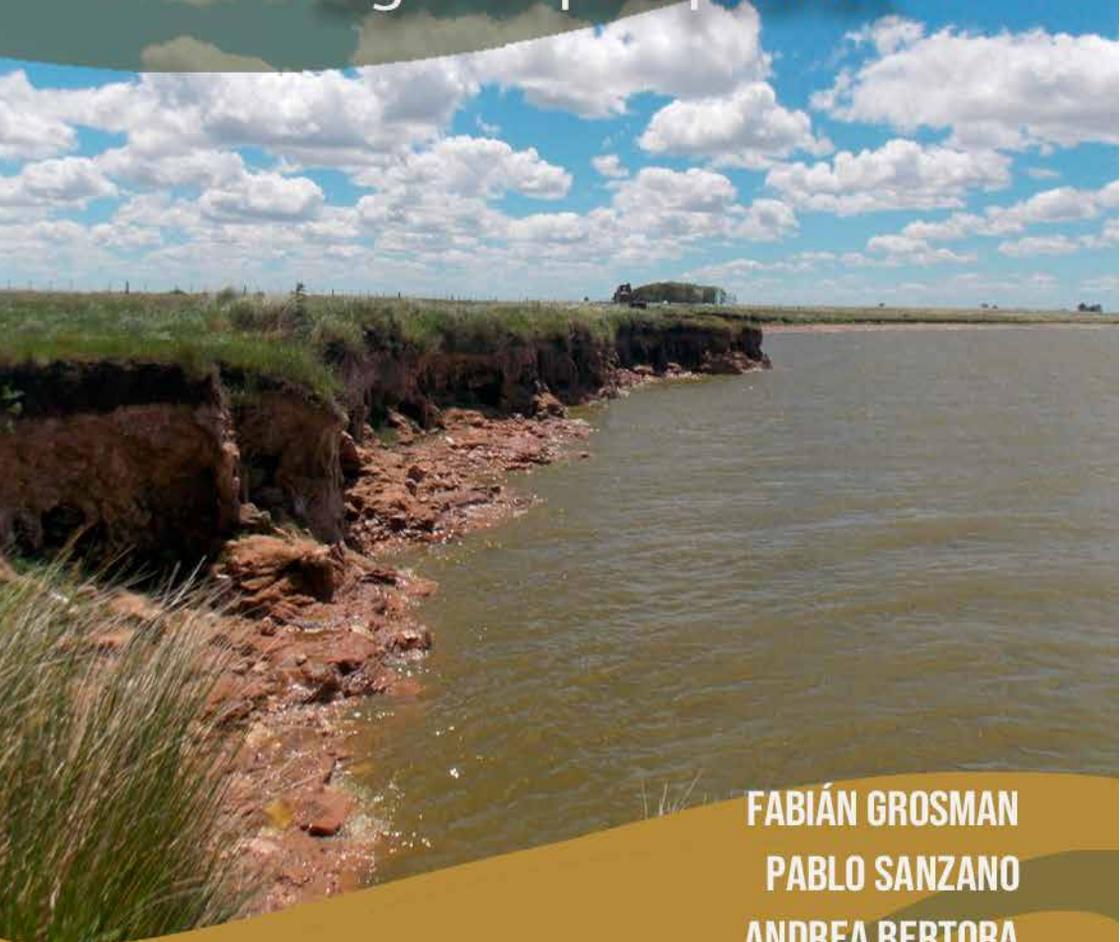


Destino



La Barrancosa.

Una invitación a conocer
lagunas pampeanas.



**FABIÁN GROSMAN
PABLO SANZANO
ANDREA BERTORA**

2019

EDITORES

Destino:

La Barrancosa.

**Una invitación a conocer
lagunas pampeanas.**

Grosman, Fabián

Destino: La Barrancosa. Una invitación a conocer lagunas pampeanas / Fabián Grosman ; Pablo Sanzano ; Andrea Bertora; compilado por Fabián Grosman; Pablo Sanzano; Andrea Bertora. - 1a ed. - Tandil: Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires, 2019.

Libro digital, PDF

Archivo Digital: descarga y online

ISBN 978-950-658-495-5

1. Laguna. 2. Desarrollo Rural de la Región Pampeana. I. Grosman, Fabián, comp. II. Sanzano, Pablo, comp. III. Bertora, Andrea , comp. IV. Título. CDD 918.213

Destino: La Barrancosa. Una invitación a conocer lagunas pampeanas

Fabian Grosman, Pablo Sanzano y Andrea Bertora, (editores).

Diseño

Maribel Macchione

Fotografías de carátulas

Imágenes de lagunas pampeanas de Paula Mariluis, Florencia Castets y editores

Primera edición

noviembre de 2019

ISBN 978-950-658-495-5

Como citar: Grosman, F., P. Sanzano y A. Bertora (eds.). 2019.

Destino: La Barrancosa. Una invitación a conocer lagunas pampeanas.

Participantes

ALFONSO, MARÍA BELÉN.

BAIGÚN, CLAUDIO

BERASAIN, GUSTAVO EMILIO.

BERTORA, ANDREA.

BUSTINGORRY, JOSÉ.

CANZIANI, GRACIELA ANA.

CASTETS, FLORENCIA.

COLASURDO, VIVIANA.

COLAUTTI, DARÍO.

CORTELEZZI, AGUSTINA.

DEL FRESNO, PAMELA.

DEL PONTI, OMAR.

DIOVISALVI, NADIA.

ENTRAIGAS, ILDA.

ESCARAY, ROBERTO.

FERRATI, ROSANA.

FONTANARROSA, M. SOLEDAD.

FUSÉ, VICTORIA SUSANA.

GARCÍA DE SOUZA, JAVIER R.

GEREA, MARINA.

GIANSAnti SPLENDIANI, LORENA.

GLOK GALLI, MELISA.

GÓMEZ ROMERO, FACUNDO.

GROSMAN, FABIÁN.

GUZMÁN, SERGIO ALEJANDRO.

HERRERA, VICTORIA.

IZAGUIRRE, IRINA.

JULIARENA, MARÍA PAULA.

LAGOMARSINO, LEONARDO.

MAESTRI, MARÍA LAURA.

MANCINI, MIGUEL.

MARILUIS, PAULA.

MERLOS, CRISTINA SOLEDAD.

MESSINEO, PABLO.

MIR, FERNANDO CARLOS.

MIRANDA, LEANDRO.

PADÍN, DAMIÁN ALBERTO.

PERILLO, GERARDO M. E.

PICCOLO, MARÍA CINTIA.

PRIANO, MARÍA EUGENIA.

QUIROGA, MARÍA VICTORIA.

REQUESENS, EDUARDO.

ROJAS MOLINA, FLORENCIA.

ROSSO, JUAN JOSÉ.

SALINAS, VÍCTOR.

SÁNCHEZ, MARÍA LAURA.

SANZANO, PABLO.

UNREIN, FERNANDO.

VELASCO, CLAUDIA ALEJANDRA.

VITALE, ALEJANDRO.





ÍNDICE

CAPÍTULO

1

El Ángel de La Barrancosa 15
ILDA ENTRAIGAS

2

Las poblaciones indígenas prehispánicas en las lagunas pampeanas. El caso de “La Barrancosa” 18
PABLO G. MESSINEO

3

A la vera de la laguna Barrancosa había un fortín... Investigaciones arqueológicas en Fortín Otamendi (1858- 1869). 32
FACUNDO GÓMEZ ROMERO

4

La vida de una laguna: un ensayo sobre la sucesión ecológica. 48
JUAN JOSÉ ROSSO

5

Lagunas y agroecología. El valor de los cuerpos de agua como factor de agrobiodiversificación regional. 67
CRISTINA S. MERLOS Y EDUARDO REQUESENS

6

Uso de Imágenes Satelitales para el Estudio de las Lagunas Pampeanas. El Caso de La Barrancosa. 77
GRACIELA CANZIANI, FLORENCIA CASTETS, MARÍA L. MAESTRI Y ROSANA FERRATI

7

Utilidad del monitoreo lagunar ambiental con boyas multiparamétricas en la región pampeana: Laguna La Barrancosa 100
MARÍA B. ALFONSO, ALEJANDRO J. VITALE, GERARDO M. E. PERILLO Y MARÍA C. PICCOLO

8

El “ADN” de la laguna La Barrancosa: su origen y características hidrogeoquímicas e isotópicas 114
MELISA GLOK GALLI Y VIVIANA COLASURDO

9

¿Qué son “los nutrientes” en los ecosistemas acuáticos? 126
LEONARDO LAGOMARSINO, JOSÉ BUSTINGORRY Y ROBERTO ESCARAY

10

Contribución natural de la Laguna La Barrancosa a los Gases de Efecto Invernadero: aspectos metodológicos y estudio de las emisiones de metano. 131
VICTORIA S. FUSÉ, M. EUGENIA PRIANO, M. PAULA JULIARENA Y SERGIO A. GUZMÁN

11

Los organismos más diminutos de Laguna La Barrancosa: El picoplancton 144
MARINA GEREÁ, MARÍA V. QUIROGA Y FERNANDO UNREIN

12

Estructura del Fitoplancton de la laguna La Barrancosa 151
IRINA IZAGUIRRE Y MARÍA L. SÁNCHEZ

13

**Animales abundantes y diminutos en la laguna:
el zooplancton.** 164
M. SOLEDAD FONTANARROSA, FLORENCIA ROJAS MOLINA, M. BELÉN ALFONSO,
JAVIER R. GARCÍA DE SOUZA Y NADIA R. DIOVISALVI

14

**Invertebrados acuáticos del fondo
de la laguna La Barrancosa** 174
AGUSTINA CORTELEZZI

15

Los peces de las lagunas de la ecorregión Pampeana 180
DARÍO COLAUTTI, JAVIER GARCÍA DE SOUZA Y CLAUDIO BAIGÚN

16

**Ni Nemo ni Dory, con ustedes: Los peces de la laguna
La Barrancosa** 199
ANDREA BERTORA, PABLO SANZANO Y FABIÁN GROSMAN

17

**Influencia de la temperatura del agua sobre la época de
desove del pejerrey** 212
LEANDRO A. MIRANDA Y PAMELA S. DEL FRESNO

18

**Experiencias de cultivo de pejerrey (*Odontesthes bonariensis*)
en la Estación Hidrobiológica Chascomús** 224
CLAUDIA A. VELASCO, GUSTAVO E. BERASAIN, DAMIÁN A. PADÍN Y FERNANDO C. MIR

19

**La pesca recreativa-deportiva del pejerrey: una actividad
masiva y dinamizadora** 237
FABIÁN GROSMAN, MIGUEL MANCINI, OMAR DEL PONTI,
PABLO SANZANO Y VÍCTOR SALINAS

20

**Contexto, laguna y territorio. La pesca deportiva en
La Barrancosa.** 255
CRISTINA S. MERLOS Y FABIÁN GROSMAN

21

Aves más notorias de laguna La Barrancosa 265
LORENA GIANSAANTI SPLENDIANI Y VICTORIA HERRERA

**Proyecto Argentino de Monitoreo
y Prospección de Ambientes Acuáticos
(PAMPAA)** 284



Destino: La Barrancosa.

Una invitación a conocer lagunas pampeanas.

Las lagunas de la región pampeana son ambientes naturales que poseen la particularidad de “atraparnos” por diferentes razones. Quizás sea por la tranquilidad que transmiten sus aguas, el sonido del oleaje, el silencio, su aire fresco y renovador, sus amaneceres, sus atardeceres, el sonido de algunas aves, el disfrute de la pesca o por el contacto con la naturaleza. Este libro es una invitación a emprender un viaje, recorrer un camino que nos lleve imaginariamente a una laguna, tomando como caso La Barrancosa, para visualizarla, conocerla, valorarla, protegerla, usarla y disfrutarla responsablemente.

El objetivo es dar a conocer diferentes aspectos de las lagunas pampeanas con énfasis en La Barrancosa. Se tiende a que el lector sepa de su existencia, su dinámica, sus factores determinantes, sus bienes y servicios ecológicos, su fragilidad, su pertenencia e identificación con el paisaje folklórico pampeano, sus organismos constituyentes, sus relaciones tróficas, sus vínculos con el hombre actual y del pasado, en definitiva que sean consideradas un escenario propicio para lograr el acercamiento y respeto hacia la Naturaleza y sus diferentes formas de vida.

Destino: La Barrancosa. Una invitación a conocer lagunas pampeanas intenta transmitir esa pasión por las lagunas y compartir conocimientos con un público amplio: docentes y estudiantes de distintos niveles educativos, científicos, productores agropecuarios, pescadores, prestadores turísticos, concesionarios de lagunas, funcionarios, ONGs ambientalistas y público en general.

¿Por qué La Barrancosa?

La laguna La Barrancosa fue seleccionada en 2011 como sitio de estudio desde el Proyecto Argentino de Monitoreo y Prospección de Ambientes Acuáticos (PAMPAA), proyecto de redes temáticas con financiamiento del CONICET (Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas). Dicho proyecto tuvo como objetivo principal evaluar distintos patrones biológicos y de cambio climático en diversas lagunas pampeanas. Además, dada su cercanía con las sedes de la Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires (situada aproximadamente a 150 km de Tandil y 60 km de Azul y Olavarría), la laguna La Barrancosa ha sido objeto de estudio de diferentes proyectos de investigación con múltiples enfoques desarrollados por docentes de dicha institución.

El libro está estructurado de manera que permite realizar una lectura como un todo integrado, pero con la posibilidad de leer cada capítulo en forma independiente acorde a intereses, identidades, edades, curiosidades, dudas, etc. Un cuento nos introduce en la laguna y permite un vuelo imaginario sobre la misma. A continuación se aborda la historia de la laguna, haciendo referencia a los pueblos originarios que habitaron sus orillas y la existencia del fortín Otamendi o Barrancosa. Luego se sientan bases generales acerca del funcionamiento de las lagunas pampeanas en general a través de una “historia de vida” y se aborda el valor de los bienes y servicios provistos por estos cuerpos de agua en el contexto agropecuario. El estudio de las lagunas en general y de La Barrancosa en particular utilizando imágenes satelitales y boyas mul-

tiparamétricas se desarrolla a continuación. Posteriormente se realiza una caracterización hidrogeoquímica de sus aguas, determinando su origen y su interacción con el acuífero Pampeano; se enfatiza sobre los nutrientes y su importancia en la laguna; y se analiza la contribución natural de este cuerpo de agua a los Gases de Efecto Invernadero, puntualmente de la emisión de metano. Las diferentes comunidades que habitan la laguna también son abordadas. Inicialmente se presentan los organismos más diminutos de la laguna, el picoplancton, para continuar con el fitoplancton, zooplancton y los organismos del fondo o bentos. La comunidad de peces presentes en la laguna así como una descripción detallada en formato de fichas ecológicas de cada una de las especies encontradas también son presentadas. Haciendo énfasis en el pejerrey, la especie emblemática de las lagunas pampeanas, se abordan aspectos sobre su desove y cultivo, así como la relevancia de su pesca recreativa-deportiva en general y en La Barrancosa. Finalmente las aves, otro grupo zoológico de relevancia, se presentan tanto a través de sus características generales así como con fotografías de cada especie. En resumen se trata de un abordaje integral y multidisciplinario del conocimiento existente sobre la laguna La Barrancosa. Cada capítulo posee su capacidad de seducción, contenidos, desarrollo, profundidad y enfoques diversos que atraparán a cada lector en base a sus propios intereses.

Los invitamos a acompañarnos y disfrutar este viaje con destino a laguna La Barrancosa.

Los editores

La vida de una laguna: un ensayo sobre la sucesión ecológica.

Juan José Rosso

En el año 1974 los científicos James Lovelock y Lynn Margulis postularon una hipótesis acerca del modo en que la Tierra había evolucionado mediante la interacción de su medio físico y químico con los organismos que la habitaban. “Toda la biosfera del planeta Tierra, hasta el último ser viviente que lo habita, podía ser considerada como un único organismo a escala planetaria en el que todas sus partes estaban casi tan relacionadas y eran tan independientes como las células de nuestro cuerpo”. Esta teoría se llamó GAIA, en alusión a la diosa griega de la Tierra. Si bien existen diversas interpretaciones de la teoría (y muchos detractores), en modo general podemos decir que la misma supone un escenario donde la vida sobre la Tierra esta expresada de tal modo de ser eficientemente contenida y sostenida por su hábitat y que esa situación de eficiencia (no el tipo de vida en sí) es estable en el tiempo retroalimentándose un compartimento del otro (la vida del hábitat y viceversa). Quizás, las extinciones masivas por las que ha pasado nuestro planeta apuntan hacia esa dirección.

A diferencia de GAIA, las lagunas de la región pampeana han “muerto y resucitado” varias veces en el pasado geológico reciente, tal vez, quién sabe, como un modo de contribuir a la regulación planetaria propuesta por Lovelock y Margulis. ¿Qué tal si pensamos a las lagunas durante su fase de existencia (una de las cuales estamos atravesando ahora) como una GAIA, como un mega-organismo? Las lagunas que conocemos y vemos rutinariamente en nuestro paisaje pampeano, también como si fueran un organismo, primero tuvieron que nacer. Luego ciertamente fueron madurando, desarrollándose. En ese camino incorporaron nutrientes que sostuvieron a algunos organismos capaces de hacerla respirar, es decir, de incorporarle oxígeno. Con organismos y oxígeno, aparecieron otros componentes que se alimentaban de los mismos y usaban el oxígeno provisto por estos. ¡Todos unos oportunistas! Y así, con diferentes grupos de organismos relacionados entre sí mediante las cadenas de consumo (redes tróficas), las lagunas empezaron a desarrollarse a través de la biomasa de sus diferentes componentes. Sin la presencia del hombre en el paisaje, es de pensar que las lagunas funcionaban óptimamente por mecanismos propios de regulación, los cuales probablemente, solo eran alterados por eventos climáticos extremos, como sequía e inundaciones. La evidencia de la Paleolimnología (la ciencia que estudia la historia de los cuerpos de agua a través del estudio de sus capas geológicas) lo ratifica. Uno anticipa a pensar que esto pudo haber sido así con algunas pequeñas variaciones. ¿Qué pasó cuando el hombre formó parte de esta escena? ¿Cómo respondieron las lagunas a este nuevo actor en el paisaje?

Para recorrer este camino que pretende ser un ejercicio científico de pensamiento libre, propongo en este capítulo relatar el derrotero de una laguna pampeana virtual, imaginaria, desde su nacimiento hasta su estado actual, con eventos de rejuvenecimiento, enfermedad, muerte y resurrección.

En algún momento las lagunas aparecieron. Una vez instaladas en el paisaje, empezaron a madurar sus aguas, a través de un proceso de enriquecimiento por nutrientes que se llama eutrofización. Alimentarse no es un proceso químico completo y por

ende las lagunas al igual que los organismos, también tuvieron que buscar mecanismos para eliminar ciertos desechos producidos por su metabolismo. Mientras lo hicieron no hubo problema, cuando no lo hicieron o no fueron suficientes, las lagunas “enfermaron”. Eventualmente, algunas lagunas pudieron “reproducirse”. Solo en ocasiones, las lagunas “murieron”, pero también ¡pudieron “resucitar”! Incluso algo maravilloso y único es que a diferencia de todos los seres vivos, las lagunas pueden llegar a rejuvenecer durante su proceso de maduración.

En Ecología, este conjunto de etapas en un ecosistema, aunque no necesariamente todas presentes, se conoce como sucesión. Aplica muy bien a comunidades vegetales, donde la fase inicial puede ser el rebrote de pequeñas gramíneas, luego de por ejemplo un incendio, y la fase final el bosque adulto totalmente recuperado. Sin embargo en las lagunas, el enriquecimiento por nutrientes refleja más íntimamente el estado de evolución de las diferentes etapas de sucesión. Este capítulo apunta a describir las diferentes etapas por las cuáles pueden haber pasado las lagunas desde su origen hasta el presente en íntima concordancia con su grado de eutrofización. También se hará mención a las alternativas que pueden conducir a la “enfermedad y muerte” y a la respuesta de estos ambientes frente a la presión del hombre en el paisaje. Esto nos permitirá entender a las lagunas desde una mirada diferente.



FIGURA 1. CUERPO DE AGUA CUBIERTO POR MACRÓFITAS FLOTANTES CON PRESENCIA DE EMERGENTES. FOTOGRAFÍA ILDA ENTRAIGAS



FIGURA 2. UN “BAJO” INUNDADO. FOTOGRAFÍA ILDA ENTRAIGAS

“El nacimiento”

Una laguna es, como se entiende rápidamente, una acumulación de agua en una zona baja del relieve donde el escurrimiento hacia zonas más bajas es lento o nulo (Figuras 1 y 2). Las lagunas pueden nacer por diferentes causas naturales (y por acción del hombre también, a través del endicamiento de un curso de agua). Esta acción antrópica artificial trae aparejada un sinfín de consecuencias negativas, pero ese es un tema que no se tratará aquí. Las causas naturales por las que pueden originarse lagunas son varias, pero sólo algunas de ellas explican la formación de estos ambientes en la región pampeana. Para que se formen extensos y numerosos cuerpos de agua por toda la región, se fue “moldeando” el bajo relieve de esta llanura durante el final del Cuaternario. Este modelado de la cubeta donde luego se acumuló el agua, ocurrió fundamentalmente por dos motivos principales: acción de la fuerza hidráulica de los ríos y excavación producida por vientos (deflación eólica). En general, se puede asumir que la alternancia de períodos secos y húmedos durante el Cuaternario favoreció el avenimiento de este paisaje lagunar actual, primero por excavación de la cubeta lagunar en períodos secos y luego por ocupación o llenado de la misma en períodos húmedos. Otros mecanismos menos comunes que dieron lugar al nacimiento de lagunas en nuestra región fueron los movimientos tectónicos que produjeron agrietamientos y hundimientos del suelo. Finalmente, sobre la línea de costa, varias lagunas se originaron por el encajonamiento u obstrucción provocados por los cordones medianosos. Algo importante a recordar, es que a diferencia de otras regiones del planeta, nuestras lagunas no tienen como antecesor a un lago (que se diferencia por su mayor profundidad) que se fue colmatando por sedimentos. Es decir, nuestras lagunas siempre fueron bajas de nacimiento, con forma de salsera, de una “U” muy abierta. Indistintamente del origen, la forma actual de las cubetas de las lagunas es el resultado de la sucesión de períodos secos y húmedos que fueron moldeando y ocupando las mismas, respectivamente. Es decir, las lagunas ya nacieron, maduraron, murieron y resucitaron varias veces en el pasado geológico cercano. En realidad, si tomamos la historia individual de la mayoría de los cuerpos de agua, sobre todo aquellos menores a 300 hectáreas, en algún momento se ha registrado durante el siglo XX estados de inundación y seca parcial o total. A nosotros ciertamente, nos toca vivir un escenario con predominancia húmeda donde las cubetas están ocupadas con agua.

Ahora entendemos porque una laguna está ahí. Hubo una cavidad formada por diferentes causas y el agua, como es natural, busco el punto menor del relieve y se acumuló. Ciertamente no tenemos testimonios de cómo fueron las primeras lagunas, pero podemos aventurarnos a decir que por lo pronto contenían aguas jóvenes de la misma manera cuando llenamos una pecera y nos recomiendan esperar un tiempo hasta introducir peces. ¿Y esto qué significa? Que recién habían nacido, eran transparentes, con pocos nutrientes y sus formas de vida seguramente se limitarían a unos escasos microorganismos.

El desarrollo: nutrientes, fotosíntesis, respiración y organismos

Podemos pensar en algún momento donde las lagunas fueron solo agua, es prudente que así haya sido. Pero seguramente no fue por mucho tiempo, al igual que si a una pecera no le realizamos ningún mantenimiento por mucho tiempo. El agua es un elemento vital y en ella hubo, hay y habrá vida (y esperemos que sea así siempre). Una vez que las lagunas tuvieron agua y se alojaron en su propia cubeta pampeana, empezaron a madurar. Pudieron hacerlo gracias a un proceso básico como la fotosín-

tesis que le permitió incorporar materia orgánica a partir de sustratos de muy fácil acceso: energía solar y dióxido de carbono (CO₂). Para esto ciertamente, primero tuvo que ser colonizada por organismos capaces de hacer este proceso: los organismos que contienen clorofila. Ya no podemos decir solo organismos vegetales, pues hay otros que tienen la capacidad de fotosintetizar. Seguramente los primeros fueron organismos unicelulares como bacterias (procariotas, es decir, organismos unicelulares sin núcleo definido) y varios protistas (eucariotas, seres con ADN dentro de un núcleo). Varios grupos de algas se incluyen en esta clasificación. De hecho, gran parte del oxígeno y la materia orgánica que se produce en los mares del mundo (y que sostienen las pesquerías más importantes del planeta) proviene de estos pequeños organismos invisibles para nuestros ojos.

Pero volvamos a nuestra pampa. Con los especímenes adecuados y los elementos arriba mencionados, las lagunas pudieron desarrollar circuitos de producción de materia orgánica que a su vez le permitieron posteriormente sostener cada vez más vida a través de todos los otros tipos de organismos que se alimentan de la misma. Estos son los denominados heterótrofos, en contraste con los autótrofos, que generaron materia orgánica en el sistema a partir de energía solar, agua y CO₂. Para hacer esto, para utilizar la materia orgánica presente en el sistema, la mayoría necesitan oxígeno (hay algunos organismos que pueden hacerlo sin oxígeno y se denominan anaerobios). Para ello, la laguna recién nacida incorporó oxígeno atmosférico con el movimiento de sus aguas por acción del viento y al igual que nosotros, también dio su primera bocanada de aire y respiró el oxígeno que le incorporaron las formas fotosintéticas como producto de su metabolismo. Pero atención, porque a diferencia nuestra que siempre tomamos oxígeno y exhalamos dióxido de carbono, los autótrofos incorporan dióxido de carbono liberando oxígeno al agua durante el día pero en ausencia de luz, mediante su respiración extraen oxígeno del agua y liberan dióxido de carbono. En otra sección del capítulo vamos a abordar y profundizar este tema ya que la concentración de oxígeno es una variable limitante para la vida. Por un proceso químico, la fase diurna de la fotosíntesis que extrae CO₂ y libera O₂ al agua, aumenta el pH (vuelve más alcalina la laguna) y lo contrario durante la fase nocturna de respiración, cuando se acidifica. Más adelante desarrollaremos cómo la combinación de este proceso ecológico natural de las lagunas asociado a la carga de nutrientes (particularmente de nitrógeno) puede conducir a un estado de estrés para los organismos acuáticos.

Sigamos imaginando. Así fue que las lagunas en algún momento se fueron muiendo de nutrientes y organismos que le incorporaban no solo oxígeno sino materia orgánica (cadenas de carbono) que representaba el primer eslabón en cualquiera de las cadenas tróficas que se desarrollarían luego. Una vez que se expandió la vida en las lagunas, los diferentes seres vivos presentes tenían como mínimo que perpetuarse o en el mejor de los casos aumentar su abundancia. Así las lagunas comenzarían a crecer a través de la maduración de sus aguas mediante la producción de materia viva en diferentes tipos de organismos. Para cualquiera de los casos, perpetuarse o multiplicarse, se necesitaba incorporar más nutrientes.

Aquí cabe preguntarnos como llegaron (y llegan) los nutrientes a las lagunas. Podemos asumir que en su infancia, las lagunas seguramente fueron primeramente "alimentadas" por algunos nutrientes, que como el fósforo, pudieron ir incorporándose naturalmente. En la región pampeana, los suelos que se construyeron por deposiciones de sedimentos eólicos y fluviales tienen un alto contenido natural de este ele-

mento. Al liberarse hacia las aguas superficiales, se desprende fósforo inorgánico disuelto (ortofosfato) que queda disponible para los organismos acuáticos. Posteriormente (o en simultáneo) algunos nutrientes fueron llegando a través de la escorrentía que ingresaba a la laguna con el lavado de su cuenca de drenaje o con algún arroyo que le tributa sus aguas. Alternativamente, por inclusión desde la atmósfera o de las aguas subterráneas pudieron ingresar algunos nutrientes también. En el caso de aguas superficiales, se incorporaron todo tipo de nutrientes (fósforo y nitrógeno son los más relevantes en los sistemas acuáticos) y desde la atmósfera y subsuelo, mayormente nitrógeno.

Cuando las lagunas de nuestro paisaje reciben nutrientes derivados de actividades humanas (agropecuarias, urbanas, industriales) quedan disueltos en el agua o atrapados en los sedimentos, en este caso no disponibles para los organismos. Los que están disueltos pueden ser utilizados por los seres vivos. Las bacterias, algunos protozoos y algas flotan en el agua y son los primeros elementos en la cadena de alimentación que incorporan estos nutrientes para sostener su metabolismo. Entonces, un aumento sostenido en la concentración de nutrientes, con el devenir de los años se traduce en un incremento en la biomasa de los microorganismos que los asimilan. Cuando los primeros elementos de una red trófica son abundantes, el resto de los integrantes también lo pueden ser. El zooplancton, algunos insectos acuáticos, los moluscos y crustáceos, los peces, aves y hasta varios mamíferos, es decir, todos los eslabones de las cadenas alimenticias, se fueron enriqueciendo y aumentando su biomasa (el peso de los distintos organismos). Este estado de situación de elevada producción orgánica eventualmente decae y nuevamente liberan por descomposición sus nutrientes al medio para que estén disponibles para las bacterias, los protozoos y las algas. Es un ejemplo de recirculación de materia y flujo de energía.

Hasta ahí la laguna desarrolló su estructura y funcionamiento sin inconvenientes, hasta que apareció el hombre. Con este nuevo protagonista, el escenario es otro, ya que todas las rutas de incorporación de nutrientes, principalmente la de escorrentía, serán potenciadas por el desarrollo (no necesariamente progreso) del paisaje que hemos realizado los seres humanos en los últimos siglos. Entonces, sería válido plantearnos de qué manera pueden las lagunas contener un aumento progresivo de las biomásas de sus diferentes organismos en respuesta a un enriquecimiento continuo de nutrientes por actividad del hombre, si su espacio es finito. La respuesta parece bastante intuitiva: en algún punto las lagunas se encontrarán saturadas de biomasa (situación conocida en ciencias agropecuarias como capacidad de carga) pero siguen incorporando nutrientes de la atmósfera, las aguas subterráneas y las escorrentías. ¿Y entonces? Si volvemos a la propuesta inicial de pensar a la laguna como un superorganismo, nos podemos preguntar: ¿es que no tiene ella ningún mecanismo para la depuración de esta nutrición en exceso? La respuesta es sí, pero son pocos y no universales para todos los nutrientes.

Excreción y extracción (eliminación de nutrientes)

Crecer y alimentarse no le es gratuito a las lagunas (ni a nosotros), pues todo metabolismo produce elementos de descarte que deben ser eliminados, ya que la acumulación en su gran mayoría es nociva para el organismo (o la laguna) que los formó. Con excesos de nutrientes en el agua, como suele ser el caso de las lagunas muy eutrofizadas, se generan también numerosos componentes fotosintéticos, que alimentan a enorme cantidad de organismos consumidores; en el camino se producen cuantiosos resultados del metabolismo de la laguna. Más adelante se presenta un ejemplo de

cómo un producto puede resultar particularmente tóxico para los seres vivos. Pero no son solo los compuestos intermedios del metabolismo los que generan una amenaza para el bienestar de la laguna. Los mismos nutrientes en el estado inicial que entran al agua, ya están generando un condicionamiento del estado trófico de la laguna que pone al sistema en un escenario cada vez más delicado a medida que siguen ingresando más nutrientes. Por ello, todos los mecanismos por los cuales la laguna pueda eliminar o se le pueda extraer nutrientes y compuestos orgánicos contribuirán sin duda, a un estado de mejoramiento del cuerpo de agua.

Para ello, la laguna posee algunos mecanismos propios y otros ajenos. Los propios son mecanismos de excreción o eliminación mientras que los ajenos se pueden considerar de extracción. Entre los primeros se encuentra uno que involucra a sus emisarios o efluentes y tiene que ver con el desvío de nutrientes y materia orgánica aguas abajo en aquellos ambientes que se encuentran en el cauce de un curso de agua y tienen esa posibilidad. La construcción de compuertas u otras obras civiles afecta negativamente esta propiedad. Más abajo discutiremos sobre este suceso cuando se mencione el rejuvenecimiento de las lagunas. Otro mecanismo propio involucra al nitrógeno y es la liberación del mismo a la atmósfera luego de una serie de reacciones químicas por las cuales el nitrato (NO_3), se transforma en nitrito (NO_2) y finalmente en N_2 que es liberado hacia la atmósfera.

Para los demás mecanismos de depuración de nutrientes, la laguna necesita socios como algunos animales e incluso el hombre. Nosotros ayudamos ocasionalmente a extraer nutrientes por medio de la cosecha parcial de diferentes elementos, desde los juncos hasta los peces y entre ellos, particularmente pejerrey. También genera este efecto la avifauna que se alimenta de peces y otros organismos acuáticos. En este último punto, habría que evaluar cuál es el resultado neto de esta extracción sobre la laguna. Ello, debido a que así como las aves (y también algunos anfibios y mamíferos) extraen nutrientes de las lagunas, al mismo tiempo depositan sus desechos cargados de nutrientes a través de sus deposiciones que fertilizan las aguas directamente pues ya están disueltos y disponibles para los organismos acuáticos. Para algunas lagunas puntuales, que pueden estar expuestas al arribo estacional de bandadas de aves migratorias, el balance entre extracción y aporte seguramente será negativo. Hay ejemplos para otras latitudes que mencionan una densidad de 1 ave/ m^2 en ciertas épocas del año.

Todas estas son vías de movilización de nutrientes y materia orgánica simultáneas y no excluyentes que representan una salida de los mismos desde la laguna hacia algún otro compartimento, biológico o no. Existen otras vías de movilización de nutrientes que sin excretarlos ni eliminarlos, generan cierto beneficio para la dinámica de la laguna, ya que los inmovilizan y no los dejan disponibles para su uso por parte de los organismos acuáticos. En uno de estos mecanismos, el fósforo precipita en formas insolubles (por eso no está disponible) hacia el fondo de la laguna. Una vez allí, se mantiene en ese estado siempre y cuando se den ciertas condiciones físico-químicas. Particularmente, el fondo necesita estar con cierta concentración de oxígeno. Esto suele ser cierto en las lagunas pampeanas para los primeros mm de espesor del sedimento, pero más profundo las condiciones de anoxia generalmente dominan y el escenario es diferente.



FIGURA 3. PESCA EXPERIMENTAL EN UNA LAGUNA PAMPEANA. FOTOGRAFÍA PABLO SANZANO

Entonces, si se plantea que no hay vías de eliminación efectivas de nutrientes y materia orgánica y las lagunas siguen recibiendo cantidades cada vez más grandes de estos elementos, el destino no es promisorio y puede terminar mal. Y así sucede a menudo. Veamos algunos ejemplos de estrés ambiental por estos excesos. Estas situaciones de riesgo ambiental, son las que se pueden interpretar como una situación de enfermedad para la laguna y eventualmente si no se revierten, pueden conducir a su muerte.

Enfermedad (estrés ambiental)

Con fines didácticos, se presentan y tratan por separado tres situaciones de estrés ambiental originadas por una situación de alta carga de nutrientes. Algo importante a tener en cuenta: no son las únicas amenazas ambientales que sufren las lagunas por su eutrofización ni tampoco son excluyentes. Eso implica que todas estas amenazas pueden (y suelen) darse en conjunto, potenciando sus efectos, pero además pueden estar acompañadas de otras situaciones ambientales desfavorables para las lagunas. Por lo general, se entiende que cuando las lagunas presentan un enriquecimiento excesivo de nutrientes y materia orgánica, se desencadenan varios procesos tendientes a utilizarlos y almacenarlos que pueden tener consecuencias negativas.

Amoníaco (NH_3)

En las lagunas, los nutrientes pueden estar formando complejos orgánicos o inorgánicos. Para el nitrógeno en particular, sus compuestos inorgánicos son altamente influenciados por el pH (acidez-alcalinidad) del agua. Particular atención recibe el equilibrio entre el amonio (NH_4) y el amoníaco (NH_3), siendo este último una forma muy tóxica del nitrógeno inorgánico. Mientras el pH de las aguas se mantiene en cierto rango, esta forma de nitrógeno está mayormente en su estado no tóxico, que es el amonio. Pero cuando el agua se empieza a alcalinizar (aumento del pH) el NH_4 vira a la forma tóxica NH_3 . Este último, por estar frecuentemente en altas concentraciones debido al estado hipertrófico de las lagunas, puede generar mortandades de los organismos acuáticos. Como fue mencionado, durante el día los componentes fotosintéticos toman dióxido de carbono del agua y con ello generan una reacción

química que favorece el aumento del pH en el agua. Esta alcalinización diurna del agua sugiere que el viraje del nitrógeno inorgánico hacia el amoníaco podría ser más importante durante las horas de luz solar. Aquí podríamos estar tentados de anticipar que el punto más álgido en esta situación estaría cerca del mediodía, cuando la irradiación solar está en su máximo. Sin embargo, esto no es así porque la irradiación de luz ultravioleta en ese momento del día es también máxima y está demostrado que esto inhibe la fotosíntesis de muchos grupos de algas. El punto crítico para la toxicidad por NH_3 que pudiera derivar de la alcalinización del agua por fotosíntesis, está ubicado unas horas posteriores al mediodía. Esta relación entre el pH del agua y la toxicidad por amoníaco es una condición muy frecuente y temida en los establecimientos dedicados a la acuicultura (cultivo de organismos acuáticos). Algunas lagunas suelen tener elevada alcalinidad lo cual favorece esta situación y es causante de mortandades.

Disminución grave (hipoxia) o falta de oxígeno (anoxia)

Con el aumento de los nutrientes y la producción de organismos en la laguna, aumenta la demanda de oxígeno para sus necesidades metabólicas. También la materia orgánica procedente de los organismos que van muriendo y la que entra al sistema por escorrentía o aporte de animales que usan el espejo de agua, consume oxígeno. Cuando todas estas situaciones están en su máximo, el nivel del oxígeno de la laguna puede disminuir notablemente. Esta situación de estrés puede devenir en situación de muerte bajo ciertas circunstancias. El oxígeno disuelto en el agua disponible para los organismos, disminuye a medida que aumenta la temperatura de la misma. Por eso es lógico pensar que una situación de estrés por déficit de oxígeno sea más frecuente y peligrosa en los meses cálidos del año. El oxígeno de una laguna tiene una variación diaria que responde a la actividad de los organismos fotosintéticos: aumenta en el día cuando se hacen fotosíntesis, pero disminuye en la noche cuando se hace respiración. El mínimo de oxígeno dependiente de la fotosíntesis puede encontrarse cerca de las primeras horas de luz del día, luego de que la laguna respiró durante toda la noche. Entonces, ya tenemos dos variables para incorporar a un escenario crítico de oxígeno: calor y madrugada. ¿Podemos pensar en algo positivo? Sí. Este escenario de depleción de oxígeno, además de ser contrarrestado por la fotosíntesis durante el día puede ser atemperado por el oxígeno atmosférico que entra cuando se rompe la superficie aire-agua por acción del viento. Pero como este último factor es bueno en su fase positiva (días de viento), no lo es en su fase negativa (días de calma) y ahí es donde podemos sumar una tercera variable a la trampa química de falta de oxígeno. Entonces, días de mucho calor, en horas de la madrugada y sin viento (a veces esta situación se produce durante varios días) son la receta perfecta para el desastre. Pero esto no termina aquí. ¿Conocen la expresión “La calma aparente antes de la tormenta”? Justamente, el escenario que recién mencionamos puede devenir en el desenlace de una tormenta fuerte de verano (además generalmente con baja presión atmosférica) y aquí entra el cuarto ingrediente a modo de coctel mortal. Este último ingrediente para el desastre lo aportan los sedimentos de la laguna que al ser removidos por la turbulencia de las olas durante las tormentas enturbian el agua afectando mecánicamente las branquias de los peces y por lo tanto su salud, pero más peligroso aún, su condición de baja concentración o ausencia total de oxígeno se traslada a la columna de agua generando una situación crítica para los organismos acuáticos.

Toxinas biológicas producidas por cianobacterias

¿Por qué una laguna puede enfermarse por toxinas biológicas? Esto responde a que

algunos organismos del plancton conocidos como cianobacterias producen compuestos tóxicos como parte de sus productos metabólicos, los cuales pueden afectar los organismos acuáticos. Las cianobacterias tienen la estructura y funcionamiento de una bacteria, pero la capacidad de fotosíntesis de las algas y plantas. En términos ambientales medios, las lagunas poseen una comunidad del fitoplancton (donde se ensamblan las cianobacterias con otros organismos) dominada por algas verdes. Pero esta situación se desvía bajo cierto escenario ambiental hacia una comunidad dominada por cianobacterias. Una laguna cargada de nutrientes, con poco oxígeno y varios días de calma desde el punto de vista climático (escaso o ausencia de viento) es el escenario propicio para el dominio y floración de cianobacterias. Una baja tasa de recambio de agua (determinante en lagunas emplazadas en cauces fluviales) y un alto pH, son otros factores predisponentes para las floraciones de cianobacterias. Tal vez, la variable más influyente en la dominancia de cianobacterias (y sus efectos adversos) sea la concentración de nutrientes, particularmente de fósforo. Está demostrado en ecosistemas de todas las latitudes que por encima de un valor dado de concentración de fósforo, la dominancia de cianobacterias en la comunidad del fitoplancton crece exponencialmente. Esto podría vincularse a su capacidad de utilizar N₂ atmosférico a diferencia de otras especies componentes del fitoplancton. Otra variable de relevancia para las floraciones (crecimiento desmedido en abundancia generalmente de una sola especie) de cianobacterias es la temperatura del agua, siendo más frecuentes por este motivo durante el verano. Sin embargo, el invierno también ha mostrado casos de mortandades por sus toxinas, tanto en nuestra región pampeana como en otras partes del mundo. Esto suele ocurrir en un clima templado invernal seguido de días muy fríos. Los primeros favorecen el desarrollo de algunas cianobacterias mientras que los segundos la muerte de las mismas y la liberación de sus toxinas. Indistintamente del mecanismo que condujo a la floración de cianobacterias, es importante destacar en este punto que una vez instaladas en el ambiente, las floraciones producen ciertas condiciones ambientales que pueden tener efectos sinérgicos negativos con sus toxinas. La proliferación masiva de cianobacterias produce un descenso brusco del oxígeno, el CO₂ y un aumento de pH. De este modo, las tres situaciones de estrés ambiental (intoxicación por NH₃ en aguas alcalinas, mortandad por toxinas biológicas y disminución o falta de oxígeno) pueden estar in-



FIGURA 4. DISMINUCIÓN DE LA SUPERFICIE DE LA LAGUNA

timamente vinculadas. Esto hace difícil asignar una causa principal frente a las mortandades masivas de peces que se observan en nuestras lagunas.

No obstante ello, si prestamos atención a lo mencionado, detrás de cualquiera de estos signos de enfermedad hay un denominador común: la elevada y permanente carga de nutrientes y materia orgánica que llegan a las lagunas naturalmente o producto de nuestras actividades en la cuenca de drenaje. Estas no se limitan solamente al uso agropecuario del suelo, sino que incluyen los asentamientos urbanos e industriales con todos sus variados, concentrados y perjudiciales efluentes, desde el vertido de una empresa hasta la piletta de la cocina o el inodoro de nuestras viviendas.

Reproducción (nuevos cuerpos de agua)

En nuestro paisaje pampeano, es común la alternancia de períodos de sequía con otros donde las lluvias dominan y se generan importantes inundaciones. Este ingreso masivo de agua tiene efecto diferente en función a qué tipo de laguna le llegue. En las lagunas aisladas en el paisaje, sin conexión con ningún curso de agua superficial (lagunas arreicas), estos ingresos de agua suelen generar desbordes y se llenan terrenos bajos cercanos, generando nuevas lagunas o una extensión desmedida. De hecho, el paisaje pampeano puede pasar de un mosaico de lagunas permanentes entrelazadas entre los campos de cultivo durante condiciones climáticas medias a un paisaje desbordado de agua con miles de lagunas menores durante períodos muy lluviosos. Contrariamente, en las lagunas emplazadas en cursos fluviales pre-existentes los desbordes suelen ser capturados y conducidos por el curso fluvial y raramente se forman nuevos espejos de agua.



FIGURA 5. IMAGEN DE ATARDECER EN LAGUNA PAMPEANA. FOTOGRAFÍA PABLO SANZANO

¿Pero por qué pensamos que una laguna se reproduce si solo se está acumulando agua en un nuevo lugar? Con algunas licencias, podemos pensar que el agua “nueva” de desborde al tener un componente mayoritario de agua de lluvia, es un agua joven, es decir un agua con pocos nutrientes y organismos. Veremos más adelante que esto puede no ser universal para toda la región. Sin embargo, cuando esto sucede, podemos asumir que esta agua que recién ha llegado, recién ha nacido y por eso podemos pensarla como una extensión de la laguna madre. Esto significa que el

nuevo cuerpo de agua formado debe, al igual que un hijo recién nacido, ser asistido para su desarrollo. Y así se hará, siempre y cuando aparezca una variable clave en el funcionamiento de los ecosistemas acuáticos que es la conectividad. La posibilidad de la formación de un nuevo cuerpo de agua a partir de uno pre-existente y la maduración del mismo son altamente dependientes de este aspecto. Esto no solo porque permite el trasvase de agua hacia el cuerpo receptor sino porque favorece luego la colonización del nuevo ambiente creado a través del transporte de organismos vivos entre ambos ecosistemas por medio de una ruta de agua. Este proceso se conoce como hidrocoria.

Rejuvenecimiento

¿Puede una laguna volver a un estado anterior en el camino de maduración de sus aguas? Esto que podría entenderse como un rejuvenecimiento de estos ecosistemas suele ocurrir en algunas circunstancias. Aunque como veremos, el hombre también ha coartado esta opción en algunos casos. Para comprender mejor cuál es el escenario para los distintos tipos de lagunas de la región pampeana respecto a su posibilidad de rejuvenecer, adoptemos una dicotomía didáctica entre lagunas ubicadas en cauces fluviales de aquellas arreicas.

Las lagunas emplazadas en los cauces fluviales (actuales o pre-existentes o cursos “abandonados”) están expuestas a un continuo recambio de sus aguas debido al ingreso que le generan sus tributarios o afluentes. Uno podría anticipar que las lagunas reciben aguas menos maduras que las de su cuerpo principal, las cuales luego maduran por el mayor tiempo de permanencia en la laguna (incorporación de nutrientes y organismos). Así se explicaría porque muchos de los emisarios o efluentes de este tipo de lagunas contienen más nutrientes y organismos que los tributarios o afluentes. Esto suele ser cierto en condiciones hidrológicas medias o de estiaje, pero el escenario es muy diferente en períodos de inundación. Rápidamente, uno se tienta de pensar que con las lluvias vendrá agua joven, con pocos nutrientes y sin organismos y esto sería un verdadero rejuvenecimiento para el cuerpo de agua receptor. Pero pocas veces es el caso en nuestra región pampeana. Está probado por varios estudios, que en zonas donde el hombre hace uso del suelo para la agricultura y la ganadería, las crecientes que acompañan las lluvias suelen aumentar la cantidad de nutrientes de las aguas receptoras en las lagunas. Esto se entiende fácilmente por la fertilización de la agricultura y las deposiciones masivas y locales (y restos de alimentos) de la ganadería intensiva. Además, no olvidemos que los suelos de la región pampeana contienen alto porcentaje de nutrientes y materia orgánica. Pero aun así hay esperanza. ¿Cuándo? Para el escenario anterior, cuando las lluvias son tan importantes que la tasa de lavado de las mismas excede la carga de nutrientes que le aportan los usos de suelo. También se podría anticipar un rejuvenecimiento (al menos temporario) en situaciones hidrológicas medias y extremas, en aquellas lagunas que no drenan un paisaje pampeano tan perturbado por nuestras actividades productivas.

¿Y por qué decimos que esto es un rejuvenecimiento? Simplemente porque lo que el agua se lleva a través de los emisarios o efluentes no suele volver. Aclaro suele, porque podemos aceptar que eventualmente parte de esos nutrientes bien pueden contribuir a la producción de organismos aguas abajo (peces, aves, insectos, moluscos, crustáceos, etc.), los cuales tiene la posibilidad de retornar a la laguna. Del mismo modo, como vimos anteriormente, parte del nitrógeno puede volver a la atmósfera y luego ingresar (en forma de lluvia o precipitación seca) de nuevo en la laguna que lo excretó. Pero al menos en el tiempo cero, cuando el agua pasó, la laguna rejuveneció.

Muerte

Si bien podemos imaginar un sinnúmero de situaciones ambientales negativas para una laguna, el final de estos ambientes suele estar asociado mayormente a tres escenarios diferentes: retracción hidrológica (normalmente por sequía extrema en magnitud y tiempo), colmatación por sedimentos (orgánicos o inorgánicos) o distrofia. La colmatación por sedimentos orgánicos podría ser concomitante con una distrofia del sistema. Igualmente, no hay que esperar a esta última instancia para ver a una laguna sufrir. En su camino a un eventual desenlace fatal, una laguna presenta un montón de sucesos no menos nefastos, muchos de los cuáles ocurren hoy día en varios casos. Algunos de ellos fueron presentados en el apartado de las enfermedades.



FIGURA 6. SECA DE UNA LAGUNA PAMPEANA

La muerte por retracción hidrológica de una laguna es rápidamente entendible, pero requiere algunas observaciones. Para pensar en este aspecto, es prudente primero considerar que en el paisaje pampeano tenemos dos grandes grupos de lagunas: las temporarias y las permanentes. Las primeras ciertamente reciben esa denominación porque en función de las condiciones hidrológicas entre años, pueden desaparecer temporalmente del paisaje. En este caso podríamos considerarlo casi como un fenómeno natural. Temporalmente puede involucrar un período apenas efímero, unos años o varias décadas. De hecho, un gran número de organismos, entre ellos un grupo de peces bien conocidos, los killis (también llamados peces de la lluvia, anuales, cinolebias), han desarrollado estrategias evolutivas para adaptarse a lagunas de temporada. En el segundo caso, la permanencia de una laguna puede deberse a su extensa superficie y volumen de agua retenido que le posibilita reducirse pero no hasta el punto de secarse y/o estar mayormente sostenida por aportes de agua subterránea. El aporte relativo del agua subterránea frente a las lluvias varía de caso en caso y en diferentes momentos en el mismo ambiente. Indistintamente de ello, la ecuación termina en un balance hídrico positivo todos los años y por eso son elementos permanentes de nuestro paisaje. Para que una laguna permanente desaparezca por retracción hidrológica el balance hídrico tiene que ser negativo varios años. Esto sucede asociado a eventos de sequía extremos en magnitud y tiempo como fue mencionado al comienzo del capítulo. Pero eso no es todo. Nuestras intervenciones sobre la dinámica hidrológica del paisaje pueden generar un efecto similar. Las actividades extractivas de agua (consumo, riego, paisajismo) y las canalizaciones, son manejos frecuentes que hacemos sobre el agua subterránea y superficial en detrimento del balance hidrológico positivo de las lagunas. En este punto es intuitivo (y diría que

importante) pensar que una intervención humana combinada con una sequía tal vez no tan catastrófica, podrían tener un efecto de sinergia y terminar con la existencia de una laguna en un momento, que de otro modo, no hubiese sido determinante para la vida de este ecosistema.

Existen casos en los cuales por efectos de la evaporación o infiltración, la laguna concentra sus sales transformándose en una salina. Al comienzo, los organismos presentes supervivientes poseen estrategias de adaptación a las nuevas y extremas condiciones de entorno, pero con cierto límite. Cuando este umbral es superado ya nada puede sobrevivir y es una laguna sin vida, hasta que reduce totalmente la retención de agua. Los paisajes generados son extensas cubetas de color blanco con eventuales charcos productos de lluvias recientes.

Las lagunas son cuerpos de agua someros (de baja profundidad), frecuentemente turbios y expuestos a las actividades que hacemos los seres humanos en la cuenca de drenaje. En estas palabras aparecen algunos términos muy importantes, que combinados, permiten entender porque una laguna puede perecer por colmatación, entendiéndose por tal el llenado de su cubeta por sedimentos. La turbidez en una laguna puede ser de origen inorgánica u orgánica. La primera está sostenida por el material particulado inerte que le es propio desde su origen más el que llega por escorrentía. La segunda está asociada a la elevada productividad (síntesis de materia orgánica) de estos cuerpos de agua y es sostenida por una elevada carga de nutrientes. Esta productividad genera turbidez porque produce en la columna de agua una alta concentración de organismos del plancton (bacterias, protozoos y algas) que generan un enturbiamiento del agua. ¿Y por qué la colmatación? Ciertamente podemos pensar en dos escenarios teóricos donde podría haber una colmatación puramente inorgánica y otra orgánica, pero lo que suele ocurrir es una participación de ambas.

Igualmente, con fines didácticos, explicaremos cada una por separado entendiendo que los mecanismos actúan juntos. Si una laguna está dominada por sedimentos inorgánicos será un agua muy turbia sostenida por la constante remoción que suele generar el oleaje con el viento. Bajo estas condiciones, no hay buena entrada de luz solar al sistema, y por más que la carga de nutrientes sea elevada, los componentes del plancton suelen ser escasos. En este caso, la fotosíntesis la realizan las plantas vasculares que emergen del agua y evaden de ese modo la limitación impuesta por la turbidez inorgánica. Y acá está el aspecto clave. Estas plantas generan un efecto de protección contra la resuspensión constante de los sedimentos y alrededor de ellas el material particulado tiende a precipitar. Cualquiera que se haya adentrado a una laguna bordeada por juncos podrá dar fe que cerca de los mismos se desarrolla un colchón de lodo que suele desaparecer cuando nos alejamos un poco del litoral. Eso es colmatación. El camino hacia la colmatación final de todo un cuerpo de agua, está marcado por un crecimiento del cinturón de plantas (juncos y totoras mayormente) que va cada vez generando más colmatación a su alrededor, disminuyendo la profundidad de la laguna y permitiendo su asentamiento cada vez más hacia adentro. Este escenario puede ser acelerado por el aporte de más sedimentos desde la cuenca de drenaje producto de un mal uso del suelo. Adicionalmente, si esta situación se conjuga con una acción conjunta de extracción de agua, los tiempos hacia la colmatación podrían acortarse. Este podría ser un escenario esperable por ejemplo en zonas agrícolas bajo riego, dado que aportan sedimentos durante las labranzas y extraen agua durante el crecimiento del cultivo.

Con la turbidez orgánica pasa algo similar en cuanto a la mecánica de precipitación, ya que necesita de periodos de calma o forzantes como la vegetación para que esto suceda. Pero tiene un componente único por ser material vivo: se muere. Entonces, si una laguna recibe nutrientes y produce mucho material vivo, es lógico pensar que los organismos perezcan cumplido su ciclo biológico. También pueden morir antes por cuestiones adversas. Pero aun así, las lagunas tienen mecanismos que permiten que esa materia orgánica sea reprocesada y los nutrientes retornen a la columna de agua para empezar de nuevo el ciclo de la vida. Hasta ahí no habría problemas. Pero si ya tenemos este circuito interno de producción y metabolismo de la vida, y la laguna sigue recibiendo nutrientes y materia orgánica productos de nuestras intervenciones en la cuenca, nos podemos preguntar si el ecosistema podrá acomodar estos nuevos componentes dentro de su ciclo de funcionamiento. Hasta cierto punto (capacidad de carga) seguramente sí y de hecho vimos ya mecanismos que le permiten a la laguna deshacerse de nutrientes y materia orgánica, pero luego de eso el escenario cambia. En este punto, con un exceso de materia orgánica las tasas de decaimiento suelen ser muy altas y cuando esto sucede el consumo de oxígeno para metabolizarla llega a su máximo y por lo tanto su concentración y disponibilidad a su mínimo. Bajo estas circunstancias, se producen cambios físicos y químicos en la laguna que inhiben a muchos de los organismos encargados de procesar la materia orgánica. En consecuencia su acumulación ya no puede ser tan eficientemente transformada en nutrientes solubles en el agua y comienza la colmatación. Mucha de la materia orgánica que no es metabolizada queda disuelta en el agua y a ésta se le suma la materia orgánica y los sedimentos que siguen llegando por escorrentía. Empieza a dominar el escenario la vegetación arraigada emergente del litoral a medida que se adentra en la laguna aprovechando la disminución de la profundidad del agua. Esta situación de colmatación orgánica descompensada, materia orgánica disuelta y vegetación palustre dominando el espejo de agua puede ser el inicio del camino hacia la distrofia.

Existen entonces dos elementos íntimamente relacionados que intervienen en los procesos de colmatación de un cuerpo de agua: el material inorgánico particulado y la producción de materia orgánica. Si bien la ruta desde el origen difiere en ambos, la causa subyacente principal que acelera este proceso es la misma: la intervención humana en los ciclos biogeoquímicos (ciclo de nutrientes y materia orgánica) de los ecosistemas. La colmatación por material inorgánico particulado podría terminar en una colonización masiva de la laguna por plantas emergentes que luego quedan parcialmente inundadas por pequeños ojos de agua. La situación donde la materia orgánica es la causa principal de la colmatación podría devenir en un estado de distrofia de la laguna.

Al igual que un organismo, una laguna sobrealimentada presenta trastornos metabólicos. El camino de este proceso muestra síntomas concretos de estrés ambiental como proliferación masiva (bloom) de algas (inocuas y tóxicas), consumo extremo de oxígeno, turbidez máxima de la columna de agua y como expresión más visible del estado alterado, mortandades extensas de peces y otros organismos acuáticos. Noten que usé las palabras: masiva, extremo, máxima y extensas. Si esto aún no despierta cierta preocupación en el lector, déjenme decirles que no es lo peor. El estado final de estos manifiestos de enfermedad metabólica (todos sostenidos por un exceso de nutrientes), es lo que se conoce como distrofia. En términos simples podemos pensar a la distrofia como una situación que deriva de un excesivo enriquecimiento de nutrientes y producción de mucha materia orgánica, la cual se acumula hasta un punto donde las condiciones físicas y químicas del medio no permiten seguir produciendo

más materia orgánica ni tampoco reducirla eficientemente a nutrientes nuevamente. Este es entonces un estado de intransigencia donde además, muy probablemente, se sigue cargando el ambiente de nutrientes y más materia orgánica desde la cuenca de drenaje agravando el cuadro. Todos estos excesos, que generaron un ambiente físico y químico desventajoso para los organismos encargados de procesar la materia orgánica, son los responsables de este estado terminal de una laguna. Externamente, esta situación suele verse como una laguna de aguas oscuras (aguas negras) con un color de té impuestro por la materia orgánica disuelta que se conoce como sustancias húmicas.

Como vimos en todos los casos, mucho antes de que una laguna muera, se hacen evidentes señales de estrés ambiental que no siempre son atendidas o entendidas como tales. Para responder a este llamado de auxilio, las lagunas pueden echar mano a los mecanismos mencionados de excreción de nutrientes y rejuvenecimiento. Sin embargo, cuando fallan o no alcanzan estos mecanismos, las lagunas, que siguen recibiendo nuestros aportes externos, enfrentan un destino incierto en donde la muerte por colmatación inorgánica o distrofia es una posibilidad cada vez más grande.

Resucitación

Una vez muerta, dependiendo de la causa de la misma, la laguna puede resucitar. De hecho, ya lo hizo varias veces en el pasado. Las lagunas que han perecido por colmatación mayormente inorgánica no tienen mucho más remedio que ser remodeladas por acción hidrológica o eólica de tal magnitud que se permita no solo la excavación nuevamente de su lecho sino también el mantenimiento del mismo. Si las condiciones imperantes en el paisaje que llevaron a la colmatación no se modifican, el escenario se volverá a repetir. Las lagunas que llegan a un estado de distrofia tienen un escenario algo más complejo. En esta situación la presión del paisaje ha sido tan grande que son pocas las chances de recuperar el ambiente sin una modificación drástica del uso de suelo (y de la laguna) que hemos venido haciendo los hombres para llevarla a ese estado.

En este contexto, es prudente pensar que la situación con mayor posibilidad de ser revertida con éxito es la muerte por desecamiento. Las lagunas que desaparecen por sequías, suelen rellenar sus cubetas con agua en la próxima época de condiciones predominantemente húmedas. Nos podemos preguntar aquí si habrá organismos capaces de recolonizar el nuevo ecosistema que ha renacido. En este punto es donde encontramos una serie de estrategias de las más fascinantes entre los organismos acuáticos. Algunos que habitan las lagunas tienen formas de reproducción con latencia o dormancia, que se activan justamente cuando señales químicas y/o físicas de la laguna indican que el cuerpo de agua está desapareciendo. Estas formas representan los mecanismos por los cuales estos organismos repueblan el ambiente una vez que la laguna recuperó el agua y condiciones favorables.



FIGURA 7. ATARDECER EN LAGUNA LOS CHILENOS. FOTOGRAFÍA PABLO SANZANO



FIGURA 8. COMIENZO DE LLENADO POR PRECIPITACIONES DE UNA LAGUNA. FOTOGRAFÍA PABLO SANZANO

¿Qué pasa si las condiciones no vuelven a recuperarse en el mismo sitio donde estas estrategias de resistencia fueron formadas y depositadas? Deberían poder trasladarse y para eso cuentan con “ayuda”, que en función del agente colaborador, el mecanismo recibe diferentes nombres. Por ejemplo, cuando intervienen animales se denomina zoocoria. En este escenario participan comúnmente las aves y los anfibios que llevan adheridos a sus patas los inóculos biológicos necesarios para generar la nueva colonización. El hombre puede voluntaria o involuntariamente provocar el mismo efecto, y se lo llama antropocoria. Pero no solo intervienen otros seres vivos sino que existen otros factores que suelen darse en tiempos y situaciones diferentes. En fases temporales húmedas, las formas de resistencia pueden ser arrastradas por el agua y transportadas hacia el ambiente receptor. Este mecanismo se conoce como hidrocoria y representa la vía húmeda de transporte para los organismos vivos y sus formas de resistencia o dispersión. La vía seca, que también puede transportar formas de resistencia de un lugar a otro ocurre bajo condiciones de sequía y se cono-

ce como anemocoría, porque es el viento (anemo) el que actúa como dispersor de los organismos.



FIGURA 9. LAGUNA BLANCA GRANDE. FOTOGRAFÍA PABLO SANZANO

Epitafio de una laguna pampeana

Nació a finales del Cuaternario, hace miles de años. Desde ese momento ya contaba con una buena concentración de fósforo disuelto proveniente del material geológico de base. Al poco tiempo, algunos de los primeros organismos que la colonizaron comenzaron a utilizar sus moléculas de agua y CO₂ y junto con la luz solar pudieron establecerse y generar más materia orgánica. En ese camino, la proveyeron de oxígeno. En este escenario, organismos que dependen de otros para desarrollarse pero necesitan el oxígeno para hacerlo, tuvieron la posibilidad de prosperar y la laguna se vistió de anfitriona para una enorme diversidad de seres acuáticos. Pero vinieron épocas de déficit hídrico y se secó. En sus últimos momentos, muy pocos organismos estaban presentes y antes del final, emitieron algunas formas de resistencia para el futuro. Cuando se volvió a llenar de agua en los períodos húmedos, varias de estas formas de resistencia junto a otros organismos que usaron diversas vías de repoblamiento, florecieron de nuevo en la laguna. Y así debería haber seguido, alternando entre un estado de llena y vacía con solo la incertidumbre climática (que no es poco) por delante. Hasta que un nuevo elemento entró en su dinámica: nosotros, los humanos. Cuando comenzamos a usar los suelos que eran drenados por las lagunas, cantidades cada vez más grandes de distintos nutrientes, sedimentos y materia orgánica fueron ingresando al agua. En una primera instancia la laguna se mostró colmada de vida con niveles de producción que no había ni siquiera soñado. Pero luego de un tiempo (y toneladas de nutrientes y materia orgánica) las condiciones se volvieron algo incómodas para ser sostenidas. A pesar de sus esfuerzos por liberarse de algunos nutrientes hacia la atmósfera y la eventual ayuda de algunos de sus amigos de toda la vida (carpinchos, gallaretas, coipos, biguás, entre otros) la laguna saturada de vida comenzó a perecer. En una primera etapa, los detritos orgánicos fueron reciclados para volver como nutrientes al agua, pero luego las condiciones se volvieron adversas y la materia orgánica dejó ser metabolizada. Su acúmulo en el fondo produjo una colmatación que llevó a la laguna a su mínima expresión. Los

sedimentos acarreados por la escorrentía agravaron el cuadro y las plantas del litoral fueron colonizando lentamente todo el espejo de agua. Olores fuertes emergían de sus entrañas y pequeños ojos de agua de color oscuro se observaron durante algún tiempo en lo que en otrora fuera una enorme superficie de agua colmada de vida. A la espera de una remodelación de su cubeta, temporada de lluvias y un prudente uso del suelo por el hombre, yace aquí una laguna pampeana.



FIGURA 10. LAGUNA BLANCA CHICA. FOTOGRAFÍA PABLO SANZANO