



Vista aérea de la laguna Nahuel Rucá. Presenta un cinturón de vegetación acuática emergente que rodea toda la laguna y un área central de aguas abiertas, de donde se han extraído testigos sedimentarios para estudiar cómo fue el clima del pasado. Foto Nicolás Chiaradia (IIMyC)

Claudio G De Francesco, Gabriela S Hassan, Silvina Stutz,
Guillermina Sánchez Vuichard y Marcela S Tonello

Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras (IIMyC), UNMdP-Conicet

Las lagunas pampeanas del sureste bonaerense

Una historia de 12.000 años

Uno de los rasgos característicos de la llanura pampeana es la gran cantidad de lagunas que presenta a lo largo de su extensión. Esto se debe principalmente a la escasa pendiente que tiene esta región, lo cual limita el movimiento del agua y da lugar a acumulaciones locales de agua superficial, provenientes de las precipitaciones y de la descarga del agua subterránea ubicada más próxima a la superficie (acuífero freático). Son tan abundantes que, solamente en la provincia de Buenos Aires, se estiman alrededor de 13.800 lagunas con superficies mayores a 10ha y aproximadamente 146.000 lagunas de menor tamaño (entre 0,05 y 10ha). En la región pampa sur las lagunas tienen algunas características propias. Son de muy baja profundidad, que no excede usualmente los 4 metros, aunque la gran mayoría de las lagunas presentan profundidades de entre 1 y

2 metros. Son muy sensibles a los cambios climáticos, y son afectadas por variaciones en las precipitaciones, como las que usualmente se asocian a los fenómenos conocidos como El Niño (abundantes precipitaciones) y La Niña (bajas precipitaciones), lo que provoca que desborden y se interconecten o que se sequen completamente, respectivamente. También responden a variaciones hidroclimáticas interanuales, decadales y a mayor escala de tiempo.

Las lagunas pampeanas son un invaluable reservorio de agua dulce y biodiversidad, además de constituir una fuente importante de desarrollo económico para muchas localidades bonaerenses debido al turismo y a la pesca. Tienen la capacidad de amortiguar los efectos del cambio global y sirven como reguladoras del régimen fluvial. Poco menos conocida es su importancia como archivos del pasado. En este sentido, los sedimentos acumulados

¿DE QUÉ SE TRATA?

Un viaje al origen y a la historia de las lagunas pampeanas reconstruidos a partir de los restos de organismos preservados en sus sedimentos.

en las lagunas son los mejores registros de la llanura pampeana que nos permiten conocer cómo fueron los cambios ambientales y climáticos que ocurrieron en el pasado en la región.

¿Cómo se originaron las lagunas pampeanas?

Las lagunas ubicadas en el sureste de la provincia de Buenos Aires se formaron en depresiones del terreno (cubetas de deflación), que fueron excavadas por el viento durante el Pleistoceno Tardío, un lapso de la historia de la Tierra entre los 129.000 y los 11.700 años antes del presente (AP). Durante el Pleistoceno Tardío, las condiciones climáticas eran más secas y frías que las actuales y el ambiente presentaba una baja cobertura de la vegetación con partes de suelo desnudo. Esto propició que los fuertes vientos provenientes del oeste horadaran el terreno y formaran una cubeta. Dado que el viento tenía una dirección dominante del oeste, el material removido se depositó como dunas en forma de una C con la parte convexa hacia el este (en contra del viento dominante). Esta parte convexa es la que hoy en día puede reconocerse como una lomada (paleoduna) en casi todas las lagunas del área y era la que cerraba la depresión original, donde se formaron posteriormente las lagunas (figura 1). Hace aproximadamente 12.000 años las precipitaciones aumentaron y esto permitió que las cubetas se llenaran gradualmente con agua y que, simultáneamente, se depositara sedimento en el fondo.

¿Cómo se puede conocer el clima del pasado en estas lagunas?

Los sedimentos del fondo de las lagunas contienen restos o partes de organismos que vivieron dentro y en los alrededores del cuerpo de agua, que son evidencia de su historia ambiental. Los restos o partes de organismos que se preservan en los sedimentos de las lagunas son aquellos que poseen alguna estructura resistente a los procesos de alteración *post mortem*, como caracoles, algas microscópicas conocidas como diatomeas, algas verdes, semillas, frutos, hojas, trozos de tallos, granos de polen, esporas y otras estructuras de resistencia (figura 2). Estos diferentes indicadores proveen información sobre variables del ambiente (salinidad, pH, temperatura del agua, concentración de nutrientes, profundidad, ex-

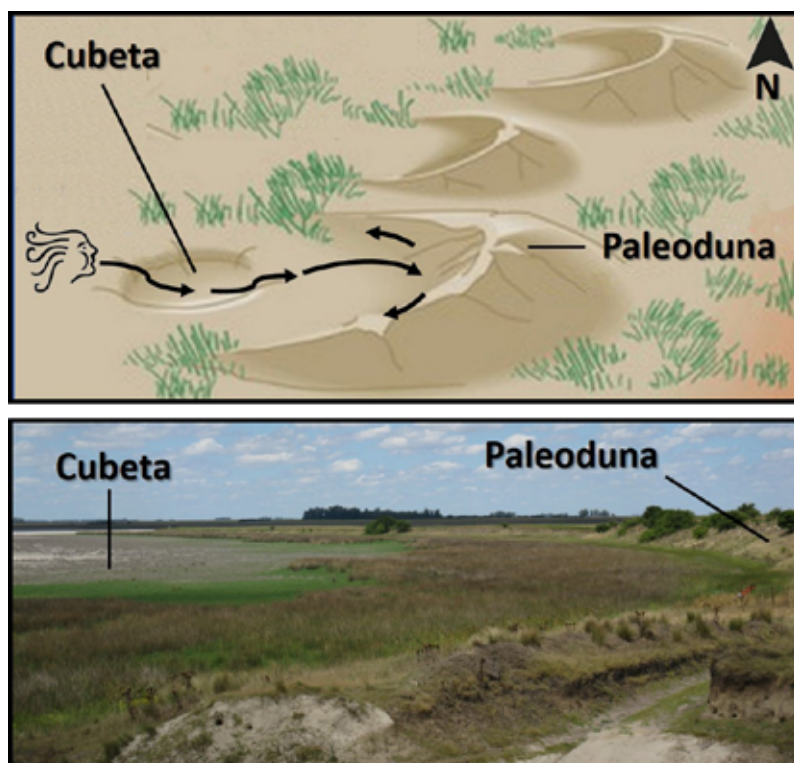


Figura 1. Arriba. Reconstrucción esquemática del origen de la cubeta de una laguna pampeana por efecto del viento dominante del oeste durante el Pleistoceno Tardío. Abajo. Vista actual de la cubeta y paleoduna en la laguna Hinojales-San Leoncio.

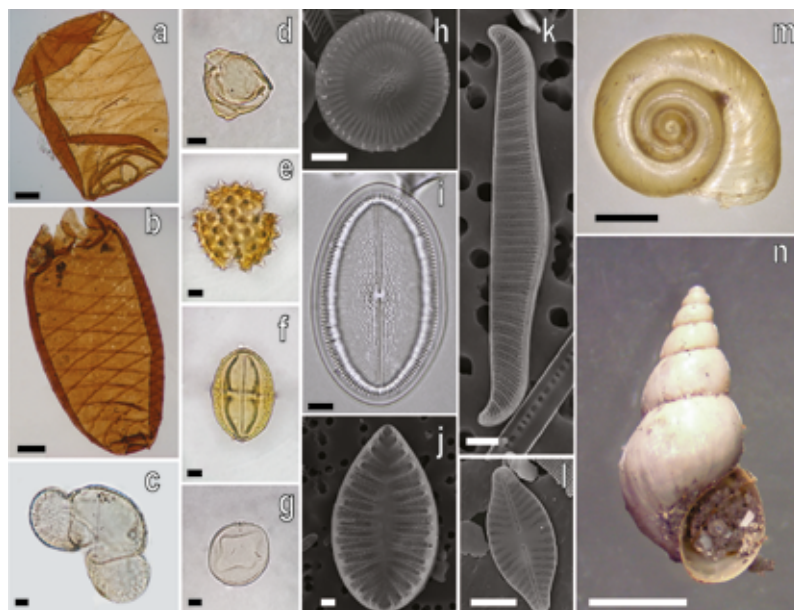


Figura 2. Indicadores biológicos utilizados en la reconstrucción paleoambiental de lagunas del sureste bonaerense: **a-b)** fotos de microscopio estereoscópico de *Chara* sp., las escalas indican 100mm; **c-g)** fotos de microscopio óptico de distintos granos de polen (**c:** *Pinus* sp., **d:** *Casuarina* sp., **e:** *Carduus* sp., **f:** *Schinus* sp., **g:** *Poa* sp.); las escalas indican 10µm; **h-l)** fotos de microscopio electrónico de barrido de diatomeas (**h:** *Cyclotella meneghiniana*, **i:** *Cocconeis placentula*, **j:** *Suirirella* sp., **k:** *Rhopalodia gibba*, **l:** *Planothidium delicatulum*), las escalas indican 5µm; **m-n)** fotos de microscopio estereoscópico de caracoles (**m:** *Biomphalaria peregrina*, **n:** *Heleobia parchappii*); las escalas indican 2mm.

tensión, turbidez), que es utilizada para conocer cómo fueron los cuerpos de agua, así como los cambios que experimentaron a lo largo del tiempo, lo que indirectamente nos permite inferir cómo era el clima del pasado. Esto se puede hacer porque los mismos grupos de organismos que quedaron preservados en los sedimentos también viven en la actualidad. Así, si conocemos la relación actual que tienen estos organismos con su ambiente y entre sí (ecología) podemos utilizar esa información para interpretar el pasado. Esto también posibilita identificar qué organismos vivían cuando el impacto por la actividad an-

tropica era nulo, lo cual permite ver la trayectoria ambiental de los cuerpos de agua a lo largo del tiempo.

El estudio de los restos o partes de organismos se realiza luego de extraer el sedimento del fondo de las lagunas. Para ello, se utilizan sondas que perforan el fondo y permiten extraer columnas de sedimentos, llamados 'testigos sedimentarios', de hasta 4m de longitud (figura 3). Los testigos se extraen de lagunas que poseen grandes superficies, ya que para reconstruir el pasado se necesitan lagunas que sean estables en el tiempo. Aquellas lagunas pequeñas (menos que 10ha), que son las más co-

¿CÓMO SE PUEDE SABER LA EDAD DE LOS SEDIMENTOS?

Es fundamental conocer la edad de los sedimentos al hacer una reconstrucción paleoambiental. Para ello, se pueden utilizar métodos de datación radiométricos, basados en la vida media de un elemento radiactivo como por ejemplo el carbono-14 (^{14}C) o el plomo-210 (^{210}Pb). Existen laboratorios específicos donde se puede calcular la concentración de dichos isótopos de elementos presentes tanto en los restos de organismos como en los sedimentos, y así estimar la antigüedad de estos. Otra manera de conocer la edad de los sedimentos es a través de cronomarcadores, es decir, determinados restos o partes de organismos que aparecen en el registro fósil a una edad conocida. Por ejemplo, en la llanura pampeana se utiliza la aparición de granos de polen de eucalipto

en los sedimentos como indicadora del año 1880, ya que este árbol exótico fue introducido en el país en 1858 y se calcula un tiempo de vida de veinte años hasta que comenzó a florecer y producir polen.

Es importante hacer una aclaración aquí respecto de la nomenclatura de edades que se utiliza en ciencias de la tierra. Las edades se indican como años antes del presente (AP), en donde 'presente' alude a 1950, año que se estableció como referencia, previo a las masivas pruebas de armas nucleares que sucedieron años después y que alteraron la proporción en la atmósfera de los isótopos radiactivos que se utilizan para datar (ver más abajo). Siempre que se mencionen edades AP se hace referencia a edades anteriores a dicho año.



Figura 3. Izquierda. Extracción de un testigo sedimentario de la parte más profunda de una laguna pampeana utilizando un *vibracore*. Este dispositivo provoca vibraciones que permiten que el tubo se vaya introduciendo en el sedimento. **Derecha.** Vista de un testigo sedimentario luego de ser abierto en el laboratorio.



Figura 4. Lagunas del sureste bonaerense en las que se ha podido reconstruir su evolución a partir de los indicadores biológicos preservados en sus sedimentos (en color blanco) y lagunas que se encuentran actualmente en estudio (en color amarillo).

munes en la llanura pampeana, son muy inestables, con profundidades y extensiones que fluctúan mucho, generalmente con una dinámica estacional.

En el sureste de la provincia de Buenos Aires, las lagunas más grandes que se han estudiado (La Brava, Nahuel Rucá, Hinojales, Lonkoy, Hinojales-San Leoncio y Tobares; figura 4) tienen superficies entre 200 y 500ha y han permitido reconstruir cómo fue su evolución desde el inicio del Holoceno (hace aproximadamente 12.000 años AP) hasta el presente. A medida que se suma información proveniente de nuevas lagunas (actualmente se encuentran en estudio las lagunas Kakel Huincul, Siete Lomas y Las Mostazas; figura 4), podremos tener un panorama más completo de la evolución ambiental de toda el área, que ha sido producto de factores naturales durante gran parte del Holoceno, recientemente influenciada además por el alto impacto antrópico.

¿Las lagunas pampeanas fueron siempre igual que como las conocemos?

Con la información disponible hasta el momento, se sabe que las cubetas de deflación (originadas a fines del

Pleistoceno) comenzaron a funcionar como cuerpos de agua ya desde el inicio del Holoceno (aproximadamente hace unos 12.000 años AP), debido, como ya dijimos, a las condiciones más húmedas por el aumento en las precipitaciones, luego de las condiciones más secas que caracterizaron el final del Pleistoceno. Algunas de las especies de algas más comunes que habitaban en esos cuerpos de agua no viven actualmente en las mismas lagunas, como es el caso de algunas carofitas o de varias especies de diatomeas que viven hoy en día en ambientes hipersalinos. Se trataba de cuerpos de agua muy diferentes de los actuales. Eran muy someros, claros (transparentes), con escasa vegetación en sus orillas y de aguas salobres a salinas. Estos ambientes iniciales, que estaban sujetos a importantes variaciones de su nivel de agua, se extendieron hasta aproximadamente los 11.000 años AP.

Con posterioridad, entre los 11.000 y los 7.000 años AP, la vegetación de las orillas y las comunidades acuáticas fueron aún menos diversas que en el lapso anterior, e incluso hubo momentos en los que no se registró presencia de organismos acuáticos, como algas o caracoles. Esto se debió a que las precipitaciones disminuyeron en toda la región y se estableció un clima más seco con eventuales pulsos húmedos. El aporte de agua a las cubetas se redujo y reflejó un cambio en el paisaje, caracterizado por una importante reducción del tamaño de los cuerpos de agua, que se volvieron muy inestables (temporarios), hasta secarse completamente en numerosas ocasiones (figura 5).

Entre los 7.000 y los 2.500 años AP, los distintos indicadores biológicos sugieren ambientes dinámicos e inestables bajo condiciones climáticas secas en toda la región. Se ha propuesto un 'calentamiento' sobre todo el centro de la Argentina alrededor de los 6.000 años AP, asociado a cambios en la incidencia de los rayos solares sobre la superficie terrestre, debidos a modificaciones de la órbita planetaria. Este aumento de la temperatura habría propiciado una evaporación de los cuerpos de agua y la consecuente desecación en algunos momentos. Sin embargo, las lagunas ubicadas a alturas inferiores a los 5 metros sobre el nivel del mar y próximas a la costa atlántica (Nahuel Rucá, Hinojales, Hinojales-San Leoncio, Lonkoy) aumentaron su tamaño y se volvieron un poco más profundas, aunque siguieron siendo de aguas salobres-salinas, mientras que otras, como es el caso de la laguna Tobares, no presentan registro para este momento (figura 5).

El hecho de que los cuerpos de agua ubicados a alturas menores que los 5 metros sobre el nivel del mar y próximos a la costa hayan continuado desarrollándose, con un escenario regional de períodos de sequía dominante, puede ser explicado por la influencia del mar. Entre los 6.000 y los 2.000 años AP, la costa del sureste bonaerense próxima a las lagunas mencionadas estuvo afectada por

variaciones del nivel del mar, que alcanzó un valor máximo de 4 metros por encima de su valor actual hacia los 6.000 años AP y fue decreciendo gradualmente hasta un valor de 2 metros hacia los 2.000 años AP. Debido a este aumento del nivel del mar, la costa se desplazó unos 10km hacia el oeste y se desarrollaron ambientes estuáricos (ambientes de mezcla de agua dulce y marina) que penetraron hasta unos 20km hacia el interior del continente. La presencia de una especie de caracol (*Heleobia australis*) que vive hoy en día en ambientes estuáricos (como la laguna costera Mar Chiquita, figura 4), así como de diatomeas y vegetación tolerante a las altas salinidades en los sedimentos de las lagunas Nahuel Rucá, Hinojales, Hinojales-San Leoncio y Lonkoy, avala esta interpretación. Aún se desconoce si esta influencia marina fue directa, a través de la superficie, o indirecta, por medio de una elevación de las capas freáticas salinizadas que alimentan las lagunas.

El registro sedimentario correspondiente a un período iniciado a partir de los 2.500 años AP muestra un cambio gradual en todos los grupos de organismos presentes, que permitió inferir una transición hacia cuerpos de agua más dulces, similares a las lagunas actuales. Este cambio se habría producido en respuesta a un incremento regional de la precipitación. Las condiciones de clima húmedo a subhúmedo que prevalecen hoy en la región se habrían establecido aproximadamente a los 600 años AP. A partir de este momento, las lagunas habrían adquirido su configuración actual, así como la vegetación y las comunidades acuáticas (diatomeas, algas verdes, plantas sumergidas, caracoles y fauna asociada) características. Si bien las condiciones ambientales fueron más estables, las lagunas estuvieron sujetas a variaciones en su nivel del agua, con alternancias entre estados de aguas claras (transparentes) y turbias (figura 5).

Las lagunas del sureste bonaerense también son registro histórico del impacto causado por las actividades humanas. A partir de los 35-40 años AP, es decir desde aproximadamente 1910, se evidencia una eutrofización, que es un proceso caracterizado por un exceso de nutrientes en el agua, principalmente nitrógeno y fósforo. El aumento de especies de diatomeas adaptadas a dichas condiciones y de cianobacterias (bacterias fotosintéticas

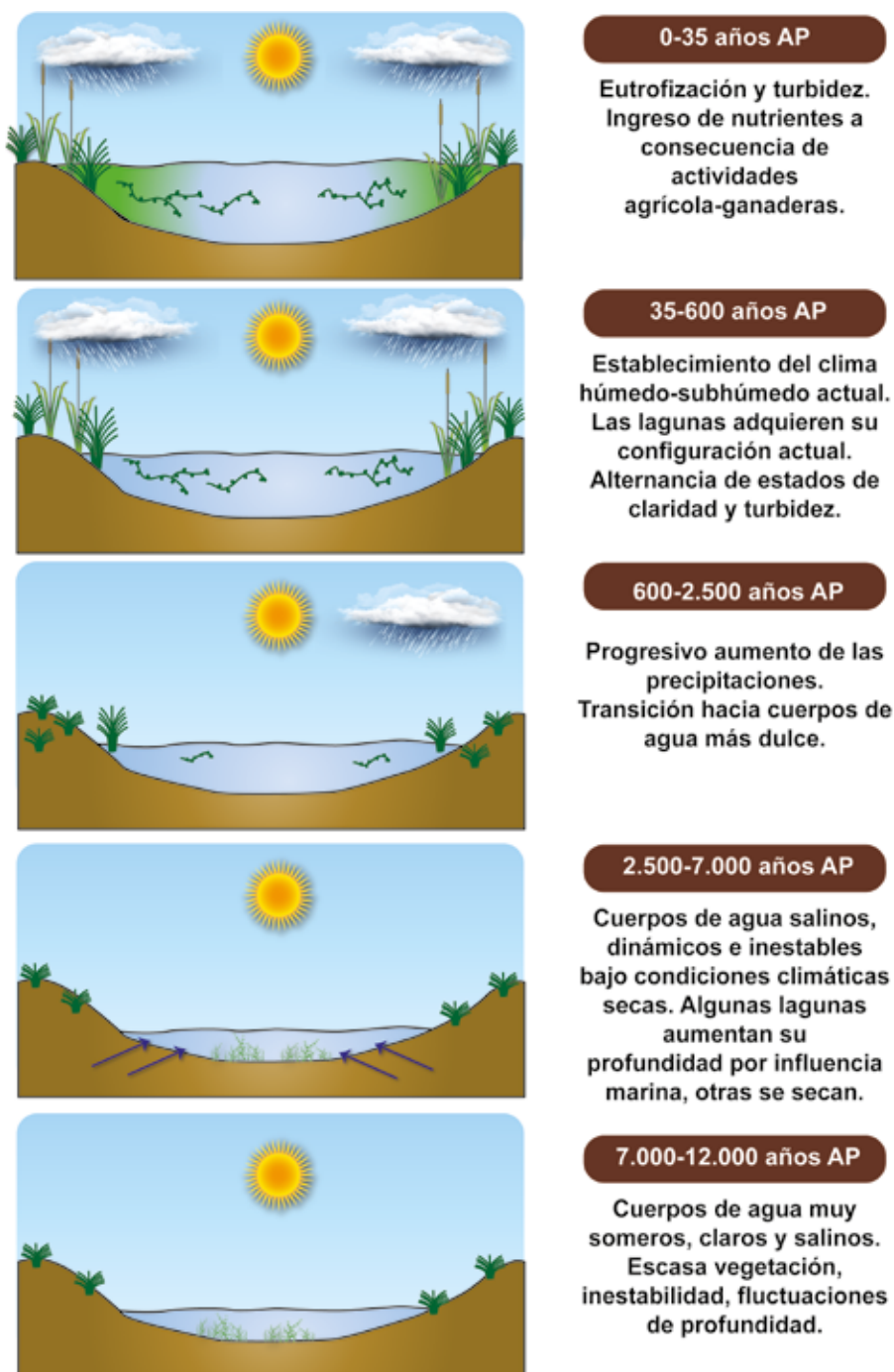


Figura 5. Evolución de una laguna pampeana del sureste bonaerense desde su origen hasta la actualidad.

que suelen dar lugar a floraciones muchas veces tóxicas) da indicio de ello. También se registran plantas introducidas asociadas con la ganadería y la agricultura, y también la presencia de árboles exóticos como eucalipto, ciprés, abedul, pino, cedro, entre otros, que fueron plantados en la región. La intensificación de las actividades agrícola-ganaderas promueve el ingreso constante de nutrientes a las lagunas, y consecuentemente el aumento de la eutrofia y la turbidez (figura 5).

¿El pasado como clave del futuro?

Los cambios ocurridos a lo largo de 12.000 años permiten concluir que el clima y la actividad antrópica han tenido un efecto predominante sobre la evolución de las lagunas pampeanas del sureste bonaerense. Las variaciones en las precipitaciones y en la temperatura registradas durante el Holoceno han condicionado el tamaño y la dinámica hídrica de los cuerpos de agua, así como la vegetación y las comunidades acuáticas que se fueron sucediendo a lo largo del tiempo. Más allá de comprender cómo fue el clima del pasado, la información obtenida nos puede ayudar en la conservación futura de las lagunas, una disciplina que se conoce como paleobiología de la conservación.

Una de las proyecciones más importantes respecto de la paleobiología de la conservación es que, conociendo el pasado, podemos conocer la manera en que los siste-

mas respondieron a las perturbaciones climáticas antes de la presencia humana en la región, es decir, de manera natural. Esto proporciona una línea de base natural de largo plazo (miles de años), sobre la que comparar las respuestas actuales que el sistema está dando, y así poder discriminar cuáles son mayormente debidas al impacto humano que, como se mencionó, en las lagunas pampeanas del sureste bonaerense comenzó a tener un efecto marcado desde los inicios del siglo XX.

De la misma manera, las respuestas que los cuerpos de agua tuvieron al calentamiento regional y el aumento del nivel del mar ocurridos durante parte del Holoceno Medio y Tardío (6.000-2.000 años AP) proveen una herramienta valiosa para predecir las respuestas que las lagunas tendrán ante la intensificación de estos mismos procesos en el futuro, de cara al aumento de temperatura y del nivel del mar, predichos para la región, como consecuencia del cambio global. **UH**

LECTURAS SUGERIDAS

DANGAVS NV, 2005, 'Los ambientes acuáticos de la provincia de Buenos Aires', *Relatorio del XVI Congreso Geológico Argentino*, La Plata, pp. 219-236.

DE FRANCESCO CG et al., 2022, 'Climate, sea-level and anthropogenic processes controlling the environmental evolution of shallow lakes in the southeastern Pampa plain (South East South America)

during the last 12 ka', *Journal of South American Earth Sciences*, 116: 103856.

GERALDIAM et al., 2011, 'Lagunas bonaerenses en el paisaje pampeano', *CIENCIA HOY*, 21: 17-22.

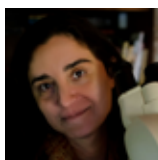
GROSMAN F, 2008, *Espejos en la llanura: nuestras lagunas de la región pampeana*, Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires, Tandil.

STUTZ S et al., 2014., 'Historia ambiental de los lagos someros de la llanura pampeana (Argentina) desde el Holoceno medio: inferencias paleoclimáticas', *Latin American Journal of Sedimentology and Basin Analysis*, 21: 119-138.



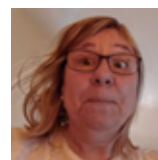
Claudio G De Francesco

Doctor en ciencias biológicas, Universidad Nacional de Mar del Plata (UNMdP).
Investigador independiente del Conicet en el IIMyC, UNMdP.
Jefe de trabajos prácticos, UNMdP.
cgdefra@mdp.edu.ar



Gabriela S Hassan

Doctora en ciencias biológicas, UNMdP.
Investigadora independiente del Conicet en el IIMyC, UNMdP.
Ayudante graduada, UNMdP.
ghassan@mdp.edu.ar



Silvina Stutz

Doctora en ciencias biológicas, UNMdP.
Investigadora adjunta del Conicet en el IIMyC, UNMdP.
Profesora adjunta, UNMDP.
smstutz@mdp.edu.ar



Guillermina Sánchez Vuichard

Doctora en ciencias biológicas, UNMdP.
Becaria posdoctoral del Conicet en el IIMyC, UNMdP.
gsanchezvuichard@mdp.edu.ar



Marcela S Tonello

Doctora en ciencias biológicas, UNMdP.
Investigadora adjunta del Conicet en el IIMyC, UNMdP.
Jefa de trabajos prácticos, UNMdP.
mtonello@mdp.edu.ar