



Foto: Matías Oxley

HUELLA ECOTOXICOLÓGICA DE ROTACIONES DE ARROZ CON DIFERENTES GRADOS DE INTENSIFICACIÓN

BQ. PhD Leonidas Carrasco-Letelier¹, Ing. Agr. PhD José Terra², Ing. Agr. PhD Alvaro Roel², Ing. Agr. PhD Walter Ayala², Téc. Alexander Bordagorri², Téc. Néstor Serrón², Ing. Agr. PhD. Sebastián Martínez², Ing. Agr. Pamela Jorajuría³

¹Área de Recursos Naturales, Producción y Ambiente - INIA

²Sistema Arroz Ganadería - INIA

³Proyecto INNOVAGRO 148630 - ANII

Presentamos un resumen de la huella ecotoxicológica de los pesticidas en las diferentes opciones de intensificación de las rotaciones arroceras. Estos resultados permiten: identificar los pesticidas a reducir o reemplazar, por su aporte al impacto global ecotoxicológico de cada rotación, y jerarquizar las rotaciones de acuerdo al impacto global de los pesticidas usados en cada una.

INTRODUCCIÓN

El cambio climático y el crecimiento poblacional incrementará la demanda por alimentos. Para responder a este desafío se propone desarrollar una "intensificación sostenible" (IS) y "un mundo libre de hambre para el 2030", de acuerdo a FAO y el Objetivo de Desarrollo Sostenible N° 2, respectivamente. Dos

propósitos tan deseables como complejos porque se desconoce cuál es la mejor forma de implementación en cada lugar. La dependencia por recursos escasos como los suelos cultivables y el agua es alta. Condición que no se percibe en el ciudadano común hasta que las crisis ambientales los vuelven relevantes (ej., sequías, necesidad de importar alimentos, etc.). Este asunto se complejiza más cuando el impacto ambiental que



Foto: Matías Oxley

Figura 1 - Cosecha de arroz en la Unidad de Producción Arroz - Ganadería de INIA.

deseamos evitar podría provenir del sistema productivo que se propone intensificar.

La propuesta internacional para la intensificación del uso del suelo, incluye a naciones que cuenten con suelos con potencial agrícola, personal capacitado y la disponibilidad tecnológica, es decir, países como Uruguay. Por lo cual, no es extraño mencionar que Uruguay ya realizó tres periodos de expansión e intensificación agrícola [PEI] (1930,1950 y 2005-2013). En el último alcanzó un promedio de 1,3-1,5 cultivos anuales por hectárea, proceso conducido por el precio internacional de la soja (DIEA, 2020). Un PEI con escasa consideración del sector por la sostenibilidad ambiental.

LOS PERÍODOS DE EXPANSIÓN AGRÍCOLA Y SUS IMPACTOS AMBIENTALES

Todas las tecnologías poseen ineficiencias y las agrícolas también (erosión de suelos; pérdidas de nutrientes, pesticidas y gases de efecto invernadero, etc.). Por lo cual, la intensificación sin planificación o nuevas tecnologías solo conducirían a impactos ambientales con una escala mayor a la ya conocida (Por ej.: pérdida de suelos; contaminación de aguas), a los que se agrega la reducción de las capacidades productivas, quizás en forma permanente. En el último PEI en Uruguay se afectó al recurso suelo (Beretta *et al.*, 2019; Ernst *et al.*, 2020), se incrementaron las exportaciones de fósforo y pesticidas (Beretta-Blanco y Carrasco-Letelier, 2021), lo que pudo haber operado a favor del desarrollo de floraciones de algas.

En general, todos los PEI de Uruguay dejaron impactos ambientales importantes. En 1914, Alberto Boerger (1928) –preocupado por el manejo de los suelos en Canelones– le solicita a Antonio Götz desarrollar experimentos de largo plazo (ELP) con rotaciones de cultivos, para demostrar que existe una forma de producción menos destructiva.

En 1939, Dellazoppa reafirma esa preocupación. Recién en 2013, el MGAP logra implementar una ley de protección y manejo, en la mitad del último PEI; de lo contrario hoy tendríamos menos suelos y mayores pérdidas de la calidad del agua en la zonas de cultivos de secano. Por este motivo, pensar en una intensificación agrícola con las mismas herramientas podría conducir a más de lo mismo.

LA HIPÓTESIS Y SU EVALUACIÓN

La intensificación sostenible (IS) solo puede tomarse como una hipótesis, ya que postula transformar los sistemas productivos conocidos en una forma y sentido de las cuales desconocemos qué cambio nos llevaría a lo deseado: mantener o incrementar sus rendimientos y rentabilidad económica, sin elevar los impactos ambientales (ecosistémicos, sociales y económicos).

Para implementar alguna de las formas posibles de IS, no queda otra opción que contrastar el impacto ambiental global de todas las opciones posibles. El impacto ambiental global correspondería a la suma de los impactos ambientales conocidos (gases de efecto invernadero, emisión de nutrientes, uso de agua,



Foto: Matías Oxley

Figura 2 - Experimento de largo plazo de rotaciones arroceras, Paso de la Laguna, INIA Treinta y Tres.

impacto de pesticidas, pérdidas de biodiversidad, etc.) en una forma estandarizada y conocida; es decir las huellas ambientales (de calentamiento global o carbono, de agua, etc.).

OPCIONES DE INTENSIFICACIÓN DEL ARROZ

En 2012, el entonces Programa de Investigación en Producción de Arroz inicia el primer Ensayo de Largo Plazo (ELP) de rotaciones arroceras con diferentes grados de intensificación.

En el 2016, se desarrolla el análisis retrospectivo de la producción nacional de arroz (Pittelkow *et al.*

La intensificación sostenible (IS) propone incrementar los rendimientos y la rentabilidad económica, transformando los sistemas productivos sin incrementar la relación entre impactos ambientales y rendimientos agronómicos.

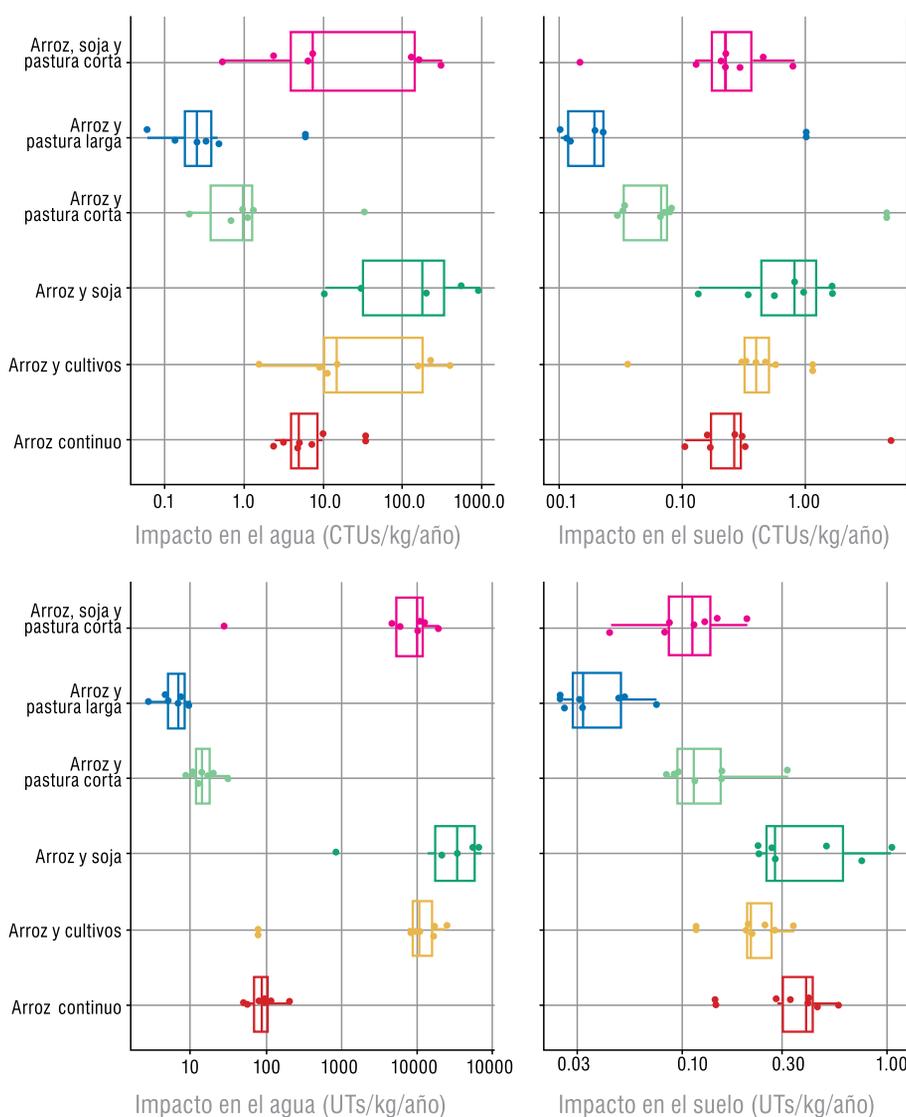


Figura 3 - Huellas ecotoxicológicas de las rotaciones arroceras estimadas con dos estrategias: modelo UseTox (fila superior) para agua y suelo, expresados en unidades tóxicas comparables (CTU) y en unidades toxicológicas (UT), correspondientes a la razón entre la masa de pesticida exportada al agua y suelo (estimados con un modelo de fugacidad nivel 1) y los valores correspondientes de dosis letales 50 para *Daphnia magna* y la lombriz de tierra (datos de la Universidad de Hertfordshire, Reino Unido).

2016), entre las cuales, entre otras, se estima la huella ecotoxicológica (Rosenbaum *et al.*, 2008) para estandarizar la evaluación del impacto potencial de los pesticidas en el ecosistema. Huella que demostró ser sensible a la evolución de los cambios tecnológicos del arroz, pero que necesitaba ser validada y calibrada para Uruguay.

HUELLA ECOTOXICOLÓGICA

La ecotoxicología de los pesticidas es la ciencia que comprende simultáneamente: (1) las estimaciones de exposición a los pesticidas, usando modelos de distribución y destino final (para estimar la fracción de lo aplicado que va al agua, suelo, aire y biota) o la determinación química de los mismos; y (2) la sensibilidad a los efectos tóxicos del ecosistema y los humanos, extrapolando el conocimiento existente de su bioquímica, fisiología y sensibilidad toxicológica. Por lo cual, la huella ecotoxicológica no consiste en multiplicar una unidad de consumo o producto por un factor de impacto para expresarlo en unidades equivalentes, como ocurre con otras huellas (ej. CO_{2-eq} de la huella de carbono).

La huella ecotoxicológica está integrada por dos modelos: primero, un modelo para la estimación de la exposición al xenobiótico (fármaco, biocida, compuesto sintetizado por el ser humano) en los diferentes compartimientos del ambiente (ej., agua, suelo, etc.). En segundo lugar, la exposición es contrastada con las dosis letales de organismos representativos de la población biológica de interés (biota acuática, edáfica y/o humanos).

El proyecto ANII «Evaluación del impacto ecotoxicológico de los fitosanitarios utilizados en rotaciones arroceras contrastantes» evaluó las diferentes opciones de intensificación de las rotaciones arroceras, la huella ecotoxicológica de los pesticidas (insecticidas, herbicidas, funguicidas) por cultivo, rotación y sus réplicas; desde el 2012 al 2020. Estas estimaciones se contrastarán con los valores determinados en agua y suelo en la zafra 2019-20, así como con los cambios en el ecosistema donde se encuentran los cultivos. Este artículo presenta parte de los resultados del proyecto

La huella ecotoxicológica estandariza el impacto de los pesticidas. Esto orienta la gestión a reducir y reemplazar los pesticidas más relevantes.

La rotación arroz pasturas larga presentaría las huellas ecotoxicológicas más bajas de todas las opciones evaluadas.

mencionado, específicamente la estimación de la huella ecotoxicológica para diferentes grados de intensificación de las rotaciones arroceras.

Esta estimación se realizó usando dos enfoques similares: (1) modelo Usetox 2.2, que integra un modelo de distribución y destino final más una mediana de las sensibilidades toxicológicas de las especies de referencia (Figura 3); y (2) un modelamiento de fugacidad nivel 1 para definir el fraccionamiento de cada pesticida, cuya masa aplicada se convirtió en Unidades toxicológicas (masa del pesticida dividida por su correspondiente dosis letal 50) (Figura 3).

CONCLUSIONES

La huella ecotoxicológica se puede calcular con dos metodologías que permiten discriminar los diferentes niveles de intensificación.

Los resultados muestran que los sistemas de rotación arroz pasturas serían las opciones de menor impacto ambiental.

Los resultados de la huella permiten jerarquizar los pesticidas para su reducción y reemplazo, para buscar dentro de cada rotación la opción de menor impacto ecotoxicológico.

REFERENCIAS

Beretta-Blanco *et al.*, 2019. Soil quality decrease over 13 years of agricultural production. *Nutr Cycl Agroecosyst* 114, 45–55.

Boerger, A., 1928. Estudios experimentales sobre la rotación de nuestros principales cultivos agrícolas. Dirección de Agronomía 3–12, Uruguay.

Dellazzopa, G. 1939. Manuel cartilla de Agricultura. Facultad de Agronomía, UdelaR.

Ernst *et al.* 2020. The dos and don'ts of no-till continuous cropping: Evidence from wheat yield and nitrogen use efficiency. *Field Crops Research* 257, 107934.

Pittelkow *et al.* 2016. Sustainability of rice intensification in Uruguay from 1993 to 2013. *Global Food Security* 9, 10–18.

Rosenbaum *et al.* 2008. USEtox—the UNEP-SETAC toxicity model: recommended characterisation factors for human toxicity and freshwater ecotoxicity in life cycle impact assessment. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 13, 532-546.