los afluentes principales de dicho complejo lagunar vertido en ese sistema, provocando una marcada retracción del CGDB. En efecto, el objetivo del presente estudio es reconstruir la fluctuación espacio-temporal que ha tenido lugar en el CGDB durante el periodo 1987-2018. Para ello se propone el uso de herramientas de teledetección y de sistemas de información geográfica. Entre los principales resultados se destaca una pérdida del 80 % de esta cubierta entre 1987 y 2018, a una tasa de  $-5,9 \text{ km}^2/\text{año}$ .

**Palabras claves:** Lagunas Guanacache, RAMSAR, Teledetección, LANDSAT, Reconstrucción espacio-temporal

## ABSTRACT

The lagoon complex of Guanacache, Divisadero and Bebedero (CGDB) is an important inter-jurisdictional RAMSAR site, the first of its kind in Argentina, with a great cultural

---

and ecological wealth. Its importance dates back to the end of the 16th century, when the place was an economically productive site. However, the appearance and development of the oases and productive areas of the provinces of Mendoza and San Juan, reduced the volume of water of the main tributaries of said lagoon complex poured into that system, causing a marked retraction of the CGDB. Indeed, the objective of the present study is to reconstruct the space-time fluctuation that has taken place in the CGDB during the period 1987-2018. For this purpose, the use of remote sensing tools and geographic information systems is proposed. Among the main results, an 80% loss of this cover stands out between 1987 and 2018, at a rate of -5.9 km<sup>2</sup> / year.

**Keywords:** Guanacache Lagoons, RAMSAR, Remote Sensing, LANDSAT, Space-Time Reconstruction

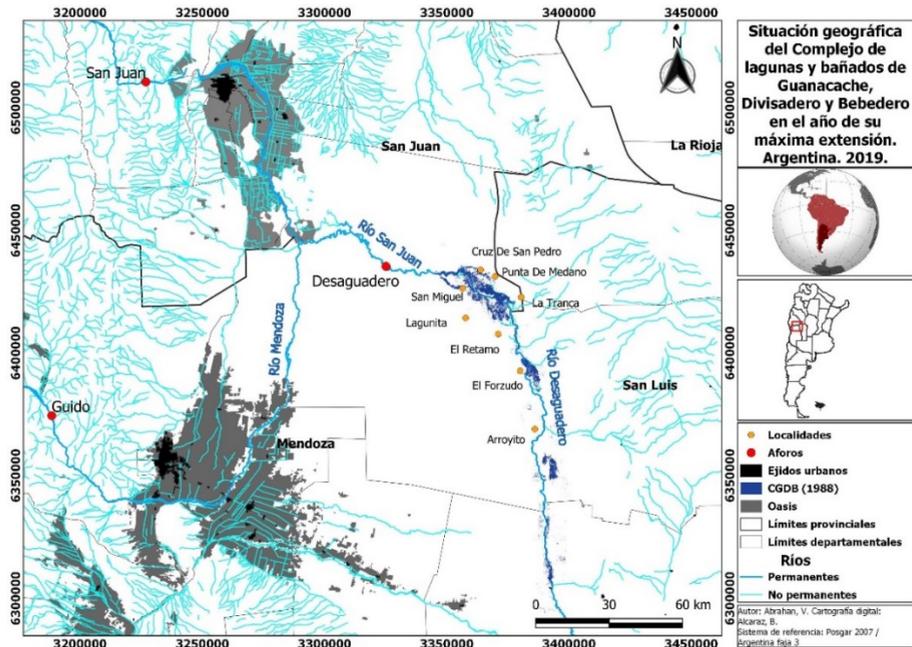
## INTRODUCCION

El complejo de lagunas y bañados de Guanacache, Divisadero y Bebedero (CGDB), se encuentra ubicado al noreste de la provincia de Mendoza, al sureste de la provincia de San Juan y noroeste de la provincia de San Luis (Argentina). Éste se encuentra integrado por las lagunas Huaquinchay, del Toro, La Balsita, del Rosario, Echuna, Silverio y las Ciénagas del Tulumaya, las cuales son alimentadas por los ríos Mendoza, San Juan y Desaguadero (Figura 1). El 14 de diciembre del año 1999, el CGDB fue declarado sitio RAMSAR.

La Convención de RAMSAR, es un tratado intergubernamental que sirve de marco para la acción nacional y la cooperación internacional en pro de la conservación y el uso racional de los humedales y sus recursos. Dicho complejo es el primer sitio de estas características con carácter interjurisdiccional, al ser integrado por Mendoza, San Juan y San Luis.

Este humedal que antiguamente fuese una zona productiva y abundante en recursos, comenzó a presentar una merma, a partir del siglo XX, en los caudales que arribaban hacia él (Vitali y Galileo, 1940; Abraham y Prieto, 1991; Escolar y Saldi, 2013). De acuerdo a Chiavazza y Prieto (2015), uno de los orígenes de la retracción del CGDB estaría atribuido a procesos de erosión retrocedente como consecuencia

de roturas de diques naturales hace menos de 100 años. Sin embargo, Abraham et al. (2003) sugiere que, además de las características naturales propias de la región del monte y su dinámica, la causa principal fue la apropiación de las aguas de los ríos para abastecer las necesidades de los oasis productivos (Figura 2). Esto provocó la reducción en el área de la laguna, la cual trajo aparejada la formación de cárcavas y la modificación del ambiente y el ecosistema lagunar.

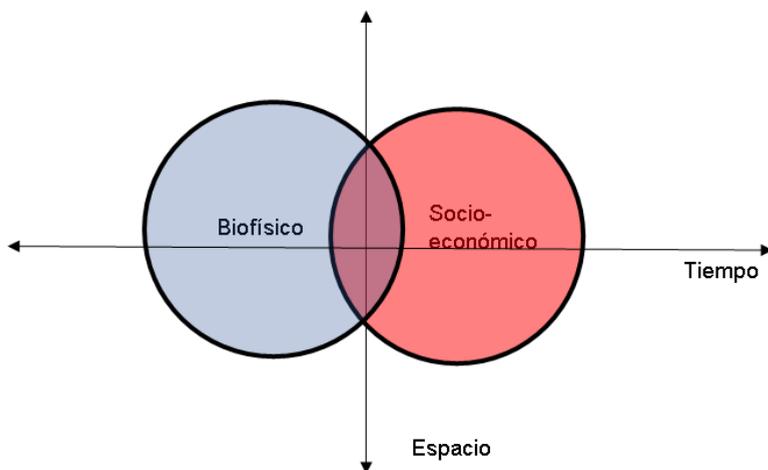


**Figura 1.** Ubicación del CGDB, áreas urbanas, red de drenaje y afloros. Fuente: Abraham, V. Cartografía digital: Alcaraz, B. 2018, sobre la base de datos obtenidos del Sistema de información ambiental territorial (SIAT) e Infraestructura de datos espaciales de la República Argentina (IDERA).2018.

Respecto a esto, Heber Sosa (2012) expone que *“La principal problemática del lugar es la degradación de los humedales por la erosión hídrica de tipo laminar y por surcos que se producen en la base de las cubiertas receptoras”*. También se pueden mencionar diversos problemas como son el deterioro de la vegetación palustre por sobrepastoreo, uso de agua por emprendimientos olivícolas en las márgenes del río San Juan, dentro del área de protección del sitio Ramsar, tala clandestina de especies

autóctonas como el algarrobo y el chañar y la dispersión y establecimiento de arbustales.

Como consecuencia, el presente trabajo, tiene por objetivo reconstruir la fluctuación areal experimentada por el CGDB durante el periodo 1987-2018, observando tanto fenómenos biofísicos, como los caudales de los principales afluentes y socioculturales, como la creación de estructuras hídricas y uso del agua, que se entrelazan en el territorio estudiado. Para lograrlo se propone un análisis espacio-temporal del CGDB, utilizando como recursos imágenes satelitales, sistemas de información geográfica, datos estadísticos y bibliográficos. En ese contexto, este trabajo es el primero en arrojar luz acerca de las variaciones interanuales de la superficie lagunar ocupada por el CGDB y arrojar información georreferenciada. Del mismo se pretende que funcione como información de base para futuros planes de ordenamiento territorial y gestión del territorio.



**Figura 2.** Sistema socio-natural. Fuente: Extraído y adaptado de Abraham et al., (2017)

### Objetivo General

Detectar, reconstruir y analizar la fluctuación areal del Complejo de lagunas y bañados de Guanacache, Divisadero y Bebedero, durante el periodo 1987-2018.

### Objetivos Específicos

- Reconstruir la superficie lagunar durante el periodo 1987-2018 y analizar su evolución espacio-temporal, mediante el uso de sensores remotos.
- Observar correlaciones entre las series de caudales de los ríos Mendoza, San Juan y Divisadero y las fluctuaciones superficiales del complejo lagunar.
- Indagar conflictos sociales, políticas públicas y construcción de infraestructura capaces de modificar el régimen hidrológico del sistema lagunar.

### DATOS

#### Imágenes Satelitales LANDSAT 5 Y 8

Para realizar el análisis de la fluctuación del complejo de lagunas y bañados de Guanacache, Divisadero y Bebedero durante el periodo 1987-2018 se utilizaron 8 escenas LANDSAT 5 y 8. El sistema lagunar se alimenta principalmente de los ríos Mendoza, San Juan y Desaguadero, todos con régimen niveo-glaciar, confiriéndoles la particularidad de presentar un régimen hidrológico de periodo anual. Para evitar sesgos en el área calculada debido a fluctuaciones estacionales en el caudal, las escenas seleccionadas correspondieron únicamente a los meses de diciembre y enero donde pueden observarse los caudales máximos históricos (Tabla 1). Las imágenes fueron provistas por el Servicio Geológico de los Estados Unidos y procesadas en el software libre QGIS 3.02.

ID	Plataforma - Sensor	Fecha de adquisición
LT52310821987001XXX03	LANDSAT 5– TM	01-01-1987
LT52310821988020CUB00	LANDSAT 5–TM	20-01-1988
LT52310821992015CUB00	LANDSAT 5– TM	15-01-1992
LT52310821998351COA00	LANDSAT 5– TM	17-12-1998
LT52310822005002CUB01	LANDSAT 5– TM	02-01-2005

LT52310822009013COA00	LANDSAT 5- TM	13-01-2009
LC82310822014011LGN01	LANDSAT 8 -OLI/TIRS	11-01-2014
LC82310822018022LGN00	LANDSAT 8 - OLI/TIRS	22-01-2018

**Tabla 1.** Características de las escenas utilizadas en este estudio. Fuente: Extraído de Servicio Geológico de los Estados Unidos. Earth Explore.2018

## Caudales

- **Caudales medios mensuales:** se obtuvieron las series temporales de los caudales medios mensuales de los ríos Mendoza, San Juan y Desaguadero para el periodo 1987-2018. De ellos, se calcularon los caudales medios anuales y los caudales medios correspondientes a los periodos entre imágenes. Ambos acondicionamientos permitieron un posterior contraste con la reconstrucción del área lagunar. Los datos fueron descargados de la página de la Secretaría de Infraestructura y Política Hídrica de la Nación Argentina.

## METODOLOGÍA

### Reconstrucción espacio-temporal de la superficie lagunar del CGBD

Considerando que las imágenes LANDSAT 5 y 8 son multiespectrales (Chuvieco, 2000), es factible observar y analizar el comportamiento del complejo de lagunas y bañados de Guanacache, Divisadero y Bebedero en distintas porciones del espectro electromagnético (Tabla 2). Este conocimiento es el fundamento de base para proponer el uso de índices, cocientes de bandas y de composiciones RGB (Chuvieco, 2000).

En este trabajo se propone el uso del Índice de Agua de Diferencia Normalizada (NDWI) y el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) como productos de base para la detección y delimitación del CGDB. Dicha elección estuvo justificada en el uso conjunto de los mismos en trabajos con superficies cubiertas de agua y gran cantidad de vegetación lacustre y palustre (Ariza et al., 2017; Maestri et al 2019).

	LANDSAT 5 – TM		LANDSAT 8 – OLI/TIRS	
Banda	Longitud de onda (μm)	Zona del espectro	Longitud de onda (μm)	Zona del espectro
1	0,45-0,52	Azul	0,43-0,45	Aerosol Costero
2	0,52-0,60	Verde	0,45-0,51	Azul
3	0,63-0,69	Rojo	0,53-0,59	Verde
4	0,76-0,90	IR Cercano	0,64-0,67	Rojo
5	1,55-1,75	IR Medio	0,85-0,88	IR Cercano
6	10,4-12,5	IR Termimo	1,57-1,65	SWIR 1
7	2,08- 2,35	IR Lejano	2,11-2,29	SWIR 2
8	--	--	0,50-0,68	Pancromático
9	--	--	1,36-1,38	Cirrus
10	--	--	10,60-11.19	IR Térmico 1
11	--	--	11,50-12,51	IR Térmico 2

**Tabla 2.** Bandas espectrales en LANDSAT 5 TM Y LANDSAT 8-OLI/TIRS. Fuente: Tabla adaptada/extraída de CNICE. 2006.

Además, se empleó una composición color RGB como insumo para la interpretación, validación y control de los índices. Una vez obtenidos todos los productos se procedió a la extracción de la información útil mediante técnicas digitales de binarización de imágenes satelitales, la cual consiste en la reducción de información en la que los únicos valores posibles son los dígitos 1 y 0. Finalmente, los datos fueron vectorizados automáticamente y ajustados mediante inspección visual.

A continuación, se detallan los principales aspectos de la metodología empleada, comenzando por los índices de agua y vegetación y culminando en los conceptos claves de la binarización de las imágenes y edición final de las áreas de las lagunas.

- **NDWI:** se utilizó para resaltar y capturar los sitios cubiertos exclusivamente con agua. Teniendo en cuenta que “las superficies acuáticas absorben o transmiten la mayor parte de la radiación visible que reciben (...), la variabilidad del agua es más detectable en ondas cortas” (Chuvieco, 2002). El índice de agua de diferencia normalizada se obtiene aplicando la ecuación 1 (Ec. 1). En LANDSAT 5 y 8 la porción “verde” del espectro electromagnético es representada por las bandas 2 y 3, respectivamente. Por su parte, la porción del Infrarrojo cercano (IRc) es representada por las bandas 4 (L5) y 5 (L8). La figura 2.a muestra un ejemplo del NDWI aplicado al CGDB en el año 2018.

$$NDWI = \frac{(verde - IR\ cercano)}{(verde + IR\ cercano)} \quad (Ec. 1)$$

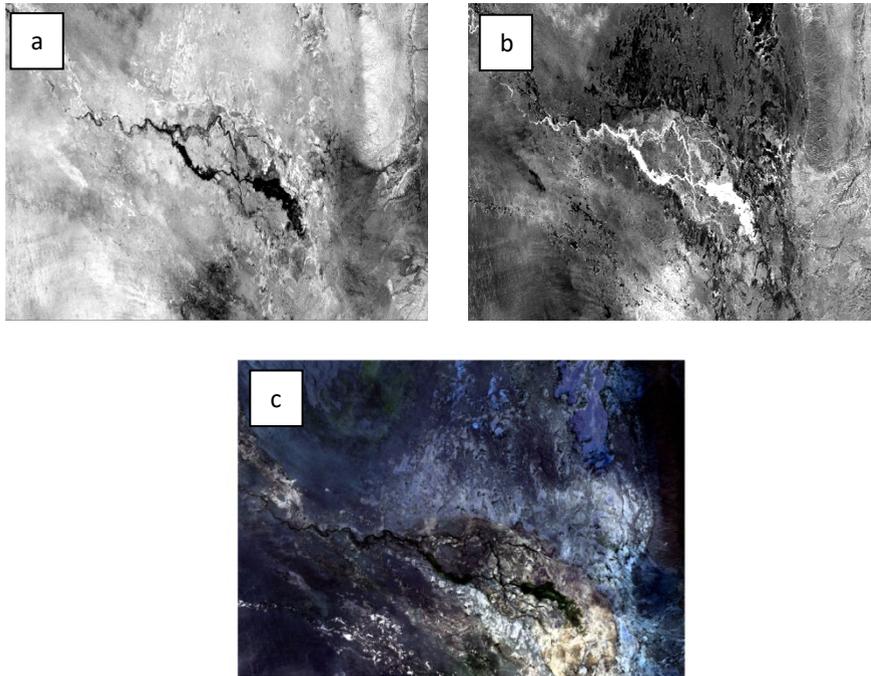
- **NDVI:** Se utilizó para detectar los lugares donde se encontraba vegetación al interior y en las adyacencias del CGDB, teniendo en cuenta que el mismo está formado tanto por vegetación hidrófila como xerófila, propia de la región del monte donde se encuentra (Cabrera, 1976). Según Chuvieco (2002) “La vegetación vigorosa muestra una reducida reflectividad en las bandas visibles, con un máximo relativo en la porción verde del espectro, por el contrario, en el infrarrojo cercano presenta una alta reflectividad”. El índice de vegetación normalizada se obtiene aplicando la ecuación 2. En LANDSAT 5 y 8 la porción “roja” del espectro electromagnético es representada por las bandas del espectro 3 y 4, respectivamente. Por su parte el IRc es representada por las bandas 4 (L5) y 5 (L8). La figura 3.b muestra un ejemplo del índice mencionado aplicado al CGDB en el año 2018.

$$NDVI = \frac{(IR\ cercano - Rojo)}{(IR\ cercano + Rojo)} \quad Ec. 2$$

**Composición a color RGB:** para su construcción se usaron las bandas del espectro visible (azul, verde y rojo), teniendo en cuenta que ésta es la única radiación-

electromagnética que puede ser percibida por el ojo humano (Chuvieco, 2002). En este caso se utilizaron las bandas 1, 2 y 3 para L5 y las bandas 2,3 y 4 para el L8. De esa manera se obtuvo una imagen real de cómo percibe el ojo humano el lugar estudiado (Figura 3.c).

### Binarización y vectorización



**Figura 3.** a) NDWI para el CGDB en el año 2018 (LANDSAT 8); b) NDVI para el CGDB en el año 2018 (LANDSAT 8); c) Composición a color RGB para el CGDB en el año 2018 (LANDSAT 8).

Utilizando como fuente principal de datos el NDWI, por cada imagen se realizó un muestreo dirigido de 30 sitios. Éstos se localizaron en las márgenes y centro del CGDB, donde se sabía efectivamente había presencia de agua, esto último debido al uso conjunto de las composiciones a color y el NDVI. A continuación, se construyó una tabla conformada por los 30 valores de NDWI para cada año. Conociendo el comportamiento de éstos, fue factible establecer umbrales de corte para discriminar

el CGDB de otras cubiertas existentes en la imagen (suelo desnudo, vegetación de monte, rutas, entre las principales). Debido a que en este trabajo se usaron las imágenes en Niveles Digitales (ND) y no en valores de reflectancia, fue necesario estimar los umbrales para cada una de las imágenes utilizadas.

Para ello fue necesario definir umbrales máximos y mínimos de cada NDWI. En efecto, el umbral máximo fue definido por el promedio del quinto quintil, mientras que el mínimo por el promedio del primer quintil. Los valores obtenidos pueden observarse en la Tabla 3. De esta manera, se logró obtener los límites para proceder a realizar la combinación binaria. Finalmente, los vectores resultantes fueron contrastados y corregidos manualmente, en los casos que fueron necesarios, con las composiciones a color respectivas.

Años	1987	1988	1992	1998	2005	2009	2014	2018
Mayor a	-0,02	0,01	-0,11	-0,12	-0,16	-0,05	-0,14	-0,12
Menor a	-0.23	-0,27	-0,26	-0,37	-0,36	-0,15	-0,24	-0,25

**Tabla 3.** Umbrales de NDWI utilizados para la binarización de las imágenes. Fuente: Datos obtenidos mediante el procesamiento de las imágenes satelitales. 2018.

## Validación

Teniendo en cuenta las características ambientales del lugar y la resolución espacial de las bandas utilizadas (30m), en ciertos lugares la detección fehaciente del CGDB fue dificultosa. En ese sentido, hay sitios que están caracterizados por la convivencia de las tres cubiertas distintas en un área menor al tamaño del pixel. Esto último pudo constatarse mediante el uso del programa Google Earth Pro, que ofrece imágenes en alta resolución espacial en esta zona.

Por lo tanto, para evaluar la efectividad de la metodología aquí utilizada y considerando la imposibilidad de visitar el área de estudio, se propuso una validación digital. Esta validación consistió en comparar el área del CGDB obtenida automáticamente respecto del área del CGDB generada mediante digitalización manual para una determinada fecha. En este caso, se asume que la digitalización

manual es acompañada y verificada por el criterio del usuario, involucrado y con el conocimiento del área de estudio. En efecto, la digitalización manual debería ser más representativa de la realidad. Con el fin de obtener rangos de incertidumbre, en este trabajo se propuso realizar la validación digital en la imagen con menor y mayor complejidad en cuanto a la forma y heterogeneidad del CGDB. Efectivamente, se seleccionaron las imágenes del 2018 y 2009, respectivamente. La comparación entre digitalización automática y manual arrojó una diferencia, que transformada a porcentaje significó el grado de incertidumbre de la técnica aquí empleada.

### **Análisis de la fluctuación espacio-temporal**

En este estudio la fluctuación del CGDB fue abordada 1) temporalmente y 2) espacialmente. El abordaje temporal propuesto de las fluctuaciones del área ocupada por el CGDB se caracterizó por la estimación del porcentaje de variación (Ec.3);

$$\% \text{ de variación} = \frac{(P2 - P1)}{P1} * 100 \quad (\text{Ec. 3})$$

Donde P1 es tiempo final y P2 es el tiempo inicial. En todos los casos, el año 1987 ha sido considerado como P2, siendo comparado con los años restantes.

Por su parte, el abordaje espacial se propone mediante un análisis de superposición en un ambiente SIG georreferenciado, de manera de observar patrones espaciales a lo largo del tiempo que destaquen zonas más o menos susceptibles a perder la cubierta lacustre/palustre, o viceversa.

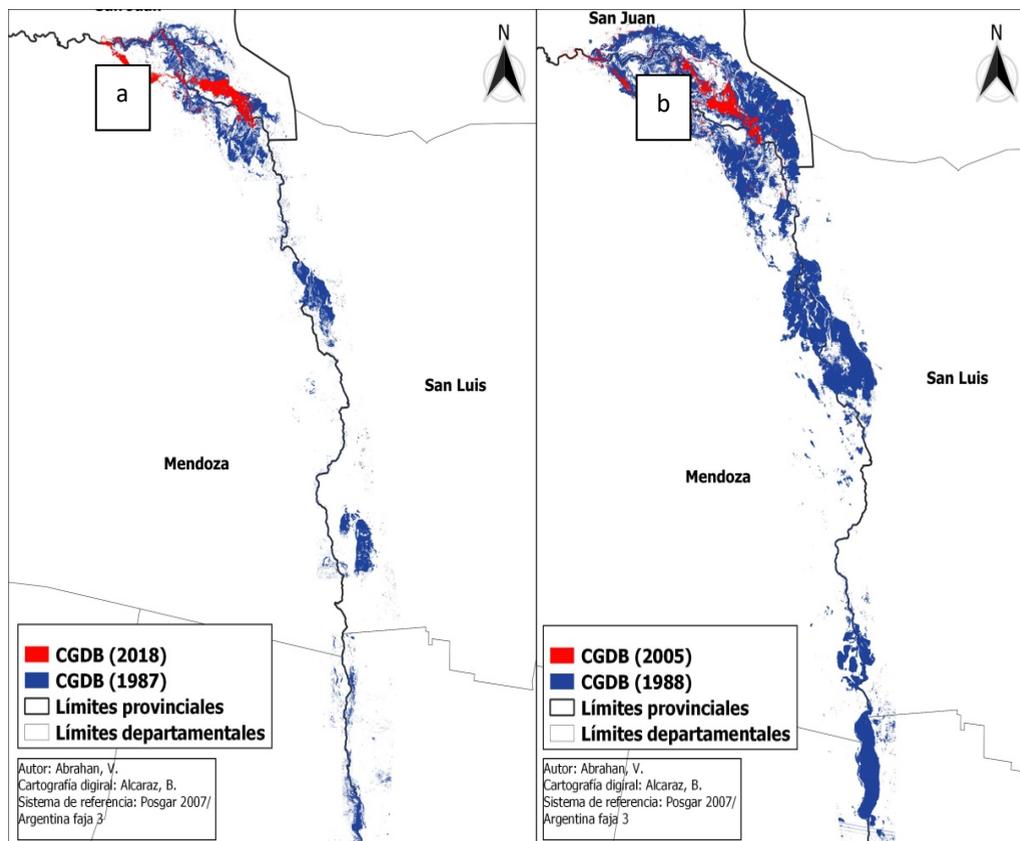
## **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **Validación**

En la imagen del año 2018, la digitalización manual arrojó una superficie de 46,67 km<sup>2</sup>, frente a un área de 43,61 km<sup>2</sup> para la digitalización automática, Presentando así una diferencia del 6,56% a favor de la primera. La imagen del año 2009 fue la que presentó la mayor dificultad para ser digitalizada debido a la mixtura de agua y vegetación que mostró el CGDB ese de año. En ella, la digitalización manual arrojó

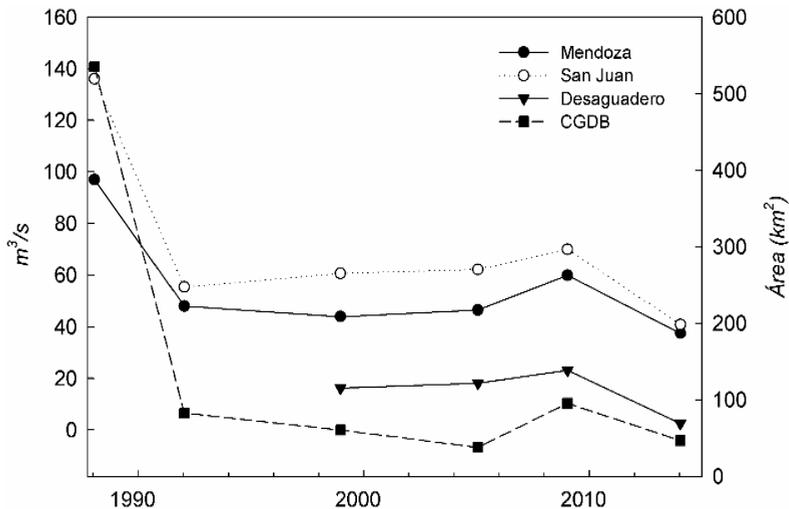
una superficie de 123,23 km<sup>2</sup>, mientras que la automática mostró un área de 95,37 km<sup>2</sup>, resultando una diferencia del 23,23% a favor de la primera. En síntesis, la digitalización automática mostró una tendencia a la subestimación del área del CGDB entre el 6,5 y 23,2 % según la complejidad de la imagen analizada.

### Análisis temporal



**Figura 4.** a) Comparación del área del CGDB entre el año inicial y final (1987 y 2018). b) Comparación del área del CGDB entre el año de mayor y menor superficie (1988 y 2005). Fuente: Abrahan, V. Cartografía digital: Alcaraz, B. 2018

Los resultados del análisis de las imágenes satelitales muestran una disminución del 79,7% del área cubierta por agua en el CGDB entre el periodo 1987-2018 (Figura 4a). La mayor superficie mostrada por el CGDB durante el periodo de estudio fue, en 1988, igual a 535,19 km<sup>2</sup>. Por el contrario, el año que menor superficie cubierta presentó fue el 2005, con 37,78 km<sup>2</sup>, lo que significó un porcentaje de variación del -82,42% en relación al año 1988 (Figura 4b.). A partir del año 2000 es cuando se observaron los valores más bajos del área cubierta por el CGDB, disminuyendo entre un 40% y 50% con relación a la década anterior. El registro más reciente (22-1-2018) mostró que la laguna presentó una superficie de 43,61 km<sup>2</sup>.



**Figura 5.** Caudales medios anuales de los ríos Mendoza, San Juan y Desaguadero en comparación con el área de la CGDB. Fuente: datos obtenidos de la Secretaría de Infraestructura y Política Hídrica de la Nación Argentina y del procesamiento de imágenes satelitales.2018.

De acuerdo a los registros hídricos aquí evaluados, durante el año 1987 se observó un aumento de los caudales medios mensuales de los principales afluentes de la laguna, lo cual dio por resultado un caudal medio anual superior al del año 1986, el cual fue de 58 m<sup>3</sup>/s para el río Mendoza y de 75 m<sup>3</sup>/s para el río San Juan. En el año 1987 este último presentó 120,89 m<sup>3</sup>/s y el Mendoza 88,11m<sup>3</sup>/s, significando un incremento del 60% y 51% respectivamente. Este fenómeno se vio reflejado en el año 1988, donde se observó un área incluso 4 veces mayor que la del año anterior

---

(Figura 5). En este sentido, Darío Soria (comunicación personal) expresó el retardo natural existente entre los eventos meteorológicos y su impacto en el CGDB, el cual se estima entre 6 y 9 meses.

### **Análisis espacial**

Durante el año 1987, el CGDB tuvo una extensión de 214,9 km<sup>2</sup>, la cual cubría la zona sureste de San Juan, noreste de Mendoza, hasta la latitud del Parque Nacional Las Quijadas (San Luis). En el año 1988, la superficie del área central de la laguna, ubicada entre el límite de San Juan y Mendoza, se duplicó en relación con la del año anterior, aunque con una reducción de su longitud hacia el norte. A pesar del inminente aumento del área lagunar hacia finales de los '80, en la década siguiente se observó una disminución superior al 60% en relación a 1987 y una desaparición total de las lagunas de la zona sureste. En el año 1992 entre el 80% y 90% de la superficie cubierta por agua de laguna se encontró en la zona noreste de Mendoza, ubicándose el resto del complejo en la provincia de San Juan. Hacia el año 1998 el área cubierta disminuyó un 27% en comparación con 1992. Los cuerpos de agua principales presentaron una ubicación diferente: al principio de la década estudiada se encontraban ubicados en los márgenes del complejo de manera ovalada, por el contrario, en 1998 se desarrollaron hacia el centro de la zona de lagunas, mostrando una reducción de los bañados antes mencionados. La figura 6 muestra las distintas etapas mencionadas.

El deterioro del sistema lagunar continuó durante el comienzo del S XXI, al punto que en el año 2005 se registró la menor superficie del CGDB (37,78 km<sup>2</sup>). Su extensión se concentró completamente en territorio mendocino. Los cuerpos de agua principales se localizaron en la misma ubicación que durante el año 1998, pero experimentaron una disminución del 39% en comparación con éstos. Para el año 2009 se presentó entre un 38% y 40% más de agua que en el 2005, con una variación mínima de la forma de la laguna. Finalmente, durante los años 2014 y 2018 se observaron reducidas diferencias en cuanto a la década anterior. La zona cubierta por agua varió entre un 5% y 15% (respecto de quien), los cuerpos de agua principales cubrieron los mismos sitios dentro del complejo permaneciendo completamente en la zona del noreste de Mendoza.

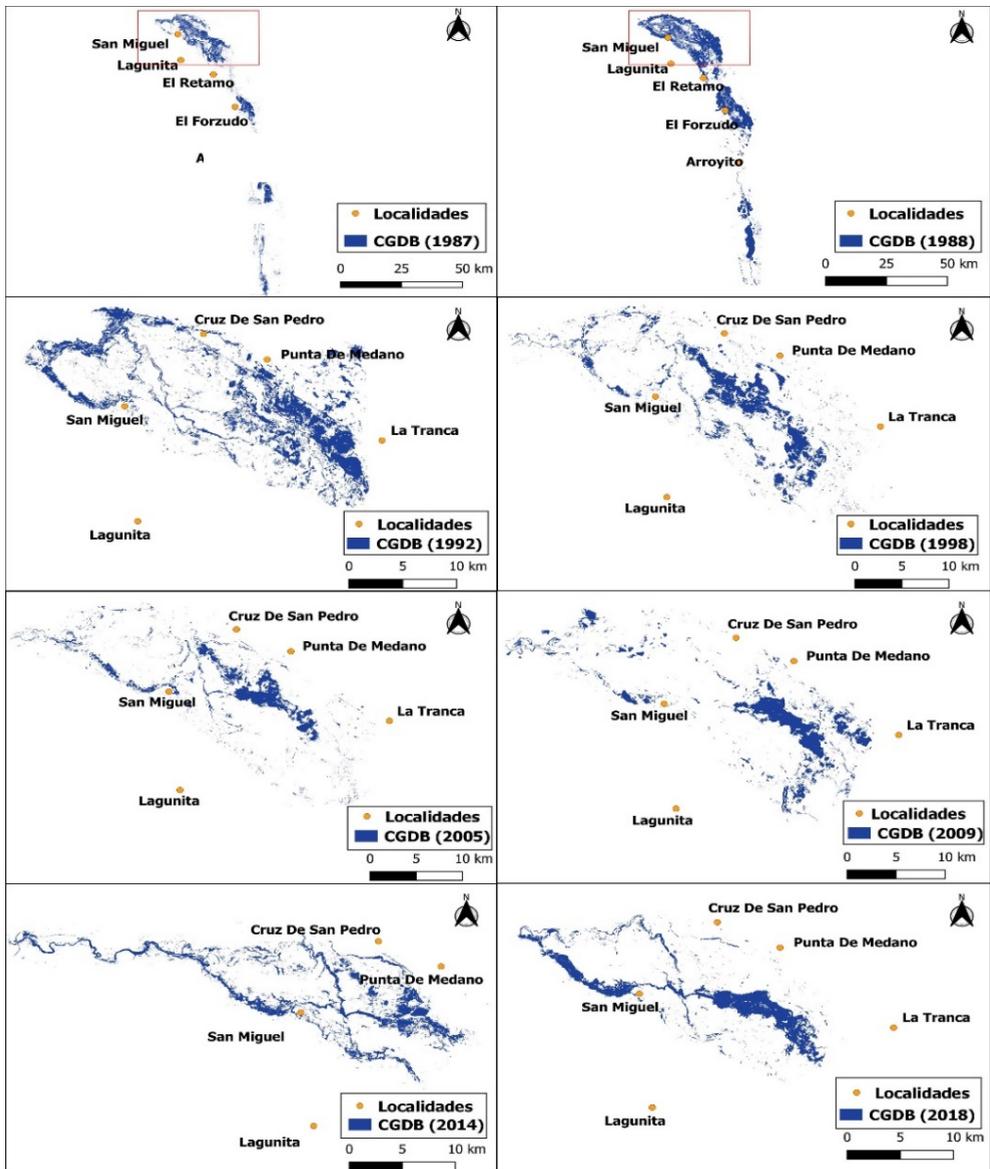


Figura 6. Fluctuación del área del CGDB entre 1987 y 2018. Autor: Abrahan, V. Cartografía digital: Alcaraz, B. 2018.

Características físicas	1987	1988	1992	1998	2005	2009	2014	2018
Caudal medio río Mendoza (m <sup>3</sup> /s)	8,11	72,05	58,45	42,01	51,17	58,94	34,62	s/d
Caudal medio río San Juan (m <sup>3</sup> /s)	120,89	100,08	83,78	92,33	65,36	44,03	s/d	s/d
Caudal medio río Desaguadero (m <sup>3</sup> /s)	s/d	s/d	s/d	45,14	13,14	9,33	0,97	s/d
Área del CGDB (km <sup>2</sup> )	214,9	535,19	82,54	60,54	37,78	55,62	46,79	43,61
Porcentaje de variación (%)	0	-59,85	61,59	71,83	83,42	78,6	78,23	79,21

**Tabla 4.** Datos de las variables físicas estudiadas. Fuente: tabla elaborada en base a datos extraídos del análisis de las imágenes satelitales analizadas en el presente trabajo y de la Secretaría de infraestructura y políticas hídricas. 2018.

### Posibles causas de la retracción del CGDB y consecuencias

Las lagunas de Guanacache, Desaguadero y Bebedero, han presentado una marcada disminución en cuanto a la superficie cubierta por agua y su extensión en el territorio durante el periodo 1987-2018. Esto se debe a causas naturales y antrópicas, que en conjunto han afectado los cauces de los principales afluentes del CGDB provocando consecuencias en el lugar (Vitali y Galileo, 1940; Abraham y Prieto, 1991; Escolar y Saldí, 2013). En lo referido a las variables naturales, los ríos San Juan, Mendoza y Desaguadero son los encargados de alimentar los bañados del CGDB. Los dos primeros llevan agua hacia la zona principal de la laguna, ubicada al noreste de

Mendoza y sureste de San Juan. Los bañados que se comparten con la provincia de San Luis, son alimentados principalmente por las aguas del río Desaguadero, el cual, como se observa en la tabla 5 muestra caudales muy bajos en la mayoría de los años estudiados. Esto, sumado al proceso de erosión retrocedente acentuado en toda el área del CGDB provoca la formación de cárcavas de gran profundidad. Esa situación, produce que los caudales de entrada queden confinados a profundos cauces y no alcancen las superficies antes bañadas.

En cuanto a las causas antrópicas, es preciso mencionar que a lo largo de los años se han creado obras hidráulicas para el mejor aprovechamiento de los ríos, creando así diques, embalses y represas hidroeléctricas las cuales significaron la desviación y retención de caudales impidiendo el libre curso de las aguas hacia su desembocadura en las lagunas. A pesar que algunas de estas estructuras se realizaron en años diferentes a los estudiados, aún siguen en funcionamiento por lo que son de importancia para el estudio realizado.

Sobre el río Mendoza se encuentra el dique Cipolletti (derivador), inaugurado en el año 1890 y el más reciente dique embalse Potrerillos, puesto en funcionamiento en el año 2001, el cual es el encargado de regular y almacenar el agua del río sobre el que se encuentra.

Por otro lado, el río San Juan presenta cuatro construcciones en todo su recorrido: represa Punta Negra, finalizada en el año 2015; embalse Cuesta del viento, puesta en marcha en 1997; represa Los caracoles terminada en el 2008 y el embalse Quebrada de Ullum inaugurado en 1980.

Esto es importante ya que el río San Juan es el más caudaloso de los afluentes que llegan al CGDB, por lo tanto el diferimiento de los cursos de agua para el llenado de diques embalses o funcionamiento de represas hidroeléctricas, regado de cultivos, entre otros usos, influye en gran medida en el caudal que efectivamente llega a la laguna.

La regulación, acumulación y uso de agua a través de estas construcciones, se ve relacionada, entre otros factores, con la producción vitivinícola y agrícola de las provincias de Mendoza y San Juan. Respecto a la primera, durante la década del 80´

---

se produjo una importante crisis en el área de la vitivinicultura (Jorba, 2008) lo que produjo la erradicación de gran cantidad de viñedos de la provincia. Esta caída del consumo de agua ¿podría explicar la mayor extensión del sistema lagunar a lo largo del periodo de estudio?

Sin embargo, durante la década del 90 se produce un proceso de reconversión a nivel provincial y se comienza a observar un crecimiento en la producción agropecuaria, vitivinícola e industrial en la provincia de Mendoza. En ese sentido, cabe destacar que el departamento de Lavalle, lugar donde se encuentra el sector sur de la laguna, posee un 34% de su PBG proveniente de la agricultura (Gudiño, 2017).

Sumado a lo anteriormente expuesto se debe tener en cuenta, también, un aumento constante de la población en los departamentos del oasis norte desde 1970. Según Gudiño (2017) *“Teniendo en cuenta el Censo 2010, en Mendoza hay un total de 1.738.929 habitantes de los cuales el 63% habita en Capital, Godoy Cruz, Maipú, Guaymallén, Lujan de Cuyo y Las Heras”*.

## CONCLUSIONES

El tratamiento de imágenes satelitales, mediante el uso de SIG permitió la observación e interpretación de un área de gran extensión, la cual no podría haber sido abordado de no ser por las herramientas que estos sistemas ofrecen. Sin embargo, la composición física del lugar dificultó en algunos casos la disociación de los principales elementos que componen el complejo lagunar, es decir agua, vegetación y suelo. Este proceso pudo finalmente ser posible debido a la complementación de los índices de agua y vegetación, sumado a la composición RGB, logrando de esta manera obtener una información aproximada de la composición del sitio estudiado. A partir de este tratamiento digital de la información satelital se notó que el error de la metodología propuesta varió entre un 6 y 23 % de acuerdo a la complejidad de la imagen. Esos resultados son alentadores pensando en la posibilidad de reconstruir un dato previamente inexistente.

En lo que al análisis espacio-temporal respecta, el estudio y combinación de ambos permitió la obtención de datos esenciales para este trabajo, como fueron los

porcentajes de variación entre cada uno de los años en relación con el año inicial, caudales medios mensuales de los principales ríos, zonas donde se ubicaban los principales cuerpos de agua, etc. De esta manera se logró determinar no solo la fluctuación que tuvo el CGDB durante el periodo 1987-2018, sino también la forma y el espacio que ocupó para cada uno de los años.

Se obtuvo como resultado que la fluctuación fue positiva, mostrando una diferencia de 171.29 km<sup>2</sup> de superficie cubierta de agua entre el comienzo y el final del periodo estudiado. A partir de la década del 90' se observa, también, un punto crítico en donde la superficie lagunar disminuye considerablemente, mostrando la menor área cubierta por agua en el año 2005. Desde entonces y hasta la actualidad, el CGDB sigue en un proceso de degradación y retracción.

Finalmente, cabe destacar que el presente trabajo permitió identificar diferentes líneas de investigación prometedoras, en donde la combinación de la información satelital y el conocimiento de campo y disciplinar, se conjugarán para construir nuevos conocimientos acerca de la dinámica espacio-temporal de uno de los ecosistemas regionales más afectados, pero de los menos conocidos.

## BIBLIOGRAFÍA

Abraham, E. y Prieto, M. (1991). Contributions of Historical Geography to the Study of Processes of Landscape Change. The Case of Guanacache, Mendoza, Argentina. En Bamberger *Geographische Schritten* (11).

Abraham, E; Torres, L; Montaña, E. (2003). Las dimensiones socioeconómicas de la desertificación: avances en la utilización de indicadores. Un ensayo en el caso de Mendoza, Argentina; en: Abraham, E., Daniel Tomasini y Patricia Macagno (Ed.), *Desertificación. Indicadores y puntos de referencia en América Latina y el Caribe*, S AyDS / GTZ / UNDC / IADIZA, Mendoza, Argentina, pp. 241-255. ISBN 987-20906-0-2.

Abraham, E., et. al. (2017). Análisis del subsistema físico-biológico en: Gudiño, M. (dir). *Ordenar el territorio. Un desafío para Mendoza*, Mendoza: EDIUNC. ISBN: 9789503903537.

Ariza, A., Roa, O., Serrato, P., Rincon, H., (2017). Uso de índices espectrales derivados de sensores remotos para a caracterización geomorfológica en zonas insulares del Caribe Colombiano, en: *Perspectiva Geográfica*, Vol. 23 (1), Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Recuperado de: <https://revistas.uptc.edu.co/revistas/index.php/perspectiva/article/view/5863>

Cabrera, A.L. (1976). *Regiones fitogeográficas argentinas*, Buenos Aires: Acme. 85 pp.

Chiavazza, H y Prieto, M. (2015). El río Desaguadero: Corredor cultural en la historia de Cuyo. En: Rodríguez Salas, A. *Restauración de un Sistema Ecológico Compartido. Estudio ambiental del Sitio Ramsar Lagunas de Guanacache, Desaguadero y del Bebedero*. ISBN 978-987-02-7850-4, Ayacucho: Dunken.

Chuvieco, E. (2002). *Fundamentos de teledetección espacial*, Madrid: Rialp.

Escolar, D; Saldi, L. (2013). Canales fantasmas en el “Desierto Huarpe”. Riego legal, discursos ecológicos y apropiación del agua en Cuyo, Argentina, Siglo XIX-XXX. *Agenda social*, vol 7, (1), pp 68-93.

Jorba, R. (2008). Crisis y transformaciones recientes en la Región Vitivinícola Argentina, 1970-2005, *Revista Estudios Sociales*, Vol 16, (31). Universidad de Sonora, Hermosila-México.

Maestri, M.et. al. (2019). Análisis comparativo de cinco métodos de procesamiento para calcular el área de lagunas pampeanas a partir de imágenes satelitales Landsat. En: *Revista Biología acuática*, (33), DOI: <https://doi.org/10.24215/16684869e003>, Recuperado de: <https://revistas.unlp.edu.ar/bacuatica/article/view/8974>

Sosa, H. (2012). *Restauración y conservación del Sitio RAMSAR Lagunas de Guanacache, Divisadero y Bebedero*. Fundación Humedales, Wetlands Internacional, Recuperado de: [http://aquabook.agua.gob.ar/files/upload/contenidos/10\\_2/LagunasdeGuanacache.pdf](http://aquabook.agua.gob.ar/files/upload/contenidos/10_2/LagunasdeGuanacache.pdf)

Sosa, H; Valvé. S. (1999). *Lagunas de Guanacache (centro-oeste de Argentina). Procedimientos de inclusión a la convención sobre humedales (RAMSAR 71), Multequina*, (8), pp. 71-85, Recuperado de: <https://www.redalyc.org/pdf/428/42800805.pdf>

Vich, A. (1998). *Aguas Continentales. Formas y Procesos*. Mendoza: Talleres gráficos del Centro de Economía, Legislación y Administración del Agua (CELA), Instituto Nacional del Agua (INA).

#### Sitios web consultados

Departamento General de Irrigación. Aquabook. Recuperado de: [http://aquabook.agua.gob.ar/281\\_0](http://aquabook.agua.gob.ar/281_0)

Dirección de estadística e investigaciones económicas. Recuperado de: <http://www.deie.mendoza.gov.ar/#!/mendoza-en-datos e INV>.

Earth Explore. Recuperado de: [www.earthexplorer.usgs.gov](http://www.earthexplorer.usgs.gov)

Instituto Nacional de Vitivinicultura. Recuperado de: <http://www.inv.gov.ar/index.php/men-estadisticas/men-estadisticas-vitivinicolos/16-cat-estadisticas/42-est-menu-vinedos>

Ministerio del interior, obras públicas y viviendas. Presidencia de la Nación. Recuperado de: <http://bdhi.hidricosargentina.gob.ar/>

National Oceanic and Atmospheric Administration. Recuperado de: <http://www.noaa.gov>.

QGIS. Recuperado de: <https://www.qgis.org/es/site/forusers/download.html>

Ramsar. Recuperado de: <https://www.ramsar.org/es>