

Antecedentes y contexto
para el análisis del riesgo en la seguridad
hídrica de la cuenca de Laguna del Sauce
asociada a factores climáticos
y no climáticos



Documento completo

PROYECTO

Bridging the Water Adaptation Gap: A Comparative Inter- and Transdisciplinary Perspective of Regional Risks and Vulnerabilities in Drylands in Canada and Latin America

Cerrando la brecha de adaptación del agua: una perspectiva comparativa inter y transdisciplinaria de los riesgos y vulnerabilidades regionales en Canadá y América Latina.

OBJETIVO 2

Identification of the main hazards, exposure, and vulnerabilities regarding the water security of the Laguna del Sauce basin

Identificación de las principales amenazas, exposición y vulnerabilidades a la seguridad hídrica en la cuenca de Laguna del Sauce.

Report, 31th August 2023

Documento, 31 de agosto de 2023

Contenidos

1. Introducción	6
2. Cuenca de Laguna del Sauce y territorios hidrosociales	11
3. Factores climáticos y ecosistémicos que condicionan la producción de bienes y servicios de la cuenca hidrográfica	31
4. Infraestructura	62
5. Gobernanza	66
6. Interacciones y respuestas	77
7. Referencias	90

ISBN: 978-9915-42-339-5

Antecedentes y contexto para el análisis del riesgo en la seguridad hídrica de la cuenca de Laguna del Sauce asociada a factores climáticos y no climáticos by Saras Institute is marked with **CCO 1.0**. To view a copy of this license, visit <http://creativecommons.org/publicdomain/zero/1.0>

Compiladores: Cristina Zurbriggen y Néstor Mazzeo

Autores por orden alfabético: María José Alonsopérez, Florencia Balay, María Alejandra Bentancur, Maite Burwood, Miguel Carriquiry, Carolina Crisci, Claudia Fosalba, Isabel Gadino, Lucía González-Madina, Paula Levrini, Néstor Mazzeo, Daniel Pérez, José Sciandro, Rafael Terra, Cristina Zurbriggen.

Diseño gráfico: Isabel Cabezudo

Revisión editorial: Manfred Steffen y Alejandro Coto

Financiamiento: Social Sciences and Humanities Research Council of Canada

1. Introducción

El presente documento es un aporte para el análisis de las principales amenazas, exposición y vulnerabilidades asociadas a la seguridad hídrica de la cuenca de Laguna del Sauce (Maldonado-Uruguay), condicionada por factores climáticos y no climáticos. En este sentido, el presente reporte constituye una primera etapa de la evaluación del riesgo. Además, identifica desafíos en el corto, mediano y largo plazo organizados por los siguientes componentes: ecosistemas, usuarios y modos de vida, economía primaria, infraestructura y gobernanza. La delimitación del sistema, sus principales subsistemas y atributos claves, así como las principales interacciones, se basan en la propuesta de Ostrom (2009): un marco común de análisis de la sostenibilidad de sistemas socioecológicos (figura 1).

La estrategia de investigación ha considerado tres aproximaciones: revisión de antecedentes (artículos científicos, libros, reportes técnicos), entrevistas semiestructuradas a actores claves, grupos de discusión con integrantes de la Comisión de Cuenca de Laguna del Sauce y actores claves de la institucionalidad pública, academia y organizaciones de la sociedad civil. Los grupos de discusión fueron cuatro: economía, modos de vida, infraestructura y ecosistemas. El Anexo 1 indica las preguntas y aspectos centrales considerados como disparadores de los grupos de discusión.

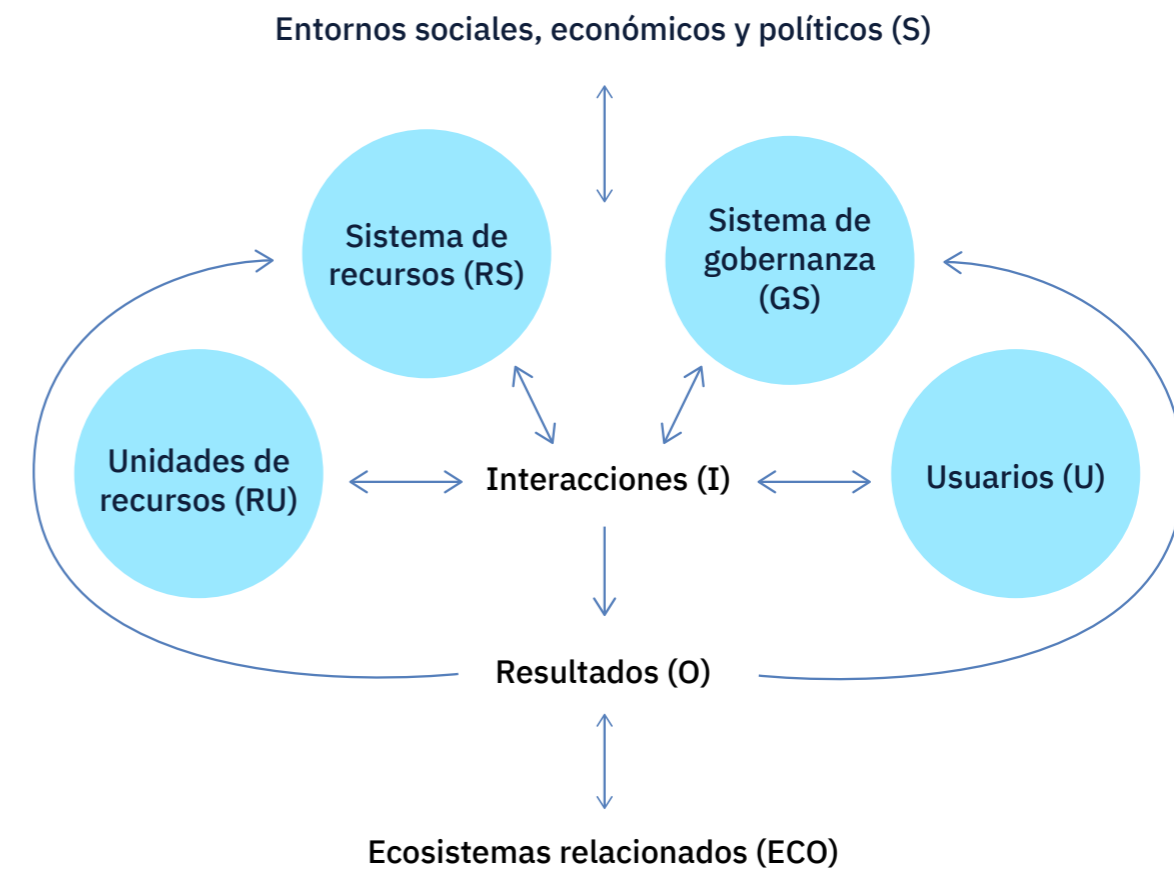


Figura 1. Subsistemas e interacciones consideradas en el análisis de la sostenibilidad de sistemas socioecológicos. Fuente: Ostrom (2009).

Se entiende por riesgo la probabilidad de consecuencias adversas (impactos) sobre un sistema. El riesgo es producto de la interacción de los peligros (o amenazas), la exposición y la vulnerabilidad. La amenaza puede comprender un único factor o una combinación. En el presente documento se consideran factores climáticos (p. ej.: variabilidad del régimen de precipitación) y no climáticos (p. ej.: cambios en los usos del suelo), así como sus interacciones. La exposición refiere a componentes del sistema que pueden ser afectados por la amenaza, es decir, economía, modos de vida, infraestructura, ecosistemas. Finalmente, la vulnerabilidad comprende el análisis de la sensibilidad del sistema, que depende de la capacidad de anticipación y adaptación que se construye sobre un conjunto de pilares y capitales (GIZ-EURAC, 2014, figura 2).

La seguridad hídrica implica la provisión de agua, cuantitativa y cualitativamente aceptable para la salud, la producción de bienes y servicios y los medios de subsistencia y los medios de subsistencia con un nivel de riesgo establecido (Grey y Sadoff 2010).

Finalmente, la delimitación espacial del área de estudio presenta importantes desafíos. La cuenca hidrográfica provee bienes y servicios claves que son utilizados por territorios conectados (localizados fuera de la cuenca hidrográfica), asegurando el desarrollo socioeconómico. A modo de ejemplo, Laguna del Sauce es el segundo reservorio de agua dulce del país en términos de personas abastecidas, localizadas en su gran mayoría fuera de la cuenca hidrográfica. El concepto de territorio hidrosocial (Boelens et al., 2017) o agua-territorio (Panez, 2019) busca dar cuenta de la inseparabilidad de los espacios físicos y sociales.

Los territorios hidrosociales son la materialización imaginaria y socioambiental limitada espacialmente en los que las personas, los flujos de agua y servicios ecosistémicos, las relaciones ecológicas, la infraestructura, la economía, los acuerdos (o no) jurídicos, las instituciones y prácticas culturales se definen y movilizan. En dichos territorios se generan procesos de inclusión y exclusión, de desarrollo y marginalización, y una desigual distribución de beneficios y daños, que afectan a las personas de diferentes maneras. Un territorio hidrosocial podrá coincidir, o no, con una cuenca hidrográfica, por lo que puede existir más de uno dentro de una misma superficie, por narrativas yuxtapuestas de las y los actores sociales

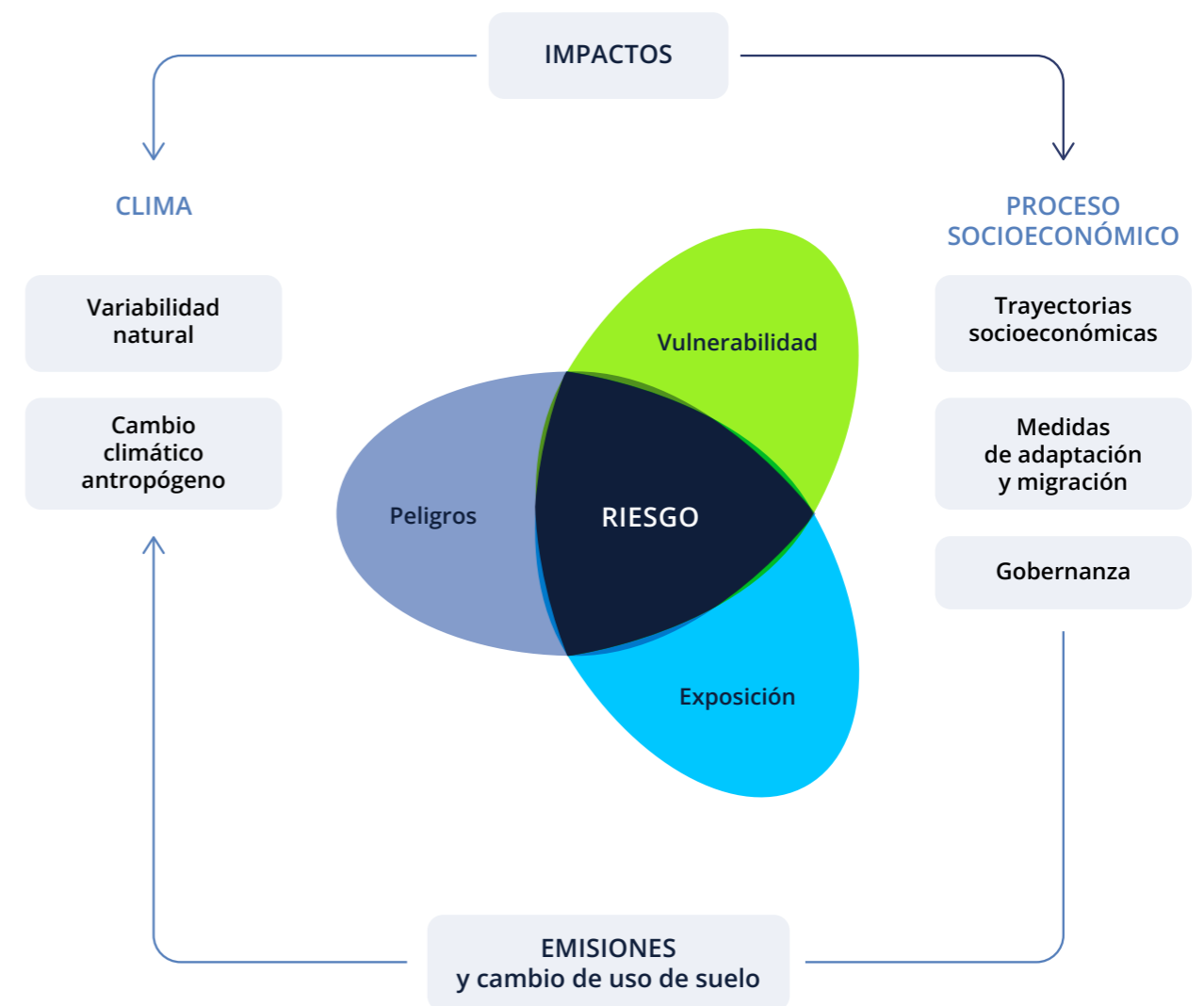


Figura 2. Esquema de los conceptos básicos del Grupo de Trabajo II del 5.º Informe de Evaluación del IPCC (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático). Fuente: IPCC (2014, p. 1046).

(Boelens et al., 2017). En este contexto, aparece el concepto de ciclo hidrosocial como superación al de ciclo hidrológico, que permite abordar la problemática del acceso al agua de manera multifactorial (p. ej.: marco legal, instituciones, prácticas culturales) (Larsimont, 2014). Los ciclos hidrosociales son los procesos socio-naturales mediante los que el agua y la sociedad se construyen y reconstruyen de forma recíproca a través del espacio y del tiempo (Budds y Linton, 2018).

2. Cuenca de Laguna del Sauce y territorios hidrosociales

2.1. ASPECTOS GENERALES DEL DEPARTAMENTO DE MALDONADO

La totalidad de la cuenca de Laguna del Sauce se encuentra en el departamento de Maldonado, Uruguay (figura 3). La capital departamental Maldonado y las ciudades Punta del Este y San Carlos forman el segundo conurbano más poblado del país. En el año 2018 la población del departamento comprendía 163.518 habitantes, distribuidos en 59.775 hogares. La población rural representaba el 2,8% (4.630 habitantes) y se distribuía en 1.823 hogares. Maldonado, con 4.793 km², es el tercer departamento con menor superficie territorial del Uruguay, por encima de Canelones y Montevideo. Ocupa el tercer puesto detrás de Montevideo y Canelones en cuanto a su población y densidad poblacional (34,3 hab/km²).

Maldonado presenta un crecimiento poblacional superior al resto del país, con un importante componente de migración nacional interna por razones económicas vinculadas a la demanda de trabajo generada por las actividades de turismo y construcción asociadas. Este crecimiento demográfico explica gran parte de la densificación de la trama urbana existente y la expansión de esta por la incorporación de suelos anteriormente rurales.

Especial relevancia presentan los núcleos poblados con un notorio aumento de población, como La Capuera y El Pejerrey, aledaños al sistema Laguna del Sauce. La combinación del desarrollo turístico, sus nuevas modalidades neoesclusivas —tanto en regiones costeras como suburbanas y rurales (Gadino et al., 2018)— y la migración interna han condicionado una acelerada segmentación territorial (Lafourcade, 2019). La migración muestra una marcada polarización entre las áreas geográficas de Punta del Este y La Capuera, Sauce de Portezuelo y Ocean Park, lo que es expresión de una acelerada segmentación territorial que agrupa

individuos migrantes con características propias al interior de su grupo y, al mismo tiempo, bien diferenciadas entre grupos (Lafourcade, 2019).

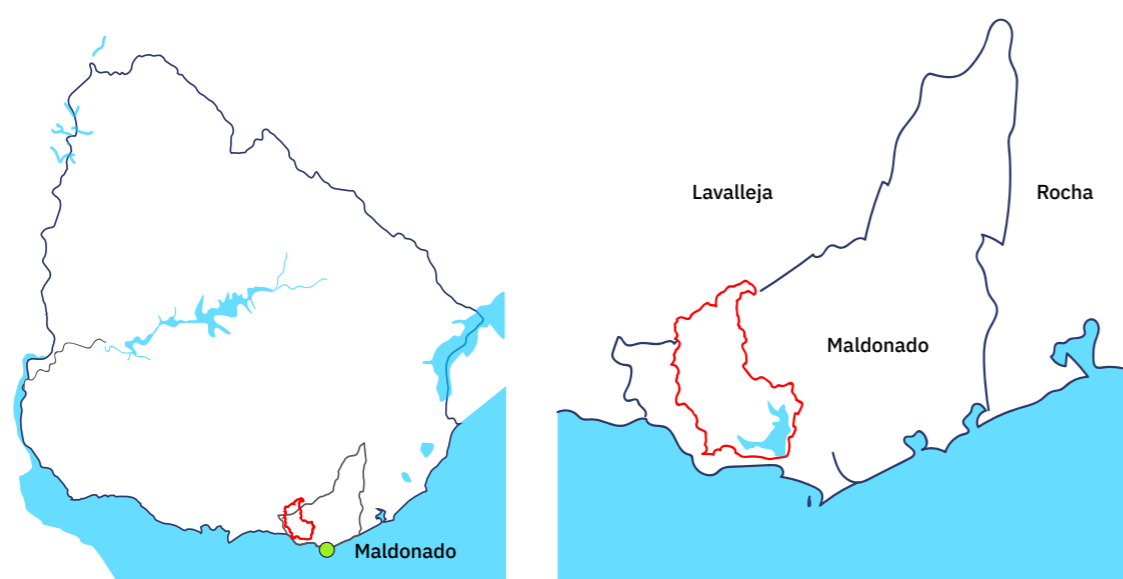


Figura 3. Localización geográfica de la cuenca de Laguna del Sauce

El PIB departamental representa aproximadamente un 5,5% del PIB nacional y el PIB del sector primario departamental alcanza un 1,3% del nacional. El turismo es una actividad económica relevante en el Uruguay por su aporte a la balanza de pagos y a la generación de empleo. Durante 2018, el turismo representó un 8% del PIB (Altmark y Larruina, 2021). El departamento de Maldonado constituye uno de los territorios claves de este sector económico. De acuerdo con el último dato disponible, el turismo genera más del 40% del PIB departamental (Alonsopérez, 2009).

Durante el verano de 2022 Uruguay recibió un total de 400.000 turistas y un 40% de ellos visitaron Maldonado. Esto implica que la población de Maldonado, aproximadamente 164.300 habitantes (INE, 2011), fue visitada por 160.000 turistas, esto es, prácticamente un turista por residente. Se estima que el departamento cuenta con 22.000 plazas hoteleras, lo que muestra la relevancia de las segundas residencias en el destino. En 2011, según datos del Censo Nacional, existían 41.815 viviendas de uso temporario en Maldonado (INE, 2011). Por otro lado, según datos recabados por el gobierno departamental, durante el período 2012-2020 se construyeron 2.731.436 m² en Maldonado.

2.2. POBLACIÓN Y CENTROS URBANOS DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA DE LAGUNA DEL SAUCE

La cuenca de Laguna del Sauce representa el 15% de la superficie del departamento de Maldonado. Las áreas urbanas en la cuenca representan el 4,4% del territorio (3.090 ha). Se compone de seis localidades (Nueva Carrara, Gerona, Pan de Azúcar, Ruta 37 y 9, La Capuera y Las Cumbres), comprendidas en cuatro municipios (Maldonado, Pan de Azúcar, Piriápolis y San Carlos), con un total de 10.346 habitantes (INE, 2011). Los centros poblados se ubican en su mayoría al sur de la cuenca (figura 4).

La localidad más poblada es Pan de Azúcar con 6.597 habitantes, seguida por La Capuera con 2.838 habitantes. Esta última registró el mayor crecimiento del país (474%) en el período 2004-2011 (tabla 1). El resto de las localidades registró un incremento poblacional de 29,5% entre los censos de 2004 y 2011. Esta evolución se enmarca en la tendencia de crecimiento sostenido de la población del departamento de Maldonado desde la década de 1950. Es importante destacar que en breve se conocerán los datos de un nuevo censo nacional realizado en 2023.

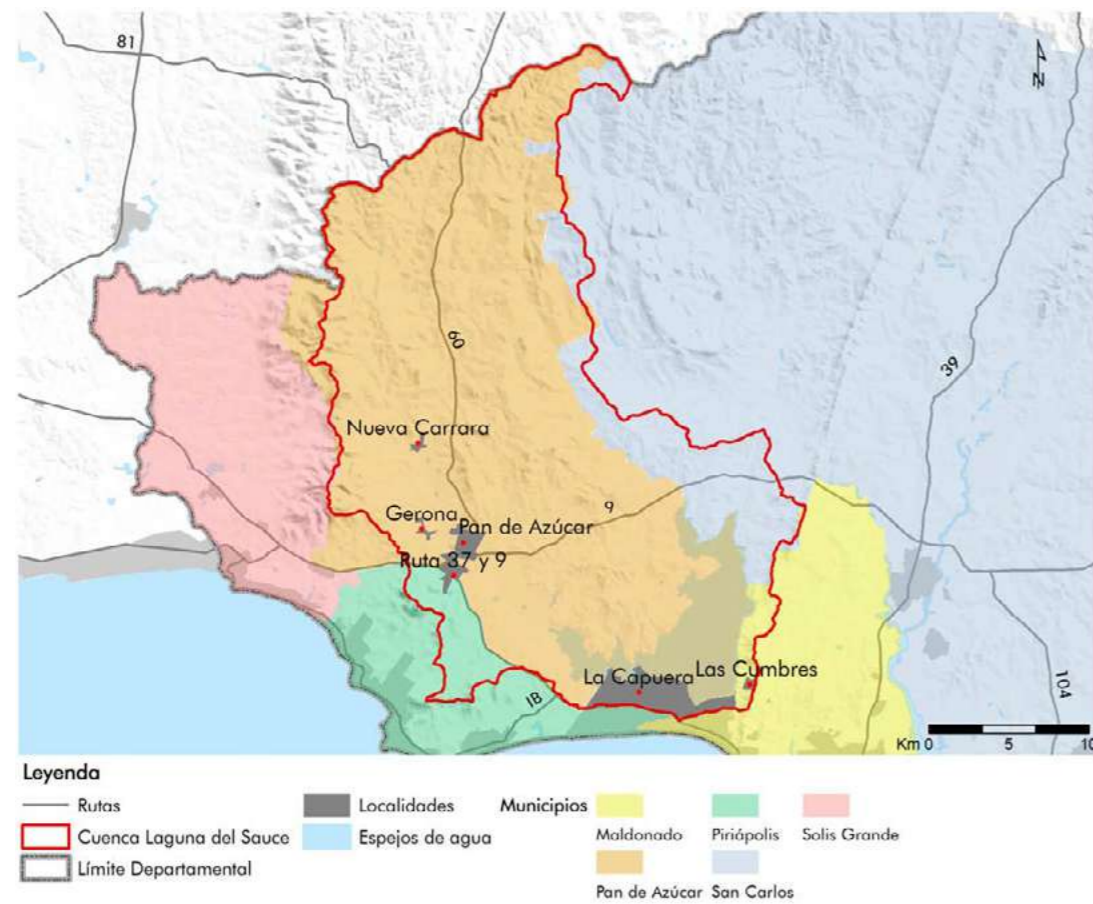


Figura 4. Localidades de la cuenca de la Laguna del Sauce y municipios con territorio dentro de la cuenca. Fuente: Taveira et al., 2018.

Tabla 1. Población y tasa de crecimiento en las localidades de la cuenca, Censos 2004 y 2011.

Localidad	Población 2004	Población 2011	Tasa de crecimiento
Pan de Azúcar	7.098	6597	-7,06
La Capuera	494	2838	474,5
Gerona	506	670	34,2
Nueva Carrara	118	156	32,2
Ruta 37 y 9	140	62	-55,7
Las Cumbres	6	14	133,3
Total	8.362	10.346	23,7

Fuente: Instituto Nacional de Estadística (INE).



Diversidad de actividades productivas en la margen W de Laguna del Sauce.

2.3. USO DEL SUELO, COBERTURA Y ACTIVIDADES PRODUCTIVAS

Los usos de suelo productivos de la cuenca, según declaraciones juradas del año 2018 registradas por el Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca (MGAP), comprenden las siguientes categorías y superficies asociadas (tabla 2).

Tabla 2. Información del régimen de tenencia de tierra y principales usos declarados en el MGAP.

	Cuenca (ha)	Porcentaje
Tenedores con campo	281	
Campo natural	32.659	
Monte artificial	5.042	
Campo mejorado	2.458	13,5
Praderas artificiales	2.608	
Cultivos forrajeros	841	
Campo fertilizado	98	
Tierras laboreadas	421	
Huertas y frutales	95	
Total	44.503	

El análisis de imágenes satelitales del período 2020-2021 muestra que la mayor parte de la superficie de la cuenca de Laguna del Sauce corresponde a campo natural, campo natural regenerado o una combinación de campo natural, pasturas y rastrojos (62,8%), principal recurso del sector ganadero. En términos de superficie ocupada, les siguen el monte nativo (bosque serrano y bosque fluvial, 11,2%) y la forestación (10,6%) (figura 5, tabla 3).

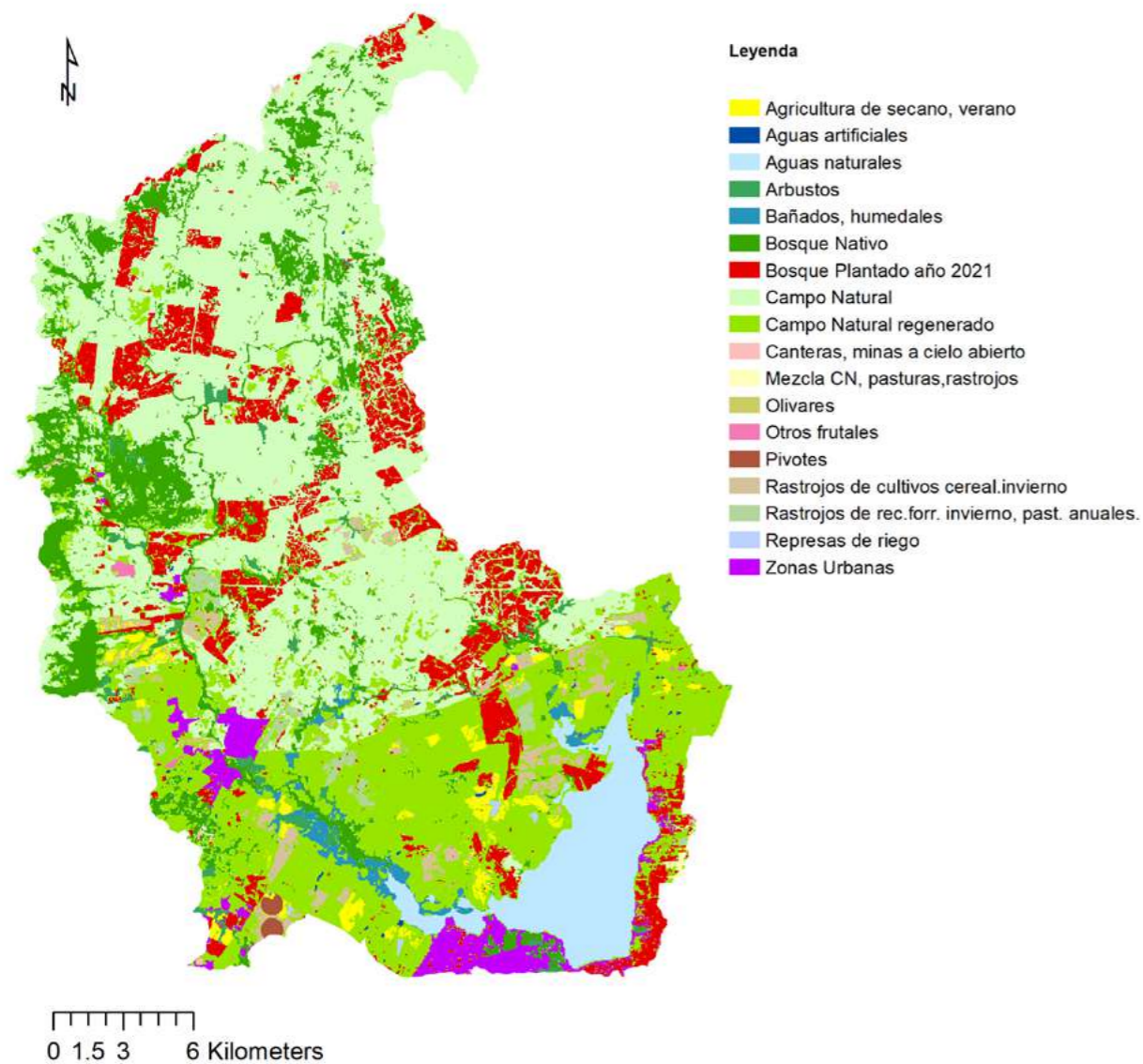


Figura 5. Principales usos de suelo relevados mediante imágenes satelitales durante el período 2020-2021. Fuente: Cobertura y usos del suelo 2020-2021 MGAP.

Tabla 3. Áreas de los principales usos productivos indicados en la figura 3: cobertura y usos de suelo 2020-2021

Cobertura y uso del suelo 2020-2021	Área (ha)	Área (%)
Agricultura de secano, verano	1.069,4	1,52
Aguas artificiales	45,9	0,07
Aguas naturales	4.144,0	5,90
Arbustos	761,5	1,08
Bañados, humedales	728,5	1,04
Bosque nativo	7.867,7	11,20
Bosque plantado en 2021	7.460,9	10,62
Campo natural	26.756,2	38,09
Campo natural regenerado	17.261,6	24,58
Canteras, minas a cielo abierto	68,3	0,10
Mezcla campo natural, pasturas, rastrojos	64,5	0,09
Olivares	95,1	0,14
Otros frutales	81,2	0,12
Pivotes	127,2	0,18
Rastrojos de cultivos cerealeros invierno	1.284,4	1,83
Rastrojos de recursos forrajeros invierno, pasturas anuales	602,5	0,86
Represas de riego	53,7	0,08
Zonas urbanas	1.764,0	2,51

2.3.1. GANADERÍA

La ganadería de carne es la principal actividad productiva dentro de la cuenca. Es una zona netamente criadora (por encima del 40% de vacas cría/stock), y cuenta con una dotación promedio de 0,72 unidades ganaderas por hectárea. El territorio presenta una baja proporción de ovinos, 0,7 de relación lanar/vacuno. Esta actividad se realiza, en la mayoría de los casos, en predios menores a 50 ha bajo la modalidad de producción extensiva (MGAP-SNIG, 2016). Sin embargo, se registran dentro de la zona algunos casos de producción intensiva (MGAP-SNIG, 2022), por ejemplo, en la desembocadura del arroyo Sauce. De acuerdo con la información relevada en la 34.ª Jornada de Información Económica de FUCREA, el ingreso de capital en el rubro ganadero asciende a 86 U\$S/ha promedio (25-166 U\$S) por año y la renta en el mismo período se ubica en 65 U\$S/ha (<http://fucrea.org/institucional/actividades-crea/34>).

Es de destacar que la producción ganadera se desarrolla, en su gran mayoría, sobre campo natural y pasturas regeneradas. La superficie de esta cobertura de suelo no ha tenido variaciones importantes en los últimos 15 años. La superficie de pasturas mejoradas, incluidas praderas artificiales, campos fertilizados, mejorados y cultivos forrajeros para ganadería, se incrementó en 8% entre los periodos 2003-04 y 2013-14. Para el departamento de Maldonado (utilizado como aproximación por no disponer de información más reciente de este indicador para el área específica de la cuenca), la superficie de pasturas mejoradas se incrementó en un 10% adicional entre 2013-14 y 2019-20.

Dentro de la actividad ganadera es una práctica común la construcción de pequeñas represas y tajamares para asegurar el suministro de agua durante el verano o en períodos secos. El aporte de forraje de forma complementaria a la producción primaria del campo natural puede provenir de praderas mejoradas o artificiales dentro del predio o de producciones de vecinos u otras regiones del país.

2.3.2. FORESTACIÓN

La actividad forestal en la cuenca se compone principalmente de plantaciones de *Eucalyptus* spp destinado a la industria del papel o como fuente de energía. Además, existen plantaciones de *Pinus* (un área muy pequeña) y bosques de menor escala relacionados con la urbanización. A partir de datos obtenidos de análisis de imágenes satelitales en el período 1984-2015, se observa que la superficie forestada ha experimentado un crecimiento sostenido durante los últimos 15 años (Taveira et al., 2018). Dentro de la cuenca, el área de suelo categorizada como de prioridad forestal ocupa un 48,4%. En cuanto a subcuencas, la del arroyo Pan de Azúcar actualmente presenta un área destinada al rubro de 10.0% y la del arroyo Sauce un 21.96% (datos no publicados, tesis de postgrado de Paula Levini). La tabla 4 brinda información detallada de la actividad del sector forestal registrada por el MGAP para el 2018.

Tabla 4. Información de los diferentes componentes del sector forestal asociado a los registros del MGAP para el año 2018 para la cuenca de Laguna del Sauce. Datos proporcionados por la Oficina Regional de San Carlos.

Cobertura y uso del suelo 2020-2021	Área (ha)	Área (%)
Abrigos y cortinas	79	0
Bosque natural	6.755	9
Eucalyptus globulus	4.706	7
Eucalyptus grandis, dunii y saligna	340	0
Mezcla	1.307	2
Otros eucaliptos	171	0
Pinus ellioti y taeda	13	0
Pinus pinaster	8	0
Total de bosque	14.719	20

2.3.3. AGRICULTURA

La actividad agrícola ha mostrado un proceso de expansión sostenido en el tiempo, que pasó de ocupar 1.171 ha en 2008 a 4.302 ha en 2015, lo que representa un 6,1% del área total de la cuenca. Las principales plantaciones corresponden a cultivos de secano, fundamentalmente, soja, sorgo, colza y trigo. El crecimiento indicado se observa en el sector sur de la cuenca, muy próximo al cuerpo de agua y sobre suelos con riesgo de erosión (figura 5, tabla 3).

En este sector se ha identificado un número muy pequeño de productores (alrededor de cinco) que utilizan sistemas de riego en su producción.

2.3.4. VID Y OLIVOS

En las últimas dos décadas se han establecido emprendimientos vinculados a la producción de aceite de oliva y vid que ocupan un área muy pequeña de la cuenca (figura 5, tabla 3) (DIEA, 2020). En las plantaciones de olivos se observan modalidades con y sin riego. La distribución espacial de la producción comprende fundamentalmente la cuenca media y alta. El arreglo espacial está fuertemente condicionado por las cercanías a las almazaras, dado que el tiempo entre la cosecha y la producción de aceite no puede superar las 24 horas.

En el caso de la vid se constata un desplazamiento de cultivos desde la zona metropolitana de Montevideo, Canelones y San José hacia sectores serranos. Este fenómeno está impulsado por varios factores, uno de los cuales involucra cambios en el régimen de precipitaciones y temperaturas mínimas durante el invierno. Las sierras y lomas permiten manejar mejor el exceso de precipitaciones en veranos lluviosos, al tiempo que alcanzan las temperaturas requeridas durante los meses de invierno.

2.3.5. PRODUCCIÓN FAMILIAR

En 2018 se contaba con 92 unidades productivas familiares registradas en 192 padrones de la cuenca. Estas unidades involucran unas 225 personas y explotan 4.583 ha (50 ha en promedio). Las principales actividades productivas asociadas a la producción familiar se indican en la tabla 5.

Tabla 5. Principales rubros asociados a la producción familiar registrados por el MGAP. Datos proporcionado por la Oficina Regional de San Carlos.

Cobertura y uso del suelo 2020-2021	Área (ha)
Ganadería de leche	656
Horticultura	60
Apicultura	34
Ganadería de lana	20
Lechería	20
Agricultura	5
Aves	4
Quesería	4
Cerdos	3
Forraje	2
Fruticultura	2
Cría de caballos	1
TOTAL	111

Las condiciones que definen a un productor familiar son las siguientes:

- Realizar la actividad productiva con la contratación de mano de obra asalariada de hasta dos asalariados permanentes no familiares o su equivalente en jornales zafrales (250/año/trabajador).
- Realizar la actividad en una superficie de hasta 500 ha, índice CONEAT 100, bajo cualquier forma de tenencia.
- Residir en la explotación o a menos de 50 km de distancia.
- Los ingresos nominales de la familia generados fuera de la explotación deben ser inferiores a 14 bases de prestaciones y contribuciones (BPC) en promedio mensual.

Por el momento, no existen producciones con denominaciones de origen específicas de la cuenca, sino aquellas vinculadas a producción orgánica, agroecología, Alianza del Pastizal.

2.3.6. TURISMO

Para analizar el impacto económico del turismo en Maldonado es necesario considerar la demanda turística, la oferta, el empleo y la inversión turística en el departamento. La demanda turística del departamento está conformada por tres tipos de turismo: receptivo (residentes en el exterior), interno (residentes en Uruguay) y de cruceros.

Tabla 6. Información de los visitantes ingresados a Uruguay, por zona de destino, estadía y gasto relevada por el Ministerio de Turismo, primer trimestre 2023

Zona de destino	Total visitantes	Días de estadía	Gasto en USD corrientes		
			Total USD	P/persona	P/p/día
Punta del Este	343.870	10,1	393.989.762	1145,8	113,8
Colonia	101.177	2,8	21.573.551	213,2	76,2
Montevideo	188.802	6,5	101.130.770	535,6	82,2
Costa de Oro	60.871	10,6	31.044.791	510,0	48,3
Piriápolis	94.294	10,6	76.789.388	814,4	76,8
Costa de Rocha	83.767	10,7	53.909.017	643,6	59,9
Litoral termal	151.979	4,4	24.343.160	160,2	36,7
Tránsito	92.749	0,9	4.712.800	50,8	54,4
Otros - sin dato	101.689	6,9	33.146.152	326,0	47,5
Total/Media	1.219.198	7,4	740.639.391	607,5	82,6

Con respecto al turismo receptivo, durante el primer trimestre de 2023 llegaron a Punta del Este 343.870 visitantes no residentes, que gastaron casi 400 millones de dólares en una estadía promedio de 10 días. A Piriápolis, durante el mismo período, arribaron 94.294 visitantes no residentes, que generaron un gasto de casi 77 millones de dólares en una estadía de 10,6 días (Ministerio de Turismo, 2023).

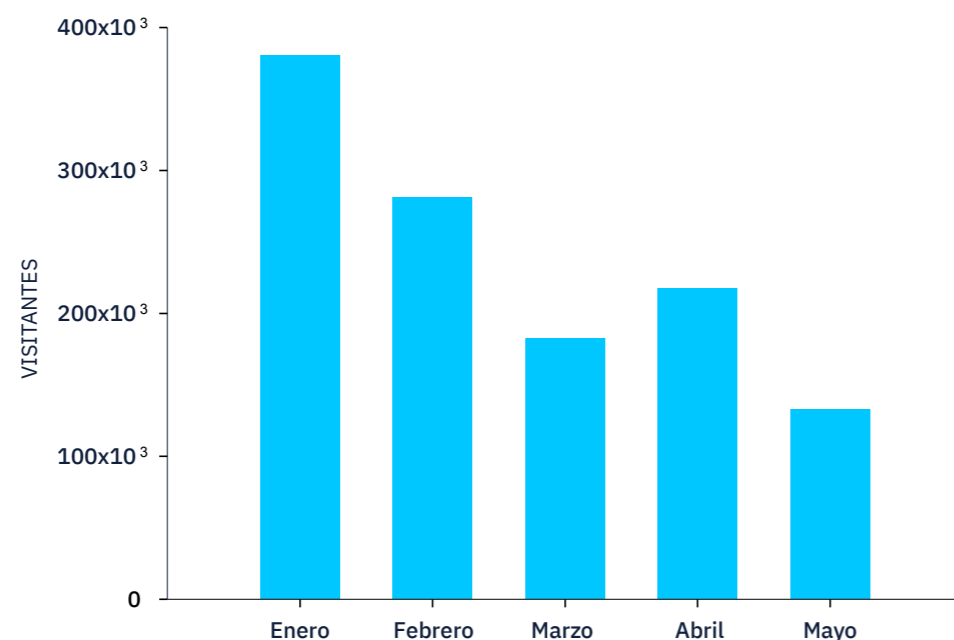


Figura 6. Información del movimiento de celulares de visitantes residentes en Maldonado relevado por el Ministerio de Turismo y ANTEL, primer trimestre 2023.

En lo que respecta al turismo interno, durante el primer trimestre de 2023, de acuerdo con información relevada del movimiento de teléfonos celulares de residentes, el departamento de Maldonado recibió 845.370 visitantes (figura 6). Durante el mes de enero ingresaron 380.951 visitantes residentes con una estadía promedio de cinco días (Ministerio de Turismo 2023, en convenio con Antel).

Entretanto, durante la temporada 2019-2020 (último dato disponible), arribaron 47 cruceros al puerto de Punta del Este, con 73.628 personas descendidas y un gasto de 2.074.161 dólares (Ministerio de Turismo, 2020).

La oferta turística del departamento, de acuerdo con el Registro de Operadores Turísticos del Ministerio de Turismo a julio de 2023, está conformada por 92 agencias de viaje, 141 establecimientos de alojamiento turístico, 24 establecimientos rurales, 10 guías turísticas, 447 inmobiliarias, siete rentadoras de autos, 18 salas de convenciones y dos operadores de turismo aventura. Asimismo, es muy relevante en el destino el papel de las segundas residencias como forma de alojamiento. Según el Censo 2011, en Maldonado existían en ese momento 41.815

viviendas de uso temporal, lo que representa casi el 40% de las viviendas de categoría individual del departamento. El índice de concentración de viviendas de uso temporal en Maldonado muestra que las localidades con mayor peso relativo de las segundas residencias son: Laguna Blanca (95), San Vicente (92), Bella Vista (83) y Las Flores (81) (Alonsopérez, 2015).

Tabla 6. Información de la condición de ocupación de las viviendas individuales en Maldonado, según Censo 2011.

CONDICIÓN DE OCUPACIÓN - INDIVIDUAL		
	Cantidad	Porcentaje
Ocupada con residentes presentes	57.167	51,7
Ocupada con residentes ausentes	1.448	1,3
Desocupada de uso temporal	41.815	37,8
Para alquilar o vender	4.782	4,3
En construcción o reparación	2.262	2,0
Ruinosa, destruída o inhabitable	692	,6
Desocupada vacante	2.016	1,8
Sin dato	408	,4
Total	110.590	100,0

De acuerdo con datos relevados en la Encuesta Continua de Hogares de 2014 (último dato disponible), el empleo turístico, considerando el empleo principal y el secundario, y tomando en cuenta las actividades características del turismo definidas a nivel nacional, asciende a 10.464 puestos de trabajo en Maldonado. Si se agregan actividades turísticas específicas del departamento, como la construcción y actividades asociadas, y la organización de convenciones y eventos comerciales, el número de puestos de trabajo se incrementa en 14.077. Por lo tanto, siguiendo esta línea de análisis, el número de puestos de trabajo turísticos

en Maldonado era de 24.541. El total de personas en edad de trabajar (mayores de 14 años) en Maldonado, en ese mismo período, era de 84.702 y el total de puestos de trabajo ascendía a 93.092. En consecuencia, el turismo representaba el 26,36% de los puestos de trabajo.

No se cuenta con información detallada que permita cuantificar la inversión turística en Maldonado. Según datos recabados por el gobierno departamental, entre 2012 y 2020 se construyeron 2.731.436 m² en Maldonado.

2.3.7. NUEVA RURALIDAD

A partir de fines de los años 1990 tiene lugar una transformación del uso rural en el departamento de Maldonado, incluyéndola cuenca de Laguna del Sauce, que se asocia a nuevos usos residenciales, permanentes o semipermanentes, de población proveniente de ámbitos urbanos. Este proceso puede incluir el cambio de categoría de suelo rural a suelo suburbano (con todos los cambios que ello implica), o simplemente un refraccionamiento del padrón rural en unidades que no pueden resultar inferiores a 5 ha, según la normativa vigente (Acuña et al., 2012).

Parte importante de la oferta es a través de modalidades de barrios privados, muy requeridos por sectores de la población que anhelan y pagan por seguridad perimetral, prestigio y vínculo exclusivo con la naturaleza, aunque ésta termina siendo muy transformada en la propia búsqueda del paisaje natural deseado (Gadino et al, 2022). Dependiendo de la categoría final del suelo, del área de los nuevos padrones resultantes y de la estrategia de venta, la nominación puede variar entre chacras marítimas, clubes de chacras, clubes de campo, entre otras. Además de los lotes, los conjuntos ofrecen a sus propietarios servicios e infraestructuras comunes para recreación y deportes, como club social, canchas, solariums, muelles, canotajes, etc. (Varela, 2017).

Tanto en la modalidad de barrio cerrado como trama abierta, en los fraccionamientos con carácter rural se observa en varios casos la incorporación de variantes como sistemas de producción compartidos (ganado, vid y olivos), cuyos beneficios se distribuyen entre los propietarios.

Los impulsores de estas nuevas modalidades de ruralidad son múltiples. El teletrabajo y la notable infraestructura de telecomunicaciones e internet del Uruguay condicionan dicha transformación. Las motivaciones vinculadas a modos de vida más saludables y sostenibles, con o sin relación con la exclusividad, también influyen. En este contexto, la pandemia de covid-19 determinó un despegue de este proceso de cambio y provocó modificaciones en donde, de forma similar a muchos otros países en el mundo, los propietarios de segundas residencias emigraron de las ciudades a zonas de baja densidad (Zoğal et al., 2022).

Un crecimiento más acelerado de esta transformación se encuentra limitado por la infraestructura de educación en el territorio y los desplazamientos diarios requeridos en la actualidad, pero en paralelo a este último cambio demográfico se observa en la región Punta Ballena- Punta del Este - José Ignacio, la apertura -o anuncios de apertura- de centros de educación privados nacionales e internacionales en todos los niveles, incluyendo el universitario. Este tipo de avances de nuevas urbanizaciones con servicios propios, tales como los educativos, han sido ampliamente analizados en Argentina, país claramente impulsor de este tipo de dinámicas en Uruguay (Vidal Koppmann, 2014).

La información cuantitativa de este sector es muy limitada por el momento. Los datos del Censo 2023 permitirán avanzar en su estudio, cuestión de singular relevancia dada la magnitud de este impulsor de cambio.

2.3.8 TERRITORIO HIDROSOCIAL

Todas las actividades económicas de la cuenca de Laguna del Sauce y gran parte del departamento de Maldonado dependen directa o indirectamente del suministro de agua potable, bienes y servicios provistos por la cuenca hidrográfica. Es importante considerar que el suministro de agua potable del departamento de Maldonado se sustenta en diversos sistemas de aguas superficiales y subterráneas.

Los principales centros poblados del departamento de Maldonado: Piriápolis, Pan de Azúcar, San Carlos, Maldonado y Punta del Este dependen del abastecimiento de Laguna del Sauce. Por otra parte, el sistema de abastecimiento de la región

costera al este del arroyo Maldonado (zona turística en plena expansión) comprende tres lagunas: Laguna del Sauce, Laguna Blanca (Manantiales) y Laguna Escondida (José Ignacio). Los sistemas se encuentran actualmente interconectados. Las plantas de Laguna del Sauce y Laguna Blanca funcionan de forma permanente y la de Laguna Escondida lo hace durante la temporada estival. La planta de Laguna Blanca cuenta con la posibilidad de captación de agua del arroyo San Carlos en una toma localizada cerca de la ciudad del mismo nombre.

En síntesis, la mayor parte de la población que se abastece de agua potable desde Laguna del Sauce habita en territorios que no forman parte de su cuenca hidrográfica. Por lo tanto, la escala de cuenca debe ser combinada con otras escalas territoriales (hidrosociales) en el análisis de riesgo. Este aspecto adquiere singular relevancia para el sector turístico del departamento.

3. Factores climáticos y ecosistémicos que condicionan la producción de bienes y servicios de la cuenca hidrográfica

3.1. PATRONES CLIMÁTICOS Y VARIABILIDAD CLIMÁTICA

De acuerdo con la clasificación climática de Köppen, Uruguay se caracteriza por presentar un tipo de clima “Cfa” (Instituto Uruguayo de Meteorología-InUMET), también denominado húmedo subtropical. Según esta clasificación, basada en medias anuales y mensuales de temperatura y precipitación, Uruguay presenta un clima húmedo típico de latitudes medias, con veranos cálidos e inviernos suaves (el mes más frío presenta una temperatura media comprendida entre -3 y 18°C) (tipo C). A su vez, la precipitación está bien distribuida a lo largo del año, por lo que todas las estaciones son húmedas, y presenta una media anual típica entre 800 y 1650 mm (tipo f). Finalmente, los veranos suelen ser largos y calurosos (temperatura media del mes más cálido superior a 22°C) (tipo a) (Prohaska, 1976).

3.1.1. CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS GENERALES DEL PAÍS

Temperatura

Según la climatología elaborada para el período 1981-2010, Uruguay presenta una temperatura media anual de 17,5°C (InUMET). La falta de topografía significativa en el territorio genera un esquema de isotermas basado únicamente en la incidencia de la radiación solar, aproximadamente paralelas a los círculos de latitud (Barreiro et al., 2019a). Este campo general de isotermas marca una dirección decreciente de noroeste a sureste, con las isolíneas más elevadas al norte del país y las más bajas sobre la región de la costa atlántica sur/sureste. La región norte es, en promedio, aproximadamente 3°C más cálida que la región sur (InUMET). Durante las estaciones de otoño e invierno, el gradiente adquiere una dirección norte-sur, con un desplazamiento de los valores más bajos de temperatura hacia el oeste y las temperaturas más bajas ocurren en el sur del país (costa del Río de la Plata) (figura 7).

Esta variable se caracteriza por presentar una marcada variación estacional y una variabilidad interanual que es máxima durante el invierno. Los mayores valores medios (23,4°C) ocurren durante el verano (trimestre diciembre, enero y febrero) y los menores (12,3°C) durante el invierno (trimestre junio, julio y agosto). Julio es el mes más frío en promedio, en el país, y el que presenta mayor variabilidad. Durante el otoño (trimestre marzo, abril y mayo), el mes de marzo es el que presenta mayor temperatura media, con una clara disminución al adentrarse en la estación, marcando la transición entre el verano y el invierno. Finalmente, la primavera (trimestre setiembre, octubre y noviembre) presenta una gran variabilidad interanual, ya que, en promedio, aproximadamente uno de cada dos años posee registros medios por fuera de la desviación estándar (InUMET). La heterogeneidad espacial de la temperatura se observa en la figura 7. En la tabla 7 se detallan las temperaturas medias de cada una de las estaciones, y las temperaturas medias máximas y mínimas absolutas registradas en cada estación.

Tabla 7. Temperatura media anual y estacional (verano, otoño, invierno y primavera) para todo el territorio nacional, y temperatura media máxima y mínima absoluta para cada una de las escalas temporales. Fuente: <https://www.inumet.gub.uy/clima/climatologia-estacional>

	T media	T máx. media	T mín. media
Anual	17,5°C	19,0°C	16,0°C
Verano	23,4°C	29,2°C	17,6°C
Otoño	18,3°C	23,4°C	13,2°C
Invierno	12,3°C	17,1°C	7,5°C
Primavera	17,5°C	18,2°C	16,9°C

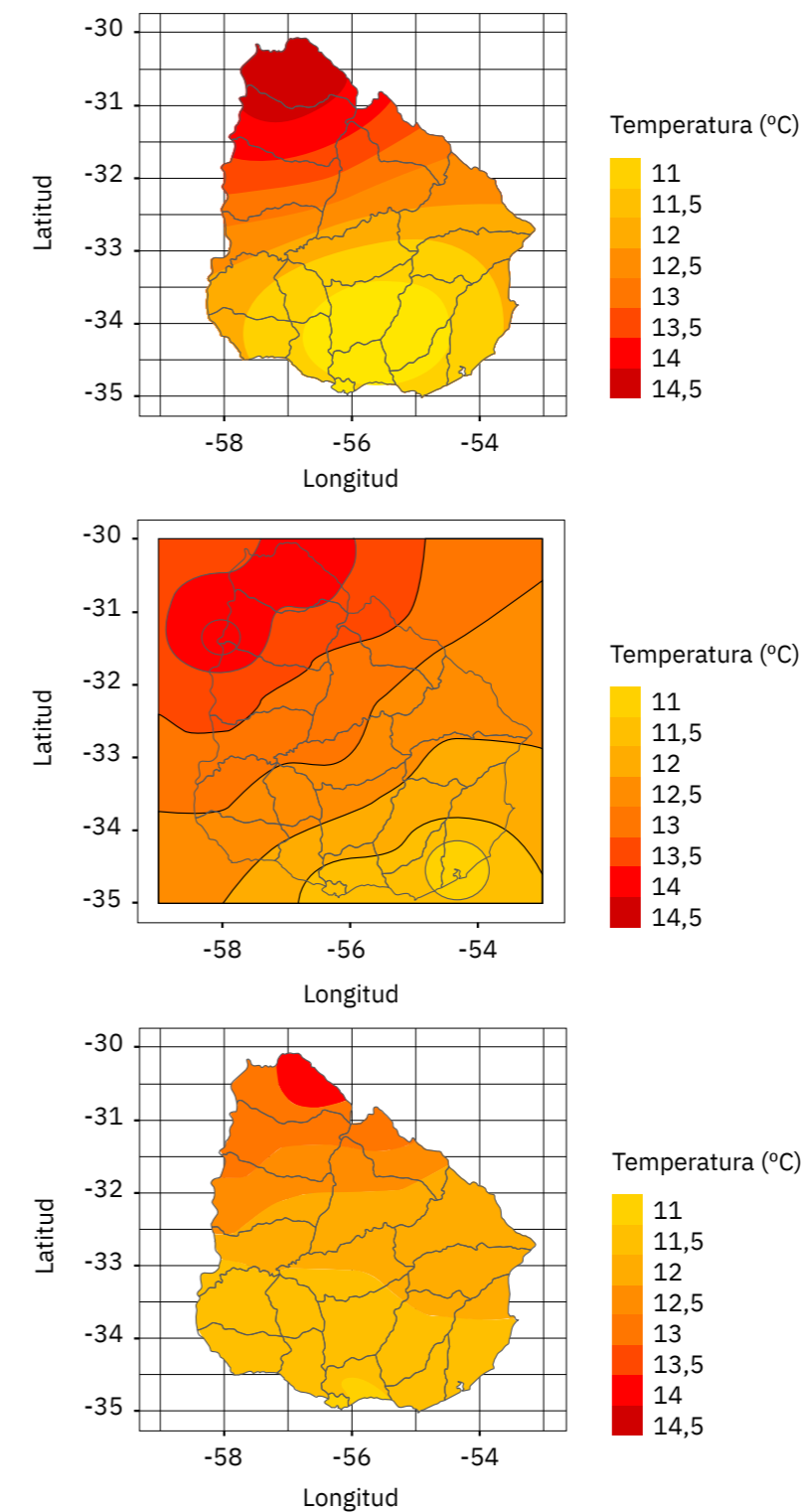


Figura 7. Temperatura media estacional [°C] para Uruguay, basado en la climatología 1981-2010. Verano (superior izquierda), otoño (superior derecha), invierno (inferior). Fuente: Imágenes generadas por el Instituto Uruguayo de Meteorología, recuperadas de: <https://www.inumet.gub.uy/clima/climatologia-estacional>.

En lo que respecta a la variabilidad interanual a nivel nacional, una de las principales fuentes es el fenómeno de El Niño-Oscilación Sur (ENOS). Si bien no se observan impactos significativos en términos generales, se ha visto que durante años de La Niña, en el verano es posible detectar temperaturas máximas mayores en todo el país, así como temperaturas máximas menores en el norte del país durante años de El Niño (Barreiro et al., 2019b).

Precipitación

La precipitación se caracteriza por ser espacialmente irregular y variable, y por ser generalmente en forma líquida, aunque excepcionalmente en forma de granizo (InUMET). En el año, el país tiene un balance positivo de precipitación-evaporación, lo que significa que llueve más de lo que se evapora, con excepción del verano, cuando ocurre lo contrario. Esto evidencia la necesidad de que exista un transporte lateral de humedad hacia el territorio uruguayo para que ocurran precipitaciones. La precipitación presenta una marcada regionalización de los valores acumulados, con una distribución de lluvias durante primavera, verano y otoño que muestra un aumento promedio desde el sur/suroeste (registros cercanos a los 300 mm) hacia el norte/noreste (con máximos de 400 mm) (figura 8). Durante el invierno, este gradiente latitudinal (sur-norte) se transforma en un gradiente longitudinal (oeste-este), con los valores más altos (y mayor variabilidad) en el litoral este, y los más bajos (y menor variabilidad) en el litoral oeste, con valores medios de 300 y 200 mm respectivamente (InUMET; Barreiro et al., 2019a).

El acumulado anual medio es de aproximadamente 1300 mm, que suelen estar igualmente distribuidos en las cuatro estaciones del año con valores cercanos a los 300-350 mm por trimestre, si bien existen diferencias significativas entre trimestres y regiones del país (Barreiro et al., 2019a). En lo que respecta a la variabilidad intraestacional, destacan los meses de febrero, abril, junio y octubre, que presentan, en promedio, mayores acumulados de precipitación a nivel nacional para las estaciones verano, otoño, invierno y primavera, respectivamente. En el caso de la primavera, el comportamiento medio es cuasiuniforme, con mínimas diferencias entre los meses que la conforman (InUMET). La tabla 8 resume la variabilidad estacional de la precipitación, detalla el valor medio estacional y su rango de variabilidad (determinado a partir de la diferencia entre el máximo y mínimo absoluto del período).

Tabla 8. Precipitación (PP) media y rango de variabilidad estacional (verano, otoño, invierno y primavera) para todo el territorio nacional. Fuente: <https://www.inumet.gub.uy/clima/climatologia-estacional>

	PP media	Rango de variabilidad
Verano	346 ± 130 mm	521,6 mm
Otoño	365 ± 134 mm	583,7 mm
Invierno	256 ± 72 mm	298,6 mm
Primavera	329 ± 108 mm	424,7 mm

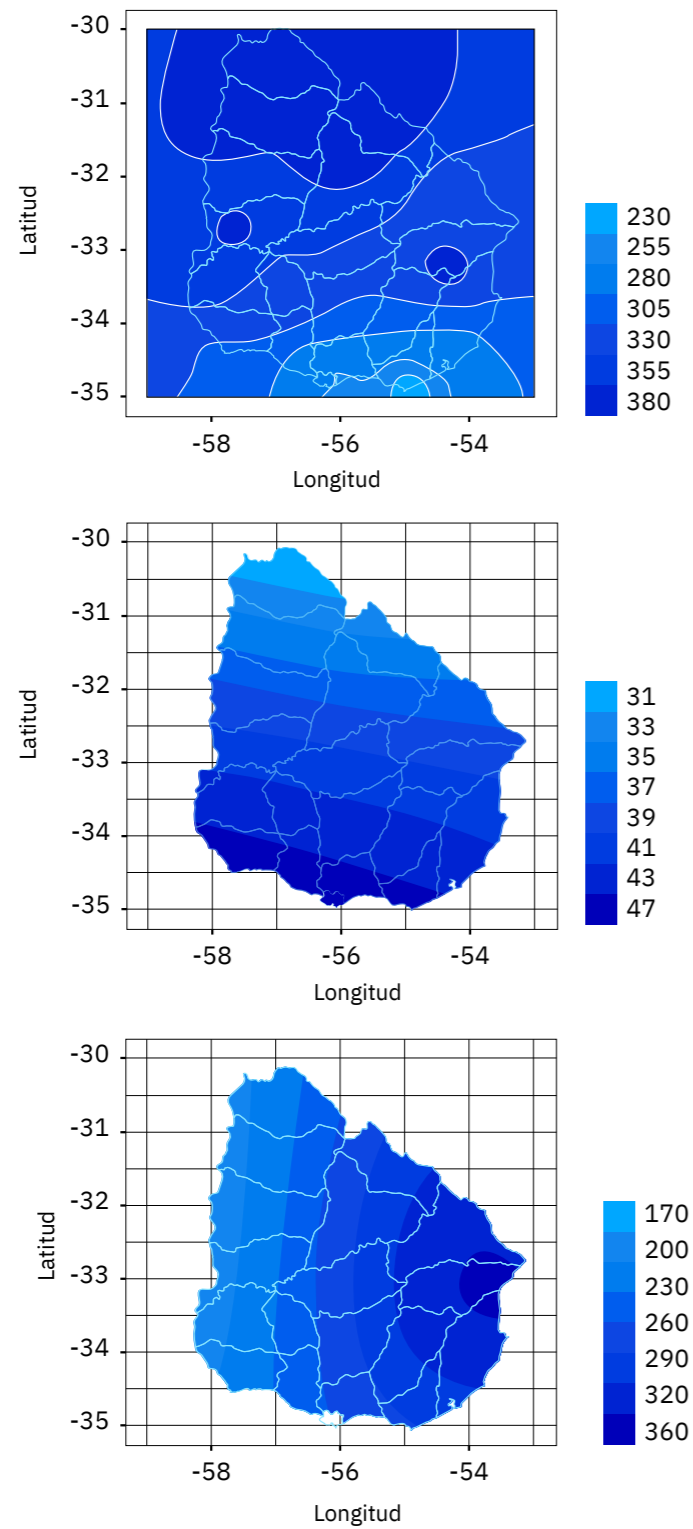


Figura 8. Precipitación acumulada media [mm] para Uruguay, basado en la climatología 1981-2010. Verano (superior izquierda), otoño (superior derecha), invierno (inferior). Fuente: Imágenes generadas por el Instituto Uruguayo de Meteorología, recuperadas de: <https://www.inumet.gub.uy/clima/climatologia-estacional>.

La precipitación presenta una significativa variabilidad interanual, mayor en el norte del país que en el sur. A su vez, la variabilidad es menor durante el invierno en todo el país y mayor durante el otoño, particularmente en la cuenca del río Uruguay (InUMET; Barreiro et al., 2019a). Gran parte de esta variabilidad interanual está relacionada con el fenómeno El Niño-Oscilación del Sur (ENOS), que impacta no solo en los acumulados mensuales y trimestrales, sino también en la frecuencia e intensidad de los eventos extremos de lluvias diarias. Durante años El Niño se registran lluvias por encima de lo normal (principalmente al norte del río Negro) durante la primavera, verano y otoño, con mayor impacto durante el verano. Esto se debe a que, durante El Niño, aumentan los vientos del norte-noreste que traen humedad al país y favorecen la precipitación (Barreiro et al., 2019b). Por el contrario, durante años La Niña, se registra un déficit de lluvias en todo el territorio durante las estaciones de primavera, verano y otoño.

Viento

El clima de vientos en Uruguay está determinado por los fenómenos meteorológicos regionales. Estos, a su vez, son los mismos que dan lugar a las condiciones medias y variaciones de la temperatura y la precipitación (Barreiro et al., 2021b). Este campo de vientos medios depende en gran medida de la posición del anticiclón semipermanente del Atlántico sur, el que presenta una variación estacional (desplazamiento hacia el sur en verano y hacia el norte en invierno) (Barreiro et al., 2019a). Predominan marcadamente los vientos del sector noreste al este, con velocidades medias de 4 m/s y un máximo medio de 7 m/s sobre la costa suroeste (figura 9). Son relativamente frecuentes los vientos superiores a 30 m/s (Inumet características climáticas).

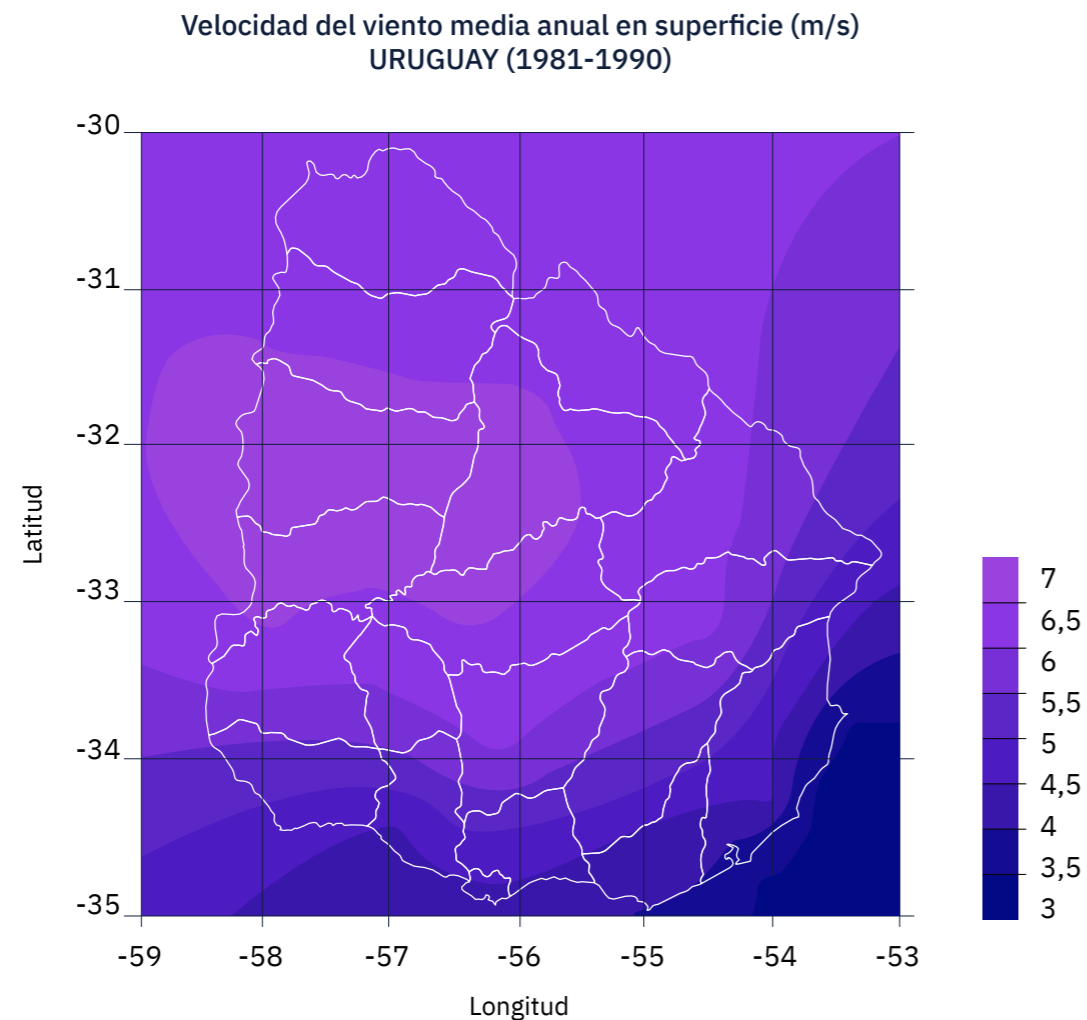


Figura 9. Velocidad media anual del viento en superficie [m/s] para Uruguay, basado en la climatología 1961-1990. Fuente: Imagen generada por el Instituto Uruguayo de Meteorología, recuperado de: www.inumet.gub.uy/clima/estadisticas-climatologicas/caracteristicas-climaticas. Fuente: Dirección Nacional de Meteorología

Durante el verano, los vientos son fundamentalmente del noreste y relativamente intensos, mientras que durante el otoño mantienen una componente norte, pero más débil. En invierno, el anticiclón semipermanente ingresa al continente, lo que genera vientos con componente este a norte y oeste a sur del país, con un marcado aumento de la intensidad. Finalmente, durante la primavera, los vientos medios son principalmente de componente este y relativamente débiles. Estos vientos medios estacionales son el resultado del promedio de los vientos diarios, los que tienen diferentes direcciones e intensidades. Esta variación diaria en la dirección predominante del viento es mayor durante el invierno (Barreiro et al., 2021a).

Los vientos intensos en el país están asociados a los fenómenos de mesoescala (complejos convectivos) y a los ciclones extratropicales. Durante las tormentas severas, los vientos fuertes pueden alcanzar velocidades de 200 km/h durante algunos minutos y causar en su pasaje considerables daños. Uruguay es una de las mayores regiones formadoras de ciclones extratropicales de América del Sur, que suelen luego moverse en dirección sureste e intensificarse sobre el océano Atlántico (Barreiro et al., 2021b). Durante los ciclones extratropicales (de escalas típicas de cientos de kilómetros, mayores que las tormentas), los vientos pueden tener velocidades sostenidas de hasta 100 km/h en casos extremos, con rachas de viento que pueden ser superiores en las zonas costeras (Barreiro et al., 2021a). A su vez, la formación de ciclones tiene un importante rol en la ocurrencia de lluvias en el país, principalmente en invierno, pero también en primavera (Barreiro et al., 2019a).

En Uruguay, durante todo el año se presentan pasajes de frentes fríos. Estos ocurren en un promedio de diez durante el verano y doce durante el invierno, con una dirección de traslación que suele ser del suroeste al noreste, y una frecuente asociación a un centro de baja presión localizado en el Océano Atlántico. Los frentes fríos pueden causar lluvias, tormentas y fuertes vientos del este-sudeste (conocidos como sudestadas) (Barreiro et al., 2021b).

3.1.2. CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS REGIONALES NORTE/SUR

Las características climáticas descritas hasta el momento corresponden a la totalidad del territorio nacional. Tomando como referencia el río Negro, se pueden definir dos regiones, norte y sur. Nos centraremos en la región sur, en la que se inserta la cuenca de la Laguna del Sauce (figura 1).

Como es de esperar, debido al gradiente latitudinal y la variación en la incidencia de la radiación solar, en todos los trimestres la temperatura en la región sur es inferior respecto a la región norte (en una media de 1,4°C). También la precipitación es inferior en la región sur respecto a la norte (en una media de 66 mm), con excepción del invierno, en que es mayor al sur del río Negro.

La temperatura media durante el verano es de 22,6°C, y la precipitación acumulada media de 311 mm, con un rango de variabilidad de 203,3 mm. El viento predominante es del sector este, que suele ser más intenso hacia la tardecita en la región costera. En esta estación se observa también una intensificación de los vientos provenientes del norte que traen aire cálido y húmedo desde el sur de Brasil y Paraguay (Barreiro et al., 2021b). Durante el otoño, la temperatura media para la región sur del país es de 17,8°C y la precipitación de 332,8 mm. Durante el invierno, la temperatura media es de 11,7°C y la precipitación media es de 263,1 mm; este es el único caso en que la precipitación es mayor que en la región norte (247,3 mm). En lo que respecta al viento, durante el invierno adquiere mayor importancia la componente oeste del viento en la región sur del país. Finalmente, en la primavera la temperatura media es de 16,5°C y la precipitación media es de 305,9 mm (Inumet climatología estacional).

Definiendo los vientos intensos como aquellos que presentan ráfagas superiores a los 80 km/h, velocidad umbral a partir de la cual comienzan a reportarse daños (Durañona et al., 2016), se reporta que la mayoría de los eventos ocurren entre octubre y febrero, con vientos predominantes del sur-suroeste (en coincidencia con la dirección típica de pasaje de frentes), aunque en el sur y este del país, son particularmente más frecuentes durante octubre y noviembre (Barreiro et al., 2021a).

Hidroclima local de la cuenca

En lo que refiere más particularmente a la región de la cuenca de la Laguna del Sauce, se analiza el comportamiento mensual del caudal en la subcuenca de Pan de Azúcar (figura 10). Esta subcuenca tiene un área total de 318 km² y representa aproximadamente el 45% de la totalidad de la cuenca (709 km²). Contiene al arroyo Pan de Azúcar, que recorre la cuenca oeste en sentido norte-sur y es uno de los principales tributarios de la Laguna del Sauce. En la figura 11 se observa que el ciclo estacional medio de escurrimiento es chato (promedio visualizado en rojo), lo que evidencia una muy poca amplitud estacional, coincidente con el ciclo anual de la precipitación. Sin embargo, tanto el caudal específico al 80% (q80, visualizado en línea punteada fucsia con triángulos) como los mínimos (línea punteada azul) son un orden de magnitud menores durante el verano en relación con el invierno, lo que muestra un rasgo típico del estiaje en años secos.

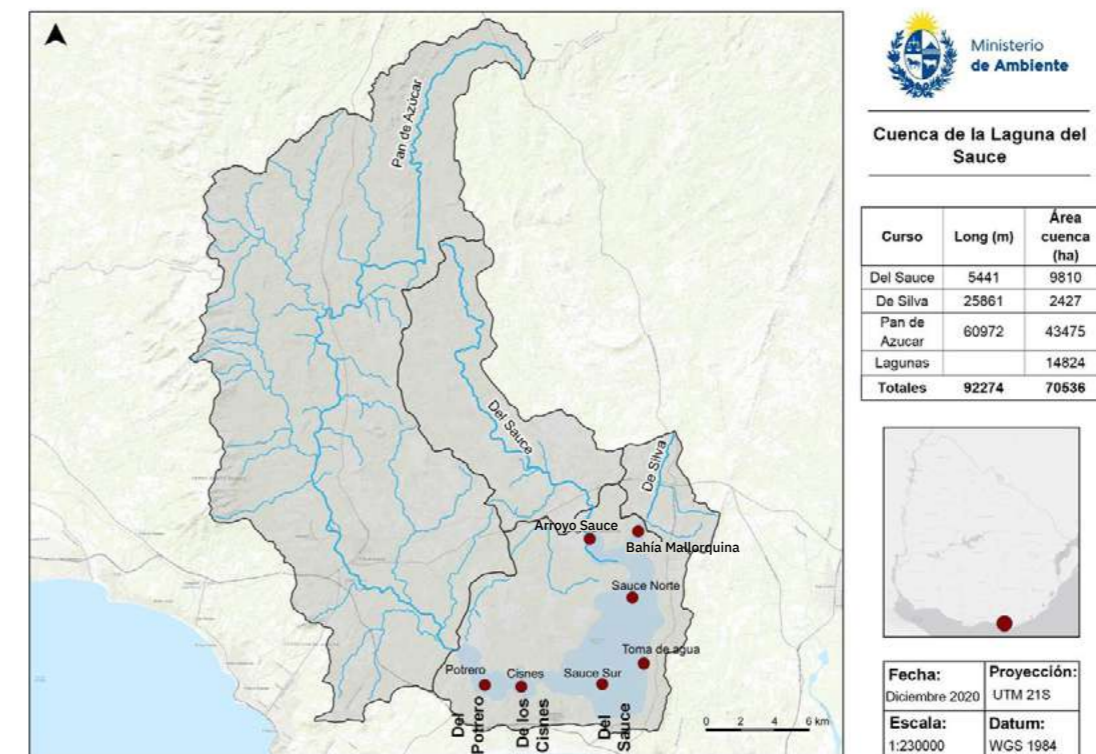


Figura 10. Cuenca de la Laguna del Sauce y sus respectivas subcuencas: Pan de Azúcar, Del Sauce, De Silva y las lagunas. Los puntos rojos en el mapa indican estaciones de muestreo de calidad del agua. Fuente Ministerio de Ambiente.

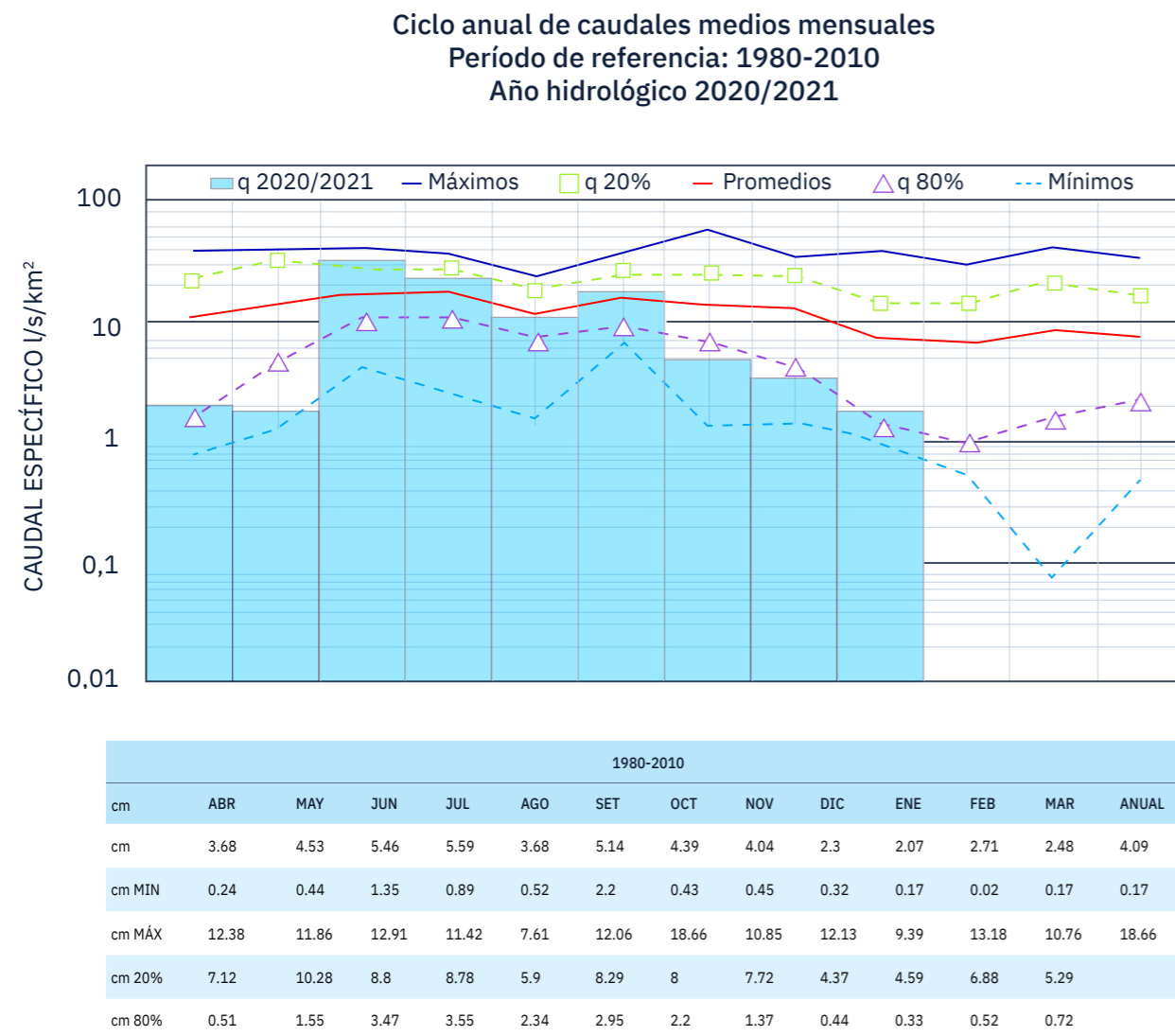


Figura 11. Ciclo anual de caudales medios mensuales de la subcuenca Pan de Azúcar (n°29154), Maldonado. En la parte inferior se indica atributos hidrológicos del período 1980-2010. Maldonado. Fuente: Ministerio de Ambiente-DINAGUA.

En las últimas décadas, los menores niveles de agua (inferiores a -0.4m) de la Laguna del Sauce se observaron en los años 2000, 2009, 2011, 2015 y 2016. A dichos años se suma el 2023, que no está comprendido en la serie, pero que alcanzó un nivel inferior a -0.4m. En la misma ventana temporal se han registrado niveles de agua extraordinarios (superiores a +1.5m) en los años 2010, 2014, 2016 y 2017. El último evento generó múltiples reclamos debido a la inundación de casas en diversas márgenes del sistema Laguna del Sauce y diversas controversias en el manejo del nivel del reservorio (figura 12).

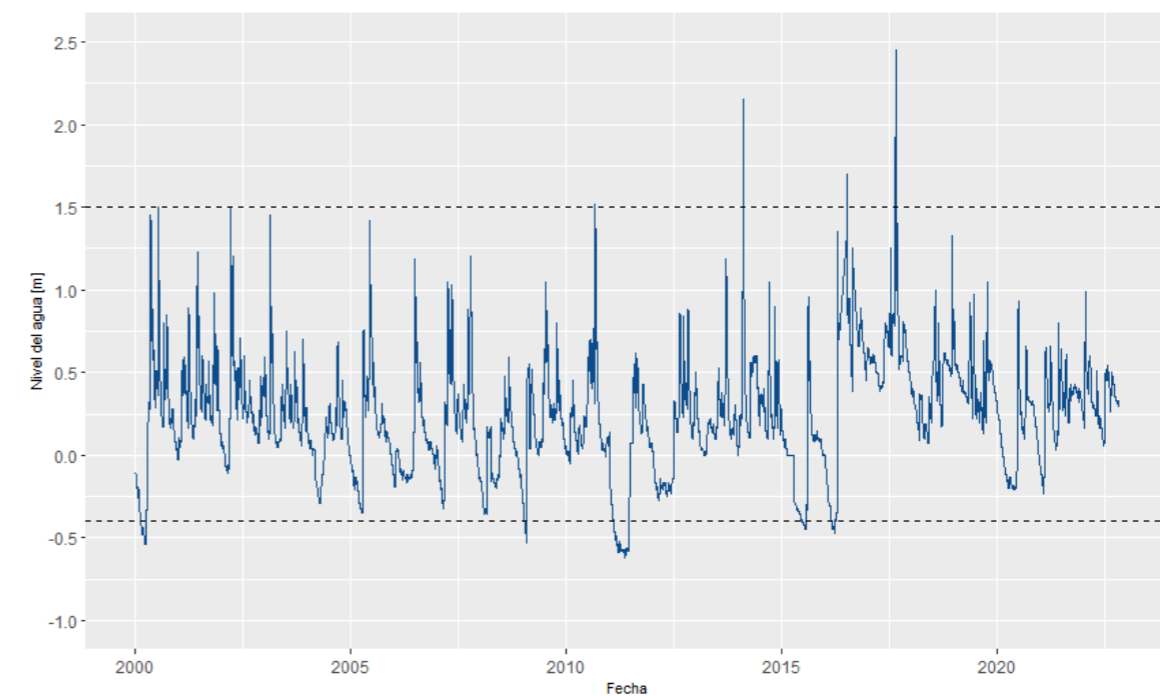


Figura 12. Variación del nivel del agua de Laguna del Sauce en el período 2000-2022. Las líneas punteadas indican los niveles altos (+1.5m) y bajos (-0.4m) de agua. 0 = +6.01 Warthon

3.2. LAGUNA DEL SAUCE

Laguna del Sauce es un complejo de sistemas someros conectados (figura 10). Durante el Holoceno, el sistema formó parte de bahías y ecosistemas costeros, dependiendo de la variación del nivel del mar. De acuerdo a la información paleontológica, en períodos secos y fríos del Holoceno quedó restringido a curso de aguas corrientes, arroyos y cañadas (Mazzeo et al. 2010a). Las descripciones de Darwin sobre este sistema permiten reconocer un importante desarrollo del sistema dunar en el sector sur, que obstruía el drenaje de la cuenca. La dinámica natural del sistema dependía de la apertura y cierre de la barra arenosa que ocurría en períodos de varios años, de acuerdo con la acumulación de agua y el régimen de tormentas. En síntesis, Laguna del Sauce fue una laguna costera con conexión con el mar. El sistema dunar fue fijado por plantaciones de *Pinus pinaster* desde fines del siglo XIX.

La Laguna del Sauce fue represada en 1946, acción vinculada a la instalación de una base aeronaval de EUA destinada a la operativa de hidroaviones. La represa regula la variación del nivel del agua del sistema por desborde y cuenta con unos tabiques de cemento de 50 cm de altura que permiten almacenar agua por encima de la cota 0 (+6.01Warthon). El volumen almacenado por el manejo de los tabiques representa el consumo de agua potable del mes de enero, período principal de la actividad turística.

Laguna del Sauce es un sistema con un contenido importante de nitrógeno y fósforo (característico de sistemas clasificados como eutróficos o hipereutróficos) (tabla 9), con floraciones algales recurrentes en el cuerpo principal del sistema (donde se localiza la toma de agua bruta) y un crecimiento excesivo de plantas acuáticas en el sector de Laguna del Potrero (González-Madina et al., 2018, 2021; Mazzeo et al., 2010a; Rodríguez et al. 2010). La eutrofización es un proceso de enriquecimiento de nutrientes (nitrógeno y fósforo de origen antrópico y/o natural) que condiciona un aumento en la producción y biomasa de productores primarios: cianobacterias, microalgas y/o plantas acuáticas (Mazzeo et al., 2010b).



Vista área de los sistemas Laguna Potrero, Laguna del Cisne y Laguna del Sauce (al fondo).

Tabla 9. Principales características físicas y químicas de Laguna del Sauce, 2015-2023. Valores promedios, mínimos y máximos de los parámetros limnológicos: temperatura (°C), conductividad (mS/cm), alcalinidad (mg CaCO₃/l), pH, turbidez (NTU), color real (ug Pt/l), transparencia (cm), clorofila a

(ug/l), ficocianina (cel equivalente/ml), fósforo total (ug/l), fósforo reactivo soluble (ug/l), nitrógeno total (ug/l), nitrato (ug/l), amonio (ug/l), relación nitrógeno vs. fósforo (mol), y el nivel (m), para todas las temporadas estivales desde el 2015-2016 a la fecha. Fuente: Convenio OSE-CURE, Udelar

	2015-2016 (15)	2016-2017 (18)	2017-2018 (19)	2018-2019 (22)	2019-2020 (23)	2020-2021 (21)	2021-2022 (26)	2022-2023 (21)	Temporal CV
Temp	24.04 (19.73; 27.65) 0.9	24.22 (20.56; 28.51) 1.5	23.38 (18.32; 27.17) 0.76	22.51 (16.31; 27.82) 0.64	22.25 (16.49; 27.42) 1.17	23.11 (19.75; 27.68) 1.20	21.79 (12.74; 26.69) 0.67	23.8 (15.08; 28.25) 11,50	3,82
Cond	0.18 (0.15; 0.27) 12.18	0.15 (0.13; 0.20) 11.67	0.16 (0.11; 0.21) 9.1	0.14 (0.08; 0.211) 10.1	0.16 (0.12; 0.23) 14.43	0.15 (0.09; 0.24) 12.64	0.16 (0.11; 0.25) 5.66	0.203 (0.178; 0.25) 7,81	12,24
Alc				50.62 (18; 90) 16.33	59.45 (42; 92) 19.43	47.68 (30; 94) 24.70	53.68 (34; 94) 10.64	61.38 (40; 90) 16,02	10,61
pH	7.71 (6.95; 8.94) 2.57	7.47 (6.73; 8.52) 1.61	8.08 (6.29; 9.02) 1.22	7.31 (6.18; 8.18) 2.83	7.46 (6.53; 9.15) 3.53	7.5 (6.22; 8.59) 1.49	7.59 (6.02; 8.53) 3.04	7.16 (6.04; 9.24) 7,80	3,66
Turb	14.27 (1.28; 47.15) 41:31	19.45 (3.82; 38.47) 36.63	12.9 (3.84; 26.14) 24.4	12.09 (2.44; 29.11) 21.06	13.3 (0.82; 48.52) 19.88	15.39 (2.08; 43.86) 38.72	12.55 (2.68; 42.79) 21.38	20.2 (3.98; 67.83) 49,04	20,95
Real C.				167.81 (69; 385) 4.7	116.27 (17; 260) 11.13	182.33 (61; 375) 13.51	172.85 (44; 315) 2.52	178.69 (70; 331) 39,10	16,52
Transp	78.30 (30; 200) 35.32	19.45 (3.82; 38.47) 36.63	80.2 (45; 130) 15.26	91.63 (45; 190) 11.46	89.33 (26; 250) 15.89	89.82 (30; 210) 19.54	80.69 (30; 180) 10.21	64.31 (25; 160) 39,90	13,69
Chlo a	8.34 (2.97; 33.36) 34.2	5.91 (1.06; 19.45) 32.35	5.56 (0; 16.64) 18.46	6.12 (3.32; 13.94) 4.21	8.93 (0.73; 64.78) 27.41	5.65 (1.98; 12.62) 11.55	5.38 (2.66; 30.31) 7.57	3.4 (0.2; 9.1) 47,79	28,34
Phyco	3830.15 (809.75; 26116.20 46.95	2113.27 (823.33; 14775) 61.6	2079.86 (804.2; 9369.11) 21.74	2217 (1001.67; 14543) 16.26	9150.75 (1053; 64579) 44.37	1976.22 (629.5; 3475) 6.49	2080.31 (4.82; 9307.4) 15.61	5901.44 (843.78; 67594) 180,40	70,99
TP	79.06 (24.22; 161.61) 16.42	87.99 (41.10; 118.49) 7.68	72.19 (16.74; 178.53) 4.13	65.91 (17.58; 175.16) 5.48	40.61(7.49; 97.17) 14.92	60.59 (16.46; 140.22) 7.93	73.90 (18.49; 142.65) 14.12	71.18 (19.46; 179.97) 41,51	20,42
SRP	25.64 (0.24; 80.19) 29.7	87.99 (41.10; 118.49) 7.68	44.94 (0.85; 93.26) 3.40	38.75 (2.23; 85.44) 6.01	9.46 (0; 46.84) 30.33	31.79 (0.28; 79.99) 22.74	49.31 (3.89; 98.44) 19,58	35.63 (0; 108.43) 65,76	38,63
TN	714.26 (433.81; 1362.41) 18.71	519.94 (286.40; 945.90) 3.49	199.55 (87.26; 530.35) 5.74	381.88 (102.70; 711.07) 2.47	511.09 (159.46; 1422.27) 6.73	406.56 (183.59; 1384.01) 2.95	417.29 (182.87; 916.37) 4.26	451.75 (223.23; 880.86) 25,52	32,38
NO ₃	173.95 (100.21; 286.76) 11.03	257.26 (104.13; 569.56) 21.03	70.28 (6.25; 223.21) 10.07	95.30 (1.36; 342.90) 13.76	172.96 (10.58; 361.08) 7.16	185.86 (7.29; 727.92) 11.97	226.6 (45.75; 417;05) 2.95	310.65 (201.73; 529.9) 28,60	42,58
NH ₄	106.81 (5.92; 843.20) 32.16	41.78 (5.02; 149.55) 21.99	20.70 (0; 162.24) 39.86	16.37 (0; 62.97) 18.56	23.97 (0; 135;52) 28.85	21.79 (0.29; 172.55) 37.46	20.68 (0; 93.01) 15.65	22.35 (0; 131.68) 80,68	88,22
N:P	9.91 (4.23; 27.82) 9.51	6.0 (2.84; 11.40) 10.99	3.03 (0.68; 13.32) 6.73	16.37 (0; 62.97) 18.56	14.41 (2.54; 77.51) 17.12	7.98 (2.41; 20;74) 6.95	6.40 (2.27; 21.15) 12.16	7.13 (2.6; 20.39) 38,15	42,98
Nivel	-0.1 (-0.46; 1.35)	0.55 (0.39; 0.73)	0.33 (0.07; 0.75)	0.56 (0.32; 1.25)	0.08 (-0.2; 0.56)	0.18 (-0.2; 0.62)	0.37 (0.17; 0.7)	0.11 (-0.3; 0.35)	

La información paleolimnológica confirma la ocurrencia de un proceso de eutrofización acelerado en el último siglo, resultante del represamiento del arroyo El Potrero en 1946, las transformaciones del uso del suelo y las condiciones climáticas imperantes en los últimos 150 años (Mazzeo et al., 2010a). El análisis del contenido de fósforo de los sedimentos superficiales de Laguna del Sauce revela un incremento de tres a cinco veces en la última década, patrón congruente con la información paleolimnológica antes indicada (datos no publicados).

El incremento de nutrientes de Laguna del Sauce obedece a múltiples factores actuales y a su trayectoria reciente, entre los que se destacan: ausencia o cobertura parcial de sistemas de saneamiento en centros poblados de la cuenca; malas prácticas de fertilización en la agricultura; sobrecarga ganadera y bosteo directamente sobre el cuerpo de agua y sus principales tributarios; fragmentación o eliminación de zonas de amortiguación como humedales y zonas ribereñas (monte ribereño o indígena). El represamiento favoreció el entrapamiento de sedimentos y nutrientes en el sistema, claramente reflejado en los análisis paleolimnológicos.

El crecimiento del fitoplancton es controlado por un conjunto de recursos (figura 13), básicamente nutrientes y la disponibilidad de luz en la columna de agua (transparencia del agua), y por diversos procesos que condicionan pérdidas o remoción de biomasa, por ejemplo, herbivoría por parte del zooplancton o bivalvos, sedimentación, exportación de biomasa fuera del sistema por lavado asociado a eventos importantes de precipitación. El tiempo de residencia del agua condiciona varios procesos claves, particularmente, la exportación y remoción de biomasa de productores primarios, la dilución o concentración de nutrientes. En períodos de déficit hídrico, con una menor profundidad del reservorio existe una mayor probabilidad de resuspensión del sedimento (a igual intensidad de viento, la resuspensión es mayor a menor profundidad de la columna de agua). Las floraciones de cianobacterias ocurren preferentemente en condiciones de elevada temperatura del agua, contenido moderado y alto de nutrientes y tiempo de residencia del agua alto (Dolman et al., 2012; Havens y Paerl, 2015).

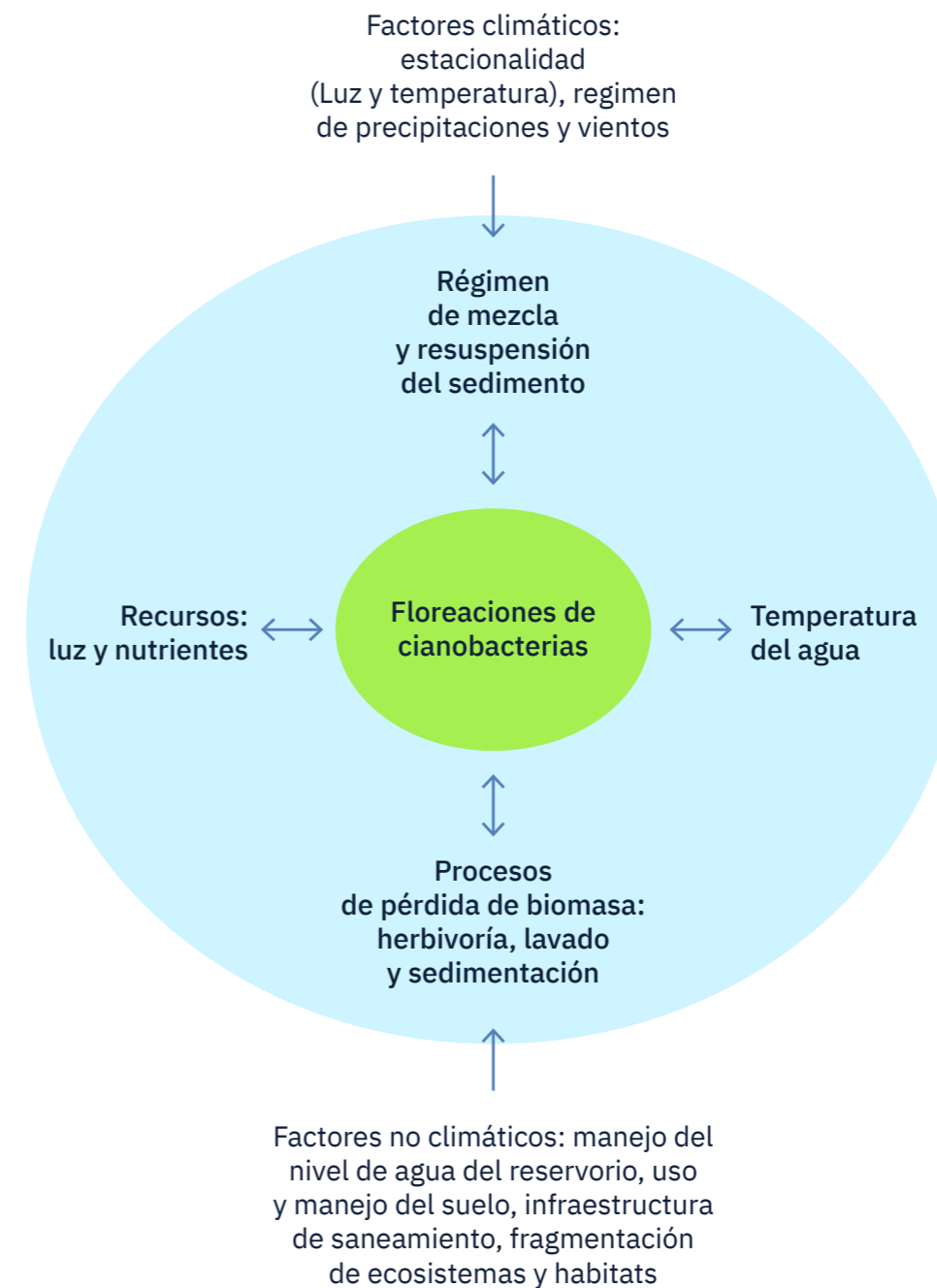


Figura 13. Principales factores que controlan directa o indirectamente la biomasa algal y de cianobacterias en Laguna del Sauce (fitoplancton).

Los procesos de eutrofización cuentan con varios mecanismos de retroalimentación positiva (Scheffer y Carpenter, 2003). Los nutrientes promueven una mayor producción primaria (fitoplancton o plantas acuáticas) y acumulación de materia orgánica la cual puede generar condiciones de hipoxia y anoxia en el sedimento debido a los procesos de descomposición. La ausencia de oxígeno favorece la liberación de fósforo, fenómeno que ocurre en etapas avanzadas del proceso de eutrofización, asegurando el suministro de nutrientes. Por otra parte, el mayor desarrollo del fitoplancton disminuye la transparencia del agua y aumenta la variación diaria de la concentración de oxígeno. Ambos factores reducen la abundancia de los peces piscívoros (predadores topos) y por lo tanto (indirectamente mediante interacciones denominadas en cascada trófica) la presión de herbivoría del zooplancton sobre el fitoplancton. De forma muy resumida, en los procesos de eutrofización los efectos en la calidad del agua se intensifican por las retroalimentación señaladas.

La dinámica temporal de las floraciones algales y de cianobacterias en Laguna del Sauce se encuentra fuertemente vinculada a la variabilidad de la turbidez y color del agua, es decir, a la disponibilidad de luz en la columna de agua (Crisci et al., 2017; González-Madina et al., 2018, 2021) (figura 14).

La turbidez en este sistema está controlada por la interacción de la dinámica de vientos (principalmente eventos extremos del cuadrante del sur), régimen de lluvias y eventos extremos de precipitación, nivel del reservorio y sus efectos sobre la resuspensión del sedimento. Los mismos controles condicionan la variabilidad del color del agua, asociado fundamentalmente a los aportes de materia orgánica disuelta de los humedales y ecosistemas terrestres de la cuenca. En ambos atributos limnológicos se constata una variabilidad interanual importante y ausencia de un patrón estacional característico.

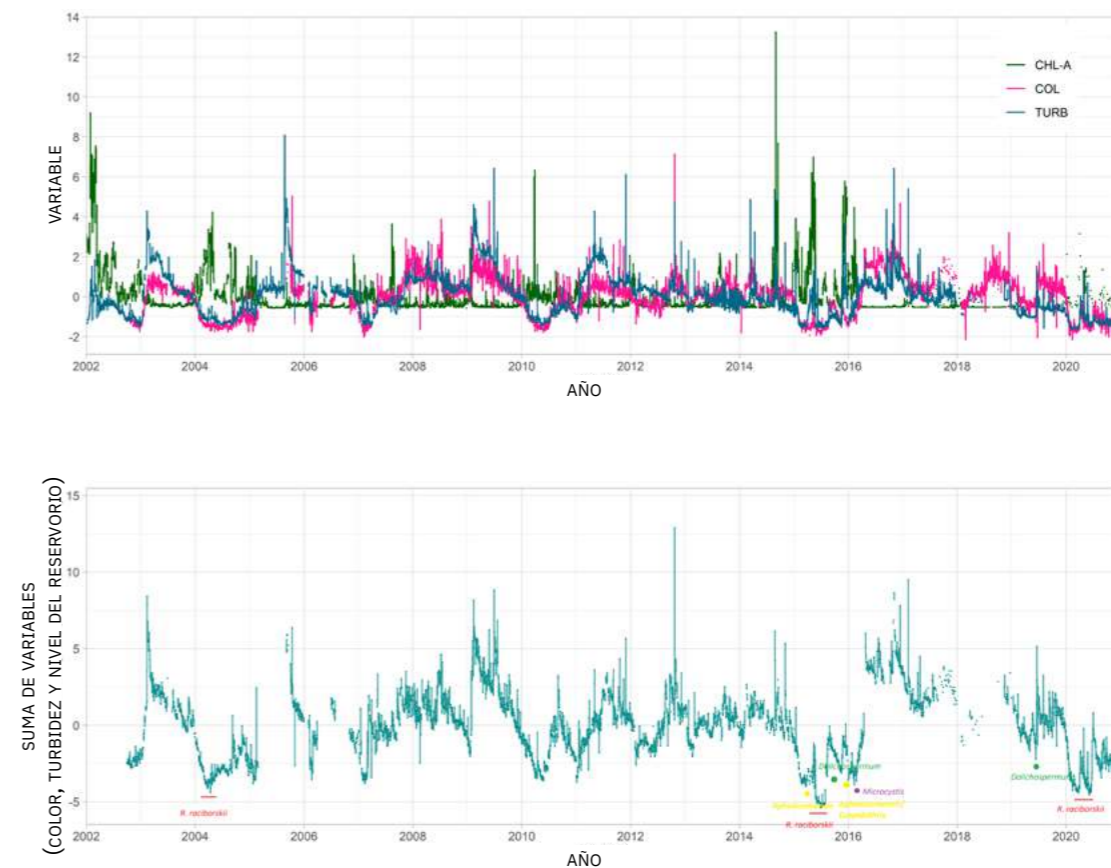


Figura 14. Variación temporal de la clorofila a (Chla), turbidez y color del agua en el subsistema Laguna del Sauce (zona inmediata a la toma de agua de la planta potabilizadora (2003-2020). Las variables han sido estandarizadas. El gráfico inferior indica la suma de las variables (interacción aditiva) entre nivel del reservorio, calidad del agua y turbidez. Finalmente se destacan la ocurrencia de especies de cianobacterias de interés. Fuente: González-Madina et al. (2021).

En el gráfico 14a las variables se estandarizaron (resta del valor medio y dividido por el desvío estándar). La figura 14b muestra la contribución aditiva de la turbidez, color del agua y nivel del reservorio, así como su variación temporal (cada variable se estandarizó). A partir de 2015 se identificaron dos blooms de *R. raciborskii* (véanse barras horizontales, de 3-4 meses de extensión); el resto de los blooms de cianobacterias presentan menores duraciones (un mes máximo). El bloom de *R. raciborskii* fue observado también en 2004.

Las floraciones de cianobacterias ocurren casi exclusivamente en los meses más cálidos del año e involucran un conjunto diverso de especies de los géneros *Aphanizomenon*, *Dolichospermum*, *Aphanocapsa*, *Microcystis*, *Cuspidothrix*, *Raphidiopsis*, entre las principales. Varias de estas especies cuentan con capacidad de regular su posición en la columna de agua (y controlar la limitación de luz), fijación de nitrógeno gaseoso, producción de toxinas y pueden estar potencialmente asociadas a la generación de episodios de sabor y olor (debido a la producción de geosmina o 2-metil-isoborneol).

Además, generan estructuras de resistencia que se depositan en el sedimento asegurando la colonización de la columna de agua cuando las condiciones son favorables. *Dolichospermum crassum* produce geosmina, anatoxina y microcistina; *Aphanizomenon cf. gracile* sintetiza geosmina, cilindropermopsina y saxitoxina; *Cuspidothrix issatschenkoi* genera geosmina, cilindropermopsina y saxitoxina; *Microcystis aeruginosa* produce B ciclocitral y microcistina (Jüttner y Watson, 2007).

Las floraciones de cianobacterias disminuyen la transparencia del agua y condicionan el acceso de la luz a las plantas acuáticas, algas bentónicas y microalgas. Al mismo tiempo, incrementan el pH, lo que puede provocar efectos subletales a los peces; reducen la concentración de CO₂ disponible, afectando la competencia entre grupos del fitoplancton; producen toxinas que pueden generar efectos subletales o tóxicos en peces, zooplancton, macroinvertebrados, aves y vertebrados acuáticos. Por último, pueden incrementar su tamaño (de las células y/o colonias y filamentos) y reducir la presión de consumo por el zooplancton y la transferencia de energía en la trama trófica (Stüken Marin, 2010). Durante el colapso de las floraciones se producen condiciones de hipoxia y anoxia, lo que incrementa la



Floración de cianobacterias (*Raphidiopsis raciborskii*) en Laguna del Sauce durante el verano-otoño del 2020. Dispositivo para evaluar la transparencia del agua (disco de Secchi).

concentración de amonio en la columna de agua (Stüken Marin, 2010). Las floraciones algales tienen importantes impactos en la economía por los efectos en los sistemas de tratamiento de agua, costos de los programas de monitoreo y vigilancia, medidas de prevención y mitigación, y finalmente, efectos en la salud (Merel et al., 2013).

Los incrementos de la temperatura observados en el registro paleolimnológico de las lagunas costeras del Uruguay durante el Holoceno y sus respuestas en el estado trófico (Del Puerto et al., 2011), así como los aumentos de temperatura previstos asociados al cambio climático (Bidegain et al., 2013), permiten anticipar una mayor recurrencia de floraciones de cianobacterias (Kosten et al., 2012; Meerhoff et al., 2022; Moss et al., 2011) en Laguna del Sauce. Los períodos con déficit de precipitación pueden promover las floraciones debido a una reducción de las tasas de pérdida asociadas al lavado (en este caso, exportación de biomasa fuera del sistema asociado al drenaje por el arroyo El Potrero).

El aumento de las precipitaciones acumuladas anuales observado en el registro histórico meteorológico a nivel nacional (Bidegain et al., 2013) puede provocar dos grandes efectos contrapuestos: por un lado, el aumento de las tasas de pérdida de biomasa por lavado; por otro, el incremento del transporte de nutrientes por escorrentía superficial. La resultante es enteramente dependiente del uso del suelo, de la capacidad de adaptación de los sistemas productivos e incorporación de buenas prácticas en la fertilización y manejo de zonas de amortiguación. Al mismo tiempo, se prevé una mayor variabilidad interanual en el régimen de precipitaciones (Bidegain et al., 2013), es decir, los años lluviosos registrarán mayores valores acumulados anuales, sin que ello implique una reducción en la frecuencia ni intensidad de los años secos. En los años secos, aumenta el riesgo de floraciones de cianobacterias al incrementarse el tiempo de residencia y disminuirse las tasas de pérdidas de biomasa. Además, puede ocurrir un efecto concentrador de nutrientes y una mayor exportación de fósforo desde el sedimento a la columna del agua. Es interesante destacar que el clásico efecto concentrador de nutrientes en los períodos de menor precipitación no ha sido comprobado hasta el momento, considerando los últimos años de muestreo semanales durante la época estival (tabla 9).

En los últimos años se han constatado interferencias de sabor y olor en los procesos de potabilización y distribución, cuya causalidad no es totalmente comprendida hasta el momento. En algunas ocasiones (otoño del 2015), podrían estar asociadas a cianobacterias planctónicas o bentónicas, estas últimas en períodos con elevada transparencia del agua. En otras circunstancias, podrían vincularse a microorganismos descomponedores de diferentes fuentes de materia orgánica, por ejemplo, relacionados a colapsos de floraciones de cianobacterias u otros grupos algales o aportes considerables de materia orgánica desde los humedales asociados a los arroyos Pan de Azúcar y Sauce.

Laguna del Sauce es un ecosistema que presenta respuestas diferentes en el espacio frente a un mismo factor: aumento de la concentración de nutrientes. Mientras que en el cuerpo principal se observan floraciones fitoplanctónicas, en Laguna del Potrero se constata un crecimiento excesivo de vegetación sumergida y flotante (Mazzeo et al., 2010a). El tamaño, morfología y exposición (incluida la orientación y el fetch) de Laguna del Potrero favorecen el establecimiento de la vegetación acuática, condiciones que no ocurren en el cuerpo principal. Al mismo tiempo, el extenso humedal asociado al arroyo Pan de Azúcar, localizado entre la ruta 9 y Laguna del Potrero, retiene gran parte del material particulado. Por lo tanto, el agua aportada por este tributario presenta una elevada transparencia, lo que favorece el establecimiento de la vegetación acuática.

Laguna del Potrero tiene un papel clave en la amortiguación de las entradas de nutrientes al sistema. En determinadas circunstancias y períodos es muy eficiente en la reducción de los niveles de nitrógeno, lo que favorece indirectamente a aquellas especies de cianobacterias que fijan nitrógeno. El segundo tributario en importancia (el arroyo Sauce) también cuenta con un área bien conservada de humedales entre la ruta 9 y Laguna del Sauce que promueve procesos de desnitrificación.

Laguna del Sauce ha presentado invasiones biológicas asociadas fundamentalmente al componente de bivalvos bentónicos (Mazzeo et al., 2018). La almeja asiática (*Corbicula fluminea*) y el mejillón dorado (*Limnoperna fortunei*) juegan un papel muy importante en el consumo del fitoplancton y en el reciclaje de nutrientes. La evidencia científica demuestra que en determinadas circunstancias



Camalotes en el sector norte de Laguna del Sauce, dicha vegetación proviene de los humedales del Arroyo Sauce.

controlan efectivamente el desarrollo de la biomasa algal. Sin embargo, también se ha demostrado que promueven floraciones de especies que pueden regular la flotación y por lo tanto pueden escapar de la filtración en la interfase agua-sedimento (Marroni et al., 2014). La filtración elimina potenciales competidores de los grupos fitoplanctónicos no consumidos, así como herbívoros del zooplancton de menor tamaño y menor capacidad de nado. Finalmente, promueve una recirculación más rápida de los nutrientes. En resumen, la interacción de todos estos factores favorece el desarrollo de las especies de microalgas y cianobacterias que escapan del consumo de los bivalvos (Marroni et al., 2014; 2016). Dentro de este grupo de especies se encuentran varias de las cianobacterias recurrentes en Laguna del Sauce.

El consumo del fitoplancton por el zooplancton se encuentra fuertemente limitado en este sistema por la ausencia de herbívoros de gran tamaño, debido a la estructura de la comunidad de peces, que ejerce una fuerte presión de predación que elimina las especies con mayor impacto en el consumo de las microalgas y cianobacterias (Mazzeo et al., 2010a; 2018). Es importante considerar que existen amplias zonas litorales y humedales dominados por vegetación arbustiva (p. ej.: *Phyllanthus sellowianus*, sarandí) de naturaleza caducifolia y vegetación flotante libre que senesce y se descompone en los meses fríos. Por lo tanto, el metabolismo del sistema se sustenta por el aporte de estos productores primarios y procesos de descomposición asociados, lo que permite comprender la abundancia de macroinvertebrados y peces en este sistema. En síntesis, los depredadores (peces zooplanctívoros) de los herbívoros del fitoplancton (zooplancton) presentan una extraordinaria abundancia y capacidad de control; y no quedan acoplados a la clásica dinámica de predador-presa. La trama trófica clásica (*fito-zooplancton-peces*) representa un canal de energía sustancialmente menor a la zona litoral + humedales → macroinvertebrados bentónicos → peces.

Estudios recientes sobre la presencia de residuos de plaguicidas en Laguna del Sauce, en diferentes matrices abióticas (sedimento) y bióticas (peces y bivalvos) del sistema (Stáble, 2018), indican la presencia de diversos compuestos (atrazina, metalaxyl, metolacoloro, pirimifosmetil, piraclostrobin y trifloxistrobin) en concentraciones muy bajas por el momento (por debajo del límite de cuantificación). La presencia de residuos de plaguicidas debería ser monitoreada de forma

sistemática y robusta, incorporando el conjunto de matrices antes indicado. Estos programas de monitoreo no han podido establecerse hasta el presente. Estudios preliminares de daños genéticos (micronúcleos y ensayos cometa) en bivalvos de Laguna del Sauce (*Corbicula fluminea*), indican señales de alerta temprana que deberían ser incorporadas en los sistemas de monitoreo y evaluación (Kröger, 2020).

MENSAJES CLAVES PARA EL ANÁLISIS DEL RIESGO

El fenómeno de la eutrofización comprende diversos mecanismos de retroalimentación positiva que intensifican el proceso con el transcurso del tiempo. Estos mecanismos están asociados a la recirculación de nutrientes y a la presión de consumo del fitoplancton. A medida que evoluciona, la eutrofización en escenarios donde no se implementa un control de los aportes externos de nutrientes, asegura una mayor disponibilidad de nutrientes por translocación de nutrientes desde sedimento a la columna de agua, así como una menor presión de consumo fitoplanctónica debido a la desaparición de los herbívoros de mayor tamaño y capacidad de filtración del zooplancton. Al mismo tiempo, las floraciones de varias especies de cianobacterias generan estructuras de resistencia en el sedimento que aseguran su recurrencia en el tiempo cuando las condiciones ambientales son propicias.

Teniendo en cuenta las principales forzantes vinculadas al clima (principalmente, la variabilidad del régimen de precipitaciones), al aporte de nutrientes y a la propia dinámica interna del sistema, es altamente probable que la frecuencia e intensidad de las floraciones de cianobacterias se incremente en el tiempo. La recuperación de Laguna del Sauce implica alcanzar un menor nivel de nutrientes (correspondiente al estado trófico denominado mesotrofia), lo que disminuiría la probabilidad de ocurrencia de respuestas adversas para el suministro de agua potable, por ejemplo, las floraciones de cianobacterias. En caso de controlarse los aportes externos de nutrientes, el sistema presentará diversos mecanismos de resiliencia que condicionarán la persistencia de valores medios y altos de nutrientes por un lapso considerable de tiempo (décadas), por lo

que se requieren diversas medidas adicionales de manejo interno (véase, más adelante, rehabilitación de fuentes de agua). De acuerdo con ello, es clave incorporar estrategias adicionales de mitigación a interferencias de la calidad del agua de Laguna del Sauce en el proceso de potabilización del agua (control de las consecuencias del proceso de eutrofización).

3.3. PRINCIPALES FACTORES QUE CONDICIONAN LA COSECHA DE AGUA EN LA CUENCA

La cosecha de agua en la cuenca involucra dos aspectos estrechamente vinculados: la cantidad y la calidad. El régimen de caudales y el rendimiento hidrológico de la cuenca (balance entre las precipitaciones y el caudal) constituyen factores determinantes, ya que condiciona diversos procesos claves en el sistema de Laguna del Sauce: transparencia del agua a través del aporte de material en suspensión, materia orgánica disuelta desde los suelos o sistemas productivos, aportes de fertilizantes y residuos de plaguicidas, regulación del tiempo de residencia y procesos de exportación (pérdida) de productores primarios (algas, cianobacterias, plantas acuáticas). Por lo tanto, el ordenamiento de los usos del suelo influye directamente en la problemática de la eutrofización y la capacidad de adaptación a la variabilidad climática actual y futura.

Dentro de este capítulo requiere especial atención la expansión del sector forestal, cuya incidencia en el rendimiento hidrológico es importante en los años secos en cuencas que alcanzan o superan el 25% de su área destinada a ese uso en el país (Silveira y Alonso, 2009; Silveira et al., 2016). La cuenca de Laguna del Sauce no dispone de estudios específicos en la materia, lo cual no inhabilita a definir y establecer criterios precautorios según la evidencia científica internacional y nacional disponible.

La cuenca cuenta con un complejo sistema de surgencias de agua subterránea en superficie, aspecto que resulta prácticamente desconocido y que juega un papel clave en la dinámica del flujo basal, así como para el suministro de agua y producción de forraje en zonas del campo natural. Tanto la generación de conocimiento básico como el desarrollo de estrategias de gestión constituyen relevantes desafíos en el corto y mediano plazo.

Estudios recientes (Levrini, 2017; Díaz et al., 2021) sobre el patrón espacial de nitrógeno y fósforo en la red de tributarios de la cuenca, y su relación con tipo y uso de suelo, geología, geomorfología, posición en la red de tributarios y cobertura de vegetación (incluida la presencia y conservación de bosque fluvial) demuestra que un porcentaje importante de la variación espacial del fósforo y del nitrógeno puede ser explicado por un conjunto reducido de atributos de la cuenca. A grandes rasgos, se observó que para el nitrógeno total los atributos que presentan mayor importancia son aquellos asociados al tipo de suelo: suelos profundos con una relación positiva (+, cuanto mayor es el área de suelos profundos, más concentración de nitrógeno en agua) y de textura liviana con una relación negativa (-, cuanto mayor área de suelos livianos, menor concentración de nitrógeno en agua), a las coberturas de bosque nativo (-), de los cultivos (+) y el contenido de sólidos suspendidos en el cauce (+). Los atributos de la cuenca considerados logran explicar respectivamente el 42% y 41% de la variación espacial observada en 118 sitios de muestreo en la transición invierno-primavera y verano-otoño. En el caso del fósforo total, los atributos se vinculan al tipo de suelo: suelos livianos (-) y profundos (+), cobertura de cultivos (+) y pastizales(-), el estado de conservación de la zona riparia (-) y los niveles de oxígeno en el cauce (-). Este conjunto de atributos explica el 54% y 40% de la variación espacial en la transición invierno-primavera y verano-otoño, respectivamente. En síntesis, los niveles de nutrientes en la red de tributarios dependen tanto de factores naturales (p. ej., tipo de suelo), así como de controles de origen antrópico (p. ej., usos del suelo).

MENSAJES CLAVES PARA EL ANÁLISIS DE RIESGO

La contribución de los diferentes usos del suelo, así como el estado de conservación de la zona riparia en los niveles de fósforo y nitrógeno total en la red de tributarios, permite identificar acciones necesarias para minimizar las exportaciones de nutrientes desde la cuenca hacia Laguna del Sauce. Dentro de estas se destacan la necesidad de implementar prácticas a nivel predial, como controlar la carga de ganado y su acceso a los cursos del agua, controlar las dosis y calendario de aplicación de fertilizantes, conservar la zona riparia y la integralidad de las márgenes, dar mayor cobertura y mejorar la infraestructura de saneamiento de los centros poblados. Al mismo tiempo, el efecto de la forestación requiere

evaluaciones que incorporen otras escalas espaciales (por ej. cuenca) además de la predial. Estos aspectos resultan de singular importancia en el ámbito del ordenamiento territorial, tanto para revertir el procesos de eutrofización como para contar con una mayor capacidad de anticipación.

4. Infraestructura

La planta potabilizadora localizada en Laguna del Sauce provee agua a las ciudades de Maldonado, San Carlos, Punta del Este, Piriápolis y Pan de Azúcar. Abastece a la zona oeste del departamento y, además, apoya el suministro de agua en la zona costera localizada al este del arroyo Maldonado (La Barra, Manantiales) durante la época estival.

El consumo de agua presenta una variabilidad temporal considerable. La mayor parte del año atiende el consumo de la población estable del departamento, localizada en su gran mayoría fuera de la cuenca de Laguna del Sauce. Sin embargo, durante la época estival, el turismo de sol y playa puede representar un incremento poblacional cercano a las 600.000 personas en períodos económicos muy favorables de la región (principalmente Argentina y Brasil). El tramo estival de mayor afluencia turística abarca desde el 20 de diciembre hasta el 31 de enero.

El usuario más importante en términos de consumo de agua es el ente estatal encargado del suministro de agua potable: OSE-UGD (Obras Sanitarias del Estado-Unidad de Gestión Desconcentrada). En el sistema existen otras captaciones de agua mucho menores en relación con el consumo de OSE-UGD y el volumen del reservorio. Están destinadas al riego de viveros, al suministro de agua de un emprendimiento lechero localizado cerca de la cuenca, consumo de agua y riego de casas localizadas en las márgenes de Laguna del Sauce.

La planta potabilizadora de Laguna del Sauce comenzó a funcionar en 1970. La infraestructura original fue modificada a principios del presente siglo y en la actualidad. La primera estuvo asociada a la transformación del proceso clásico de floculación y filtración en manto de arena a un sistema invertido con flotación del flóculo y su remoción. Dicha modificación requirió una inversión cercana a los 10 millones de dólares, plenamente justificada por las limitaciones de la infraestructura original en un sistema con alta turbidez inorgánica y recurrentes floraciones de algas y cianobacterias. La segunda de las modificaciones tiene lugar



Planta potabilizadora localizada en la margen E de Laguna del Sauce.

actualmente. Está asociada a un nuevo sistema de tratamiento que comprende la aplicación de ozono y filtros biológicos. La inversión de esta obra asciende a aproximadamente 25 millones de dólares. La cifra final se conocerá con exactitud a la brevedad, cuando culmine el proceso licitatorio del componente de ozono.

Las principales obras de saneamiento del departamento de Maldonado se han desarrollado en los últimos veinte años. Una parte de la infraestructura gris ha permitido el saneamiento de la región sur de la cuenca de Laguna del Sauce (Solanas, Portezuelo, La Capuera). Sin embargo, las conexiones domiciliarias y la construcción de redes secundarias presentan considerables retrasos por la falta de acuerdo en su priorización y financiamiento. Este aspecto adquiere una singular relevancia en la estrategia de tratamiento de los aportes de nutrientes asociados a efluentes domésticos.

En las tramas urbanas predominan ampliamente sistemas de desagüe superficiales, cordón-cuneta o simple desplazamiento de agua por la infraestructura de calles y veredas, y su desagote en cañadas o en la propia playa. En períodos de exceso de precipitación, se constatan inundaciones parciales. Este fenómeno adquiere mayor importancia en todas las expansiones de las tramas urbanas sobre las planicies de inundación, por ejemplo, en Pan de Azúcar.

La represa constituye una infraestructura fundamental por el papel que cumple en la regulación del nivel de Laguna del Sauce y en el almacenamiento de agua. Esta infraestructura fue diseñada para una función totalmente diferente de la actual. La capacidad de manejo del nivel del agua es muy limitada, por lo que también lo son las respuestas a los períodos de déficit hídrico y a los eventos extraordinarios de lluvias. Por otra parte, el manejo hidráulico para controlar el proceso de eutrofización es prácticamente inexistente con la infraestructura actual.

MENSAJES CLAVES PARA EL ANÁLISIS DE RIESGO

La infraestructura de suministro de agua y saneamiento presenta importantes cambios en las últimas décadas. El saneamiento constituye un factor ineludible en el control de la causalidad de la eutrofización. El mantenimiento y gestión de la represa es clave para la capacidad de

adaptación a la variabilidad actual y futura del régimen de precipitación, y en el manejo y rehabilitación del proceso de eutrofización. La construcción de una nueva represa es una opción que debe considerarse.

5. Gobernanza

5.1. GESTIÓN DEL AGUA

Durante los últimos 15 años, los sistemas de gestión y gobernanza asociados al agua han sido acompañados por importantes transformaciones y han transitado de un modelo de gobernanza rígido, fragmentado y centralizado, hacia un modelo de gestión integrada (Cabot et al., 2020; Giordano et al., 2020; Lázaro et al., 2021; Mazzeo et al. 2021; Zurbriggen et al., 2022).

El principal hito en este proceso de transformación fue la reforma de la Constitución del año 2004 como respuesta a los procesos de privatización ensayados en Maldonado. Estos derivaron en servicios con altas tarifas y una calidad muy cuestionada, como consecuencia del erróneo diseño de los procesos de privatización y el no cumplimiento de las inversiones comprometidas. Esta situación provocó una amplia movilización ciudadana, liderada por la Comisión Nacional en Defensa del Agua y la Vida, que logró la aprobación, con el 64,7% de los votos, de una reforma constitucional que agregó el artículo 47. Dicho artículo consagró el acceso al agua potable y al saneamiento como derechos humanos fundamentales, y atribuyó al Estado la responsabilidad de proveer los servicios públicos de saneamiento y de abastecimiento de agua para consumo humano. Al mismo tiempo, incluyó la participación de la sociedad civil en la planificación, gestión y control de los recursos hídricos, introduciendo cambios fundamentales en la gestión del agua, conocido en la gobernanza del agua como manejo o gestión integrada de los recursos hídricos (GIRH) (Pahl-Wostl et al., 2015).

Estos principios se consolidaron con la promulgación de la Política Nacional de Aguas en el año 2009 (ley 18610), que institucionalizó una “gestión sostenible, integral y participativa” del agua. Un aspecto fundamental fue establecer a la cuenca hidrográfica como la unidad de acción para la planificación, control y

gestión de los recursos hídricos, en las políticas de descentralización, ordenamiento territorial y gestión sostenible (art. 8). Asimismo, dicha ley establece que los usuarios y la sociedad civil deben participar de manera efectiva en la formulación, implementación y evaluación de los planes y políticas (art. 19). La ley creó espacios consultivos a escala nacional: Consejo Nacional del Agua, Medio Ambiente y Territorio; tres a nivel regional, denominados Consejos Regionales de Recursos Hídricos, y 13 Comisiones de Cuencas y Acuíferos. Cada una tiene composición tripartita, con miembros del gobierno (nacional y subnacional), usuarios (público y privado) y sociedad civil (organizaciones sociales y no gubernamentales, sindicatos, instituciones docentes y académicas). Estos nuevos espacios se definen como órganos de coordinación, consultivos, deliberativos y de asesoramiento, no vinculantes, supervisados por el Ministerio de Ambiente (Trimble et al., 2021).

La primera comisión de cuenca en Uruguay se estableció en el año 2010, precisamente en Laguna del Sauce. Las comisiones de cuenca representan una importante innovación en el esquema institucional uruguayo. Constituyen estructuras puente que procuran asegurar la coordinación inter e intrainstitucional, y la interacción entre los niveles nacional y subnacional, incorporando simultáneamente la participación de los principales usuarios. La comisión de cuenca de Laguna del Sauce se ha caracterizado por varios atributos: es un espacio que ha funcionado de forma regular e ininterrumpida durante doce años; el conjunto de actores públicos y privados cuenta con una importante capacidad de generación de propuestas y acciones. Esto lo demuestra la elaboración del Plan de Acción de Laguna del Sauce; los aportes al Plan de Ordenamiento Territorial de la cuenca, el proceso actual de construcción del Plan de Gestión de la Cuenca. Además, es importante considerar la construcción de programas de monitoreo interinstitucionales y de desarrollo de conocimiento en la interacción entre cuadros técnicos y académicos que ha permitido contar con sistemas de predicción de ocurrencia de floraciones de cianobacterias y evaluar el aporte de nutrientes.

En contextos de múltiples cambios y considerable incertidumbre, los sistemas de gestión deben evolucionar para lograr incorporar un manejo adecuado de la incertidumbre y promover el aprendizaje y la mejora continua (Pahl-Wostl, 2015). Laguna del Sauce cuenta con una considerable acumulación de información científico-técnica. En los últimos años se ha incrementado la capacidad de

monitoreo, análisis y predicción. La experiencia de la Comisión de Cuenca de Laguna del Sauce demuestra que se puede incrementar la capacidad predictiva de la ocurrencia de floraciones de cianobacterias o cambios bruscos en propiedades físico-químicas claves como turbidez o pH (Crisci et al., 2017a, 2017b; Madina-González et al., 2021), a través de interacciones interdisciplinarias e interinstitucionales. Por otra parte, demuestra que una parte importante de los recursos humanos y de infraestructura son capacidades actualmente disponibles. Sin embargo, los recursos humanos relacionados con los avances indicados desempeñan una diversidad de tareas y obligaciones en sus respectivas instituciones, por lo que el tiempo destinado al mejoramiento de la capacidad predictiva es limitado y no funcional a la problemática planteada.

La dinámica futura de la eutrofización, los posibles incrementos de la variabilidad climática, el desconocimiento de aspectos fundamentales (causalidad) de las interferencias de sabor y olor, y la evolución y novedades emergentes de otros factores intervinientes exigen importantes cambios organizacionales que mejoren la capacidad de predicción y anticipación.

Las construcciones transdisciplinarias constituyen por el momento la gran barrera a superar, si bien la elaboración del Plan de Gestión de Cuenca demuestra avances muy interesantes. El proceso actual de construcción del Plan de Gestión de la Cuenca de Laguna del Sauce implica un grado de avance sustancial en la consolidación de acuerdos y propuestas que emergen de la interacción de los múltiples actores involucrados en la gestión de los recursos hídricos del territorio. El trabajo en la elaboración del plan ha generado varios beneficios previos a su redacción definitiva y aprobación. Entre estos destacan la identificación y sistematización de un conjunto de asuntos críticos de especial interés para la gestión del agua: desequilibrio entre disponibilidad y demanda; pérdida de calidad de los recursos hídricos e integridad ecológica; afectaciones a la morfología del curso; impactos del escurrimiento de las aguas en las ciudades; soluciones de saneamiento individual poco efectivas; debilidad de herramientas y procedimientos administrativos para la gestión; información insuficiente en procesos claves de toma de decisión; debilidad en la divulgación, formación e investigación sobre el agua; impactos de eventos extremos como sequías e inundaciones; potenciales riesgos asociados a la infraestructura hidráulica. En el proceso de identificación

de los temas claves también se contempló alternativas para atender y superar estos asuntos críticos en proyectos y programas, así como posibles sinergias y articulaciones para hacer más efectivo el trabajo de cada actor público y privado involucrado. Actualmente existen aproximadamente 24 proyectos y programas que abordan aspectos críticos identificados en el marco de las líneas directrices y metas marcadas por el Plan Nacional de Aguas. Esto representa una línea de base programática territorial para la planificación de futuras acciones.

La comisión de cuenca presenta desafíos en su modelo de gobernanza como la excesiva centralización, fragmentación inter e intrainstitucional en la aplicación de los acuerdos, y su carácter consultivo (no vinculante). Son factores claves que condicionan los limitados avances en las fases de implementación y control de las acciones y estrategias acordadas. Asimismo, las instituciones públicas no logran internalizar los roles deliberativos de las comisiones, ni los importantes cambios introducidos en la normativa de los procesos de toma de decisión.

El conjunto de disciplinas académicas y profesionales vinculadas a la gestión del agua tiene relaciones de poder particulares y se posicionan de distinto modo en la red de actores. Las disciplinas ocupan lugares claramente asignados en el sistema institucional, de investigación y producción de conocimiento, y en el ejercicio profesional. Desde ahí se construyen miradas particulares (fundamentalmente sectoriales), las relaciones entre los actores tienden a basarse en una tradición más disciplinaria. En este escenario la incertidumbre se considera una falla del ámbito de generación de conocimiento y no una propiedad intrínseca de los sistemas complejos. Estos lineamientos paradigmáticos plantean grandes desafíos para las aproximaciones inter o transdisciplinarias. Las dificultades reseñadas alcanzan su máxima expresión cuando se procura transitar hacia la transdisciplinariedad. La incorporación de diferentes sistemas de conocimiento y saberes continúa generando múltiples dificultades a los ámbitos técnicos y académicos. Por tanto, la comisión actual demanda capacidades de facilitación y construcción de diálogos de saberes, superación de asimetrías de poder e información, así como el desarrollo de estrategias efectivas de comunicación y gestión de las controversias.



Trabajo en dinámica de talleres vinculado a la construcción del Plan Director de OSE para el Departamento de Maldonado.

La institucionalidad pública de la comisión de cuenca comprende representantes del Ministerio de Ambiente, el Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca y el Ministerio de Vivienda y Ordenamiento Territorial. A nivel departamental participan representantes de direcciones departamentales del ámbito ejecutivo de la Intendencia Departamental y de la Junta Departamental (ediles). En este ámbito participan representantes de algunos municipios de la cuenca hidrográfica y del territorio hidrosocial asociado. Los usuarios en la comisión de cuenca se integran con representantes de la OSE-UGD, asociaciones de vecinos y de los sectores vinculados a la producción. El sector académico se encuentra representado por integrantes de la Udelar y del Instituto SARAS.

La comisión de cuenca muestra una conformación flexible, particularmente, en la incorporación de asociación de la sociedad civil que desean participar y colaborar. Sin embargo, actores públicos claves del nivel nacional no se incorporan, por ejemplo, los Ministerios de Turismo y de Economía.

5.2. ORDENAMIENTO Y PLANIFICACIÓN TERRITORIAL

Los instrumentos de ordenamiento territorial son claves en el fortalecimiento de la gobernanza de la cuenca. El marco normativo de la Ley de Ordenamiento Territorial y Desarrollo Sostenible (2008) representa un conjunto de normas que promueve un desarrollo integral del territorio, la articulación de escalas y niveles de gobierno y, finalmente, contempla la participación de los actores involucrados. Sin embargo, las brechas entre las capacidades y posibilidades que brinda el marco normativo y la práctica habitual son considerables.

El marco normativo vigente establece un rol clave de los niveles departamentales en la conducción y liderazgo de la aplicación de la ley. En este sentido, un importante desafío para los niveles subnacionales ha sido la construcción de capacidades en la materia. La Dirección de Ordenamiento Territorial (DINOT), actualmente en el Ministerio de Vivienda y Ordenamiento Territorial, constituye el nodo principal en el nivel nacional. Todos los procesos de aprobación de los instrumentos previstos en la ley cuentan con el análisis de la DINOT y la aprobación de las juntas departamentales.

La ley prevé la participación (en el sentido profundo del término) de los actores del territorio a través de espacios consultivos sobre los distintos instrumentos que comprende. En las audiencias públicas contempladas se constata un considerable desconocimiento y descreimiento del marco legal e institucional, e igualmente de la idoneidad de las evaluaciones técnicas asociadas, por una parte de las organizaciones civiles. Diversos actores califican los procedimientos participativos previstos en la ley, coloquialmente como un “saludo a la bandera”.

El departamento de Maldonado resultó un pionero en la aplicación de la ley y formuló las Directrices Departamentales en un proceso consultivo muy amplio (Acuña et al. 2009; Acuña et al. 2013). Sin embargo, ese proceso virtuoso se fue erosionando con el tiempo por diversos motivos. La administración de los conflictos e incorporación de visiones de la academia, o compartidas por organizaciones de la sociedad civil fueron, en general, no consideradas o se incluyeron de una forma muy parcial o limitada. Al mismo tiempo, en la alternancia de partidos y coaliciones de gobiernos se han observado importantes divergencias sobre el rol del Estado en el ordenamiento del territorio. En algunos períodos, estos procesos han quedado supeditados exclusivamente a la dinámica del capital y la especulación, exponiendo claramente que fenómenos analizados a nivel global de participación de grandes capitales internacionales en la producción inmobiliaria (*sensu* Harvey, 2014). En este contexto, existen facilidades otorgadas por gobiernos nacionales y locales para posibilitarla, se encuentran presentes tanto en los territorios costeros como en el medio rural del nivel departamental y nacional (Gadino et al. 2022; Hidalgo et al., 2014; Sousa et al., 2016; Van Noorloos, 2015, entre otros).

Los instrumentos de la gestión ambiental asociados, como las evaluaciones de impacto ambiental o las evaluaciones estratégicas, presentan considerables debilidades, tanto desde el punto de vista técnico como en el diseño de los procedimientos, por su falta de independencia con relación a los inversores o proponentes (Gadino y Taveira, 2020). Este aspecto erosiona seriamente la credibilidad de las reglas de juego que la sociedad en su conjunto plasmó en la normativa.

Además de las dificultades señaladas, la elaboración del Plan de Ordenamiento Territorial de la cuenca de Laguna del Sauce, actualmente en proceso de aprobación de la Junta Departamental, revela considerables desafíos a superar. Existe una

escasa experiencia de ordenamiento de matrices rurales en Uruguay. La incorporación de campos de conocimiento vinculados a la gestión de los servicios ecosistémicos y la inclusión de los procesos ecosistémicos que los aseguran, la valoración de estos procesos y los bienes y servicios asociados, así como la distribución de sus beneficios en el conjunto de la sociedad, están muy acotados hasta el presente. Las divergencias entre cuadros técnicos del nivel nacional y departamental durante la elaboración del plan indicado permitieron identificar considerables diferencias que se han mantenido por el lapso de años. De hecho, el proceso de construcción y aprobación del plan ha superado los nueve años y todavía no culmina.

Finalmente, la capacidad de prevención, anticipación y adaptación de los territorios a cambios de factores climáticos o del uso del suelo, también es muy limitada. Por lo tanto, predominan estrategias fundamentalmente reactivas a partir de la gestión de las consecuencias y a partir de crisis asociadas.

5.3. GESTIÓN DE SISTEMAS PRODUCTIVOS

La importancia del sector agropecuario en la cuenca determina el MGAP sea un actor clave en el caso de estudio. Este ministerio cuenta con múltiples direcciones y programas, entre los que se destaca la Dirección General de Desarrollo Rural (DGDR), por los vínculos entre los productores y la institucionalidad pública. La DGDR fue creada por la ley 17930 del Presupuesto Nacional 2005-2010, y comenzó a funcionar en abril de 2008. Es responsable de diseñar las políticas diferenciadas para la actividad agropecuaria, con el objetivo de alcanzar el desarrollo rural con una nueva concepción de modelo de producción, basado en la sustentabilidad económica, social y ambiental y con la participación de los actores en el territorio.

El diseño de políticas sectoriales debe ser capaz de superar las limitaciones de los modelos productivos anteriores, con el objetivo de lograr una justa participación de productores, asalariados y sociedad en el reparto de la riqueza generada. El desarrollo rural trasciende el ámbito estrictamente agropecuario, por lo que constituye en su esencia un esfuerzo integrador de toda nuestra sociedad y tiene como objetivo central la población rural.



Zonas de amortiguación o buffer entre los agroecosistemas y Laguna del Sauce.

La DGRN ha desempeñado un papel clave en las últimas dos décadas en la conservación y uso de suelo. El diseño e implementación de los planes de uso y manejo del suelo constituye un pilar reconocido a nivel regional y global, que contribuye directamente a la gestión del suelo y el agua. Sobre este pilar se puede explorar la superación de desafíos como un uso más eficiente y sostenible de fertilizantes y plaguicidas. En este sentido, es fundamental pensar en modificaciones de este instrumento específico para cuencas destinadas al suministro de agua potable, que permita incorporar la diversidad de actividades productivas, así como requerimientos específicos que aseguren una adecuada cosecha de agua.

Un componente clave en el proceso de descentralización del MGAP han sido las Mesas de Desarrollo Rural. Este ámbito de articulación intra e interinstitucional facilita la implementación, construcción y seguimiento de las políticas públicas en los territorios rurales, promoviendo la organización de la población y su participación. Se entienden como unidades que coordinan las acciones del MGAP en todo el territorio nacional y la articulación con la institucionalidad público-privada promoviendo el desarrollo sustentable en los territorios rurales.

El MGAP cuenta con una multiplicidad de estrategias y planes para incrementar la capacidad de adaptación a los períodos de sequía a través de créditos para la construcción de reservorios de agua (tajamares) o apoyo a la adquisición de forrajes. Al mismo tiempo, ha logrado importantes avances en la capacidad de seguimiento de las sequías y en propuestas para la evaluación de la capacidad de adaptación de sectores productivos (Plan de adaptación al cambio climático de sectores productivos, 2019). En síntesis, la trayectoria de acciones y planes vinculados directa o indirectamente a la gestión de las causas y consecuencias de los períodos de déficit hídrico permite generar ciclos de evaluación, mejora y ajuste tomando en consideración la experiencia acumulada.

Finalmente, es importante destacar las líneas de acción vinculadas al diseño de transiciones productivas más sostenibles a través de diversos proyectos (INIA, proyecto Banco Mundial), así como la promulgación y aplicación de la Ley de Agroecología. Este conjunto de instrumentos constituye un avance importante en el control y sustitución de insumos externos (fertilizantes, plaguicidas), y por lo tanto

en una mayor conservación del suelo, agua y biodiversidad. Dichas estrategias también contribuyen a una mejor adaptación a la variabilidad climática, reducción de los efectos de gases invernadero y conservación de la biodiversidad. Paulatinamente, se observa una mayor coordinación entre las agendas de desarrollo y equidad, climática y biodiversidad, fuertemente impulsada por el financiamiento de la cooperación internacional. Todos estos procesos tienen consecuencias en los procesos de eutrofización de los sistemas acuáticos.

En el ámbito de la cuenca de Laguna del Sauce es importante destacar la presencia y rol de la oficina regional del MGAP, localizada en San Carlos, así como su participación y liderazgo en las mesas de desarrollo territoriales. Este ámbito y otras direcciones del MGAP participan en la Comisión de Cuenca de Laguna del Sauce.

MENSAJES CLAVES PARA EL ANÁLISIS DE RIESGO

El Uruguay y el territorio analizado cuentan con marcos normativos vinculados a la gestión de los principales capitales naturales que contemplan mecanismos de articulación intra e interinstitucional, e internivel de gobierno, y con espacios participativos de la sociedad civil. Sin embargo, las considerables brechas entre la normativa vigente y su funcionamiento real limitan la capacidad de adaptación y anticipación a los cambios globales y locales. La fragmentación persiste en su máxima expresión en la implementación, fiscalización y seguimiento de los acuerdos y comprende también a las estructuras puente como las comisiones de cuenca o mesas de desarrollo.

6. Interacciones y respuestas

6.1. CRISIS: CAUSAS Y EFECTOS

En la trayectoria reciente ocurren tres importantes crisis en el suministro de agua potable con diferente visibilidad pública. La primera aconteció en el otoño de 2015, luego del colapso de una importante floración de cianobacterias, y estuvo asociada a interferencias de sabor y olor en el suministro de agua potable cuya causalidad no ha podido establecerse. Inmediatamente posterior al evento indicado, Laguna del Sauce desarrolló una floración de una cianobacteria tóxica (*Raphidiopsis raciborskii*) con una producción elevada y persistente de saxitocina (neurotoxina) que planteó serios desafíos y dificultades a la planta potabilizadora de agua. En el mes de diciembre de 2015 tuvo lugar un nuevo colapso en el suministro de agua potable por colmatación de filtros debido a modificaciones bruscas del pH del agua asociadas a floraciones de cianobacterias que interfirieron con los procesos de floculación y filtración. En 2017 hubo un período de lluvias extraordinarias que ocasionaron la inundación de casas y generó un debate sobre el manejo de la represa, cuya capacidad de manejo del nivel de la laguna es muy limitada.

De acuerdo con la dinámica temporal de los sistemas socioecológicos (Gunderson y Holling 2002; Cosens y Holling 2018), dichas crisis generaron múltiples cambios, siempre en un formato muy reactivo. El Plan de Acción de Laguna del Sauce, elaborado en 2011 por la Comisión de Cuenca, fue finalmente aprobado por las instituciones públicas encargadas de su implementación en 2015, luego de la considerable crisis por interferencias de sabor y olor. Este proceso permitió incorporar un aprendizaje colectivo importante: las ventanas de oportunidad para el cambio son muy acotadas y generalmente se vinculan a la emergencia de crisis. Los cambios ocurren por una combinación de ventanas de oportunidad y preparación previa. Además de la aprobación del Plan de Acción, las respuestas más

destacables han sido la generación de programas de monitoreo interinstitucionales que permiten anticipar floraciones de cianobacterias potencialmente tóxicas, así como una mayor articulación e interacción entre las instituciones públicas en la gestión de la laguna y su cuenca asociada (Crisci et al., 2017a, 2017b; González-Madina et al., 2021).

Sin embargo, persisten múltiples vacíos de información e incertidumbres considerables. Los avances en el campo del conocimiento han sido sustentados por las instituciones del ámbito público (OSE, OSE-UGD, MA, MGAP, Udelar, Instituto SARAS), a través de distintas fuentes de financiamiento, convenios, proyectos, tesis de grado y posgrado, recursos de diversas agencias de investigación nacionales e internacionales. La considerable dependencia de fondos concursables y la inestabilidad en algunos mecanismos de financiamiento interinstitucionales determina que los avances en el conocimiento generalmente no se acoplen a las demandas del ámbito de gestión, particularmente, en los tiempos requeridos. Resulta entonces recomendable consolidar el monitoreo y seguimiento de la evolución de los sistemas, para dar soporte a la toma de decisiones y definir estrategias anticipatorias de interferencias en los procesos de potabilización del agua.

6.2. DIVERGENCIAS CLAVES

Existen múltiples divergencias en la gestión del agua que resultan determinantes para entender la dinámica de trabajo, así como los principales avances y limitaciones. Tanto en la cuenca de Laguna del Sauce como a nivel nacional persiste una divergencia profunda respecto al carácter no vinculante de las comisiones de cuenca. Es importante destacar que el modelo uruguayo funciona mediante el control social, muy limitado por el momento, debido a la ausencia de plataformas de comunicación que permitan conocer y contribuir a la agenda de trabajo; comprender la causalidad y consecuencias de las principales problemáticas y desafíos; contribuir al diseño de alternativas superadoras; conocer el grado de avance en la implementación de los acuerdos (planes, estrategias). Estos aspectos son desconocidos para la sociedad en su conjunto. Además, existe el supuesto de que la transformación a un modo vinculante puede generar un cambio inmediato. Esto no tiene en cuenta los problemas asociados a la excesiva burocratización, las limitaciones de participación para

actores de la sociedad civil, la inflexibilidad en la conformación e interacciones de la red de actores vinculados.

Otro aspecto controvertido a tener en cuenta es el papel de diferentes actividades antrópicas en la causalidad de los procesos de eutrofización o de otro tipo de deterioro de la calidad del agua. En particular, la importancia de los aportes difusos sobre los puntuales de nutrientes ha concentrado una parte importante de los debates y las disputas académicas y corporativas. La incorporación de la siembra directa tuvo un rol relevante en el control de la erosión de suelo, pero no logró anticipar cambios en la dinámica de aporte de nutrientes desde los agroecosistemas hacia los ecosistemas acuáticos (Goyenola et al., 2021). En el caso de Laguna del Sauce, sistema muy sensible a los procesos de eutrofización por su reducida profundidad y considerable tiempo de retención, cada uno de los aportes (puntuales o difusos) puede generar por sí solo condiciones de eutrofización (Levrini, datos no publicados).

El impacto de la forestación de *Eucalyptus* sobre el rendimiento hidrológico en cuencas del Uruguay (Silveira y Alonso, 2009; Silveira et al., 2016) y su potencial impacto en el tiempo de residencia de ecosistemas lénticos en períodos secos ha generado importantes divergencias e impedido la implementación de criterios claves en el ordenamiento territorial. Los impactos observados en períodos de sequía sobre el rendimiento hidrológico no son correctamente incorporados en cuencas con sistemas de agua quietos (lénticos), en particular, los efectos en el tiempo de retención. En la cuenca de Laguna del Sauce, al igual que en el resto del país, la precaución y la anticipación en la materia son atributos ausentes por el momento.

Las controversias se focalizan también en el campo de los modelos productivos y de desarrollo, en la sostenibilidad de una economía fundamentalmente primaria, totalmente dependiente del uso de recursos naturales y con múltiples externalidades consideradas negativas (en términos ambientales, sociales y económicos) (Mazzeo et al., 2021). En este punto, se genera un amplio debate entre conservación y modificación de los ecosistemas, que es compleja y genera problemas epistémicos, nuevas exigencias en el campo económico, aportes de diferentes campos de conocimientos y técnicas, resiliencia e integridad de los ecosistemas.

La gestión del agua invita a generar espacios donde el recurso sea entendido como participante de la red de actores económicos y en relación con dinámicas ecosistémicas que determinan su disponibilidad y calidad. Estos espacios pueden hacer que el agua tome relevancia como un agente que establece límites a los efectos antrópicos basados en modelos económicos que no reconocen los límites propios de los servicios que prestan los ecosistemas y afectan la seguridad hídrica. Estas divergencias limitan seriamente el ordenamiento territorial de cuencas destinadas al suministro de agua potable que requieren asegurar procesos ecosistémicos. Para esto es necesaria una gestión a escala predial y multipredial, planificación multi-sectorial de actividades productivas y distribución de los beneficios de una adecuada cosecha de agua en el conjunto de la sociedad.

Por otra parte, en los últimos años se constatan importantes transformaciones productivas con similares tendencias en el nivel nacional y el departamental. El incremento de las áreas forestadas y de cultivos de secano en la cuenca de Laguna del Sauce ilustra esta afirmación. Si bien el área de cultivos de secano del caso analizado es pequeña en relación con el área total de la cuenca, esta se encuentra fundamentalmente en predios vecinos al cuerpo de agua. En algunos casos se trata de suelos de escasa profundidad y con pendientes importantes y, por lo tanto, considerable riesgo de erosión. Los planes de uso y manejo de suelo del MGAP representan un importante avance si efectivamente se aplican, se controlan y se evalúa su efectividad. Al mismo tiempo, en cuencas destinadas al suministro de agua potable es necesario incorporar buenas prácticas adicionales que regulen la aplicación de plaguicidas y las prácticas de fertilización, principal causa de la eutrofización.

Las obras e inversiones en infraestructura son acciones complejas, que vinculan diversos actores de la red. En ellas se juega la solución a problemas críticos y claves en relación con el agua: nuevas capacidades o tratamientos en la potabilización del agua potable; cobertura de saneamiento de centros poblados y zonas suburbanas; dique con una mayor capacidad de manejo del nivel del reservorio. Los actores públicos no suelen ponerse de acuerdo en cuáles son las mejores medidas para resolver problemas, y se plantean soluciones que se debaten, se imponen, quedan suspendidas, se desechan o se reviven en función de la dinámica de actores que se movilizan por los puestos de gestión. En esto influyen las dinámicas de los partidos políticos, distintas visiones de la ingeniería, aspectos económicos, diversos resultados de consultorías, personalidades y grupalidades.



Laguna del Potrero, sector próximo a la conexión con Laguna del Cisne. Matriz urbana correspondiente a La Capuera, parte de las construcciones sobre los márgenes corresponde a espacios públicos.

6.3. EMERGENTES

La modalidad de turismo residencial y turismo de segundas residencias que caracteriza a nuestro país implica formas de usos del suelo cada vez más expansivas (chacras turísticas, barrios cerrados, resorts all inclusive). Esto ha promovido transformaciones de suelos rurales a suburbanos en grandes sectores, particularmente al sur de la ruta 9, condicionando el crecimiento de la demanda de servicios básicos, muy esparcida en el territorio. La velocidad y magnitud de estas transformaciones (escala espacial, inversión, cantidad de usuarios en breves períodos de tiempo), sumadas al escaso número de instrumentos de ordenamiento territorial aprobados o aplicados hasta el momento, generan un escenario de falta de previsión en la provisión de servicios fundamentales (p. ej., agua y saneamiento). Expresado en forma sintética, las decisiones territoriales tienen una impronta dirigida a favorecer en el corto plazo al mercado inmobiliario e industrias asociadas, con una muy escasa incidencia de aspectos fundamentales de la sostenibilidad.

La discontinuidad y los cambios de rumbo en los lineamientos y políticas de ordenamiento territorial durante los últimos cuatro gobiernos departamentales impiden el establecimiento de reglas claras de juego que permitan compatibilizar y generar sinergias entre los diferentes servicios ecosistémicos que provee el territorio y que aseguren su desarrollo socioeconómico y la provisión de bienes y servicios imprescindibles. Actualmente, la dinámica de las transformaciones del uso del suelo está dominada, en gran medida, por la dinámica del mercado, con independencia de su sostenibilidad en el tiempo, lo que afecta adversamente a los propios atractores del desarrollo económico.

El análisis a largo plazo de los usos del territorio en el departamento de Maldonado tiene un evidente vínculo con el desarrollo del turismo. Hasta el momento, el departamento promueve las inversiones internacionales inmobiliarias, como forma de mantener la posición alcanzada como destino de élite, así como el empleo y las finanzas departamentales. Algunos de los aspectos negativos de los desarrollos que propician las especulaciones inmobiliarias ya son visibles en el territorio: capacidad de carga de los territorios sobrepasada; pérdida de servicios ecosistémicos por el uso turístico en el lugar; fuerte fragmentación socioterritorial, desplazamiento de poblaciones locales (gentrificación verde) (Gadino et al., 2018).

Las transformaciones en curso y el aseguramiento de servicios como el suministro de agua potable requieren la incorporación de la dimensión de sostenibilidad en toda práctica pública o privada, en particular, en los modelos o estrategias de desarrollo. El ordenamiento territorial debe ser analizado en clave de sostenibilidad de todos sus aspectos, superando el predominio de la fragmentación generado por las planificaciones sectoriales y el cortoplacismo. Los desafíos planteados y la resolución de las externalidades negativas indicadas requieren avanzar urgentemente sobre definiciones que trasciendan los períodos de gobierno departamentales. Estas definiciones deben incorporar capacidades y competencias en el uso del futuro, para generar construcciones colectivas de sentido compartido con la comunidad (pobladores permanentes, productores, propietarios, empresarios, actores de gobierno y academia), y la definición de objetivos claros y defendibles, que determinen las acciones a seguir por todos los gestores territoriales. Una parte considerable de la problemática de las fuentes de agua potable requiere transformaciones muy importantes en las capacidades de análisis y gestión del territorio. Considerando el horizonte de tiempo de trabajo al 2030, resulta esperable que gran parte de las dificultades y limitaciones comentadas perduren durante la mayor parte o todo el período analizado.

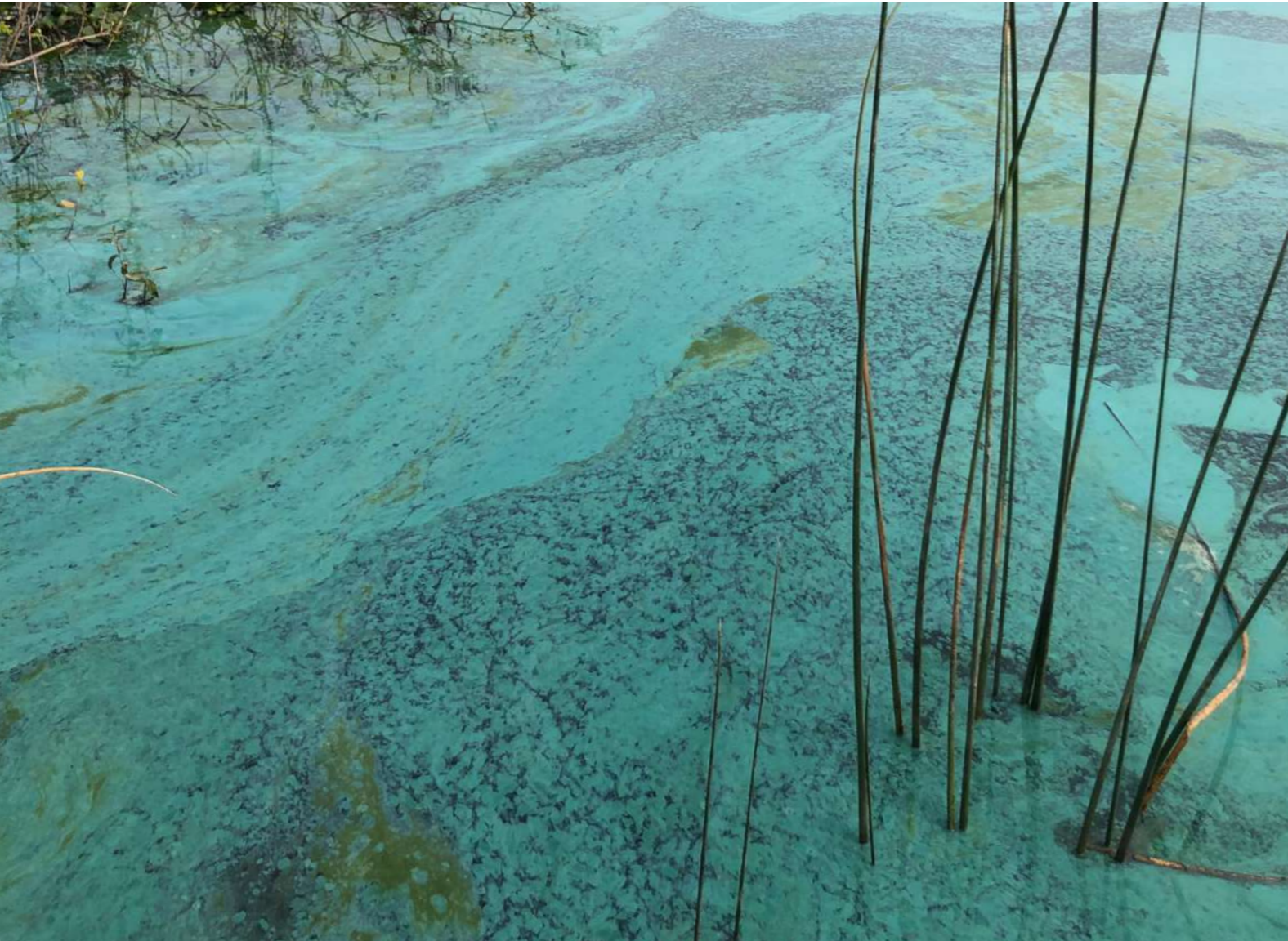


Chacras turísticas localizadas en la margen E de Laguna del Sauce.

6.4. REHABILITACIÓN DE LA CUENCA DESDE LA PERSPECTIVA DE LA SEGURIDAD HÍDRICA

La restauración de la cuenca implica retornar a una condición previa a la ocurrencia de grandes perturbaciones o disturbios. En el caso de Laguna del Sauce implicaría, entre otras medidas, eliminar el represamiento y la forestación del sistema dunar costero o del resto de la cuenca. El retorno a una configuración histórica, propia del manejo de recursos naturales o del manejo ecosistémico (Chapin et al., 2009), plantea considerables inconvenientes: una importante reducción de la reserva de agua; modificaciones sustanciales en los sistemas de bombeo del agua bruta; modificaciones del sistema dunar costero (y desarrollo inmobiliario asociado) y de los sistemas productivos. Por lo expuesto, resulta recomendable recorrer estrategias de rehabilitación dentro de un contexto de gestión y cuidado de ecosistemas basado en la resiliencia (Chapin et al., 2009). Dentro de este marco teórico, el objetivo es alcanzar una configuración del sistema que asegure el conjunto de servicios ecosistémicos identificados como claves y el portafolio de opciones de desarrollo de la actualidad en el futuro. Desde esta perspectiva, la gestión no se centra exclusivamente en los sistemas naturales sino en los sistemas socioecológicos.

La rehabilitación de Laguna del Sauce requiere en primer lugar el control o la eliminación de las causas que deterioran la calidad del agua. El primer paso lo constituye el control de los aportes puntuales y difusos de nutrientes. Los avances en la construcción de sistemas de saneamiento en el departamento de Maldonado, en particular en la cuenca de Laguna del Sauce, permitirá controlar en el corto plazo una parte importante de los aportes puntuales de nutrientes. Sin embargo, el control de los aportes difusos representa el mayor desafío en los procesos de rehabilitación de sistemas eutróficos a nivel global (Moss, 2008). Esto requiere la incorporación de buenas prácticas y el abandono de algunos manejos y prácticas tradicionales, tanto en la agricultura como en la ganadería. Implica implementar una fertilización acorde con los niveles de nutrientes del suelo y la demanda del cultivo, limitar el acceso del ganado directamente a los cursos de agua y, finalmente, el manejo adecuado y conservación de la vegetación riparia (ribereña) y de las zonas de humedales.



Floración de *Dolichospermum* spp.
en la desembocadura del Arroyo
Sauce.

La acumulación de nutrientes en la trayectoria histórica genera una importante resiliencia del sistema. En términos simples, el sistema puede presentar niveles elevados de nutrientes por un lapso prolongado (inclusive décadas) a pesar del control efectivo de los aportes puntuales y difusos. Por lo tanto, resulta altamente recomendable analizar e implementar estrategias de manejo interno: control de la carga interna de nutrientes, manejo del exceso de biomasa de plantas acuáticas, aplicación de técnicas de biomanipulación, control de la pesca de predadores topos. Algunas de estas medidas pueden utilizarse adicionalmente como estrategias de shock en circunstancias muy adversas, por ejemplo, el secuestro químico del fósforo. Sin embargo, es importante respetar la secuencia de acciones indicadas, a efectos de implementar programas de rehabilitación exitosos y económicamente sostenibles: 1) control del aporte externo de nutrientes; 2) control del aporte interno de nutrientes; y 3) biomanipulación.

Los programas de rehabilitación exitosos requieren de un funcionamiento adecuado y muy diferente al de la configuración actual del sistema de gobernanza del agua (véase punto 5). Finalmente, los cambios en la variabilidad climática amplificarán los procesos de eutrofización e incrementarán sus consecuencias adversas. Por lo tanto, el incremento de la capacidad de adaptación frente al cambio climático implica el control de las causas de la eutrofización y una administración cuidadosa del uso del agua.

MENSAJES CLAVES PARA EL ANÁLISIS DEL RIESGO

La principal problemática ambiental del sistema de Laguna del Sauce (interferencias en el suministro de agua potable) es posible de resolver. Para ello se requiere de una colaboración y cooperación interinstitucional e involucramiento del conjunto de la sociedad sustancialmente mayores a los observados en el presente. Los recursos económicos necesarios para un avance efectivo en la materia no han sido estimados en su totalidad, pero probablemente signifique sumas millonarias en dólares.

El desfase en la priorización de la recuperación de Laguna del Sauce entre el nivel nacional y el departamental en los últimos períodos de gobierno ha dificultado el avance. La trayectoria histórica demuestra que

los cambios, por el momento, ocurren asociados a las crisis en el suministro de agua y con una escasa capacidad de anticipación.

El cambio de la dinámica antes indicada implica importantes transformaciones políticas y culturales, por lo cual, es posible prever una considerable inercia en ausencia de crisis importantes. Es recomendable generar capacidades y competencias anticipatorias endógenas en la estructura organizacional, vinculadas a la gestión del agua, superadoras de la cultura del bombero (ver figura 15).



Figura 15. Síntesis de factores y procesos que condicionan la seguridad hídrica. Los factores por fuera del círculo celeste son denominados de estado, presentan cambios que operan en escalas temporales considerables (por ej. miles de años). Los factores indicados dentro del círculo, por el contrario, presentan cambios en escalas temporales menores y son denominados interactivos, es decir condicionan la seguridad hídrica y esta a los factores. A modo de ejemplo, la seguridad hídrica influye en el desarrollo socio-económico, y el desarrollo impacta en la seguridad hídrica.

Referencias

1. Acuña, C., De Souza, L., Leicht, E., Musso, C., Vainer, D., Varela, A. (2009). Cuadernos Territoriales. Construyamos el territorio departamental entre todos. Montevideo, Iconoprint.
2. Acuña, C., De Souza, L., Gadino, I., Leicht, E., Musso, C., Vainer, D., Varela, A., Finozzi, A., Osimani, V., Pastorino, S., Plada, A. (2013). Aglomeración Maldonado - Punta del Este - San Carlos. Enfoques y propuestas hacia un modelo transformador. Montevideo, Udelar-Mosca Hnos.
3. Alonsopérez, M. J. (2015). Análisis primario de las segundas residencias en Maldonado. Reporte técnico en el marco del Observatorio Turístico de Maldonado. Montevideo, Ministerio de Turismo.
4. Alonsopérez, M. J., Bertoni, A., y Castrillejo, A. (2009). Indicadores de la actividad turística. Maldonado se proyecta. Reporte técnico en el marco del convenio Oficina de Planeamiento y Presupuesto y la Intendencia de Maldonado.
5. Altmark, S., Larruina, K. 2021. Actualización de los indicadores de rentabilidad y competitividad turística de Uruguay. Seminario Iesta. Facultad de Ciencias Económicas y de Administración.
6. Barreiro, M., Arizmendi, F., y Trinchin, R. (2019a). Variabilidad y Cambio Climático en Uruguay. Material de capacitación dirigido a Técnicos de Instituciones Nacionales. Plan Nacional de Adaptación Costera de Uruguay. Convenio MVOTMA-UdelaR, Proyecto PNUD-URU/16/G34.
7. Barreiro, M., Arizmendi, F., y Trinchin, R. (2019b). Variabilidad observada del clima en Uruguay. Informe Técnico Plan Nacional de Adaptación Costera y el Plan Nacional de Adaptaciones en Ciudades, Convenio MVOTMA-Facultad de Ciencias. Proyecto Fortalecer las capacidades de Uruguay para la adaptación al cambio climático en la zona costera.
8. Barreiro, M., Arizmendi, F., Díaz, N., y Trinchin, R. (2021a). Análisis del clima y escenarios de cambio y variabilidad climática en Uruguay. CONVENIO PNUD-UDELAR, Proyecto URU/18/002: Integración del enfoque de adaptación en ciudades, infraestructura y ordenamiento territorial en Uruguay.
9. Barreiro, M., Arizmendi, F., Díaz, N., y Trinchin, R. (2021b). Análisis de la variabilidad y tendencias observadas de los vientos en Uruguay. CONVENIO PNUD-UDELAR Proyecto URU/18/002: Integración del enfoque de adaptación en ciudades, infraestructura y ordenamiento territorial en Uruguay.
10. Bidegain, M., Crisci, C., del Puerto, L., Inda, H., Mazzeo, N., Taks, J. y Terra, R. (2013). Variabilidad climática de importancia para el sector productivo. En: Clima de cambios, nuevos desafíos de adaptación en Uruguay. Compilación. Oyhantcabal, W., Sancho, D. y M. Galvan, M. (eds). FAO-MGAP. pp: 43-99.
11. Boelens, R., Hoogesteger, J., Swyngedouw, E., Vos, J. y Wester, P. (2017). Territorios hidrosociales: una perspectiva desde la ecología política. En: Recursos, vínculos y territorios. Inflexiones transversales en torno al agua. Villamizar, C. y Astudillo Pizarro, F. (compiladores). Universidad Nacional del Rosario. pp. 85-104.
12. Budds, J. y Linton, J. (2018). El ciclo hidrosocial: Hacia un abordaje relacional y dialéctico del agua. En Agua, equidad y justicia: el papel de las relaciones de poder en la asignación, uso y gobernanza de recursos hídricos en Los Andes. Budds, J., y Roa García, M.C. (eds.). Editorial PUCP, Lima. pp: 29-48). Lima, Perú
13. Cabot, M., Pírez, M., Cappuccio, L., Pastorino, G., Guillén, J., y Silvera, N. (2020). Nuevos enfoques para viejos problemas. Construcción de alternativas para la gestión ambiental de la cuenca de Laguna del Sauce. Tekoporá. Revista Latinoamericana de Humanidades Ambientales y Estudios Territoriales 2(1), 169-182.
14. Cosens, A. y Gunderson, L. (2018). An introduction to practical panarchy: linking law, resilience, and adaptive water governance of regional scale social-ecological systems. In: Practical panarchy for adaptive water governance. Cosens, A. y Gunderson, L.(eds). Springer International Publishing AG. pp: 2-16.
15. Chapin, III F.S., Folke, C. y Kofinas, G.P. (2009). A Framework for Understanding Change. In: Principles of ecosystem stewardship, Resilience-based natural resource management in a changing world. Chapin III F.S., Folke, C. y Kofinas, G.P. (eds.). Springer Science+Business Media. pp : 3-28.
16. Crisci, C., Terra R., Pacheco, J. P., Ghattas, B., Bidegain, M., Goyenola, G., Lagomarsino, J. J., Méndez, G., y Mazzeo, M. (2017a). Multi-model approach to predict phytoplankton biomass and composition dynamics in a eutrophic shallow lake. Ecological Modelling 360, 80-93.

17. Crisci, C., Goyenola, G., Terra, R., Lagomarsino, J., Pacheco, J., Díaz, I., González-Madina, L., Levrini, P., Méndez, G., Bidegain, M., Ghattas, B., y Mazzeo, N. (2017b). Dinámica ecosistémica y calidad de agua: estrategias de monitoreo para la gestión de servicios asociados a Laguna del Sauce (Maldonado, Uruguay). *INNOTEC 13*: 46–57. <https://doi.org/10.26461/13.05Innotec.0.13>.
18. Díaz, I., Levrini, P., Achkar, M., Crisci, C., Fernández Nion, C., Goyenola, G. y Mazzeo N. (2021) Empirical modeling of stream nutrients for countries without robust water quality monitoring systems. *Environments 8*: 129. <https://doi.org/10.3390/environments8110129>
19. DIEA. 2020. Anuario Estadístico Agropecuario. <https://www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/datos-y-estadisticas/estadisticas/anuario-estadistico-agropecuario-2020>
20. del Puerto, L., García-Rodríguez, F., Bracco, R., Blasi, A., Inda, H., Mazzeo, N. y Rodríguez A. (2011). Evolución climática Holocénica para el Sudeste del Uruguay: Análisis multi-proxy en testigos de lagunas costeras. En: *El Holoceno en la zona costera del Uruguay*. García Rodríguez, F. (Compilador). Unidad de Comunicación de la UdelaR. Montevideo. pp: 117-154.
21. Dolman, A.M., Rücker, J., Pick, F.R., Fastner, J., Rohrlack, T., Mischke, U. y Wiedner, C. (2012). Cyanobacteria and cyanotoxins: the influence of nitrogen versus phosphorus. *PLoS ONE 7*(6): e38757.
22. Durañona, V. (2015). Extreme wind climate of Uruguay. Tesis de doctorado *Mecánica de los Fluidos Aplicada*, Facultad de Ingeniería, Universidad de la República.
23. Gadino, I., Barindeli, N., y Goñi, A. (2018). Ordenamiento y planificación territorial en el contexto de la gestión integrada de cuencas. En: *Aportes para la rehabilitación de la Laguna del Sauce y el ordenamiento territorial de su cuenca*. Bianchi, P., Taveira, G., Steffen M. y Inda H. (eds.). Instituto SARAS, Bella Vista, Maldonado.
24. Gadino, I. y Taveira, G. (2020). Ordenamiento y gestión del territorio en zonas costeras con turismo residencial. El caso de Región Este, Uruguay. *Revista de Geografía Norte Grande 77*, 233-251. <http://ojs.uc.cl/index.php/RGNG/article/view/29201>
25. Gadino, I., Sciandro, J., Taveira, G. y Goldberg, N. (2022). Tendencias y efectos socioambientales del desarrollo inmobiliario turístico en zonas costeras de Sudamérica. El caso de Región Este, Uruguay. *Revista EURE - Revista de Estudios Urbano Regionales 48*(145). <https://doi.org/10.7764/EURE.48.145.05>
26. Gaudin, Y. (2019). Nuevas narrativas para una transformación rural en América Latina y el Caribe. *La nueva ruralidad: conceptos y medición*. CEPAL.
27. Giordano, G., Dias Tadeu, N., y Trimble, M. (2020). Análisis de la gobernanza y aprendizajes de las crisis en las cuencas de laguna del Sauce (Maldonado) y laguna del Cisne (Canelones), Uruguay. Informe técnico en el marco del Proyecto GovernAgua (SGP-HW 056). Instituto Saras, Bella Vista, Maldonado.
28. GIZ y EURAC. (2014). *The Vulnerability Sourcebook. Concept and Guidelines for Standardised Vulnerability Assessments*. Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH, Bonn
29. González-Madina, L., Pacheco, J.P., Mazzeo, N., Levrini, P., Clemente, J.M., Lagomarsino J.J., y Fosalba, C. (2017). Factores ambientales controladores del fitoplancton con énfasis en las cianobacterias potencialmente tóxicas en un lago somero utilizado como fuente de agua para potabilización: Laguna del Sauce, Maldonado, Uruguay. *INNOTEC 13*:26–35. <https://doi.org/10.26461/13.03>
30. González-Madina, L., Pacheco, J.P., Yema, L., de Tezanos, P., Levrini, P., Clemente, J., Crisci, J., Lagomarsino, J.J., Méndez, G., Fosalba, C., Goyenola, G., y Mazzeo, N. (2018). Drivers of cyanobacteria dominance, composition and nitrogen fixing behavior in a shallow lake with alternative regimes in time and space, Laguna del Sauce (Maldonado, Uruguay). *Hydrobiologia 829*: 61–76. DOI: 10750-018-3628-6.
31. González-Madina, L., Levrini, P., de Tezanos, P., Burwood, M., Crisci, C., Cardozo, A., Lagomarsino, J.J., Pacheco, J.P., Fosalba, C., Méndez, G., Garrido, L., y N. Mazzeo (2021). Blooms of toxic *Raphidiopsis raciborskii* in Laguna del Sauce (Uruguay): environmental drivers and impacts. *Hydrobiologia 849*, 4041-4058. <https://doi.org/10.1007/s10750-021-04783-8>
32. Goyenola, G., Kruk, C., Mazzeo, N., Nario, A., Perdomo, C., Piccini, C. y Meerhoff, M. 2021. Producción, nutrientes, eutrofización y cianobacterias en Uruguay: armando el rompecabezas. *INNOTEC 22* (e558). <https://doi.org/10.26461/22.02>
33. Gunderson, L. H., y Holling, C. S. (eds.). 2002. *Panarchy: Understanding transformations in human and natural systems*. Island Press, Washington, D.C.
34. Havens, K.E. & Paerl, H.W. 2015. Climate change at a crossroad for control of harmful algal blooms. *Environmental, Science and Technology 49*: 12605–12606
35. Harvey, D. (2014). *Diecisiete contradicciones y el fin del capitalismo*. Instituto

- de Altos Estudios Nacionales del Ecuador y Traficantes de sueños. <https://www.traficantes.net/sites/default/files/pdfs/Diecisiete%20contradicciones%20-%20Traficantes%20de%20Sue%C3%B1os.pdf>
36. Hidalgo, R., Volker, P. y Ramírez, N. (2014). La ciudad inmobiliaria: Mecanismos institucionales y relaciones de poder. El caso del Área Metropolitana de Valparaíso. *Scripta Nova. Revista Electrónica de Geografía y Ciencias Sociales* 18, 15023
37. Instituto Nacional de Estadística (INE). (2011). Censo poblacional realizado en Uruguay <https://www.ine.gub.uy/web/guest/censos-2011>.
38. Instituto Uruguayo de Meteorología (InUMET). Clasificación climática, características climáticas y climatología estacional. <https://www.inumet.gub.uy/> Consultado el 18/03/2023.
39. Jüttner, F. y Watson, S. (2007). Biochemical and ecological control of geosmin and 2 methylisoborneol in source waters. *Applied and Environmental Microbiology* 73(14): 4395-406.
40. Kosten, S., Jeppesen, E., Huszar, V.L.M., Mazzeo, N., van Nes, E., Peeters, E.T.H.M., Scheffer, M. (2011). Ambiguous climate impacts on the competition between submerged macrophytes and phytoplankton in shallow lakes. *Freshwater Biology* 56 (8): 1540-1533
41. Kröger, A. (2020). El uso de *Corbicula fluminea* como sistema de alerta temprana sobre la presencia de plaguicidas en sistemas acuáticos. Tesis de Maestría en Ciencias Ambientales-Universidad de la República.
42. Lafourcade, A. (2019). Migración y espacio social en Maldonado. *Tekoporá. Revista Latinoamericana de Humanidades Ambientales y Estudios Territoriales* 1(1), 138-153. <https://doi.org/10.36225/tekopora.v1i1.21>
43. Larsimont, R. (2014). Ecología política del agua: reflexiones teórico-metodológicas para el estudio del regadío en la provincia de Mendoza. <https://www.ina.gob.ar/ifrh-2014/Eje1/1.03.pdf>
44. Lázaro, M., Bortagaray, I., Trimble, M., y Zurbriggen, C. (2021). Citizen deliberation in the context of Uruguay's first National Water Plan. *Water Policy* 23(3), 487-502.
45. Levrini, P. (2017). Análisis espacio-temporal de las propiedades físico químicas en la red de tributarios de la cuenca de Laguna del Sauce (Maldonado) y su relación con controles naturales y de origen antrópico. Tesis de grado. Licenciatura en Ciencias Biológicas, Facultad de Ciencias, Universidad de la República.

46. Marroni, S., Iglesias, C., Mazzeo, N., Clemente, J.M., Teixeira de Mello, F. y Pacheco, J.P. (2014). Alternative food consumption of native (*Diplodon parallelipedon*) and non-native (*Corbicula fluminea*) bivalves from a subtropical eutrophic lake: patterns and possible consequences on eutrophication processes. *Hydrobiologia*. 735:263–276
47. Marroni, S., Mazzeo, N., Pacheco, J.P., Clemente, J. e Iglesias, C. (2016). Interactions between bivalves and zooplankton: competition or intraguild predation? Implications for biomanipulation in subtropical shallow lakes. *Marine and Freshwater Research* 68(6): 1036-1043 <http://dx.doi.org/10.1071/MF15454>
48. Mazzeo, N., García-Rodríguez, F., Rodríguez, A., Méndez, G., Iglesias, C., Inda, H., Goyenola, G., García, S., Fosalba, C., Marroni, S., Crisci, C., del Puerto, L., Clemente, J., Pacheco, J.P., Carballo, C., Kröger, A., Vianna, M., Meerhoff, M., Steffen, M., Lagomarsino, J.J., Masdeu, M., Vidal, N., Teixeira de Mello, F., González Bergozoni, I. y Larrea, D. (2010a). Estado trófico de Laguna del Sauce y respuestas asociadas. En: Bases técnicas para el manejo integrado de Laguna del Sauce y cuenca asociada. Steffen M. e Inda H. (eds). Universidad de la República y South American Institute for Resilience and Sustainability Studies (SARAS2). pp:31-51.
49. Mazzeo, N., Rodríguez, A., Fort, H. y Scheffer, M. (2010b). Eutrofización de lagos o reservorios poco profundos. En: Bases técnicas para el manejo integrado de Laguna del Sauce y cuenca asociada. Steffen M. e Inda H. (eds). Universidad de la República y South American Institute for Resilience and Sustainability Studies (SARAS2). pp:19-29.
50. Mazzeo N, Trimble M, Garrido L, De Tezanos P, Terra R, Zurbriggen C, Inda H, Crisci C, Pacheco JP, González-Madina L, Levrini P, Gadino I, Steffen M, Bianchi P. (2018). Aportes al Plan director de agua y saneamiento de OSE para el departamento de Maldonado, Uruguay. Convenio de Cooperación OSE-UGD-SARAS, Maldonado. <http://saras-institute.org/wp-content/uploads/2019/06/Reporte-SARAS-OSE-ONLINE.pdf>
51. Mazzeo, N., Zurbriggen, C., Sciandro, J., Trimble, M., Gadino, I., y Pérez, D. (2021). Agua, ambiente y territorio: avances, barreras y desafíos en la gobernanza de los recursos hídricos. En: Fin de un ciclo: balance del Estado y las políticas públicas tras 15 años de gobiernos de izquierda en Uruguay. Bidegain, G., M. Freigedo, M. y Zurbriggen, C. (eds). Instituto de Ciencia Política, Facultad de Ciencias Sociales, Universidad de la República.
52. Meerhoff, M., Audet, J., Davidson, T.A., De Meester, L., Hilt, S., Kosten,

- S., Liu, Z., Mazzeo, N., Paerl, H., Scheffer, M. y Jeppesen, E. (2022). Feedback between climate change and eutrophication: revisiting the allied attack concept and how to strike back. *Inland Waters* 12(2): 187-204. DOI: 10.1080/20442041.2022.2029317
53. Merel, S., Walker, D.B., Chicana, R., Snyder, S.A., Baurés, E. y Thomas, O. (2013). State of knowledge and concerns on cyanobacterial blooms and cyanotoxins. *Environmental International* 59:303-325
54. MGAP. (2020). Censo de productores de olivos 2020. <https://www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/datos-y-estadisticas/estadisticas/diea-presenta-informe-sobre-censo-productores-olivos-2020>
55. MGAP-SNIG. (2016). Declaración Jurada de Existencias DICOSE – SNIG 2016. <https://catalogodatos.gub.uy/dataset/mgap-datos-generados-en-base-a-la-declaracion-jurada-de-existencias-dicose-snig-2016>
56. MGAP-SNIG. (2016). Declaración Jurada de Existencias DICOSE – SNIG 2022. <https://catalogodatos.gub.uy/dataset/datos-preliminares-declaracion-jurada-de-existencias-dicose-snig-2022>
57. Ministerio de Turismo, Uruguay. (2020). Informe Temporada de Cruceros 2019-2020. Ministerio de Turismo, Área de Estadística.
58. Ministerio de Turismo, Uruguay. (2023). Turismo Receptivo 2022. <https://www.gub.uy/ministerio-turismo/datos-y-estadisticas/estadisticas/turismo-receptivo-2022>
59. Moss, B. (2008). Water pollution by agriculture. *Philosophical Transaction of Real Society. Serie B* 363: 659–666
60. Moss, B., Kosten, S., Meerhoff, M., Battarbee, R.W., Jeppesen, E., Mazzeo, N., Havens, C., Lacerot, G., Liu, Z., De Meester, L., Paerl, H. y Scheffer, M. (2011). Allied attack: climate change and eutrophication. *Inland Waters* 1: 101-105
61. Ostrom, E. (2009). A General Framework to Analyzing Sustainability of Social-Ecological Systems. *Science*, 325(5939), 419-422.
62. Panez, A. (2019). Agua-Territorio en América Latina: Contribuciones a partir del análisis de estudios sobre conflictos hídricos en Chile. *Rupturas* 8(1), 201-225.
63. Pahl-Wostl, C. (2015). *Water Governance. Concepts, methods, and practice.* Springer International Publishing Switzerland
64. PNA-Agro (2019). Plan Nacional de Adaptación a la Variabilidad y el Cambio Climático para el Sector Agropecuario. MGAP, SNRCC y FAO. <https://www.undp.org/es/uruguay/publications/>

- plan-nacional-de-adaptaci%C3%B3n-la-variabilidad-y-el-cambio-clim%C3%A1tico-para-el-sector-agropecuario-pna-agro#:~:text=El%20Plan%20Nacional%20de%20Adaptaci%C3%B3n,%2C%20ambiental%2C%20social%20e%20institucional.
65. Prohaska, F. (1976). The climate of Argentina, Paraguay and Uruguay. *Climates of Central and South America* 12, 13-112.
66. Rodríguez, A., Méndez, G., Kausas, S., Clemente, J., Kröger, A. y Mazzeo, N. (2010). Importancia de la carga externa e interna de nutrientes en el estado trófico de Laguna del Sauce. En: Bases técnicas para el manejo integrado de Laguna del Sauce y cuenca asociada. Steffen, M. e Inda, H. (eds). Universidad de la República y South American Institute for Resilience and Sustainability Studies (SARAS2). pp:53-61.
67. Sadoff, C., y Muller, M. (2010). La gestión del agua, la seguridad hídrica y la adaptación al cambio climático: efectos anticipados y respuestas esenciales. *TEC Background Papers* N° 14. GWP.
68. Scheffer, M. and Carpenter, S.R. (2003). Catastrophic regime shifts in ecosystems: linking theory to observation. *Trends in Ecology and Evolution*, 18, 648-656. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tree.2003.09.002>
69. Silveira, L. y Alonso, J. (2009). Runoff modifications due to the conversion of natural grasslands to forests in a large basin in Uruguay. *Hydrological Processes* 23: 320 – 329
70. Silveira, L., Gamazo, P, Alonso, J. y Martínez, L. (2016). Substitution of natural grasslands by Eucalyptus plantation and its effects on groundwater recharge and water budget in the west region of Uruguay. *Hydrological Processes* 30(20):3596-3608
71. Sousa, P. G. de, Esdras Matheus, M. y Fragoso, V. (2016). From residential tourism to tourist real estate complexes: the appropriation of the coastal zone in the Northeast of Brazil by tourist real estate activities. *Ambiente & Sociedade* 19(3), 177-198. <https://doi.org/10.1590/1809-4422ASOC141673V1932016>
72. Stábile F. (2018). Estructura de la red trófica y presencia de plaguicidas en el sistema Laguna del Sauce: bases para el desarrollo de estrategias de biomonitorio. Tesis de Maestría en Ciencias Biológicas-PEDECIBA, Universidad de la República.
73. Stücken Marin, K. S. (2010). Physiogenomics of *Cylindrospermopsis raciborskii* and *Raphidiopsis brookii* (Cyanobacteria) with Emphasis on Evolution, Nitrogen

Control and Toxin Biosynthesis. Doctoral thesis. Faculty of Biology and Chemistry, University Bremen, Germany

74. Taveira, G., Bianchi, P., Fuentes, M., Díaz, I., e Inda, H. (2018). ¿Cuáles son los principales usos del suelo actuales y tendenciales en la cuenca de Laguna del Sauce? En: Aportes para la rehabilitación de la Laguna del Sauce y el Ordenamiento Territorial de su cuenca. Bianchi, P., Taveira, G. y Steffen, M. (eds.). pp:33-47.
75. Trimble, M., Campello Torres, P.H., Jacobi, P.R., Dias Tadeu, N., Salvadores, F., Mac Donnell, L., Olivier, T., Giordano, G., Alonso Paixao dos Anjos, L., Santana-Chaves, I., Pascual, M., Mazzeo, N., Jobbágy E. (2021). Towards adaptive water governance in South America: lessons from water crisis in Argentina, Brazil and Uruguay. In: Sustainability in Natural Resources and Land Planning. Word Sustainability Series. Leal Filho, W., Miranda Azeiteiro, U., Faraoni Freitas Setti, A. (eds). Springer Nature. pp: 31-45. https://doi.org/10.1007/978-3-030-76624-5_3
76. Van Noorloos, F. (2015). Tourism turning real estate: How to deal with residential tourism investment in the Global South? LANDac Policy Brief, 01, 1-8. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.27125.47846>
77. Varela, A. (2017). Paraísos exclusivos. Emprendimientos turístico-residenciales cerrados emergentes en Maldonado. Tesis de Maestría en Ordenamiento Territorial y Desarrollo Urbano Facultad de Arquitectura Diseño y Urbanismo Universidad de la República, Uruguay.
78. Vidal-Koppmann, S. (2014). Countries y barrios cerrados. Mutaciones socio-territoriales de la región metropolitana de Buenos Aires. Dunken, Ciudad Autónoma de Buenos Aires.
79. Zoğal, V., Domènech, A., y Emekli, G. (2022). Stay at (which) home: second homes during and after the COVID-19 pandemic. *Journal of Tourism Futures* 8(1), 125-133. <https://doi.org/10.1108/JTF-06-2020-0090>
80. Zurbriggen, C., Pérez, D., y Mazzeo, N. (2022). Gobernanza ambiental en tiempos turbulentos. *Cuadernos del Claeh* 41(116), 181-198. <https://doi.org/10.29192/claeh.41.2.11>.

