



Foto: Matías Oxley

ARTRÓPODOS COMO BIOINDICADORES Y BIOMARCADORES PARA EVALUAR LA SUSTENTABILIDAD DE ROTACIONES ARROCERAS

Lic. Erika Núñez¹, Lic. Dr Luis García²,
Lic. M. Sc Mariángeles Lacava¹, Lic. Dr Marco Benamú¹,
Téc. Agr. Fernando Escalante³, Ing. Agr. Dr Sebastián
Martínez³, BQ Dr Leonidas Carrasco-Letelier⁴

¹Centro Universitario de Rivera Udelar

²Grupo Multidisciplinario en Ecología para la Agricultura,
Centro Universitario Regional del Este (Udelar, Treinta y Tres)

³Programa de Investigación en Producción de Arroz - INIA

⁴Programa de Investigación en Producción y Sustentabilidad Ambiental - INIA

Los organismos bioindicadores desempeñan distintos roles ecológicos y son susceptibles a cambios locales, constituyendo una valiosa herramienta para dimensionar impactos ambientales producidos por la agricultura. El desarrollo de rotaciones arroceras sostenibles demanda conciliar la productividad con la sostenibilidad de los ecosistemas que los albergan, objetivo de planificación que es compartido por la DINAMA, el MGAP y los productores.

LA DIVERSIDAD EN AGROECOSISTEMAS

Los cultivos agrícolas impactan y modifican el ecosistema original, alterando en consecuencia a las comunidades, poblaciones y organismos asociados. Algunos de estos organismos podrán permanecer en ese lugar

y otros no serán exitosos en lograrlo. En este marco, el grupo de organismos agrobiontes corresponde a aquellos con capacidad de adaptarse a los cambios, logrando sobrevivir y reproducirse bajo las condiciones generadas por el sistema de cultivo agrícola. Por el contrario, los organismos menos tolerantes optan por

Los organismos bioindicadores sirven para relevar los cambios ambientales que ocurren en un ecosistema.

desplazarse fuera de la zona afectada o, directamente, no sobreviven. Los cambios descritos afectan directa e indirectamente la estructura (biodiversidad) y función del ecosistema en consideración.

Los organismos presentes en los diversos cultivos pueden informarnos sobre qué modificaciones ha sufrido el sitio. Así, en los lugares menos intervenidos vamos a encontrar una composición de organismos que en cultivos intensivos son menos abundantes o no están presentes. Estos cambios estructurales y funcionales en algunos organismos pueden ser cuantificados y así resumir la magnitud del cambio causada por el estrés ambiental, lo que los define como bioindicadores (Gerlach *et al.*, 2013). Aunque potencialmente muchos organismos pueden ser bioindicadores, estos deben cumplir con ciertas características de relevancia, como por ejemplo: 1) ser abundantes localmente, 2) ser fácilmente identificables y 3) ser relevables mediante métodos poco complejos. De esta forma, los organismos que sean muy abundantes localmente y comunes en distintos ambientes son mejores candidatos para actuar como bioindicadores.

POTENCIALIDAD DE LOS ARTRÓPODOS COMO BIOINDICADORES AGRÍCOLAS

Los artrópodos (animales con patas articuladas y exoesqueleto rígido) son el grupo más diverso y abundante dentro del reino animal. Se encuentran presentes en todos los ecosistemas terrestres. Los artrópodos en los cultivos desempeñan distintos roles como ser fitófa-

gos, descomponedores, depredadores o polinizadores, entre otros. Aunque el rol de los artrópodos en la agricultura se ha enfocado fundamentalmente en su estudio como plagas o enemigos naturales, recientemente se ha demostrado que pueden tener un importante rol indicando las condiciones ecológicas de cultivos con distintos tipos de manejo.

Cabe aclarar que los bioindicadores encontrados pueden estar asociados tanto a ambientes prístinos como perturbados. Por ejemplo, algunos carábidos y arañas se encuentran fuertemente asociados a ambientes altamente perturbados como zonas de agricultura intensiva, mientras que otras especies son exclusivas de zonas de baja perturbación, como áreas de pastoreo con baja intensidad agrícola. La abundancia de los artrópodos en diferentes ambientes, incluyendo sistemas agrícolas, los convierte en candidatos adecuados para ser utilizados como bioindicadores. El valor de los distintos artrópodos como bioindicadores puede evaluarse mediante el índice de valor indicador (Dufrene y Legendre, 1997). El índice oscila entre los valores 0 a 100%, que relaciona la abundancia y la presencia o ausencia de los organismos en un determinado ambiente. De esta manera, los organismos con un valor indicador superior al 75% son considerados buenos indicadores, como por ejemplo algunas especies de arañas y carábidos.

El índice de valor indicador se calcula de la siguiente manera:

$$\text{Índice de valor indicador} = \text{Fidelidad} \times \text{Especificidad} \times 100$$

La fidelidad representa la abundancia media del indicador en relación a los otros grupos, mientras que la especificidad se refiere a la proporción de sitios en los que el indicador está presente.

En Uruguay, algunos estudios preliminares han demostrado que las arañas y los carábidos (Figura 1), ambos depredadores de gran relevancia en agroecosistemas,



Figura 1 - A) Araña lobo a la entrada de su cueva (foto A. Arroyave 2019), B) Araña lobo con crías (foto A. Arroyave 2019), C) Vista dorsal de carábido (D. Guzman, Entomopixel LLC. 2019).

| AÑO | 1 | | 2 | | 3 | | 4 | | 5 | | 6 | |
|------------|-------|----|-------|----|-------|----|-------|----|----|----|----|----|
| ESTACIÓN | PV | OI | PV | OI | PV | OI | PV | OI | PV | OI | PV | OI |
| Rotación 1 | Arroz | P | | | | | | | | | | |
| Rotación 2 | Arroz | P | Soja | P | | | | | | | | |
| Rotación 3 | Arroz | P | Soja | P | Arroz | P | Sorgo | | | | | |
| Rotación 4 | Arroz | P | P | P | | | | | | | | |
| Rotación 5 | Arroz | P | Arroz | P | P | P | P | P | P | P | | |
| Rotación 6 | Arroz | P | Soja | P | Soja | P | Arroz | P | P | P | P | P |

Figura 2 - Experimento de rotaciones arroz-otros cultivos y pasturas de la Unidad Experimental de Paso de la Laguna. El experimento consta de 6 rotaciones con duración desde 1 año (Rotación 1) hasta 6 años (Rotación 6). Niveles de intensificación arrocera, desde 100% (Rotación 1), hasta 33% (Rotación 6) del tiempo con cultivo de arroz. Abreviaciones: PV=primavera-verano, OI=otoño-invierno, P=pastura.

poseen un índice de valor indicador alto y serían bioindicadores potenciales de algunas prácticas de manejo agrícolas (por ejemplo, nivel de pastoreo e intensificación agrícola).

Las rotaciones arroceras, al igual que otros sistemas de cultivo, han sufrido un proceso de intensificación en los últimos años para incrementar la rentabilidad económica. Esta intensificación se puede considerar como un mayor uso o aporte de insumos agrícolas anualmente (semillas, fertilizantes, fitosanitarios) y/o por un mayor número de cultivos anuales realizados. Este es un proceso de intensificación que debería producir impactos ambientales diferenciados según el tipo de rotación arrocera. Una diversidad de situaciones productivas, con diferentes grados de intensificación en el uso de arroz, se encuentran representadas en el experimento de largo plazo de rotaciones arroceras de la Unidad Experimental de Paso de la Laguna (INIA Treinta y Tres) iniciado en el año 2012 (Figura 2).

En este experimento de largo plazo, es posible relevar y validar bioindicadores de las comunidades de artrópodos, enfocados en grupos representativos de depredadores, para el seguimiento del proceso de intensificación de las rotaciones arroceras de Uruguay. Particularmente, es interesante relevar la existencia de artrópodos sensibles a esta intensificación, en particular a cargas o usos diferentes de fitosanitarios, según tipo de rotación.

EFFECTOS LETALES Y SUBLETALES DE LOS FITOSANITARIOS EN LOS ARTRÓPODOS

Los fitosanitarios son compuestos químicos cuya función es desarrollar un proceso de intoxicación específico contra un organismo blanco (ej. maleza, plaga).



Foto: S. Martínez

Figura 3 - Chinche de grano, una de las principales plagas del cultivo de arroz.

A



B

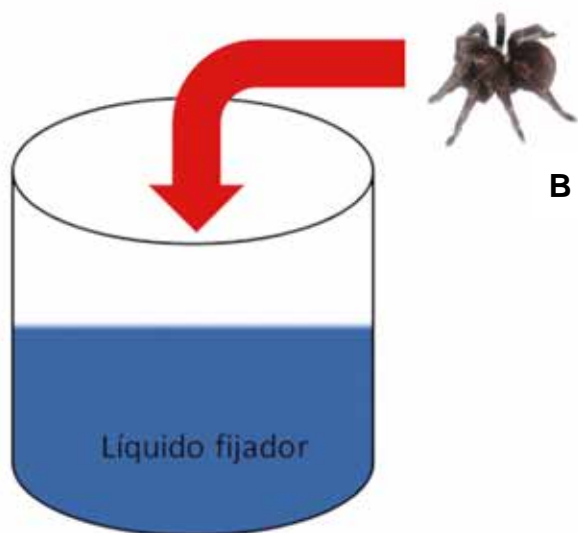


Figura 4 - A) Ejemplo de trampa de caída ubicada en sistema de rotación de arroz. B) Mecanismo de funcionamiento de la trampa de caída. El artrópodo camina y cae a un líquido fijador. La trampa se ubica a ras del suelo (Foto: J. González 2019).

Sin embargo, poseen efectos colaterales, como la intoxicación de otras comunidades de organismos. Estos efectos pueden ser clasificados en: de toxicidad aguda, lo que implica la muerte en 24-48 horas de los organismos expuestos, o subletal, donde existen efectos sobre las funciones del organismo (por ejemplo, orientación, reproducción, reducción de lapso de vida, etc.). Un ejemplo de este tipo de intoxicaciones se puede ver en las abejas, perteneciente a los artrópodos, ya que desde el año 2009 vienen reportándose en el país casos de intoxicaciones letales y subletales atribuidos a algunos fitosanitarios usados en el litoral oeste.

Los artrópodos depredadores son un grupo de gran importancia en los sistemas agrícolas ya que consumen varias de las plagas que afectan a los cultivos, como por ejemplo lagartas y chinches, entre muchos otros. Dentro de los depredadores autóctonos más comunes encontrados en los cultivos se encuentran las arañas (orden Araneae) y los escarabajos carábidos (familia Carabidae).

Estos depredadores desarrollan efectos letales y subletales por la exposición a los productos fitosanitarios empleados en los cultivos, más que las plagas comunes. Esto se debe fundamentalmente a que los depredadores tardan un mayor tiempo en adquirir resistencia a los productos químicos, ya que se considera que tienen capacidades de detoxificación inferiores a las de las plagas. Así, los insecticidas pueden disminuir la población de arañas (depredadores importantes en los cultivos), al eliminar de manera directa las poblaciones locales. A nivel subletal, algunos fitosanitarios como el glifosato pueden reducir la voracidad, fecundidad y fertilidad en arañas (Benamú *et al.*, 2010), mientras que algunos insecticidas, como los neonicotinoides, afectan las propiedades de la tela (Benamú *et al.*, 2017).

Teniendo en cuenta que las arañas y carábidos son susceptibles al efecto de los fitosanitarios y siendo organismos benéficos frecuentes en las rotaciones arroceras, estos podrían ser utilizados como bioindicadores para evaluar el diferente grado de estrés desarrollado por las diferentes rotaciones arroceras del experimento de largo plazo de Paso de la Laguna.

LOS ARTRÓPODOS BIOINDICADORES Y LOS SISTEMAS DE ROTACIÓN ARROCERO

Para evaluar el potencial como bioindicador de las distintas especies de arañas y carábidos presentes en las distintas rotaciones, se llevarán a cabo muestreos periódicos empleando distintas técnicas como la de trampas de caída (Figura 4) dispuestas en los cultivos de las diferentes rotaciones arroceras. Los métodos de muestreo pueden variar también a lo largo del año y según la etapa fenológica del cultivo.

Las arañas y los carábidos son artrópodos bioindicadores importantes en una amplia variedad de cultivos a nivel mundial.



Foto: S. Martínez

Figura 5 - Araña en lámina de agua de cultivo de arroz.

Las arañas y carábidos colectados en las distintas rotaciones, serán identificados a nivel de especie y luego se medirá su abundancia para estimar el índice de valor indicador para cada una de estas, el que será relacionado con las distintas rotaciones y los distintos niveles de intensificación. De esta manera, será posible identificar las especies bioindicadoras y, en consecuencia, las más susceptibles y las más resistentes a los distintos manejos.

Teniendo en cuenta la susceptibilidad de los artrópodos depredadores a los fitosanitarios, se estudiará si existen presiones selectivas/adaptativas diferentes -debidas a la intensificación de las rotaciones arroceras- que promovieron un cambio en la sensibilidad toxicológica de las poblaciones de artrópodos. Para esto se evaluarán, bajo condiciones de laboratorio, los efectos letales y subletales de los herbicidas e insecticidas (empleados en las distintas rotaciones) sobre los grupos de arañas y carábidos postulados como bioindicadores. Los efectos letales se medirán por exposición de los organismos a distintas concentraciones de los fitosanitarios más frecuentemente usados en las rotaciones, evaluar las tasas de mortalidad y así estimar la dosis letal media (DL50) de las especies evaluadas. En el caso de los efectos subletales, se medirán los cambios de las tasas de alimentación de arañas y carábidos, expuestos a dosis subletales de los fitosanitarios y sus mezclas.

Mediante este proyecto esperamos validar la sensibilidad de diferentes especies de arañas y carábidos como bioindicadores de estrés ambiental. Herramientas potenciales relevantes para monitorear rotaciones arroceras locales y documentar la sostenibilidad de los sistemas estudiados.

USOS POTENCIALES DE LOS RESULTADOS ESPERADOS

El desarrollo de rotaciones arroceras sostenibles demanda conciliar la productividad con la sostenibilidad

de los ecosistemas que los albergan, objetivo de planificación compartido por DINAMA, MGAP y productores. Sin embargo, para jerarquizar las rotaciones arroceras en términos relativos a sus impactos ambientales, el desarrollo de bioindicadores permitirá tener un criterio objetivo para dimensionar los impactos ambientales producidos.

En términos tecnológicos, los resultados del estudio de los bioindicadores basados en las comunidades de artrópodos permitirán tener una medida local sobre las etapas/insumos (fitosanitarios) /manejos (inundación) que deben ser estudiados o reemplazados para reducir el impacto global de cada sistema de rotación.

En términos comerciales, el desarrollo de criterios objetivos y cuantificables basados en las comunidades de artrópodos posibilitará definir una estándar para comparar el impacto ambiental local con otros sistemas de producción de arroz (locales o internacionales). Esta información, si es validada por la Sustainable Rice Platform (SRP), permitirá diferenciar la producción de arroz nacional.

BIBLIOGRAFÍA

Benamú, M.A., Schneider, M.I., Sánchez, N.E., 2010. Effects of the herbicide glyphosate on biological attributes of *Alpaida-veniliae* (Araneae, Araneidae), in laboratory. *Chemosphere* 78, 871–876.

Benamú, M.A., Lacava, M., García, L.F., Santana, M., Fang, J., Wang, X., Blamires, S.J., 2017. Nanostructural and mechanical property changes to spider silk as a consequence of insecticide exposure. *Chemosphere* 181, 241-249.

Dufrene, M., Legendre, P., 1997. Species assemblages and indicator species: the need for a flexible asymmetrical approach. *Ecol. Monogr.* 65, 345–366.

Gerlach, J., Samways, M., Pryke, J., 2013. Terrestrial invertebrates as bioindicators: An overview of available taxonomic groups. *J. Insect Conserv.* 17, 831–850.



Foto: David Guzman, Entomopixel LLC

Figura 6 - Carábido perteneciente al grupo de bioindicadores.