



Claudio E Pandolfo y Mónica Poverene

CERZOS-UNS/Conicet

Hacia rutas salvajes

Transgenes en poblaciones silvestres de plantas

Cuando los transgenes vagan, ¿debemos preocuparnos?

Esta pregunta fue planteada hace dos décadas por Norman Ellstrand, reconocido científico de la Universidad de California en Estados Unidos, escritor e investigador de la evolución y el flujo génico en especies vegetales. Hoy, con información nueva y experiencia local, intentaremos responderla.

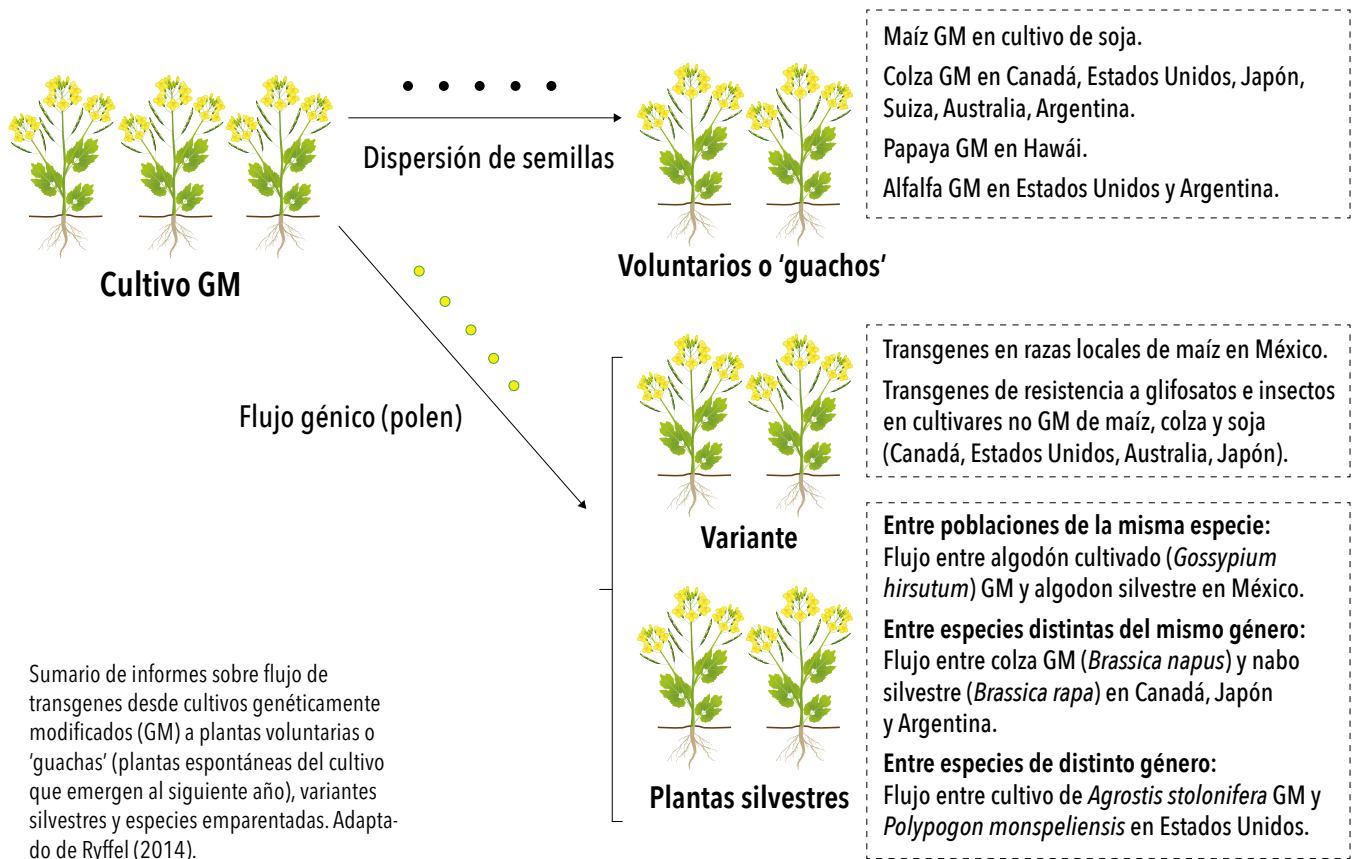
Los cultivos transgénicos o genéticamente modificados (GM) se comenzaron a adoptar hace 25 años. Durante este período su superficie creció 112 veces, desde menos de 2 millones de hectáreas (Mha) en 1996 hasta 190Mha en 2019. En la actualidad 29 países siembran cultivos genéticamente modificados, pero en cinco se concentra el 91% del área global sembrada con estos

cultivos, tres de ellos en vías de desarrollo (Brasil con 52,8Mha, Argentina con 24Mha y la India con 11,9Mha) y dos industrializados (Estados Unidos de América con 71,5Mha y Canadá con 12,5Mha). Entre los cultivos, la soja transgénica corresponde al 50% de la superficie total sembrada y le siguen en importancia el maíz, el algodón y la colza. También existen variedades transgénicas de alfalfa, remolacha azucarera, papaya, zapallo, berenjena y papa.

Las inserciones de genes particulares en el genoma de una planta o eventos de transformación genética más comercializados durante años fueron aquellos que conferían resistencia a herbicidas. Estos corresponden en la actualidad al 43% de la superficie sembrada con cultivos genéticamente modificados. En los últimos años, la tecnología con mayor crecimiento es la que involucra cultivares con eventos apilados (es decir, con más de una

¿DE QUÉ SE TRATA?

Los cultivos transgénicos transmiten los eventos de transformación (transgenes) del mismo modo que sus propios genes y pueden afectar el agroecosistema.



Sumario de informes sobre flujo de transgenes desde cultivos genéticamente modificados (GM) a plantas voluntarias o 'guachas' (plantas espontáneas del cultivo que emergen al siguiente año), variantes silvestres y especies emparentadas. Adaptado de Ryffel (2014).

inserción genética), en especial para lograr resistencia a herbicidas y a insectos y que, en la actualidad, cubren el 45% de la superficie sembrada con cultivos genéticamente modificados.

El flujo génico es el proceso de incorporación de genes de una población dentro del acervo genético de otra y ocurre entre individuos formalmente considerados de la misma especie o entre especies relacionadas. Este proceso puede darse por movimiento de individuos (como en la mayoría de los animales, o por las semillas en las plantas) o por el movimiento de gametos (mediante el polen). El intercambio genético entre cultivos y especies silvestres es un fenómeno ampliamente reconocido en plantas y se sabe que ha sucedido por siglos, desde los comienzos mismos de la agricultura. La mayor parte de los cultivos de importancia para la humanidad pueden reproducirse con una o más especies silvestres emparentadas. Esto ha tenido diversas consecuencias para las poblaciones silvestres y los ecosistemas.

Esto significa que nuevos genes introducidos mediante las técnicas de transgénesis podrían dispersarse a poblaciones silvestres y estas adquirir nuevas características como resistencia a insectos, a enfermedades, a herbicidas o estreses abióticos. Ello podría aumentar la agresividad de estas malezas y dificultar su control. Además, el movimiento de transgenes con efectos perjudiciales hacia poblaciones silvestres podría reducir su aptitud biológica (la capacidad para reproducirse y dejar descendencia) y conducir a su extinción. Además, las plantas transgénicas

con resistencia a insectos y sus híbridos podrían ser dañinos para los organismos consumidores, como insectos benéficos y sus predadores.

El flujo génico mediado por polen y la introducción exitosa de nuevos caracteres en una nueva población dependen de la coincidencia geográfica de los cultivos con sus parientes silvestres, de su compatibilidad sexual y tasa de hibridación. Las especies deben tener períodos de floración coincidentes, compartir polinizadores y encontrarse en un rango de dispersión de polen viable. Además, deben producirse híbridos fértiles y el gen debe transmitirse por sucesivos eventos de cruzamiento hasta estabilizarse en la especie silvestre. Aunque la posibilidad de ocurrencia de estos eventos es real, la probabilidad es generalmente baja y variable con las especies y las circunstancias.

A pesar de ello, las evidencias acumuladas en los últimos años han demostrado que el flujo génico es más común de lo que se suponía. Se han descrito numerosos casos de hibridación entre cultivos genéticamente modificados y poblaciones silvestres o asilvestradas, y se ha comprobado la persistencia de genes del cultivo en las poblaciones silvestres por décadas. En ocasiones, el flujo génico acarreó consecuencias claramente negativas. La hibridación entre cultivos y especies silvestres o asilvestradas condujo a la aparición de malezas con mayor agresividad.

Los efectos negativos del flujo génico han sido demostrados para cultivos tradicionales. Algunos investiga-

dores afirman que este riesgo no sería distinto para cultivos transgénicos y que los efectos dependerán en parte del fenotipo de estos y de su efecto en las poblaciones silvestres. Justamente, los cultivares transgénicos más difundidos en el mundo pueden darles a las malezas con que se crucen una clara ventaja adaptativa en los sistemas agrícolas.

Los ejemplos de escapes de transgenes son cada vez más comunes. Se han identificado individuos transgénicos en más de mil poblaciones naturales. Algunas emergen al siguiente año como plantas ‘guachas’ o espontáneas –voluntarios transitorios–, mientras que otras parecen ser poblaciones transgénicas persistentes. Las especies involucradas en este último caso no son representativas de todos los cultivos transgénicos comercializados actualmente en su conjunto; tienden a compartir ciertos rasgos que están ausentes o son raros en algunos cultivos tradicionales, es por esto que el riesgo no es igual para todos ellos. Uno de estos casos en particular nos toca de cerca en nuestro país.

El caso de la colza transgénica en Argentina

Entre las especies oleaginosas de mayor relevancia mundial, la colza (*Brassica napus* L.) se destaca por su elevada participación en la producción mundial de aceites comestibles. Según estimaciones del Departamento de Agricultura de Estados Unidos, en 2020 se cosecharon cerca de 70 millones de toneladas de colza, sobre una superficie de 34Mha sembradas en todo el mundo. El aceite de colza es el tercero en importancia mundial, luego del de palma y soja. Los principales productores de colza a nivel mundial son Canadá, Estados Unidos, la Unión Europea y China. En nuestro país es un cultivo poco difundido, que no ha superado las 20.000ha en las últimas campañas.

La colza es una de las seis especies cultivadas que pertenecen al género *Brassica*, todas anuales, de polinización entomófila y anemófila (a través de insectos y el viento),



Cultivo de colza (en la imagen, a la derecha del camino), en floración simultánea con una población de nabo silvestre (izquierda) sobre los bordes de un lote agrícola en el partido de Balcarce, provincia de Buenos Aires, durante la primavera de 2008.



Plantas voluntarias o 'guachas' de colza transgénica creciendo dentro de un lote de soja resistente a glifosato, en el partido de Gonzales Chaves, provincia de Buenos Aires, durante la primavera de 2012.

con reproducción sexual y que se propagan mediante semillas. *B. napus*, un híbrido natural entre la col o repollo (*B. oleracea* L.) y el nabo (*B. rapa* L.), se originó probablemente en el Mediterráneo, donde convivían ambas especies. La ausencia de poblaciones de *B. napus* silvestres apoya la teoría del origen en ambientes cultivados.

En la flora natural de la Argentina existen registrados 68 géneros de la familia de la colza (Brassicaceae), 33 nativos y 35 adventicios. Entre las especies adventicias, 29 de 65 son consideradas malezas, incluyendo tres especies del género *Brassica*, todas sexualmente compatibles con *B. napus*. Entre las especies de *Brassica* cultivadas, en nuestro país se siembran de forma extensiva solo *B. napus* y *B. carinata*, como fuente de aceite y, de forma intensiva, *B. rapa* (nabo) y *B. oleracea* (coles y repollos).

La colza se cultiva solo desde el siglo XV, por lo que su domesticación es muy reciente. A partir de la Revolución industrial, se reconoció al aceite de *B. napus* como un excelente lubricante, lo cual produjo un fuerte incremento del área del cultivo. En la segunda mitad del siglo XX, Canadá inició un destacado proceso de mejoramiento con el objetivo de que el aceite de colza fuera apto para el consumo humano y animal. Este uso estaba originalmente limitado por la elevada concentración de dos compuestos tóxicos: ácido erúico en el aceite y glucosinolatos en la harina de extracción. La reducción de ambos compuestos mediante mejoramiento tradicional dio origen a las variedades identificadas con el nombre comercial 'canola' (por su sigla en inglés, *Canadian Oil Low Acid*).

El sostenido mejoramiento de la colza continuó durante la década de 1990 con el avance de nuevas tecnologías para el cultivo. Entre estas, se destaca la aplicación

de biotecnología en el desarrollo de variedades genéticamente modificadas que incorporaron genes de resistencia a herbicidas. Los eventos transgénicos registrados incluyen resistencia a glifosato, glufosinato y bromoxinil. Las variedades resistentes a glifosato son actualmente cultivadas en Canadá, Estados Unidos, Australia, Japón y Chile (en este último caso, solo para exportación de semilla). También existen variedades con resistencia a un grupo de herbicidas inhibidores de una enzima clave en la síntesis proteica (enzima AHAS), comercializadas bajo la marca registrada Clearfield o CL, y fueron obtenidas mediante mejoramiento convencional, es decir que no son transgénicas.

A pesar de que no existen poblaciones silvestres de *B. napus*, suelen producirse escapes de plantas de los cultivos que forman poblaciones persistentes. Debido a la marcada dehiscencia (apertura espontánea) de los frutos, las semillas de colza se pierden antes o durante la cosecha y quedan en el suelo. También existe dispersión de propágulos hacia regiones distantes por el tráfico de maquinaria agrícola y pérdidas durante el transporte, esto último potenciado por el pequeño tamaño de la semilla. Estas poblaciones asilvestradas que persisten en el tiempo, sin la intervención del ser humano, se conocen como *ferales* (del latín *fera*, fiera o bestia salvaje).

En regiones donde el cultivo de colza transgénica está autorizado, como en Canadá y Estados Unidos, se ha registrado la presencia de plantas espontáneas y poblaciones ferales de colza genéticamente modificadas. Este fenómeno también se observó en regiones donde su cultivo no estaba autorizado en el momento, como en Bélgica, Suiza y Japón (país en el cual, luego del descubrimiento de poblaciones ferales transgénicas, se habilitó el cultivo de colza GM). En estos países se encontraron en zonas portuarias, caminos y vías férreas, posiblemente debido a la dispersión de semillas por el manipuleo y transporte de granos importados.

En Canadá se comprobó que el flujo génico entre cultivares de colza con distintos tipos de resistencia a herbicidas generó poblaciones ferales con resistencias acumuladas, es decir, con resistencia a distintos herbicidas en el mismo individuo. Un caso extremo fue el hallazgo de plantas ferales con tres resistencias distintas acumuladas: a glifosato, a glufosinato y a herbicidas AHAS.

En nuestro país el cultivo de variedades de colza transgénica está prohibido debido a la presencia de poblaciones naturales con las cuales puede establecerse flujo génico. En 1996, una evaluación de las posibles consecuencias del flujo génico entre colza genéticamente modificada y sus parientes silvestres realizada por la Comisión Nacional de Biotecnología (CONABIA) llevó a la Secretaría de Agricultura, Pesca y Alimentación a denegar la solicitud de ensayo a campo con colza resistent-



Lote agrícola del partido de Necochea, provincia de Buenos Aires, totalmente invadido por plantas de nabo silvestre con el transgén de resistencia a glifosato, en 2014.

te a glifosato destinada a producción de semilla para ser reexportada a Canadá (resolución 228 del 11 de abril de 1997). Esta resolución fue ratificada por el Servicio Nacional de Sanidad Ambiental (SENASA) en 2007, mediante la resolución 305 que prohíbe la importación de colza portadora de eventos transgénicos para su producción y comercialización en la Argentina.

Sin embargo, en la primavera de 2012 se detectaron poblaciones de colza que no podían ser controladas con glifosato en lotes agrícolas del sureste de la provincia de Buenos Aires sin registro de cultivo de colza. Debido a la prohibición en el país de variedades con resistencia transgénica a glifosato, la presencia y pertenencia taxonómica de estas poblaciones resultaban dudosos. El grupo de investigación de las cátedras de Producción Vegetal Extensiva y Genética Básica y Aplicada, del Departamento de Agronomía de la Universidad Nacional del Sur (UNS) y del Centro de Recursos Naturales Renovables de la Zona Semiárida (CERZOS-Conicet), determinó que esas poblaciones correspondían a plantas ferales de colza con resistencia transgénica a glifosato. La presencia del transgén fue confirmada mediante test inmunológico y marcadores moleculares.

Este descubrimiento sugiere que la resistencia a glifosato podría provenir de cultivos de colza transgénica realizados de manera ilegal en el país o de individuos ingresados como contaminantes de semilla importada antes de 2007, año a partir del cual se solicita análisis probatorio de ausencia de material genéticamente modificado. Los productores y profesionales consultados adjudicaron la aparición y dispersión de la población al ingreso de maquinaria de cosecha contratada dentro del lote, proveniente de otras zonas de la provincia. Las poblaciones ferales de colza halladas en otras partes del mundo aparecen frecuentemente en ambientes ruderales, en lugares con intenso cultivo de colza. En nuestro país las plantas transgénicas fueron detectadas en ambientes típicamente agrícolas, actuando como malezas y moviéndose varios kilómetros.

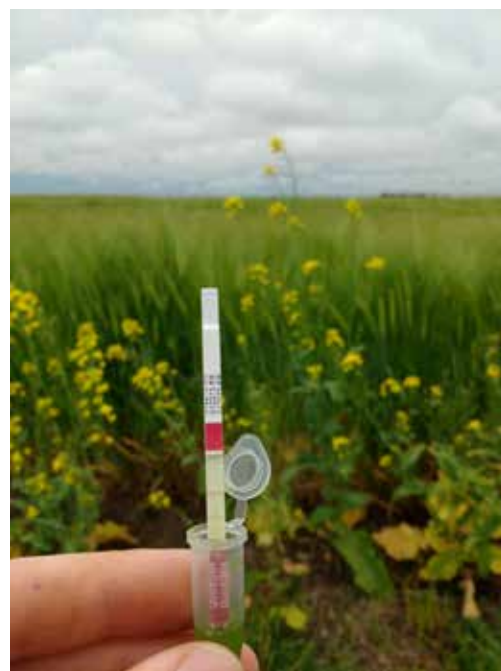
La resistencia a herbicidas de estas poblaciones ferales les confirió una ventaja clara en sistemas agrícolas basados en el empleo intensivo de glifosato. Este hecho provocó la preocupación por el potencial de hibridación de esas poblaciones de colza con especies silvestres emparentadas, algunas ampliamente distribuidas en la zona donde fueron encontradas.

Un panorama más complejo: el nabo silvestre transgénico

Una de las especies con la cual la colza puede hibridarse con relativa facilidad es el nabo o *Brassica rapa* que, en su forma silvestre, es una maleza altamente invasora de cultivos en todo el mundo. Esta especie, emparentada con la colza y de la cual se originaron las variedades de nabo alimenticio, ha sido cultivada desde hace siglos como hortícola u oleaginosa. En regiones templadas de Sudamérica y en especial en la región pampeana argentina, el nabo es una maleza agresiva. En nuestro país su importancia como maleza de cultivos es reconocida desde la década del 1930, época en la cual su abundancia era tal que se comenzó a dar uso a la especie, cosechando las poblaciones naturales para la producción de aceite industrial.

En las mismas zonas del mundo donde se han encontrado poblaciones ferales de colza transgénica también se comprobó la presencia de híbridos con el nabo silvestre *B. rapa*, y la transferencia del transgén de resistencia a glifosato. En Canadá, híbridos entre colza transgénica y nabo fueron detectados en distintas localidades. Esas poblaciones han sido monitoreadas y el transgén parece disminuir en frecuencia, aunque su persistencia fue confirmada por más de seis años. De la misma forma, pero con distribución más limitada, se hallaron algunas plantas híbridas entre colza feral transgénica y nabo, a la vera de rutas y caminos en Japón.

Luego del hallazgo de poblaciones ferales de colza con resistencia transgénica a glifosato en la provincia de Buenos Aires, nuestro grupo de investigación constató en el verano de 2012 la existencia de poblaciones de nabo silvestre resistente a glifosato en la misma zona y que dicha resistencia era de origen transgénico. La presencia del transgén fue comprobada, al igual que en las poblaciones de colza, mediante la utilización de un test inmunológico que detecta la presencia de la proteína transgénica, y confirmada mediante un marcador molecular específico para el evento GT73, diseñado por la empresa Monsanto (registrante del evento). Además, algunas poblaciones presentaron resistencia al grupo de herbicidas inhibidores de la enzima AHAS. La presencia de resistencia múltiple a herbicidas de distinto modo de acción en estas poblaciones involucraría al menos dos eventos de hibridación: uno con alguna de las plantas ferales transgénicas de colza halladas en la región y otro con algún cultivar con resistencia a herbicidas AHAS. Los cultivares Clearfield comenzaron a comercializarse en el país en 2013, y su distribución es muy acotada, lo mismo que el cultivo de colza. Dado el pequeño tamaño de las semillas, no puede descartarse la posibilidad de mezclas con escasa cantidad de semilla de variedades transgénicas durante el proceso de almacenado o acondicionado, lo cual se conoce como ‘contaminación’ de lotes de semilla importada. Casi la totalidad de la semilla de colza sembrada en la Argentina es importada desde los principales centros de mejoramiento del cultivo del mundo, incluyendo países como Canadá, Australia y Estados Unidos donde



Izquierda. Población de nabo, a la vera de la ruta provincial 86, provincia de Buenos Aires, en un ambiente ruderal, detectada en 2015. **Derecha.** Test inmunológico positivo para la presencia del transgén de resistencia a glifosato en la misma población.



la siembra de cultivares transgénicos a gran escala está permitida.

La presencia de poblaciones naturales de nabo con resistencia transgénica a glifosato y a herbicidas AHAS en la Argentina presenta un panorama complejo que involucra aspectos de impacto ambiental. Este caso se suma a los ya mencionados en Canadá y Japón. El caso de la Argentina presenta características particulares, debido a que la dispersión de estas poblaciones en nuestro país ya es generalizada en el sureste de la provincia de Buenos Aires. La Asociación Argentina de Productores en Siembra Directa (AAPRESID) ha elaborado mapas de distribución de malezas resistentes en nuestro país. En ellos se observa la presencia en 2019 de nabo resistente a glifosato en 23 partidos de la provincia de Buenos Aires (principalmente en el sureste y suroeste), tres del sur de Santa Fe y uno de Córdoba, y sospechas de presencia en provincias tan alejadas como Salta, Chaco o Entre Ríos. Se calcula una superficie afectada de 1,1 Mha.

Izquierda. Detalle de la inflorescencia de una planta de nabo silvestre, *Brassica rapa*.

Abajo. Lote de trigo con alta invasión de nabo transgénico en el partido de Dorrego, provincia de Buenos Aires, durante 2021.





Planta de nabo transgénico creciendo a la vera de las vías del ferrocarril, en los alrededores de Bahía Blanca, en 2020. Las semillas de nabo fueron dispersadas por el medio de transporte junto con semillas de trigo.

Productores y asesores de la zona del sureste bonaerense afirman que han detectado la presencia de nabo resistente a herbicida en más del 10% de los lotes agrícolas de la región. Esto conlleva un evidente impacto económico y ambiental, derivado de la necesidad de aumentar las aplicaciones de herbicidas para el control de estas poblaciones.

La persistencia del transgén en ambientes agrícolas fue confirmada por al menos diez años en una población de *B. rapa* en la Argentina. Además, se observó la dispersión de las plantas transgénicas por varios kilómetros desde el lugar de la primera detección, incluso hacia hábitats ruderales, con menos intervención humana y presión de herbicida. En estos entornos, la persistencia de los biotipos dependerá de la aptitud biológica (*fitness*) de estas plantas. Sobre la base de resultados obtenidos por nuestro grupo de investigación, la presencia del transgén no disminuye la aptitud biológica de estas poblaciones y su dispersión en ambientes ruderales no se vería limitada.

Un pensamiento final

Toda producción humana implica algún grado de impacto ambiental. De la misma forma, ninguna producción está exenta de riesgos y el cultivo de variedades vegetales transgénicas no es la excepción. Reconocer este hecho y proceder en consecuencia es una de las claves para minimizar cualquier impacto derivado de esta tecnología. Así como el conocimiento y la investigación han permitido el desarrollo de estos cultivos que están cambiando la forma de producir y consumir alimentos de millones de personas, los mismos conocimientos deben ser puestos en pos de asegurar que sean seguros para la humanidad y el ambiente. 🇺🇦

LECTURAS SUGERIDAS

ELLSTRAND NC, 2018, 'Born to run? Not necessarily: Species and trait bias in persistent free-living transgenic plants', *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 6: 88.

PANDOLFO CE et al., 2016, 'Transgenic glyphosate-resistant oilseed rape (*Brassica napus*) as an invasive weed in Argentina: Detection, characterization, and control alternatives', *Environmental Science and Pollution Research*, 23: 24081-24091.

PANDOLFO CE et al., 2018, 'Transgene escape and persistence in an agroecosystem: The case of glyphosate resistant *Brassica rapa* L. in central Argentina', *Environmental Science and Pollution Research*, 25: 6251-6264.

POVERENE M Y CANTAMUTTO M, 2003, 'Impacto ambiental de los cultivos transgénicos', *CIENCIA HOY*, 13 (75): 26-37.

RYFFEL GU, 2014, 'Transgene flow: Facts, speculations and possible countermeasures', *GM Crops Food*, 5: 249-258.



Claudio E Pandolfo

Doctor en agronomía, Universidad Nacional del Sur (UNS).

Investigador asistente del Conicet.

Profesor adjunto en la cátedra de Producción Vegetal Extensiva, Departamento de Agronomía, UNS.

claudio.pandolfo@uns.edu.ar



Mónica Poverene

Doctora en agronomía, UNS.

Investigadora independiente del Conicet.

Profesora titular en la cátedra de Genética Básica y Aplicada, Departamento de Agronomía, UNS (jubilada).

poverene@criba.edu.ar