

ENCUBRIDORAS POR NATURALEZA: LAS PLANTAS ACUÁTICAS OCULTAN LOS SECRETOS DE LA CONTAMINACIÓN

Palabras clave: macrófitas acuáticas; biomarcadores; plaguicidas.
Key words: aquatic macrophytes; biomarkers; pesticides.

Las macrófitas son especies clave en los ecosistemas debido a que mantienen la biodiversidad y prestan numerosos servicios ecosistémicos. Las especies acuáticas están expuestas a tóxicos ambientales provenientes de fuentes diversas como descargas industriales, efluentes urbanos y residuos de plaguicidas. Como consecuencia y, a pesar de no ser evidente en su morfología, las plantas acuáticas sufren efectos subletales, que de ser crónicos, pueden generar disminución de la diversidad genética de las poblaciones y desequilibrio ecológico. Los estudios ecotoxicológicos actuales incluyen el análisis de biomarcadores de la contaminación, que son cambios a nivel molecular, fisiológico y bioquímico, entre otros, y que incluyen los sistemas enzimáticos de biotransformación y otros vinculados al efecto de estrés oxidativo. Estos biomarcadores son conocidos también como señales de alarma temprana debido a que al estudiarse en ambientes naturales pueden evidenciar estadios tempranos de contaminación. Las especies dulceacuícolas como *Ceratophyllum demersum* (L.), *Myriophyllum quitense* (Kunth) y *M. aquaticum* (Vell) Verdc, *Bidens laevis* (L.) y estuariales del género *Spartina* (Brongn) se utilizan como organismos biomonitores. Además, algunas de ellas se utilizan en el estudio de biomarcadores bioquímicos y genéticos (frecuencia de aberraciones cromosómicas y fragmentación del ADN), con el fin de conocer mecanismos de toxicidad y en último término aplicar estas respuestas al monitoreo de la contaminación ambiental.



Mirta L. Menone

Laboratorio de Ecotoxicología. Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras (IIMyC, CONICET/UNMDP). Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad Nacional de Mar del Plata. Funes 3350, 7600 Mar del Plata. Argentina.

E-Mail: mirta.menone@gmail.com

Macrophytes play essential roles in aquatic ecosystems because they maintain biodiversity and supply important ecosystem services. Aquatic species are exposed to environmental toxins that come from different sources like industrial and urban discharges and agricultural activities. Consequently, aquatic macrophytes can suffer sub-lethal effects that can lead ultimately to reduction in the genetic diversity and ecological imbalance. Nowadays, the ecotoxicological studies include biomarkers, which are changes at molecular, physiological or biochemical levels among others, including enzymatic systems of xenobiotic biotransformation as well as oxidative stress indicators. These biomarkers are also known as early warning systems, because they can show early stages of pollution in natural ecosystems. Freshwater species like *Ceratophyllum demersum* (L.), *Myriophyllum quitense* (Kunth) and *M. aquaticum* (Vell) Verdc, *Bidens laevis* (L.) and estuarine species from *Spartina* (Brongn) are used as biomonitors. Biochemical and genetic biomarkers (frequency of chromosomal aberrations and DNA fragmentation) can be studied in the biomonitor species in order to know the mechanisms of toxicity and to apply them in the field.

■ IMPORTANCIA DE LAS PLANTAS ACUÁTICAS

Encubridoras...¿Y cómo podríamos denominar sino a las plantas acuáticas? si ellas permanecen en su hábitat generando nuestra fuente de vida...el vital oxígeno...mientras su-

fren efectos por exposición a tóxicos ambientales, que no se manifiestan en su morfología general. Son capaces de ocultar efectos subletales que ocurren en estadios tempranos de contaminación pero que, de ser crónicos, pueden generar una disminución de la diversidad genética de las

poblaciones, pérdida del potencial de adaptación y desequilibrio ecológico. Por ejemplo, la contaminación por agroquímicos puede generar cambios en las células de las plantas que indican efectos dañinos no evidentes, pero son el inicio de consecuencias mayores en el ambiente.

Las macrófitas en general, y las acuáticas en particular, son especies clave en los ecosistemas debido a que mantienen la biodiversidad y cumplen roles funcionales. Ellas proveen hábitat a otras especies como algas epifitas y animales, alimento para invertebrados y vertebrados (peces y aves) y sitios de oviposición a invertebrados y peces. Además, mantienen el funcionamiento físico y químico de los ecosistemas dulceacuáticos, incrementando la claridad del agua por la reducción de sedimento en suspensión, absorbiendo nutrientes y compitiendo con las algas por la luz (Maltby y col., 2010). Intervienen en la con-

versión solar de energía, de dióxido de carbono en materia orgánica, la producción de oxígeno, el ciclado y retención de nutrientes y la estabilización de los sedimentos (Wetzel, 2001). La actividad fotosintética entre otros procesos, puede afectar la dinámica de los gases disueltos, los iones hidrógeno (pH) y nutrientes tales como fosfato y nitrógeno (Arts y col., 2010).

■ UTILIZACIÓN DE LAS PLANTAS ACUÁTICAS EN ESTUDIOS DE CONTAMINACIÓN. UN ENFOQUE ACTUAL.

A pesar de brindar todos los ser-

vicios ecosistémicos enunciados, y de ser depósitos globales de contaminantes debido a su capacidad de acumulación, estos organismos no son empleados tan frecuentemente en el diagnóstico o la predicción de efectos adversos generados como consecuencia de actividades antrópicas.

Algunas especies se han utilizado en el biomonitoreo de la contaminación acuática, mediante el análisis de las concentraciones acumuladas en sus tejidos. Si bien, determinando solamente los niveles de contaminantes no sabremos si se generan efectos adversos o no, es decir, no

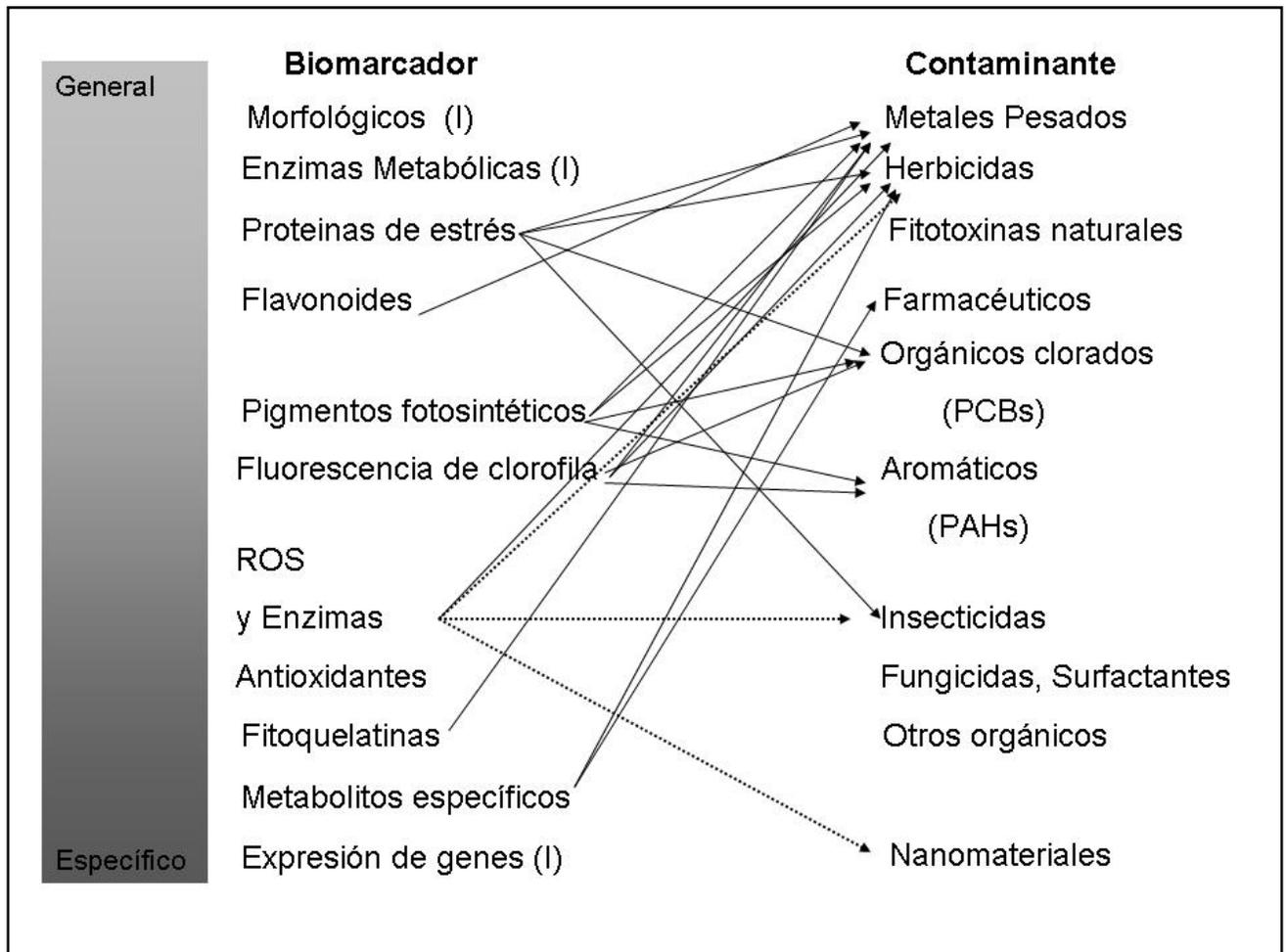


Figura 1: Esquema de los biomarcadores vinculados a diferentes contaminantes. Las líneas enteras indican una asociación fuerte, y las punteadas débiles. Este diagrama no representa todas las aplicaciones de cada biomarcador, sólo muestra los tipos de contaminantes que han sido evaluados con un biomarcador dado. ROS: especies reactivas del oxígeno. (I): el biomarcador es apropiado potencialmente para todos los tipos de contaminantes. Adaptado y modificado de Brain y Cedergreen, 2009.

tendremos información de la significancia toxicológica del contaminante. Cuando un organismo se enfrenta a un contaminante se desencadenan respuestas a nivel celular, dentro de las cuales se destacan los sistemas enzimáticos de detoxificación. En los años setenta un investigador alemán, el Dr. Sandermann, postuló el concepto de "Hígado Verde" considerando que las plantas poseen los mismos sistemas detoxificantes que se encuentran en el hígado de los animales (Sandermann y col., 1977). Este concepto se ha comprobado y se aplica en la evaluación de la contaminación ambiental y en ecotoxicología analizando respuestas bioquímicas, que son previas a cambios observables en las poblaciones o los ecosistemas, y que incluyen enzimas metabólicas de biotransformación. Estos parámetros, así como otros moleculares, fisiológicos, histológicos y genéticos se denominan biomarcadores y se definen como cambios en una respuesta biológica que pueden ser relacionados a la exposición o a los efectos tóxicos de químicos ambientales (Peakall, 1994). Al ser aplicados en estudios de cuerpos de agua naturales pue-

den funcionar potencialmente como sistemas de alarma temprana, anticipando efectos negativos en la biota.

En comparación con los animales, el estudio de biomarcadores en plantas ha sido menos explorado. En la Figura 1 se muestra una compilación de los biomarcadores apropiados para estudiar determinadas clases de contaminantes. Como puede observarse, los metales pesados y los herbicidas han sido evaluados mediante el uso de muchos biomarcadores, mientras que la aplicación de éstos es escasa para otros contaminantes conocidos como emergentes (productos farmacéuticos y nanomateriales). Particularmente las especies reactivas del oxígeno (del inglés: *reactive oxygen species*, ROS) así como las enzimas antioxidantes se han vinculado a agroquímicos generadores de estrés oxidativo, efecto que se ha convertido en materia de estudio tanto en toxicología terrestre como acuática. El estudio del estrés oxidativo y el daño oxidativo a biomoléculas (ADN, proteínas y lípidos) así como de las defensas antioxidantes hoy día constituye un campo de estudio establecido en toxicología

ambiental y ecotoxicología, debido a que numerosos contaminantes de diferente naturaleza son capaces de generar este efecto.

■ EVALUACIÓN DE BIOMARCADORES BIOQUÍMICOS EN ESPECIES ACUÁTICAS

La generación de estrés oxidativo puede ocurrir naturalmente en macrófitas acuáticas como *Ceratophyllum demersum* (L.) (Fam. Ceratophyllaceae), por ejemplo durante la biotransformación de microcistina-LR, una toxina de cianobacterias comunes en cuerpos de agua dulce (Pflugmacher, 2004). Estas toxinas son producidas y retenidas en las células de las cianobacterias durante el florecimiento o proliferación poblacional, pero pueden liberarse a la columna de agua cuando las células están senescentes por ejemplo; y de esta manera quedar disponibles para ser incorporadas por invertebrados, peces y plantas. Estos organismos son capaces de detoxificar las toxinas, modificando su estructura química pero con el consecuente efecto de estrés oxidativo en las células del animal o planta que las acumulen.

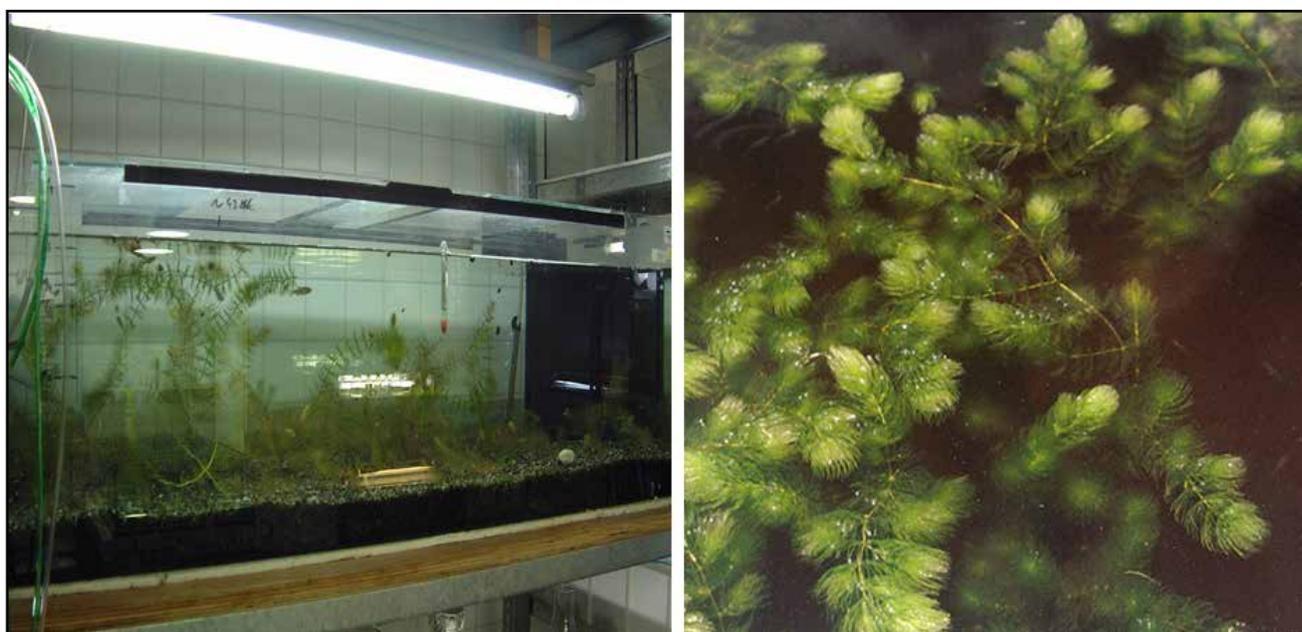


Figura 2: *Ceratophyllum demersum* en laboratorio. Fuente: IGB Berlín-Dr. Stephan Pflugmacher.

Así, la actividad de la enzima detoxificante glutatión-S-transferasa (GST), o de enzimas antioxidantes como superóxido dismutasa (SOD) y catalasa (CAT) entre otras, pueden ser utilizadas como biomarcadores, capaces de caracterizar el mecanismo de toxicidad de las cianotoxinas.

C. demersum es una especie flotante, dulceacuícola y cosmopolita, que habita regiones templadas y tropicales (Figura 2). Este organismo se ha utilizado como biomonitor de metales pesados (Devi y Prasad, 1998) y además, en ensayos de laboratorio para evaluar biomarcadores de contaminantes de origen industrial como los bifenilos policlorados (PCBs) (Menone y Pflugmacher, 2005) y agroquímicos como la cipermetrina (Menone y col., 2005).

Por otra parte, en zonas estuariales, se destacan las especies del género *Spartina* (Familia Poaceae), caracterizadas como potencialmente útiles para biomonitorar ecosistemas costeros debido a su abundancia en el intermareal y a su distribución geográfica amplia en zonas templadas (Padinha y col., 2000). En un estudio llevado a cabo en USA con la especie *S. alterniflora* (Loesel) se observó que la sensibilidad entre plantas e invertebrados no era consistente. De doce sedimentos que afectaron significativamente el crecimiento de las plántulas, diez no fueron tóxicos para los invertebrados; demostrando que las especies vegetales proveen información que puede perderse si sólo se utilizan especies animales en este tipo de estudio (Lewis y col., 2001). *S. densiflora*

(Brongn) es una especie nativa de la costa este de Sudamérica, y hoy día una de las tres especies de mayor distribución a nivel mundial. Un estudio realizado entre el sur de Brasil y la costa norte patagónica argentina mostró que ambas *Spartinas*, conjuntamente con *Sarcocornia perennis* (P. Mill) son las especies que dominan las marismas, es decir, las más representativas de esos ambientes (Isacch y col., 2006). *S. densiflora* es un organismo bioingeniero, tolerante a un amplio espectro de condiciones ambientales, que habita no sólo el sedimento intermareal sino costas arenosas, rocosas e incluso playas de canto rodado (Bortolus, 2006) (Figura 3). Algunos ejemplos de estudios de estrés oxidativo son aquellos donde se evaluaron las actividades de los sistemas antioxidantes en



Figura 3: *Spartina densiflora* en las marismas de la laguna costera Mar Chiquita (provincia de Buenos Aires). Fotografía tomada por la autora en Febrero de 2012.



Figura 4: *Myriophyllum quitense* en laboratorio. **Fuente:** Dras. Débora Pérez y Mirta Menone.

S. densiflora proveniente de las marismas de Odiel, en España, observándose que estuvieron moduladas en base al grado de contaminación de los diferentes sitios muestreados (Martínez-Domínguez y col., 2008). Hemos estudiado a *S. densiflora* proveniente de la laguna costera Mar Chiquita (provincia de Buenos Aires) y sabemos que es una acumuladora eficiente de contaminantes orgánicos (plaguicidas organoclorados y PCBs) (Menone y col., 2000) y que es posible realizar aclimatación de ejemplares en laboratorio y análisis de diferentes biomarcadores bioquímicos en sus tejidos (Lukaszewicz y col., 2010, Menone y col., 2012). En un proyecto reciente entre países del Mercosur, se tomaron muestras de diferentes zonas estuariales pertenecientes a las costas brasileras, chilenas y argentinas. En ellas se comparó la capacidad de *S. densiflora* de acumular contaminantes característicos de cada ambiente. Se observó que la raíz fue el principal órgano de acumulación de metales pesados, por ejemplo mercurio (Hg) en el estuario Lengua de Chile (Díaz Jaramillo y col., 2014). En el mismo sitio también se detectaron las con-

centraciones más elevadas de hidrocarburos poliaromáticos (PAHs), si bien para estos contaminantes la acumulación se observó en las hojas (Costa y col., 2014).

■ BIOMARCADORES BIOQUÍMICOS VINCULADOS CON AGROQUÍMICOS DE USO ACTUAL EN ARGENTINA

En nuestro grupo de trabajo nos interesamos en conocer qué tan tóxicos podían ser algunos agroquímicos usados masivamente en Argentina, y estudiamos el posible efecto de estrés oxidativo del recientemente prohibido insecticida endosulfán (ES) y del fungicida azoxystrobina (AZX). La planta utilizada fue *Myriophyllum quitense* (Kunth) (Fam. Haloragaceae), una especie de distribución amplia en América del Sur, del Norte y Central (Orchard, 1981). Es una hierba frecuente en lagunas, arroyos y tanques australianos. En cuanto a su hábito de crecimiento es sumergida, con raíces arraigadas al sedimento, pero con hojas flotantes (Figura 4).

En ensayos de laboratorio hemos

observado que las actividades de las enzimas CAT, GST y glutatión reductasa (GR) se incrementaron respecto a las actividades enzimáticas de plantas que no estaban expuestas al endosulfán (plantas control). Asimismo, se evidenció un incremento de los niveles de peróxido de hidrógeno (H_2O_2), una de las ROS, demostrándose el efecto de estrés oxidativo generado por el insecticida (Menone y col., 2008). Recientemente, también en *M. quitense* analizamos parámetros similares ante la exposición a AZX, un compuesto de uso actual cuyo mecanismo de toxicidad es la inhibición de la respiración mitocondrial en hongos y otros organismos no fúngicos (Sauter y col., 1995). Residuos de este compuesto ya se han detectado en arroyos y otros cuerpos de agua cercanos a campos de agricultura donde se aplica, en concentraciones que oscilan entre 7 y 30 $\mu\text{g/L}$ (Bony y col., 2008; Komárek y col., 2010). Con el fin de simular un pulso de contaminación esperable en la naturaleza, hemos realizado exposiciones de laboratorio con concentraciones de entre 0,1 y 100 $\mu\text{g/L}$ de AZX, con una duración de 24 horas. Los

resultados obtenidos han mostrado la inhibición de algunas enzimas antioxidantes como CAT y guaya-col-peroxidasa (POD), así como un incremento en productos de oxidación de ácidos grasos de membrana, como el malondialdehído (MDA). Así, hemos comprobado que la AZX genera estrés y daño oxidativo a 50 $\mu\text{g/L}$ (Garanzini y Menone, 2015). Si bien esta concentración del fungicida es mayor a los niveles ambientales, podría transformarse en relevante considerando el uso masivo y sostenido en el tiempo del compuesto en la agricultura nacional e internacional. Por otra parte, en *M. quitense* expuesta a 50 y 100 $\mu\text{g/L}$ de AZX también se ha observado daño en ácidos nucleicos, medido mediante un ensayo que cuantifica la fragmentación de ADN (Garanzini y Menone, 2015).

■ EVALUACIÓN DE LA GENOTOXICIDAD EN ESPECIES ACUÁTICAS

Las plantas permiten trabajar fácilmente con meristemas y tejidos reproductivos para analizar efectos asociados a modificaciones en la dinámica del ciclo celular o de la meiosis, respectivamente. También

se pueden detectar alteraciones cromosómicas producto del efecto directo de diferentes agentes sobre el ADN o las proteínas asociadas al mismo (Wulff; Andrioli, 2006). En 1993 se estableció el Programa Internacional de Bioensayos en Plantas, IPPB (International Program on Plant Bioassays) para el monitoreo tanto de la calidad del agua, aire y suelo (Ma, 1998). Este programa incluyó el uso de diferentes bioensayos, tales como aberraciones cromosómicas en meristemas apicales de raíces de *Allium cepa* (n.v.: cebolla) y *Vicia faba* (n.v.: haba), mutaciones en pelos estaminales y micronúcleos en *Tradescantia palludosa* y mutaciones en embriones de *Arabidopsis thaliana*. Hoy en día se los emplea en la detección de genotoxicidad de sitios contaminados y de emisiones de aguas residuales industriales y urbanas, mediante el biomonitoreo *in situ*. Además, se han protocolizado los ensayos de micronúcleos y aberraciones cromosómicas en otras especies de plantas terrestres como por ejemplo en *Pisum sativum* (n.v.: arveja) (Grant y Owens, 2001) o *Lycopersicon esculentum* (n.v.: tomate) (Grant y Owens, 2002).

Los ensayos *in situ* en ecosiste-

mas acuáticos utilizando plantas terrestres biomonitoras transplantadas sirven para identificar la presencia de agentes genotóxicos, sin embargo, ellas no son capaces de revelar el impacto en las poblaciones acuáticas crónicamente expuestas en su hábitat natural. Este problema puede solucionarse utilizando especies integrantes de la flora natural del lugar de estudio logrando resultados más realísticos. Nuestro grupo de trabajo ha investigado la genotoxicidad potencial de los agroquímicos antes mencionados, mediante la cuantificación de aberraciones cromosómicas en mitosis y fragmentación del ADN en la macrófita *Bidens laevis* (L.) (Familia Asteraceae). Esta especie es herbácea perenne (Figura 5) y posee una amplia distribución en toda América (Lahitte y Hurrell, 1997). En Argentina se la encuentra en pajonales y zonas anegadas de las provincias de Buenos Aires, Córdoba, Santa Fe y Entre Ríos (Cabrera y col., 2000) así como en la ribera de lagunas y arroyos pampásicos. Es fácil de propagar en el laboratorio, con un porcentaje de germinación de semillas mayor al 70% posibilitando la obtención de grupos de plántulas para realizar los bioensayos de exposición a contaminantes.



Figura 5: *Bidens laevis* en la ribera de laguna La Brava (provincia de Buenos Aires-Argentina). Fotografías tomadas por la autora en Marzo de 2015.

En cuanto a sus características citológicas, es de destacar que posee un número cromosómico relativamente bajo ($2n = 24$) y alta proliferación celular en el ápice de las raíces, con un índice mitótico de 4-12%. De esta manera, podemos considerar a *B. laevis* como una macrófita óptima para estudiar genotoxicidad a nivel citogenético (Menone y col., 2015). De esta manera, hemos seleccionado a esta especie del medio acuático con el fin de analizar la contaminación acuática, obteniéndose datos más ajustados a la realidad.

Dentro de los biomarcadores más comúnmente utilizados se encuentran las aberraciones cromosómicas en anafase-telofase (ACAT), fácilmente detectables durante la división celular. Hemos detectado un incremento de ACAT, tanto en las raíces de plántulas de dos meses de edad como en las radículas emergentes de semillas expuestas al insecticida endosulfán, a concentraciones de entre 5 y 100 $\mu\text{g/L}$ (Pérez y col., 2011). Además, hemos observado una respuesta dependiente de la concentración, es decir, mayor frecuencia de aberraciones cuanto mayor es la concentración del endosulfán, característica muy importante del biomarcador, debido a que permite determinar la magnitud del efecto genotóxico. Las aberraciones que predominaron fueron cromosomas rezagados y "vagabundos", derivados de la interacción del tóxico

con el huso acromático (Figura 6). Este tipo de anomalías finalmente originan células hijas con un complemento cromosómico incompleto, dando lugar a aneuploidías. Este efecto fue observado en exposiciones de laboratorio tanto al ingrediente activo endosulfán (en proporción isómero alfa/ isómero beta, 7:3) (Pérez y col., 2008, 2011), como al formulado comercial "Endosulfan 35 Nufarm" (Pérez-Lukaszewicz y col., 2014). En estudios preliminares que hemos realizado recientemente, también hemos hallado un incremento de ACAT en raíces de *B. laevis* expuestas a concentraciones de entre 0,1 y 100 $\mu\text{g/L}$ del fungicida AZX (Pérez y col., 2013).

■ GLOSARIO

Aneuploidía: variación del número cromosómico que no es múltiplo exacto del juego cromosómico haploide (un ejemplo común es la monosomía que consiste en la ausencia de uno de los cromosomas integrantes de un par).

Bioensayo: Experimentos donde se miden efectos tóxicos de compuestos específicos o mezclas de ellos, bajo condiciones controladas.

Bioingeniero: organismos capaces de modificar, mantener o crear habitats.

Biomonitoreo: uso de organismos

vivos como "sensores" en la evaluación de la calidad del agua/sedimento para detectar cambios en un cuerpo de agua e indicar si la vida acuática puede estar en peligro.

Biotransformación: Cambios en la estructura o naturaleza de un compuesto mediado por actividad enzimática en animales y plantas. El metabolismo de contaminantes se divide en tres fases, una primera de funcionalización, una segunda de conjugación con compuestos endógenos como glucosa o glutatión, y una tercera de excreción de metabolitos generalmente más polares que el compuesto original.

Cianobacterias: (= cianofitas) Grupo de bacterias, es decir células procariontas, que obtienen su energía mediante la fotosíntesis. Antiguamente llamadas algas azul-verdes.

Estrés oxidativo: desbalance entre la generación y la neutralización, mediada por mecanismos antioxidantes, de especies reactivas del oxígeno en las células de un organismo.

Genotoxicidad: capacidad para causar daño al material genético por parte de agentes físicos, químicos o biológicos

Índice mitótico: porcentaje de células en estadios de mitosis (profase + metafase + anafase + telofase) sobre un total de 1000 células observadas.

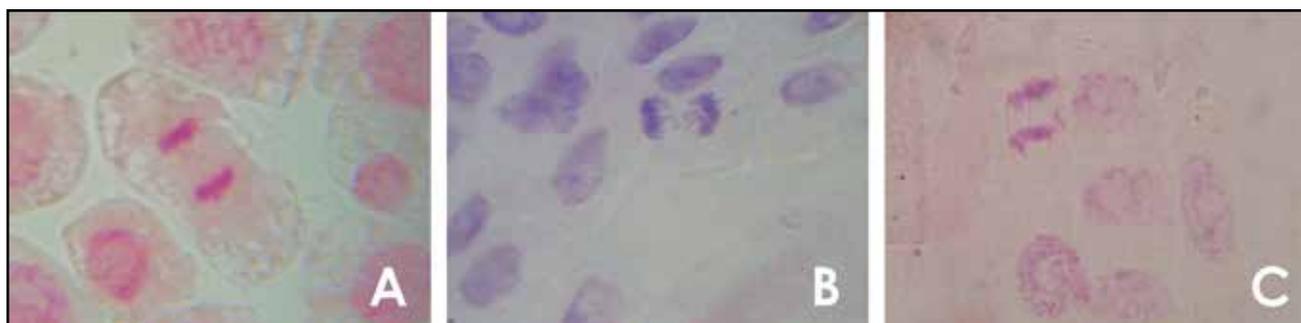


Figura 6: Aberraciones cromosómicas en raíces de *Bidens laevis*. A: anafase normal, B: cromosomas rezagados y C: puente anafásico. Fuente: Dr. Germán Lukaszewicz.

Meristema: tejido vegetal responsable del crecimiento, constituido por células con capacidad de sufrir división

Micronúcleo: corpúsculo pequeño de cromatina que permanece en el citoplasma, independiente del núcleo celular. Se origina por fragmentación cromosómica o como consecuencia de la disfunción del huso acromático durante la división celular (en mitosis o meiosis).

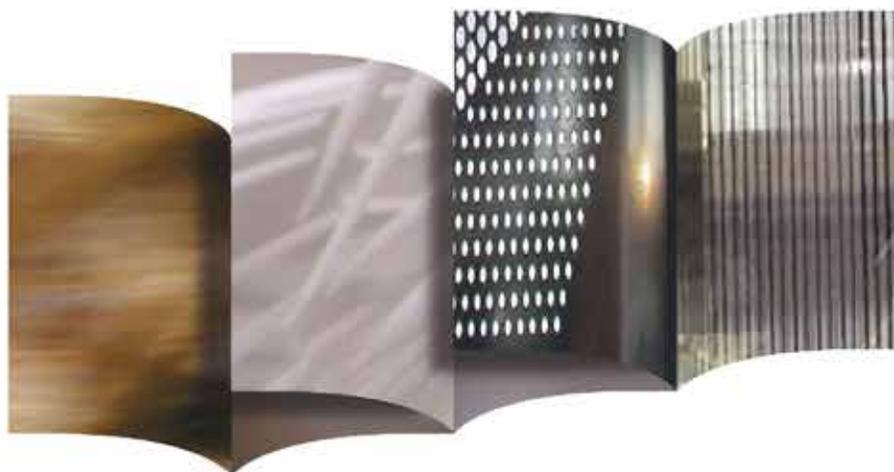
■ AGRADECIMIENTOS:

Gracias a los integrantes del grupo de investigación Ecotoxicología de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales por su esfuerzo permanente en el trabajo y a la Dra. E. Camadro por su apoyo permanente en el desarrollo de la línea de investigación de genotoxicidad en plantas acuáticas. Agradezco también a la Lic. S. Bachmann por la lectura crítica del manuscrito y al CONICET, UNMDP y FONCYT por los subsidios que nos han otorgado en los últimos años para financiar nuestras investigaciones.

■ BIBLIOGRAFÍA

- Arts G, Davies J, Dobbs M, Ebke P, Hanson M, Hommen U, Knauer K, Loutseti S, Maltby L, Mohr S, Poovey A, Poulsen V. (2010). AMEG: the new SETAC advisory group on aquatic macrophyte ecotoxicology. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 17: 820-823.
- Bony S, Gillet C, Bouchez A, Margoum C, Devaux A. (2008). Genotoxic pressure of vineyard pesticides in fish: Field and mesocosm surveys. *Aquat. Toxicol.* 89: 197-203.
- Bortolus A. (2006). The austral cordgrass *Spartina densiflora* Brong.: its taxonomy, biogeography and natural history. *J. Biogeogr.* 33: 158-168.
- Brain RA, Cedergreen N. (2009). Biomarkers in aquatic plants: selection and utility. *Rev. Environ. Contam. Toxicol.* 198: 49-109.
- Cabrera AL, Crisci JV, Deluchi G, Freire SE, Giuliano DA, Iharlegui L, Katinas L, Sáenz AA, Sancho G, Urtubey E. (2000). Catálogo Ilustrado de las Compuestas (=Asteráceae) de la Provincia de Buenos Aires, Argentina: Sistemática, Ecología y Usos. Zavaro, CA, Buenos Aires. pp 136.
- Costa P, Lupi L, Mitton F, Diaz Jaramillo M, Garanzini DS, Jara S, Lukaszewicz G, González M, Miglioranza KSB, Fillmann G, Barra R, Menone ML. (2014). Hidrocarburos poliaromáticos (PAHs) en sedimentos y *Spartina densiflora* de estuarios sudamericanos. V Congreso SETAC Argentina. Neuquén. 22- 25 Octubre.
- Devi SR, Prasad MNV. (1998). Copper toxicity in *Ceratophyllum demersum* L (Coontail), a free floating macrophyte: response of antioxidant enzymes and antioxidants. *Plant Sci.* 138: 157-165.
- Diaz Jaramillo M, Garanzini DS, Jara S, Lukaszewicz G, González M, Mitton F, Lupi L, Costa P, Miglioranza KSB, Fillmann G, Barra R, Menone ML. (2014). Uso de la macrófita estuarial *Spartina densiflora* para el biomonitoreo de metales pesados en ecosistemas estuariales sudamericanos. V Congreso SETAC Argentina. Neuquén. 22- 25 Octubre.
- Grant WF, Owens E. (2001). Chromosome aberration assays in *Pisum* for the study of environmental mutagens. *Mutat. Res.* 488: 93-118.
- Grant WF, Owens E. (2002). *Lycopersicon* assays of chemical/radiation genotoxicity for the study of environmental mutagens. *Mutat. Res.* 511: 207-237.
- Isacch JP, Costa CSB, Rodríguez-Gallego L, Conde D, Escapa M, Gagliardini DA, Iribarne OO. (2006). Distribution of saltmarsh plant communities associated with environmental factors along a latitudinal gradient on the south-west Atlantic coast. *J. Biogeogr.* 33: 888-900.
- Komárek M, Čadková E, Chrástný V, Bordas F, Bollinger JC. (2010). Contamination of vineyard soils with fungicides: A review of environmental and toxicological aspects. *Environ. Int.* 36: 138-151.
- Lahitte HB, Hurrell JA. (1997). Plantas de la costa. Literature of Latin America (L.O.L.A). Publishers, Bs. As., 200 pp.
- Lewis MA, Weber DE, Stanley RS, Moore JC. (2001). The relevance of rooted vascular plants as indicators of estuarine sediment quality. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.* 40: 25- 34.
- Lukaszewicz G, Ondarza P, Shimabukuro V, Miglioranza K, Monserat JM, Menone M. (2010). Comparación metodológica de la determinación de malondialdehído (MDA) en la macrófita estuarial *Spartina densiflora* expuesta a Paraquat. III Congreso Argentino de SETAC ARG. Santa Fe, 12-14 Mayo.
- Ma TH. (1998). The International program on plant bioassays and the report of the followed-up study after the hands-on workshop in China. *Mutat. Res.* 426: 103-106.

- Maltby L, Arnold D, Arts G, Davies J, Heimbach F, Pickl C, Poulsen V. (2010). Aquatic macrophyte risk assessment for pesticides. Boca Raton: CRC Press, 135 pp.
- Menone ML, Mitton F, Diaz Jaramillo M, González M, Lukaszewicz G, Garanzini D, Barra R, Miglioranza KS, Fillmann G. (2012). Uso de biomarcadores en la macrófita *Spartina densiflora* en el estudio de la contaminación estuarial de Brasil, Chile y Argentina. IV Congreso Argentino de la Sociedad de Toxicología y Química Ambiental SETAC Argentina. Buenos Aires, 16-19 Octubre.
- Menone ML, Pérez DJ, Lukaszewicz G, Camadro EL. (2015). Identificación de hidrófitas de la Argentina para estudios de genotoxicidad de contaminantes acuáticos. J. Basic Appl. Genet. En prensa.
- Menone M, Pesce S, Diaz M, Moreno V, Wunderlin D. (2008). Endosulfan induces oxidative stress and changes on detoxication enzymes in the aquatic macrophyte *Myriophyllum quitense*. Phytochem. 69: 1150-1157.
- Menone ML, Pflugmacher S. (2005). Effects of 3-chlorobiphenyl on photosynthetic oxygen production, glutathione content and detoxication enzymes in the aquatic macrophyte *Ceratophyllum demersum*. Chemosphere 60: 79-84.
- Menone ML, Steinberg CEW, Pflugmacher S. (2005). Evaluation of photosynthetic oxygen production, pigment pattern, glutathione content and detoxication enzymes activity in the aquatic macrophyte *Ceratophyllum demersum* exposed to cypermethrin. J. Appl. Bot. Food Qual. 79: 77-82.
- Orchard AE. (1981). A revision of South American *Myriophyllum* (Haloragaceae), and its repercussions on some Australian and North American species. Brunonia 4: 27-65.
- Padinha C, Santos R, Brown, MT. (2000). Evaluating environmental contamination in Ria Formosa (Portugal) using stress indexes of *Spartina maritima*. Mar. Environ. Res. 49: 67-78.
- Pérez DJ, Lukaszewicz G, Menone ML, Amé MV, Camadro EL. (2014). Genetic and biochemical biomarkers in the macrophyte *Bidens laevis* L. exposed to a commercial formulation of endosulfan. Environ. Toxicol. 29: 1063-1071.
- Pérez DJ, Lukaszewicz G, Menone ML, Camadro EL. (2011). Sensitivity of *Bidens laevis* L. to mutagenic compounds. Use of chromosomal aberrations as biomarkers of genotoxicity. Environ. Pollut. 159: 281-286.
- Pérez DJ, Menone ML, Camadro EL, Moreno VJ. (2008). Genotoxicity evaluation of the insecticide endosulfan in the wetland macrophyte *Bidens laevis* L. Environ. Pollut. 153: 695-698.
- Pérez DJ, Menone ML, Tognetti J. (2013). Aberraciones cromosómicas en la macrófita palustre *Bidens laevis* expuesta al fungicida azoxystrobina. XLII Congreso Argentino de Genética. III Reunión Regional SAG-NOA. Salta. 20-23 Octubre.
- Pflugmacher S. (2004). Promotion of oxidative stress in the aquatic macrophyte *Ceratophyllum demersum* during biotransformation of the cyanobacterial toxin microcystin-LR. Aquat. Toxicol. 70: 169-178.
- Sandermann H, Diesperger H, Scheel D. (1977). Metabolism of xenobiotics by plant cell cultures. En: W Barz, E Reinhard and Zenk, H (Eds.). Plant tissue culture and its biotechnological application (pp. 178- 196). Berlin: Springer.
- Sauter H, Ammerman E, Benoit R, Brand S, Gold RE, Grammenos W, Köhl H, Lorenz G, Muller B, Röhl F, Schirmer U, Speakman JB, Wenderoth B, Wingert H. (1995). Mitochondrial respiration as a target for antifungals: Lessons learned from research on strobilurins. En: Antifungal Agents – Discovery and Mode of Action. Dixon GK, Copping LG, Holloman DW (Eds.). Oxford: BIOS, pp. 173-191.
- Wetzel RG. (2001). Limnology: lake and river ecosystems. Monograph- 3^{ra} ed. New York: Academic, p 1006.
- Wulff A, Andrioli N. (2006). Evaluación de daño genético en modelos vegetales. En: Mudry, M.D., Carballo, M.A. (Eds.). Genética Toxicológica. Buenos Aires: De Los Cuatro Vientos, pp 317-337.



Desarrollo y gestión de proyectos científicos y tecnológicos innovadores

FUNINTEC es una organización sin fines de lucro creada por la Universidad de San Martín cuyo objetivo es promover y alentar la investigación, el desarrollo tecnológico y la transferencia de conocimientos a los sectores público y privado, sus empresas y en particular a las PyMES.

Dentro de los alcances previstos por la Ley de Innovación Tecnológica, funciona como vínculo entre el sistema científico tecnológico y el sector productivo.

CONTACTO:
www.funintec.org.ar

Fundación
Innovación
y Tecnología

FUNINTEC

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN



Recuperación de tecnologías ancestrales y sustentables en Jujuy

La vicuña como modelo de producción sustentable

Ciencia e historia se unen para preservar a la vicuña

*Cazando vicuñas anduve en los cerros
Heridas de bala se escaparon dos.*

*- No caces vicuñas con armas de fuego;
Coquena se enoja, - me dijo un pastor.*

*- ¿Por qué no pillarlas a la usanza vieja,
cercando la hoyada con hilo punzó ?*

*- ¿Para qué matarlas, si sólo codicias
para tus vestidos el fino vellón ?*

Juan Carlos Dávalos, Coquena

Lo primero es pedir permiso a la Pachamama. Porque a ella, en la cosmovisión andina, pertenecen las vicuñas que se extienden por el altiplano de Perú, Bolivia, Chile y Argentina. Una ceremonia ancestral, unida a la ciencia moderna, permite que comunidades y científicos argentinos exploten de manera sustentable un recurso de alto valor económico y social.

La vicuña es una especie silvestre de camélido sudamericano que habita en la puna. Hasta 1950-1960 estuvo en serio riesgo de extinción debido a la ausencia de planes de manejo y conservación. Desde la llegada de los españoles se comenzó con la caza y exportación de los cueros para la obtención de la fibra, que puede llegar a valer U\$600 por kilo, lo que llevo a la casi desaparición de estos animales. Por ese entonces, la población de vicuñas en América era cercana a los 4 millones de ejemplares, en 1950 no eran más de 10.000.

A fines de la década del 70 Argentina, Bolivia, Chile, Perú y Ecuador firmaron un Convenio para la conservación y manejo de la vicuña que permitió recuperar su población hasta contar en la actualidad con más de 76 mil ejemplares en nuestro país.

En Santa Catalina, Jujuy, a 3.800 metros sobre el nivel del mar, investigadores de CONICET, junto a comunidades y productores locales, han logrado recuperar una tecnología prehispánica sustentable para la obtención de la fibra de vicuña. Se trata de una ceremonia ancestral y captura mediante la cual se arrean y esquilan las vicuñas silvestres para obtener su fibra. Se denomina chaku y se realizaba en la región antes de la llegada de los conquistadores españoles. Según Bibiana Vilá, investigadora independiente de CONICET y directora del grupo Vicuñas, Camélidos y Ambiente (VICAM) *"Hoy podemos pensar en volver a hacer ese chaku prehispánico sumado a técnicas que los científicos aportamos para que las vicuñas pasen por toda esa situación sufriendo el menor stress posible. Las vicuñas vuelven a la naturaleza, la fibra queda en la comunidad, y nosotros tomamos un montón de datos científicos."*

El chaku

El chaku es una práctica ritual y productiva para la esquila de las vicuñas. Durante el imperio inca, las cacerías reales o chaku eran planificadas por el inca en persona. En esta ceremonia se esquilaba a las vicuñas y se las liberaba nuevamente a la vida silvestre. La fibra obtenida era utilizada para la confección de prendas de la elite y su obtención estaba regulada por mecanismos políticos, sociales, religiosos y culturales. Se trata de un claro ejemplo de uso sustentable de un recurso natural. Hugo Jacobaccio, zoológico e investigador principal de CONICET, explica que *"actualmente el chaku concentra hasta 80 personas, pero durante el imperio inca participaban de a miles. Hoy las comunidades venden esa fibra a acopiadores textiles y obtienen un ingreso que complementa su actividad económica principal, el pastoreo de llamas y ovejas"*.

El proceso comienza con la reunión de todos los participantes, luego toman una soga con cintas de colores reunidos en semicírculo y arrean lentamente a las vicuñas guiándolas hacia un embudo de red de 1 km de largo que desemboca en un corral. Cuando los animales están calmados se los esquila manipulándolos con sumo cuidado para reducir el stress y se los libera. Hoy, 1500 años después del primer registro que se tiene de esta ceremonia, la ciencia argentina suma como valor agregado: el bienestar animal y la investigación científica. En tiempo del imperio Inca, el chaku se realizaba cada cuatro años, actualmente se realiza anualmente sin esquila a los mismos animales *"se van rotando las zonas de captura para que los animales renueven la fibra"* explica Jacobaccio. Según Vilá *"es un proyecto que requiere mucho trabajo pero que demuestra que la sustentabilidad es posible, tenemos un animal vivo al cual esquilamos y al cual devolvemos vivo a la naturaleza. Tiene una cuestión asociada que es la sustentabilidad social ya que la fibra queda en la comunidad para el desarrollo económico de los pobladores locales."*

Yanina Arzamendia, bióloga, investigadora asistente de CONICET y miembro del equipo de VICAM, explica que se

esquilan sólo ejemplares adultos, se las revisa, se toman datos científicos y se las devuelve a su hábitat natural. Además destaca la importancia de que el chaku se realice como una actividad comunitaria *“en este caso fue impulsada por una cooperativa de productores locales que tenían vicuñas en sus campos y querían comercializar la fibra. Además participaron miembros del pueblo originario, estudiantes universitarios y científicos de distintas disciplinas. Lo ideal es que estas experiencias con orientación productiva tengan una base científica.”*

Paradojas del éxito.

La recuperación de la población de vicuñas produjo cierto malestar entre productores ganaderos de la zona. Muchos empezaron a percibir a la vicuña como competencia para su ganado en un lugar donde las pasturas no son tan abundantes. En este aspecto el trabajo de los investigadores de CONICET fue fundamental, según Arzamendia *“el chaku trae un cambio de percepción que es ventajoso para las personas y para la conservación de la especie. Generalmente el productor ve a las vicuñas como otro herbívoro que compite con su ganado por el alimento y esto causa prejuicios. Hoy comienzan a ver que es un recurso valioso y ya evalúan tener más vicuñas que ovejas y llamas. Nuestro objetivo es desterrar esos mitos”,* concluye.

Pedro Navarro es el director de la Cooperativa Agroganadera de Santa Catalina y reconoce los temores que les produjo la recuperación de la especie: *“Hace 20 años nosotros teníamos diez, veinte vicuñas y era una fiesta verlas porque habían prácticamente desaparecido. En los últimos años se empezó a notar un incremento y más próximamente en el último tiempo ya ese incremento nos empezó a asustar porque en estas fincas tenemos ovejas y tenemos llamas”.* Navarro identifica la resolución de estos problemas con el trabajo del grupo VICAM: *“Yo creo que como me ha tocado a mí tener que ceder en parte y aprender de la vicuña y de VICAM, se puede contagiar al resto de la gente y que deje de ser el bicho malo que nos perjudica y poder ser una fuente más productiva.”*

La fibra de camélido

Además de camélidos silvestres como la vicuña o el guanaco, existen otros domesticados como la llama cuyo manejo es similar al ganado, para impulsar la producción de estos animales y su fibra, el Estado ha desarrollado dos instrumentos de fomento. En la actualidad se encuentran en evaluación varios proyectos para generar mejoras en el sector productor de fibra fina de camélidos que serán financiados por el Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva. Se trata de dos Fondos de Innovación Tecnológica Sectorial destinados a la agroindustria y al desarrollo social que otorgarán hasta \$35.000.000 y \$8.000.000 respectivamente. Los proyectos destinados a la Agroindustria son asociaciones entre empresas y organismos del sector público con el objetivo de mejorar la calidad de la fibra de camélido doméstico a partir del desarrollo de técnicas reproductivas, mejoramiento genético e innovaciones en el manejo de rebaños; incorporar valor a las fibras a partir de mejoras en la materia prima o el producto final; permitir la trazabilidad de los productos para lograr su ingreso en los mercados internacionales y fortalecer la cadena de proveedores y generar empleos calificados.

La convocatoria Desarrollo Social tiene como fin atender problemas sociales mediante la incorporación de innovación en acciones productivas, en organización social, en el desarrollo de tecnologías para mejorar la calidad de vida de manera sostenible y fomentar la inclusión social de todos los sectores. Otorgará hasta \$8.000.000 por proyecto que mejore las actividades del ciclo productivo de los camélidos domésticos, la obtención y/o el procesamiento de la fibra, el acopio, el diseño y el tejido, el fieltro y la confección de productos.

