

BASES PARA EL MANEJO HIDROAMBIENTAL DE LAS CUENCAS DE TIERRA DEL FUEGO

Adriana Urciuolo⁽¹⁾, Rodolfo Iturraspe⁽¹⁾, Rita Lofiego⁽¹⁾, Eduardo Kruse⁽²⁾, Mariano Hermida⁽³⁾

⁽¹⁾Instituto de Ciencias Polares Recursos Naturales y Ambiente – UNTDF, ⁽²⁾Facultad de Ciencias Naturales y Museo - UNLP, ⁽³⁾Instituto de Cultura, Sociedad y Estado, UNTDF

CONTEXTO

Este trabajo aborda el estudio de la disponibilidad hídrica y situación ambiental de las cuencas de estepa de Tierra del Fuego, con énfasis en aguas y humedales, en el marco del Proyecto PIDUNTDF A “Bases para el manejo sostenible de cuencas de estepa de Tierra del Fuego”, financiado por la UNTDF, con participación de la UNLP, con informe final evaluado positivamente durante el presente año. Los estudios se desarrollan en el Instituto de Ciencias Polares, Recursos Naturales y Ambiente de la UNTDF y corresponden a líneas de investigación vinculadas al estudio de cuencas y humedales del área “Dinámica y aprovechamiento de los Recursos Hídricos”. En ese marco, el grupo ya ha participado en un proyecto anterior vinculado con el presente, focalizado en el estudio de problemas ambientales de la ciudad de Río Grande, con énfasis en el agua subterránea (Proy. PIT UNLP - 2012/2015 Dir: Eduardo Kruse). Actualmente continúan las investigaciones comenzadas, a través del estudio de humedales en las distintas cuencas fueguinas, los servicios ecosistémicos que prestan en las mismas y su situación ambiental.

El equipo de investigación es multidisciplinario, e incorpora además de docentes-investigadores de la UNTDF y de la UNLP, a profesionales y técnicos de organismos de la Secretaría de Ambiente del Gobierno de la Provincia de Tierra del Fuego, A.I.A.S.

RESUMEN

Las cuencas de estepa de Tierra del Fuego, presentan características biofísicas particulares que determinan una alta fragilidad ambiental y requieren de estudios específicos para su adecuado manejo. Estas características condicionan la capacidad de adaptación y recuperación de los ecosistemas y la falta de conocimiento sobre el funcionamiento y estado de los mismos, resulta una limitante para el desarrollo socio-económico, así como. Las actividades productivas que se realizan en la zona, requieren de la disponibilidad de recursos hídricos, pero existen escasos estudios que permitan conocer su potencial hídrico. Si bien existe disponibilidad de aguas subterráneas, no se cuenta con estudios sistematizados hidrogeológicos que permitan definir pautas para su manejo. Son escasos además los estudios realizados sobre los efectos que las diferentes actividades provocan en el ambiente, y en particular sobre los recursos hídricos, suelos y humedales. El proyecto pretende contribuir al desarrollo sostenible de las cuencas de estepa. Los resultados permiten contar con información sobre disponibilidad de aguas, un diagnóstico socio-ambiental, y una propuesta de

lineamientos de acción para el manejo sostenible de estas cuencas bajo un enfoque de Gestión integrada de recursos hídricos, con base en la conservación de ecosistemas de importancia estratégica, que contribuya al bienestar humano.

Palabras clave: manejo cuencas, estepa, ambiente.

1. INTRODUCCION

A pesar de contar con una considerable riqueza en hidrocarburos, la zona del extremo Norte de Tierra del Fuego, es una región prácticamente deshabitada, donde las actividades productivas, fuera de la explotación hidrocarburífera no tienen gran relevancia en el PBI ni alientan la radicación de la población. Adicionalmente las diferentes actividades en desarrollo producen impactos sobre el suelo y el agua, que se agravan por la fragilidad ambiental resultante de condiciones climáticas extremas.

El área de estudio del Proyecto se concentra en cuencas que han sido clasificadas desde un punto de vista hidrológico, como Cuencas de la Estepa (Iturraspe & Urciuolo, 2000), las cuales comprenden las de los ríos Chico, Avilés, San Martín, Cullen y algunos cañadones. Estas cuencas presentan características biofísicas particulares que requieren de estudios específicos para su adecuado manejo. La frecuencia e intensidad del viento, el rigor de la temperatura invernal, el altísimo déficit hídrico durante el período estival y las limitaciones en la disponibilidad de recursos hídricos superficiales, son factores restrictivos que naturalmente determinan la condición semiárida del ambiente de estepa, cuyo equilibrio se rompe muy fácilmente ante la intervención humana (Pérez Hasse *et al.*, 2019). Si bien existen estudio de patrones espaciales de la estepa ((Posse *et al.* 2000), son escasos los estudios realizados sobre los efectos que las diferentes actividades antrópicas provocan y, en particular sobre los recursos hídricos y humedales (Iturraspe & Urciuolo, 2014).

En estas cuencas, el agua se utiliza para el consumo humano en pequeños asentamientos poblacionales, tales como puestos de Gendarmería, campamentos petroleros y Estancias. Existe además, una considerable práctica extractiva de agua subterránea por parte de las empresas petroleras para su uso en recuperación secundaria. La práctica de riego de pasturas por inundación que aplican las estancias dedicadas a la cría de ganado ovino y bovino está generalizada en esta zona. Se irriga, con buenos resultados en el rendimiento de las pasturas mayormente la cuenca del río Chico. Otros cursos como el San Martín y el Arroyo Gamma presentan en algunos periodos una intensa presión de usos para estos fines. La mayoría de

los propietarios y/o encargados son conscientes de que el riego es una práctica que mejora la productividad de los potreros y consecuentemente su carga animal (Morábito *et al.*, 2009).

La disponibilidad de agua superficial disminuye al norte del río Chico, siendo escasa en verano por el déficit hídrico y en invierno por congelamiento, al punto de que la disponibilidad del propio río Chico se vería comprometida ante nuevas demandas significativas. Ante la escasez del recurso hídrico superficial en las cuencas de estepa, hay buena disponibilidad de aguas subterráneas, ya sea en estratos de sedimentos glaciarios cuaternarios (freáticos) o acuíferos confinados o semiconfinados en sedimentos terciarios. El agua subterránea es una fuente alternativa que en consecuencia se está utilizando en estancias e incluso en inmediaciones de la ciudad de Río Grande. Excepto en el caso de las petroleras, que estudian el subsuelo, las perforaciones se realizan sin que se conozca la localización o profundidad del acuífero más conveniente y en muchos casos la inversión se pierde porque la captación produce agua salada, o bien el acuífero no tiene la capacidad requerida, y el uso que se hace del mismo resulta inadecuado. Su utilización racional requiere del conocimiento hidrogeológico.

Los problemas ambientales en estas cuencas se vinculan con la fragilidad de los ecosistemas ante la intervención humana (Cingolani *et al.*, 2008). El viento, el déficit hídrico y el régimen térmico condicionan la capacidad de adaptación y recuperación de los ecosistemas. La actividad petrolera ha generado densas redes de acceso que han degradado los suelos y la cubierta vegetal. Por otra parte poco se conoce sobre la afectación de esta actividad sobre los acuíferos. Si bien distintos organismos de la Provincia realizan el control ambiental de estas actividades y se ha avanzado en el conocimiento de los efectos de la actividad ganadera (Collantes *et al.*, 2009), resulta necesario profundizar en el conocimiento de los efectos que se generan sobre el agua y el ambiente a través de estudios específicos, que permitan evaluar la situación actual de las cuencas.

Por otra parte, estas cuencas son de Recursos Hídricos compartidos con Chile, lo cual implica la consideración de su carácter internacional (Urciuolo, *et al.* 2009)

La *gestión integrada de recursos hídricos* (GIRH) es actualmente un concepto estándar para técnicos y políticos que trabajan con el recurso hídrico (Rahaman & Varis, 2005). La GIRH es un proceso que promueve el desarrollo coordinado y la gestión de agua, suelo y recursos relacionados para maximizar el resultado económico y el bienestar social de una manera equitativa, sin comprometer la sostenibilidad de ecosistemas vitales (GWP, 2000). Es evidente la importancia de la conservación de los ecosistemas productores y reguladores del ciclo hidrológico, para garantizar la oferta de servicios ecosistémicos que garantizan las opciones para el desarrollo humano sostenible (Guerrero *et al.*, 2006). En este contexto, resulta imperioso que en la formulación de las políticas para el manejo integral del

agua en la zona, se muestre en términos económicos y sociales la importancia de la protección y conservación de los ecosistemas reguladores del ciclo hidrológico (Urciuolo *et al.*, 2015) y justificar de esta forma las medidas adecuadas a considerar para su sostenibilidad a largo plazo

De lo expuesto puede observarse que a pesar de los trabajos mencionados, aún existe desconocimiento del verdadero potencial de los recursos hídricos en la zona de estudio, en particular del subterráneo, del estado de situación de las cuencas hídricas y del aporte al desarrollo local derivado de un manejo adecuado de las mismas. Esto dificulta el planteo de una planificación armónica y de una gestión racional, tanto a nivel local como internacional. Se destaca el carácter regional del problema de cuencas de estepa, por lo cual los resultados del proyecto revisten interés a dicha escala.

El objetivo del Proyecto es contribuir al manejo sostenible de las cuencas de estepa de la Provincia de Tierra del Fuego, orientado a favorecer el desarrollo local y el bienestar de la población.

2. LINEAS DE INVESTIGACION y DESARROLLO

El Proyecto propone el estudio de disponibilidad integral de aguas, un diagnóstico socio-ambiental, la sistematización de la información y una propuesta de lineamientos de acción para el manejo sostenible de estas cuencas bajo un enfoque GIRH, con fuerte base en la conservación de ecosistemas de importancia estratégica, que contribuya al bienestar de la población.

La organización de la investigación se planteó en los siguientes módulos disciplinarios sinérgicos que constituyen distintas líneas de investigación.

Componente 1: Estudio de la disponibilidad hídrica

La disponibilidad de agua y sus fluctuaciones temporales son factores que influyen sobre los problemas ambientales. En estas cuencas, de alta fragilidad ambiental, el manejo integrado de los recursos hídricos, más el enfoque ecosistémico son premisas básicas para formular planes de desarrollo. Se trató entonces de alcanzar un nivel razonable de conocimiento del potencial de los recursos hídricos superficiales y subterráneos y de las interacciones entre los mismos para definir pautas de manejo racional.

Componente 2: Situación socio-económica

Se planteó la realización de un Mapa de actores sociales mediante un abordaje cualitativo basado en dos metodologías, el análisis de fuentes teóricas, documentales y normativas, y la realización de entrevistas a informantes claves como apoyo del análisis documental. A los fines de la caracterización demográfica de los actores, se realizó un análisis cuantitativo basado en fuentes secundarias de datos, principalmente los Censos Nacionales de Hogares y Viviendas 2001 y 2010, el Censo Nacional Agropecuario 2008, y distintas encuestas y relevamientos realizados por el Instituto Nacional de Estadística y Censos (INDEC). Se realizaron entrevistas a los actores identificados, mediante un abordaje cualitativo basado en la técnica de entrevista en

profundidad semi estructurada elaborada en base a un muestreo teórico.

Componente 3: Evaluación ambiental de las cuencas

A partir del tratamiento de imágenes satelitales y de visitas a los sitios afectados, se realizó una evaluación de la degradación de suelos por la apertura de la amplia red de caminos abiertos para exploración y de los efectos secundarios derivados. Se analizaron los estudios existentes en materia de degradación de suelos por efectos del Ganado (Collantes *et al.*, 2009), realizando chequeos de campo para su registro y actualización. Con respecto a la calidad de aguas, se realizaron análisis fisicoquímicos por año de calidad de agua en pozos seleccionados y en los cursos de agua principales. En cuerpos de agua con presumible afectación por hidrocarburos se realizaron muestreos para detectar su presencia. Se identificaron los ecosistemas amenazados y se analizaron las posibles pérdidas de sus funciones y servicios.

Componente 4: Sistema de Información ambiental

Un grupo de trabajo fue encargado de estudiar el desarrollo de un sistema de información como soporte a investigadores y a los tomadores de decisión.

Componente 5: Recomendaciones de Políticas y Estrategias de manejo integrado

Se analizaron los más actuales avances de la GIRH con aportes del Enfoque ecosistémico, y se desarrollaron Guías de política y estrategias para el manejo integrado de los recursos hídricos en cuencas de estepa, para ser entregados a los organismos responsables del manejo ambiental y de actividades productivas .

3. RESULTADOS OBTENIDOS/ ESPERADOS

Se presenta a continuación una síntesis de los principales resultados del Proyecto:

1) Estudios de la disponibilidad hídrica

Se ha mejorado significativamente el conocimiento sobre el comportamiento hidrológico de las cuencas de estepa y sobre las características del escurrimiento superficial, constándose la homogeneidad hidrológica de las mismas en base a registros hidrométricos y a su posterior análisis.

Se han determinado valores de caudales específicos medios anuales a nivel de cuenca que típicamente varían entre 4 y 1,5 litros/s / km². El valor determinado para la cuenca del río Cullen, de 0,26 litros/s / km² en concordancia con otros elementos de juicio sugieren fuerte interacción entre el escurrimiento superficial y los acuíferos. Se ha determinado que la disponibilidad del recurso hídrico superficial se reduce, según el caso a 2/3 o a menos de la mitad, en el período octubre-noviembre, en donde se activa la demanda del sector agropecuario.

La calidad del agua superficial es en todas las cuencas de la estepa adecuada para cualquier tipo de uso, sin presencia de elementos tóxicos naturales, aunque eventualmente pueden detectarse valores elevados de Aluminio. Lo expresado no es aplicable en general a las aguas de lagunas endorreicas, las que en muchos casos presentan salinidad muy elevada, con altos valores de

Cloro y de Sodio, aunque presentan importantes servicios ecosistémicos como hábitat y culturales.

Se ha avanzado en el conocimiento de la hidrogeología zonal, con el aporte de Información estratigráfica vinculada a los acuíferos terciarios y al comportamiento de los acuíferos freáticos en sectores de estudio. La buena disponibilidad de aguas subterráneas compensa las limitaciones que presentan en verano las aguas superficiales. Se ha actualizado el inventario de pozos de agua y freatómetros y se ha elaborado cartografía temática. La mayor parte de esta tarea fue realizada por la Dirección Gral de Recursos Hídricos en forma conjunta con el equipo del proyecto de la UNTDF-Sede Río Grande.

El principal uso consuntivo del agua es para el riego de pasturas, aplicado por todas las estancias, en base a sistemas de canales y a riego por inundación, tanto del sector argentino como chileno. Es apropiada en la actualidad la relación entre la oferta de agua y la demanda, aún cuando el uso del agua subterránea es todavía incipiente. Las prácticas de riego implementadas en los establecimientos carecen de eficiencia y se basan en conocimiento empírico, sin uso de tecnologías modernas de riego.

Resultados de este componente en los Informes técnicos: 1) *Caracterización de las cuencas de estepa de Tierra del Fuego – Hidrología superficial*, 2) *Avances en el conocimiento del recurso hídrico subterráneo en la estepa fueguina*, 3) *Usos del agua en las cuencas de estepa*

2) Caracterización de la situación socio-económica

A través de la realización de un Mapa de Actores sociales y de las entrevistas realizadas, fue posible caracterizar los actores sociales de las cuencas de estepa y su relación con el ambiente de la misma. Asimismo fue posible definir el rol que los mismos juegan y su interacción. Los actores privados, tanto aquellos que pertenecen al sector agropecuario como al hidrocarburiífero, tienen presencia continua en la región. Lo mismo ocurre en los puntos fronterizos con las organizaciones gubernamentales dependientes del Estado nacional. En cuanto a los organismos de control de nivel provincial su presencia se encuentra focalizada en la localidad de Río Grande (Hermida, 2017).

La región cuenta con escaso desarrollo poblacional. Las actividades productivas que realizan son radicalmente distintas en el uso que hacen del agua, así como los impactos ambientales que producen. Sin embargo la espiral del conflicto ambiental no se está desarrollando, debido a la proximidad aparente entre los actores públicos y privados, diluyendo los espacios de control, gestión e intervención sobre el manejo de las cuencas hídricas en la zona en análisis. Esto inhibe ciertas acciones de alerta acerca de los agentes contaminantes de las intervenciones privadas, pero también algunas públicas, en las cuencas. Probablemente el grado en el que el problema ambiental se suscita se presenta como de un impacto menor en términos de conflictividad ambiental, por la baja densidad de

población que habita en la zona. Esta situación es muy diferente en la ciudad de Río Grande

Muchos establecimientos agropecuarios rentan sus tierras a las empresas petroleras, lo cual constituye un importante ingreso para los mismos. Es ésta una de las razones por las cuales no se plantea el conflicto que podría suscitarse a raíz de los problemas ambientales vinculados a la actividad de las empresas hidrocarburíferas. Las principales barreras para el desarrollo se han diferenciado entre las cuencas que se ubican al Norte del río Chico y las del sur. Hacia el Norte, la falta de conectividad, la existencia de un camino hasta Cabo Espíritu Santo que finaliza sin posibilidad de cruce al continente, convierte a la zona en un sector de alta dificultad para pensar diversas alternativas de producción. Esta situación es muy diferente en la cuenca del río Chico, donde se han asentado diferentes industrias y las posibilidades de conectividad y disponibilidad de aguas brindan alternativas para un desarrollo industrial y agrícola de magnitud media. Se deja constancia que las actividades mencionadas pudieron desarrollarse a raíz de la venta de la tierra de la Estancia Las Violetas. No obstante lo expuesto, existe una barrera vinculada con la preminencia de actividades extensivas y la renta de la tierra para la actividad petrolera, que en general impide la planificación del uso de la tierra para otro tipo de actividades productivas, como la agricultura.

Resultados de este componente en el Informe técnico:

4) *Desarrollo económico, actores y problemas ambientales en cuencas de estepa de Tierra del Fuego*

3) Evaluación ambiental de las cuencas de estudio

Los problemas ambientales en las cuencas de la estepa son diversos, están vinculados a actividades de muy distinta naturaleza y en muchos casos presentan complejidad para su monitoreo, prevención y remediación y casi siempre el agua, a partir de su manejo, de la alteración de su calidad o de su presencia en los ecosistemas es un componente preponderante del problema ambiental.

Los ecosistemas de humedales son componentes esenciales del ambiente semiárido de la estepa fueguina, motivo por el cual se realizó su identificación y clasificación, se analizaron en cada caso sus servicios / beneficios. A partir del análisis de efectos de las distintas actividades antrópicas sobre los mismos, se cuenta con una evaluación de los impactos.

Los humedales del ámbito urbano y suburbano de Río Grande, la ciudad fueguina de la estepa, contribuyen de diversas maneras a la calidad de vida de la población, sin embargo ello no ha sido considerado durante el rápido proceso expansivo de la ciudad, lo que motivó la pérdida de gran parte de los humedales urbanos y la degradación de los remanentes, siendo el estuario una de las unidades más afectadas, junto con los humedales de la costa/playa urbana. Asimismo la urbanización de vegas húmedas con drenaje deficiente ha dado lugar a ambientes urbanos de baja calidad ambiental (Lofiego *et al.*, 2009). La extracción de aguas subterráneas en zonas costeras, frecuentemente bajo condiciones precarias y sin

asesoramiento técnico da lugar al riesgo de intrusión de la cuña salina, con la consecuente degradación e inutilización de acuíferos costeros de agua dulce (Kruse *et al.*, 2017).

La ganadería es una actividad productiva que ejerce presión sobre las vegas a través del pisoteo de los animales que produce compactación, de pastoreo que afecta la composición florística del humedal y de la apertura de canales de riego y/o drenaje que modifican el nivel freático. Se ha observado una creciente concientización por parte de los establecimientos por tender a un manejo sustentable de las vegas.

Todos los establecimientos que realizan manejo del agua para riego, usan extensas redes de canales y compuertas construidas sin mediar una evaluación de impacto ambiental. En muchos casos dichos canales alteran las redes naturales de escurrimiento o involucran el transvase de caudales de un curso a otro, lo cual tiene afectación sobre los ecosistemas acuáticos involucrados.

El sector petrolero es un actor con fuerte protagonismo en la condición ambiental de las cuencas de estepa, condición que se intensifica al norte de San Sebastián. En contraste con la mayoría de los conflictos ambientales precedentes, que tienen lugar en un marco de precariedad, falta de asistencia técnica y de recursos, improvisación, etc., en la actividad petrolera no se verifica ninguno de dichos condicionantes, y salvo los accidentes como derrames, la afectación del ambiente suele estar prevista de antemano. En este sentido, los problemas más graves son:

- Densas redes de caminos y locaciones petroleras, que en Cañadón Alfa alcanzan su máxima expresión, sin perder continuidad a ambos lados de la frontera.
- Vertido de agua de formación con trazas de hidrocarburos sobre la superficie del terreno.
- Contaminación de acuíferos con hidrocarburos por diferentes motivos, ya sean accidentales o sistemáticos.
- Contaminación con restos de hidrocarburos del escurrimiento superficial por consecuencia de la intensa actividad vehicular, talleres de los campamentos, etc.

El monitoreo y control de este tipo de inconvenientes se complica debido a la clausura del acceso a los establecimientos, el que sólo es factible a partir de permisos que deben ser solicitados con antelación.

Los resultados de este componente se presentan en el **Informe técnico: 5) Evaluación ambiental de las cuencas de estepa**

4) Políticas y Estrategias de manejo integrado

A partir de los estudios realizados en el marco de los componentes anteriores, se analizaron estrategias de manejo de los recursos hídricos y guías de política (Policy briefs) que permitan afrontar los principales problemas ambientales de estas cuencas, a los fines de aportar el conocimiento y las recomendaciones que contribuyan a lograr su desarrollo sostenible.

Se definieron lineamientos estratégicos para el manejo integrado de las cuencas de estepa, y acciones específicas para cada uno ellos, organizados según:

- a) Lineamientos estratégicos de índole normativo/institucional
- b) Lineamientos estratégicos vinculados a mejorar el conocimiento de las cuencas de estepa
- c) Lineamientos estratégicos vinculados con el ordenamiento y uso sustentable de los recursos hídricos en las cuencas de estepa
- d) Lineamientos para la conservación y protección de los recursos hídricos y humedales posibles efectos nocivos del agua sobre las personas
- e) Lineamientos para la puesta en valor de los ecosistemas de las cuencas de estepa

Los resultados obtenidos de este componente se presentan en los siguientes **Informes técnicos**: 6) *Estrategias de manejo integrado de las cuencas de estepa de Tierra del Fuego*, 7) *Guías de política para el manejo sostenible de las cuencas de estepa*

En el marco de continuidad de acciones del proyecto finalizado, se puso especial énfasis en el estudio de humedales marino-costeros y continentales. En particular se estudian las consecuencias del efecto del crecimiento urbano sobre los humedales de la ciudad de Río Grande (Iturraspe *et al.*, 2020).

4. FORMACION DE RECURSOS HUMANOS

El equipo incorpora alumnos y docentes en formación de posgrado, que verán favorecidas sus posibilidades de desarrollo de tesis, en el marco de la investigación. El proyecto contribuyó a la consolidación de un grupo de trabajo interdisciplinario (de las carreras de Lic. en Ciencias Ambientales, Geología, Sociología y Sistemas), cuyos integrantes (al menos parcialmente) ya habían llevado en forma conjunta proyectos en anteriores oportunidades. Algunos integrantes del equipo llevan adelante tesis de doctorado (Mariano Hermida) y/o maestría (Rita Lofiego, Ezequiel Moyano) y el Ing. Gerardo Noir, participante por la Secretaría de Ambiente finalizó su tesis de Maestría en Gestión Integrada de los Recursos Hídricos (FICH-UNL) bajo la dirección de Urciuolo A., Directora del proyecto.

Se dio continuidad al trabajo conjunto con investigadores de la UNLP, iniciado en anteriores iniciativas. El equipo del proyecto está vinculado a través de distintos proyectos y/o actividades conjuntas en el tema de humedales, con investigadores de la UNSAM (Dra. Gabriela Mataloni), del INIA Kampenaike de Punta Arenas (Ing. Erwin Domínguez) y de la Universidad de Greiswald (Dr. Hans Joosten).

5. BIBLIOGRAFIA

Cingolani, A., Noy-Mer, I., Renison, D y Cabido, M, 2008. La ganadería extensiva, ¿es compatible con la conservación de la biodiversidad y de los suelos?. *Ecología Austral*, 18: 253-271.

Collantes, M.B., Anchorena, J.A., Stoffella, S., Escartín, C. y Rauber, R. (2009). Wetlands of the Magellanic Steppe (Tierra del Fuego, Argentina). *Folia Geobotanica* 44(3), 227-245.

Collantes M., Braun K., Escartín C., Cingolani A. y Anchorena J. (2005) Patrones de cambio de la vegetación

de la estepa fueguina en relación al pastoreo. pp. 235-251 en: *La heterogeneidad de la vegetación de los agroecosistemas*. FA-UBA

Guerrero, E; De Keizer, Otto; Córdoba, Rocío. (2006). La Aplicación del Enfoque Ecosistémico en la Gestión de los Recursos Hídricos. UICN, Quito, Ecuador. 78 pp.

GWP, 2000. Manejo integrado de Recursos Hídricos. (GWP). Estocolmo, Suecia. 78 pag.

Hermida, M. (2017). Los indicadores de la dimensión social del desarrollo sostenible, el caso de Tierra del Fuego. *Revista Latinoamericana de Metodología de las Ciencias Sociales*, 7 (2), e029.

Iturraspe R y Urciuolo A. (2000). "Clasificación y caracterización de las cuencas hídricas de Tierra del Fuego". *Actas XVIII Congr. Nac. del Agua*, Río Hondo, S. del Estero- Jun/2000. Ed en CD.

Iturraspe R., Fank L., Urciuolo A., Lofiego R. (2020) Efectos del crecimiento urbano sobre humedales costero-continentales del ambiente semiárido de Tierra del Fuego, Argentina. Artículo Enviado a Revista Investigaciones geográficas

Iturraspe R y Urciuolo A (2014). Advances in Peatlands Management in Tierra del Fuego, Argentina. En: FAO , ONU Mitigations of Climate Change in Agriculture Series (9): Towards Climate Responsible peatlands management. pp 64-66.

Kruse, E., Lofiego, R., Laurencena, P., Deluchi, M., Carretero, S. 2017. *Condiciones Hidrogeológicas en la Zona de Río Grande (Tierra del Fuego)*. Actas XX Congreso Geológico Argentino. Sección Técnica- PÁG 36-42- Tucumán, 2017.

Lofiego R., G. Noir, A. Urciuolo y R. Iturraspe, 2009. Evaluación de la situación ambiental del estuario del río Grande de Tierra del Fuego. Actas del XXII Cong. Nac. del Agua, Trelew, 11-14/11/2009

Morábito, J, Manzanera, M., Salatino, S., Miráble, C., Urciuolo, A., Lofiego, R., 2009. Estimación de la superficie factible de riego en la zona norte de Tierra del Fuego. Anales XXII Congreso Nac. del Agua, 11-14/11/2009, Trelew.

Pérez Haase, A., R. Iturraspe & J. Ninot, (2019). Macroclimate and local hydrological regime as drivers of fen vegetation patterns in Tierra del Fuego (Argentina). *EcoHydrology*, 17 pags.

Posse, G., Anchorena, J. y Collantes, M, (2000). Spatial micro-patterns in the steppe of Tierra del Fuego induced by sheep grazing. *J. of Veget. Sc.* 11: 43-50,

Rahaman M. & Varis O. (2005). Integrated water resources management: Evolution, prospects and future challenges. *Sust.: Sc., Prac.e & Pol.*, 1, 15-21.

Urciuolo, A., Iturraspe R., Iturraspe R., Noir G., Pascual M. y Nohra Y., (2015). Modelación de servicios ecosistémicos de la cuenca del río Grande de Tierra del Fuego. Actas XXV CONAGUA, Paraná.

Urciuolo, A., R. Iturraspe, R. Lofiego y G. Noir. (2009). Estrategias de manejo integrado de recursos hídricos para la cuenca binacional del río Grande de Tierra del Fuego. Actas XXII CONAGUA, Trelew.

BIAPEP: GRUPO DE BIOPROSPECCIÓN Y APLICACIONES BIOTECNOLÓGICAS DE PÉPTIDOS

Mariela M. Marani, Natalia L. Cancelarich, Silvana Aguilar

IPEEC-CONICET, Instituto Patagónico para el Estudio de los Ecosistemas Continentales,
Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas

CONTEXTO

La Investigación realizada en el marco del Instituto Patagónico para el Estudio de los Ecosistemas Continentales (IPEEC-CONICET) parte de reconocer que la biodiversidad de los ecosistemas patagónicos pueden ofrecer soluciones a problemas actuales y pretende evaluar el potencial biotecnológico y la importancia ecológica de la biodiversidad que lo compone.

RESUMEN

Nuestro grupo de investigación tiene como objetivo general la prospección de biomoléculas de interés tecnológico a través de la exploración de la biodiversidad argentina. Actualmente tenemos como objetivo la evaluación funcional y estructural de péptidos antimicrobianos presentes en la piel de anfibios de Patagonia y del Nordeste Argentino junto con el diseño de análogos con *alta performance* para su aplicación biotecnológica. Para ello combinamos la biología molecular y la microbiología para la identificación de los péptidos junto con la síntesis química, caracterización y análisis de la actividad antimicrobiana tanto de candidatos naturales como de sus derivados sintéticos promisoros.

Este proyecto abarca lineamientos estratégicos en cuanto a la bioprospección y estudio de biosimilares para la búsqueda de nuevas aproximaciones para combatir diversas enfermedades infecciosas. Los compuestos identificados podrán ser de utilidad tanto a nivel nacional como global al plantear una alternativa para el problema de la resistencia de los microorganismos patógenos a los antibióticos convencionales.

Palabras clave: péptidos, anfibios, actividad antimicrobiana, análogos.

1. INTRODUCCION

La resistencia a los antibióticos convencionales por parte de ciertos microorganismos patógenos, originada a través del uso inapropiado de drogas, es un problema cada vez más grave y muchas infecciones ya no se pueden curar fácilmente, lo que ocasiona un tratamiento prolongado, económicamente costoso y un mayor riesgo de muerte. Esto ha ido en franco crecimiento y se observa tanto a nivel nacional como mundial (Livermore, 2009) y viene siendo advertido por la OMS desde hace más de una década. En su primer informe sobre resistencia a antimicrobianos a nivel mundial, la OMS reveló una alta resistencia a los antibióticos usados en terapias convencionales y en especial en aquellos utilizados como último recurso (OMS, 2014). Las infecciones graves que

se contraen en un hospital pueden causar la muerte porque resulta muy difícil tratarlas. Además, las cepas de microorganismos farmacorresistentes se propagan de un lugar a otro en el mundo tan interconectado de hoy.

A nivel nacional, se observa la magnitud que está teniendo la resistencia a los antimicrobianos de uso clínico (CoNaCRA), donde las infecciones bacterianas adquiridas en distintos centros de salud (hospitales, geriátricos, etc.) producidas por gérmenes que han desarrollado resistencia a diferentes antibióticos (microorganismos resistentes) son una problemática relevante. Los informes de vigilancia de resistencia a antibióticos reportan que nuestro país alcanza valores superiores a aquellos con políticas más estrictas sobre control del uso de los antimicrobianos y la OMS resalta la necesidad de encontrar nuevos compuestos centrales para desarrollar nuevos antibióticos.

La Organización Panamericana de la salud informó que, en Argentina, se destacan la resistencia adquirida por *Klebsiella pneumoniae* a los carbapenémicos y cefalosporinas de tercera generación y a *Escherichia coli* a las cefalosporinas de tercera generación y fluoroquinolonas (OMS, 2016, OPS, 2013). Las opciones terapéuticas son limitadas y altamente requeridas. Con respecto a las bacterias Gram positivas, el gran problema es *Staphylococcus aureus*, que en ciertas regiones puede generar hasta el 90% de resistencia a la metilicina (MRSA) (OPS, 2013). Si bien existen varias opciones de tratamiento, salvo algunas excepciones, no se han descubierto nuevas clases de antibióticos por los cuales hay mucha demanda, como son las drogas disponibles oralmente y agentes bactericidas con buena penetración en tejidos (Brötz-Oesterhelt y Sass, 2010). Por lo tanto, es de suma importancia, junto con otras medidas preventivas, invertir de forma sostenida en la búsqueda de nuevas moléculas terapéuticas para contar con herramientas alternativas para combatir a dichos agentes patógenos.

Los péptidos bioactivos resurgen como potenciales candidatos a drogas luego de que el tamizaje (*screening*) de nuevos compuestos mediante el uso de librerías sintéticas y metodologías de *alta performance*, que ha tenido furor en el área teórica, haya otorgado pocos resultados. Es por eso que la búsqueda de productos naturales seguida de optimización en laboratorio ha vuelto con renovado interés (Albericio and Kruger, 2012; Cragg & Newman, 2013; Uhlig et al. 2014; Vlieghe, 2010).

Los péptidos antimicrobianos (PAMs) han demostrado ser moléculas muy versátiles. Forman parte de la inmunidad innata de diversos organismos y poseen una

distribución muy amplia en la naturaleza. Durante las últimas décadas, el número de patentes de tecnologías relacionadas con aplicaciones que involucran péptidos ha crecido significativamente con un promedio de 10.000 por año desde 1996, lo que refleja un desarrollo muy dinámico del mercado de péptidos (Pathan et al., 2010; Uhlig et al., 2014). Al año 2016 hay más de 50 medicamentos peptídicos comercializados en todo el mundo con más de 170 en diversas etapas de desarrollo clínico y más de 200 en otras etapas preclínicas. Éstos presentan numerosas ventajas respecto a otras moléculas bioactivas pequeñas en términos de especificidad y afinidad por los blancos (targets), y por sobre los anticuerpos en términos de tamaño. Han demostrado tener una buena actividad contra una amplia variedad de patógenos tanto animales como humanos, incluyendo bacterias resistentes a antibióticos. Y muchos de ellos están actualmente aprobados para uso clínico (Eckert, 2011).

Dentro de la amplia variedad de organismos que producen PAMs, los anfibios son uno de los grupos más importantes. La piel de los mismos es una de las fuentes más abundantes de estos péptidos (APD), puesto que forman parte esencial de su inmunidad innata generando una primera línea de defensa contra microorganismos patógenos. Muchas especies han sido estudiadas en todo el mundo, sin embargo los anfibios de Argentina en general y de la región Patagónica en particular aún no han sido explorados. En este sentido, nuestro grupo de trabajo ha sido pionero en la bioprospección de péptidos antimicrobianos de la piel de anfibios de la Patagonia (Marani et al., 2017).

El mecanismo de acción de los péptidos antimicrobianos está basado en su inserción en las bicapas lipídicas de las membranas de los microorganismos provocando un desplazamiento de los lípidos, una alteración en la estructura de la membrana y, en algunos casos, la entrada del PAM a la célula (Brandenburg et al., 2012). La mayoría de los PAMs son catiónicos en la naturaleza, en general presentan una conformación anfipática específica y una estructura secundaria del tipo α -hélice (Conlon et al. 2011). Presentan afinidad por polisacáridos de la pared bacteriana y por los fosfolípidos bacterianos. Sin embargo, la falta de homología en la secuencia de los diferentes PAM sugiere que la estructura 3D y las interacciones fisicoquímicas son más importantes en su función que su estructura primaria. Realizando pequeñas alteraciones en su secuencia por otros aminoácidos naturales o no-naturales (ej. D-aminoácidos), en puntos críticos, se podría mejorar la actividad antimicrobiana de los péptidos mediante la redistribución de las cargas y una mayor afinidad por las membranas microbianas que típicamente presentan superficies aniónicas (Conlon et al., 2007; González et al., 2010; Mangoni et al. 2011). A la vez que modificaciones como acetilación en el extremo N-terminal o amidación en el extremo C-terminal han demostrado ser estrategias eficaces durante el desarrollo de péptidos para ser utilizados como drogas en el área de salud, obteniendo mayor estabilidad

(mejoramiento de la vida media en suero), al reducir la degradación por proteasas y peptidasas presentes en el suero o en los tejidos (McGregor, 2008).

Dentro de los targets de los péptidos también se ha observado inhibición de enzimas en la formación de la pared celular, en la síntesis de ácidos nucleicos, en la síntesis proteica y en la actividad enzimática. Es por esto que los PAMs pueden actuar como una nueva clase de antibióticos convenientes para complementar la terapia convencional (Brötz et al., 2010).

La Argentina, es un país de sumo interés por las adaptaciones que exhibe su fauna en respuesta a diferentes regiones geográficas y agresores biológicos (Lavilla et al., 2000). Dada su riqueza, la evaluación de péptidos bioactivos provenientes de anfibios presenta una oportunidad única, con un gran potencial biotecnológico para el hallazgo de nuevas moléculas.

Esto podrá ser de utilidad para la industria farmacéutica tanto a nivel nacional como global, por presentar una alternativa para combatir diferentes microorganismos teniendo en cuenta la reiterada aparición de microorganismos resistentes a antibióticos convencionales.

A su vez la identificación y caracterización de los péptidos presentes en la piel de los anfibios de nuestro país permitirá el análisis de la biodiversidad/filogenia de los mismos a través de la comparación de su secuencia con las de péptidos presentes en la piel de otras especies de anfibios del mundo y brindará herramientas para reforzar la importancia de la conservación de las mismas.

2. LINEAS DE INVESTIGACION y DESARROLLO

1. Bioprospección de péptidos antimicrobianos en la piel de anfibios de Argentina. Aislamiento, identificación, síntesis y caracterización. Evaluar su potencialidad de uso clínico.

2. Diseño de análogos a partir de los PAMs identificados. Mejora química de su potencial como antimicrobianos, y/o antioxidantes para su aplicación tecnológica.

3. Evaluación de la relación Estructura-Función.

3. RESULTADOS OBTENIDOS/ ESPERADOS

Nuestro grupo de trabajo ha sido pionero en la bioprospección de péptidos antimicrobianos de la piel de anfibios de la Patagonia (Marani et al., 2017). Hemos trabajado con las especies patagónicas *Pleurodema thaul* (Marani et al. 2017), *P. bufoninum*, *P. somuncurence* (Cancelarich et al., 2020), *Odonthophrynus occidentalis*. También trabajamos con especies del Nordeste argentino como *Boana pulchella* (Aguilar 2019, Brunetti, *B. punctata*, *B. prasina*, *Leptodactylus latrans*, *L. chaquensis*, *Physalaemus albonotatus*, *Pseudopaludicola boliviana* (Brunetti et al. 2018; Aguilar 2018) y de Brasil con la especie *Leptodactylus pustulatus* (Oliveira et al. 2016; Marani et al. 2015) (Figura1).

Entre todas estas especies hemos identificado más de 70 péptidos. Más de 30 fueron sintetizados entre los cuales se observó actividad antimicrobiana frente a las cepas *E.*

coli, *S. aureus* (CIM 25-320 μ M), y actividad antiparasitaria frente a promastigotas y amastigotas de *Leishmania infantum* (IC50 9.8-28.9 μ M).



Figura 1. Ejemplares estudiados por integrantes del grupo BIAPEP en colaboración con colegas. Entre paréntesis se indica la cantidad de péptidos identificados a partir de la piel de los mismos.

En general dependiendo de su secuencia y su estructura, los PAMs pueden formar poros de diversos tipos y generar canales acuosos, micelas o acomplejarse en la membrana formando “carpetas”. Nuestro grupo de trabajo ha observado alteraciones morfológicas con péptidos aislados de anfibios tanto en *E. coli* (Marani et al. 2017) como en formas promastigotas de *L. infantum* (Oliveira et al. 2016) utilizando técnicas de Microscopía de Fuerza Atómica (AFM) y Microscopía Electrónica de Barrido (SEM) respectivamente.

Los péptidos recientemente identificados por nuestro grupo de trabajo presentan secuencias aminoacídicas nuevas, con bajo porcentaje de similitud respecto de los péptidos antimicrobianos descritos hasta ahora, pero con las características deseables y típicas de estos compuestos (catiónicos, anfipáticos, y/o con estructura α -hélice). Para permitir la explotación completa de estos péptidos, es necesario conocer y mejorar su modo de acción. Nuestro grupo de trabajo ha observado que, pequeños cambios en la secuencia producen cambios en la estructura 3D de los péptidos, y esto afecta su interacción electrostática con las membranas y por lo tanto su actividad antimicrobiana. Actualmente estamos trabajando en aplicar modificaciones químicas tanto en los extremos N- y C-terminal de los péptidos para mejorar su estabilidad frente

a las proteasas y mejorar las características fisicoquímicas deseables, como carga neta total, la anfipaticidad y/o el equilibrio entre las regiones hidrófobas y polares entre otras.

Nuestra meta es aumentar la capacidad de los péptidos de provocar la disrupción y permeabilización de las membranas de los microorganismos patógenos, y por lo tanto su acción microbicida, aumentando su afinidad hacia los fosfolípidos y polisacáridos foráneos y disminuir su citotoxicidad frente a células humanas. Este tipo de compuestos podrá ser de utilidad para la industria farmacéutica en el plano alimentario, veterinario e inclusive humano, tanto a nivel regional, nacional como global, al presentar una alternativa para combatir diferentes microorganismos teniendo en cuenta tanto las enfermedades desatendidas como la reiterada aparición de microorganismos resistentes a antibióticos convencionales.

Es por esto que nos enfocamos en aislar, identificar y caracterizar los PAMs presentes en la piel de los anfibios de Argentina. Evaluar su potencialidad de uso clínico y la posibilidad de aplicar diferentes modificaciones químicas en la secuencia para mejorar la perspectiva de aplicación.

Objetivos específicos en curso:

- 1-Identificar y caracterizar péptidos antimicrobianos presentes en la piel de anfibios del Nordeste Argentino.
- 2-Analizar la actividad antimicrobiana de los péptidos previamente identificados frente a las cepas *E. coli* y *S. aureus* y su actividad hemolítica.
- 3-Optimizar las secuencias de los péptidos identificados para mejoramiento de la perspectiva de aplicación tecnológica.
- 4-Síntesis y caracterización de nuevos análogos.

4. FORMACION DE RECURSOS HUMANOS

Lic. Lorena Cancelarich. Cursando el último año de su Beca Doctoral CONICET (Directora: Mariela Marani, Co-director: Néstor Baso)

Lic. Silvana Aguilar. Realizó su tesis de Licenciatura (Directora: Mariela Marani, Co-director: Orlando Pérez) y actualmente está cursando el primer año de su Beca Doctoral CONICET (Directora: Mariela Marani, Co-director: José Roberto Leite)

Actualmente estamos trabajando en colaboración con colegas de Brasil (Dr. José Roberto Leite-Co-director de la Beca Doctoral de la Lic. Aguilar), de SudÁfrica (Prof. Dr. Fernando Albericio) y de Argentina (Dr. Néstor Baso, Dr. Andrés Brunetti, Dra. Mónica Pickholz)

5. BIBLIOGRAFIA

Aguilar. Tesis de Licenciatura. Caracterización molecular de prepeptidos presentes en la piel de *Boana pulchella* (Ranita del zarzal) (Anura: Hylidae). UNPSJB Sede Puerto Madryn (2018)

Albericio A. & Kruger H.G. Therapeutic Peptides. Future med. Chem. (2012) 4 (12), 1527-1531.

APD Antimicrobial Peptide Database
<http://aps.unmc.edu/AP/main.php>

- Brötz-Oesterhelt H. y Sass. Postgenomic strategies in antibacterial drug discovery. *Future Microbiol.* (2010) 5, 10, 1553-1579. doi: 10.2217/fmb.10.119.
- Brunetti A. et al. Cleavage of Peptides from Amphibian Skin Revealed by Combining Analysis of Gland Secretion and in situ MALDI Imaging Mass Spectrometry. *ACS Omega* (2018), 3, 5426–5434. Doi: 10.1021/acsomega.7b02029.
- Cancelarich L. et al. “Somuncurins: Bioactive peptides from the skin of the endangered endemic Patagonian frog *Pleurodema somuncurense*”. *Journal of Natural Products*, (2020), 83, 4, 972-984.
- Conlon J.M. et al. Effect of aminoisobutyric acid (Aib) substitutions on the antimicrobial and cytolytic activities of the frog skin peptide, temporin-1DRa. *Peptides* (2007) 2075-2080.
- Cragg G.M. & Newman D.J. Natural products: a continuing source of novel drug leads. *Biochim. Biophys. Acta.* (2013) 1830 (6), 3670-3695.
- CoNaCRA Comisión Nacional para el Control de la Resistencia Antimicrobiana. Estado actual de la República Argentina. 2019.
- Eckert R. 2011. Road to clinical efficacy: challenges and novel strategies for antimicrobial peptide development. *Future Microbiol.* 6(6): 635-651.
- González R. et al. Improved antimicrobial activity of lysozyme (107-115) by rational Ala substitution. *J. Pept. Sci.* (2010) DOI10.1002/psc.1258.
- Henniot et al. The current state of peptide drug discovery: Back to the future? (2017). 10.1021/acs.jmedchem.7b00318
- Lavilla, E.O. et al. Categorización de los anfibios de Argentina. In: Lavilla, E.O., Richard, E., Scrocchi, G.J. (Eds.), *Categorización de los anfibios y Reptiles de la República Argentina. Edición Especial Asociación Herpetológica Argentina*. Tucumán, Argentina, pp. 11–34.
- Lax. The future of peptide development in the pharmaceutical industry. *PharManufacturing: Int Peptide Rev* (2013) 10-55.
- Livermore. Has the era of untreatable infections arrived? *J. Antimicrob. Chemother.* (2009) 64 i29-i36.
- Mangoni M.L. et al. Structure-Activity Relationship, Conformational and Biological Studies of Temporin L Analogues. *J. Med. Chem.* (2011), 54, 1298–1307.
- Marani M.M. et al. Thaulin-1: The first antimicrobial peptide isolated from the skin of a Patagonian frog *Pleurodema thaul* (Anura: Leptodactylidae: Leiuperinae) with activity against *Escherichia coli*. *Gene* (2017) 605, 70-80.
- Marani M.M. et al. Characterization and biological activities of ocellatin peptides from the skin secretion of the frog *Leptodactylus pustulatus*. *J. Nat. Prod.* (2015) 78 (7), 1495–1504.
- McGregor. Discovering and improving novel peptide therapeutics. *Current Opin. Pharmacol.* (2008), 8, 616-619.
- Oliveira M. et al. Ocellatin-PT antimicrobial peptides: microscopy studies in antileishmania models and interactions with mimetic membrane systems. *Biopolymers* (2016) 105 (12) 873-886. Ed. Wiley Online Libray. On-line ISSN 1097-0282. doi: 10.1002/bip.22925.
- Organización Mundial de la Salud. Antimicrobial Resistance. Global Report on Surveillance. World Health Organization, Paris, France. 2014.
- Organización Mundial de la Salud. Resistencia a los antimicrobianos. Nota descriptiva. 2016 (<http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs194/es/>)
- Organización Panamericana de la Salud. Informe anual de la red Latinoamericana de Vigilancia de la Resistencia a Antibióticos: 2010. Washington DC, USA. 2013.
- Pathan et al. Recent patents on antimicrobial peptides. *Recent Pat DNA GeneSeq* (2010), 4, 1 10-16.
- Uhlig et al. The emergence of peptides in the pharmaceutical business: From exploration to exploitation. *EuPA Open Proteomics* (2014) 4, 58–69.
- Vlieghe et al. Synthetic therapeutic peptides: science and market. *Drug Discovery Today*, (2010) 15, 40.