



AgEcon SEARCH
RESEARCH IN AGRICULTURAL & APPLIED ECONOMICS

The World's Largest Open Access Agricultural & Applied Economics Digital Library

This document is discoverable and free to researchers across the globe due to the work of AgEcon Search.

Help ensure our sustainability.

Give to AgEcon Search

AgEcon Search

<http://ageconsearch.umn.edu>

aesearch@umn.edu

*Papers downloaded from **AgEcon Search** may be used for non-commercial purposes and personal study only. No other use, including posting to another Internet site, is permitted without permission from the copyright owner (not AgEcon Search), or as allowed under the provisions of Fair Use, U.S. Copyright Act, Title 17 U.S.C.*

Evaluación del impacto económico de una especie invasora en el regadío de Aragón: el teosinte

GABRIEL PARDO (*)

ALICIA CIRUJEDA (*)

YOLANDA MARTÍNEZ (**)

1. INTRODUCCIÓN

El teosinte es una especie invasora recientemente aparecida como mala hierba en algunos campos de maíz de Aragón, y que como tal, implica un peligro para la producción de este cultivo. El teosinte es el ancestro silvestre del maíz (*Zea mays* L.), es decir, las variedades actuales de maíz proceden del teosinte, mejoradas genéticamente después de miles de años de selección. Así pues, teosinte y maíz son de la misma especie, y por tanto pueden darse casos de polinización y fecundación cruzada entre ambos.

Teosinte es una gramínea anual que puede alcanzar de 2 a 4 metros de altura, con tallos más quebradizos que las variedades actuales de maíz. Su ciclo de crecimiento es paralelo al del maíz: germina en mayo con las lluvias de primavera o primeros riegos y necesita mucho calor y humedad

(*) *Unidad de Sanidad Vegetal. Instituto Agroalimentario de Aragón (IA2), Centro de Investigación y Tecnología Agroalimentaria de Aragón, CITA-Universidad de Zaragoza.*

(**) *Departamento de Análisis Económico, Facultad de Economía y Empresa, Instituto Agroalimentario de Aragón (IA2), Universidad de Zaragoza-CITA.*

- Revista Española de Estudios Agrosociales y Pesqueros, n.º 245, 2016 (67-96).
Recibido octubre 2015. Revisión final aceptada julio 2016.

para crecer y desarrollarse. Entre agosto y septiembre el teosinte alcanza la etapa de floración y de octubre a diciembre las semillas caen al suelo, permaneciendo latentes hasta el siguiente periodo favorable.

El teosinte representa una seria competencia para el maíz por varios motivos: puede producir más semillas que una planta de maíz, que permanecen viables en el suelo durante varios años y además puede cruzarse o hibridarse con el cultivo de maíz, por lo que en muchos campos puede observarse un conjunto muy heterogéneo de plantas no deseadas.

Aunque todavía no se conoce bien el potencial de expansión de teosinte de un año a otro en las condiciones del regadío del valle del Ebro, se han registrado pérdidas de rendimiento de un 60% en zonas de México (Balbuena *et al.* 2007, 2011) y de más de un 50% en la zona de Poitou-Charentes, en el este de Francia (ARVALIS, 2013).

En el caso de Aragón, en las zonas más afectadas de Los Monegros, los agricultores han llegado a levantar el cultivo debido a altas infestaciones. Si tenemos en cuenta que en el año 2014 la superficie ocupada por maíz en Aragón era de 78.686 ha (un 8,5 % de la superficie total dedicada a cereales) y que es, después de los cereales de invierno y la alfalfa, el cultivo más extendido en Aragón (MAGRAMA, 2014), resulta de vital importancia diseñar estrategias adecuadas para el control de la amenaza que supone la aparición de teosinte y evaluar el impacto económico de las mismas.

La prevención, erradicación y el control de especies invasoras en los ecosistemas son un problema no sólo biológico sino también económico y social de gran trascendencia. En general, la valoración económica de los daños derivados de una especie invasora se ha planteado habitualmente como un medio muy útil para determinar qué estrategias de control son más adecuadas o qué medidas de gestión pueden resultar más eficaces y eficientes. En el ámbito de la política ambiental, la evaluación económica es una herramienta ampliamente utilizada para la toma de decisiones de gestión privada y pública.

Tal como indican Born *et al.* (2005) la incorporación de los estudios económicos en la toma de decisiones de gestión puede resultar útil en tres aspectos: i) en la evaluación de una posible medida para controlar una

especie determinada, lo cual exige una valoración *ex-ante* de dicha medida comparando sus costes y beneficios; ii) en la evaluación de la eficacia de la implantación de una medida, lo cual exige la valoración de beneficios y costes *ex-post*; iii) en la selección de la estrategia óptima entre un conjunto de medidas identificando la medida más coste-eficiente (por ejemplo, comparando control mecánico, control químico y control biológico).

Pero las herramientas económicas no sólo son útiles para valorar los impactos y seleccionar las posibles medidas de prevención, erradicación y control. Además, estas herramientas pueden ser esenciales para una mayor comprensión de las relaciones entre el comportamiento humano y la gestión de especies invasoras (Cusack *et al.*, 2009).

La valoración del impacto económico provocado por una especie invasora incluye por tanto la cuantificación de los costes de control o erradicación de la especie y también los daños ocasionados por la pérdida de biodiversidad o cambios en el hábitat. Lógicamente, mientras los costes de erradicación o reducción de la especie pueden calcularse directamente, los costes por pérdida de diversidad son más difíciles de cuantificar (Dehnen-Schmutza *et al.*, 2005).

Con respecto al tipo de impactos económicos que deben considerarse al evaluar los efectos de una especie invasora en el ambiente, se considera que los ecosistemas proveen a la sociedad una serie de bienes y servicios a los cuales puede asignársele un valor económico. Así, el valor económico total de un ecosistema incluye valores de uso y valores de no uso. Los primeros pueden ser cuantificados de distintas maneras mediante un valor directo o indirecto (por ejemplo a través de actividades de producción o recreativas que el ecosistema sustenta), mientras que los de no uso incluyen los valores inmateriales del ecosistema y por tanto son más difíciles de cuantificar e incluyen el valor de existencia, el valor de opción y el valor como legado para las generaciones futuras (Pearce y Turner, 1990). Los daños provocados a cualquiera de estos valores deben considerarse si se desea plantear una estrategia adecuada para la gestión.

En el caso de la aparición de una especie no nativa como el teosinte, el cálculo adecuado de los impactos económicos debe incluir tanto los so-

portados por el agricultor como los soportados por la sociedad. Así, el impacto económico para el agricultor puede medirse a través de la pérdida de rendimiento que provoca al cultivo principal y los costes de erradicación y control en su explotación. Pero además de este impacto privado directo hay que cuantificar los daños sociales directos causados, entre los que están los costes de investigación y de divulgación y otras medidas de control, mitigación y erradicación que no son soportados por el agricultor y que por tanto no son considerados en su toma de decisiones de producción. Por otro lado, habría que considerar los costes indirectos privados y sociales, que serían los relacionados con otras actividades distintas a la producción del cultivo pero ligadas a su transformación, distribución y comercialización como por ejemplo la industria de semilla certificada de maíz o la industria procesadora del maíz, etc.

El objetivo de este trabajo es hacer una evaluación de los costes directos privados y sociales que ha generado la especie invasora *Zea mays ssp. mexicana* (teosinte) desde su detección en Aragón y evaluar económicamente las alternativas para su control y erradicación.

La literatura dedicada a la gestión de especies invasoras que incorpora evaluaciones económicas es relativamente abundante en países como Estados Unidos, Sudáfrica y Australia-Nueva Zelanda desde los años 90 del pasado siglo (ver Born *et al.*, 2005 y Pimentel *et al.*, 2005 para una revisión de trabajos y resultados). Es llamativa sin embargo la escasez de trabajos localizados en Europa, exceptuando algunos estudios localizados en Alemania (Reinhardt *et al.*, 2003; Nehring 2005) y Gran Bretaña (Dehnen-Schmutz *et al.*, 2004), todos ellos dedicados al ámbito de las plantas invasoras en el medio natural. Por el contrario, las referencias a malas hierbas invasoras en cultivos son muy escasas y en el caso de España sólo tenemos conocimiento de los trabajos de Andreu y Vila (2008) y de Recasens *et al.*, (2007). En el primero de ellos se estiman los impactos de las plantas exóticas invasoras y no invasoras en España, pero sólo se consideran los costes relacionados con las medidas de gestión, sin tener en cuenta las pérdidas de rentabilidad de cosechas, ni las asociadas al paisaje y servicios turísticos que éste sustenta. En el segundo se estiman los impactos directos e indirectos de dos malas hierbas exóticas en Cataluña a lo largo de un periodo de 26 años.

En nuestro caso, el enfoque es más cercano al empleado por Recasens et al. (2007), si bien la metodología utilizada es distinta debido a las especiales características del teosinte que la hacen una mala hierba de difícil control. Así, a diferencia del resto de malas hierbas, no es posible controlar teosinte con métodos químicos dentro de un maizal, dado que los procesos fisiológicos de ambas plantas son tan parecidos que no existe un herbicida selectivo que distinga entre maíz y teosinte. Esto implica que no podemos considerar el control químico como una alternativa viable, al menos en el presente. Por otra parte, dada la reciente aparición de teosinte en los campos estudiados, es todavía poco conocida su capacidad de propagación de un año a otro y por tanto el nivel de competencia y las pérdidas de rendimiento que causa bajo las condiciones climáticas de las zonas en las que se ha registrado su presencia. Esto implica la necesidad de hacer una simulación de posibles escenarios de infestación.

Para solventar todas estas dificultades se plantea un análisis de evaluación de costes y beneficios asociados a las distintas alternativas de control disponibles. Concretamente, definiremos el problema de decisión del agricultor en un escenario base sin infestación de la invasora y estableceremos una serie de escenarios en que simularemos diferentes niveles de infestación de teosinte en su parcela para cuantificar las pérdidas económicas provocadas. Posteriormente plantearemos distintas alternativas de eliminación de teosinte y evaluaremos sus costes directos tanto para el agricultor como para la sociedad. La ventaja de este análisis consiste en que permite establecer una jerarquía u ordenación de las alternativas consideradas. En nuestro caso, calcularemos la pérdida de beneficios asociada a los distintos niveles de infestación simulados y los consiguientes costes asociados a cada medida de control y erradicación.

El resto del documento se ordenará de la siguiente forma: en la próxima sección se presenta el área de estudio y los datos utilizados, y se describen detalladamente los escenarios planteados para el análisis de costes y las medidas de control y estrategias de erradicación consideradas. Posteriormente se presentan los resultados y se concluye con unas recomendaciones finales.

2. METODOLOGÍA Y FUENTES DE DATOS

2.1. Área de estudio

Aunque se desconoce con exactitud en qué momento aparecieron las primeras infestaciones de teosinte en Aragón, fue a mediados de agosto de 2014 cuando el Centro de Sanidad y Certificación Vegetal (CSCV) del Gobierno de Aragón recibió las primeras consultas sobre cómo tratar esta planta en las explotaciones. Así, parece probable que las infestaciones iniciales de teosinte pasaran desapercibidas por los agricultores debido a su parecido con la planta de maíz (Pardo *et al.*, 2014).

A partir de las consultas, los técnicos del CSCV localizaron las zonas afectadas, que suponen unas 343 ha de regadío y se distribuyen fundamentalmente en tres áreas distintas de Huesca y Zaragoza: los nuevos regadíos de Monegros, Ejea y Torralba de Aragón. La localización concreta, superficie afectada y los niveles de infestación se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1

SUPERFICIE AFECTADA POR TEOSINTE (EN HA) Y NIVELES DE INFESTACIÓN

| | Infestación baja | Infestación media | Infestación alta |
|------------------------------------|------------------|-------------------|------------------|
| <i>Nuevos regadíos de Monegros</i> | | | |
| Candasnos | - | 78 | 164 |
| Bujaraloz | 62 | - | - |
| Peñalba | - | 12 | - |
| <i>Ejea</i> | - | 14 | - |
| <i>Torralba de Aragón</i> | - | 13 | - |
| Total | 62 | 117 | 164 |

Fuente: CSCV (2015).

Si bien el origen de la infestación de teosinte en Aragón y sus vías de propagación son desconocidos por ahora, los técnicos trabajan con distintas hipótesis con el objetivo de establecer las estrategias más apropiadas para su erradicación. Entre estas hipótesis están el origen no controlado de la semilla sembrada, el uso de cosechadoras y empacadoras infestadas pre-

viamente, el destino del resto de cosecha y el pastoreo en zonas afectadas (Pardo *et al.*, 2014). Hasta el momento ninguna de estas hipótesis se ha podido verificar, y por tanto las medidas previstas para erradicar la planta persiguen la limpieza de las explotaciones ya infestadas y tratan de impedir su propagación a otras parcelas con un conjunto de medidas cautelares. Es por ello de vital importancia que los agricultores que sospechen de la presencia de teosinte en sus parcelas lo notifiquen cuanto antes para poder poner en práctica las medidas adecuadas.

2.2. Variables consideradas y fuentes de datos

Para determinar la rentabilidad económica de los distintos escenarios se ha optado por calcular el beneficio neto por hectárea del agricultor. Esta magnitud incluye los ingresos percibidos por la venta de la cosecha y los costes directos de producción, costes indirectos, mano de obra contratada y amortización. Dentro de los costes directos se incluyen los costes de semillas, fertilizantes y fitosanitarios, agua de riego y seguros, maquinaria, carburante y reparaciones. Los costes indirectos incluyen los intereses de capitales ajenos y propios, rentas de la tierra, mano de obra familiar, cargas sociales, impuestos y gastos de conservación de edificios. Quedan sin incluir por tanto únicamente los ingresos obtenidos por la Política Agraria Común (PAC), ya que al estar desacoplados no están en relación con el cultivo producido, lo cual nos permitirá determinar la rentabilidad asociada a cada cultivo independientemente de las ayudas obtenidas, y que el agricultor adquiere por el cumplimiento de otras condiciones. La última reforma PAC (2015-2020) introduce requisitos sobre diversificación de cultivos, mantenimiento de pastos o superficies de interés ecológico para percibir un pago anual conocido como “pago verde” o *greening*, vinculado al derecho de pago básico. Pero además del pago básico, se mantienen ayudas asociadas a determinados tipos de cultivo o ganado, como en el caso del girasol y el guisante. En los escenarios relacionados con estos cultivos, se considerarán los ingresos con y sin primas PAC.

Dado que la rentabilidad anual de la actividad depende en gran medida del precio de venta del cultivo, se ha optado por escoger datos medios de un periodo de varios años con el fin de eliminar, al menos en parte,

el efecto de la variabilidad en los precios de los cultivos sobre los resultados.

Además, se ha calculado también el umbral de rentabilidad de los cultivos considerados, dividiendo el coste total por el precio de venta del cultivo, con el fin de conocer qué nivel de rendimiento mínimo debe obtener el agricultor para obtener un beneficio positivo en su actividad.

Los datos utilizados se han recopilado de diversas fuentes. Los datos de costes directos e indirectos para los cultivos de maíz, cebada y alfalfa en los años 2010, 2011 y 2012 se han calculado utilizando los datos de contabilidad analítica disponibles publicados por el Ministerio de Agricultura y Medio Ambiente (MAGRAMA 2011, 2012, 2013). Dado que no disponemos de datos oficiales para años posteriores, a partir de los datos de costes para el año 2012 se ha hecho el cálculo de los costes para el año 2013 teniendo en cuenta la evolución del Índice de Precios Percibidos por los agricultores (IPP) disponible en el informe de Coyuntura Agraria de Aragón que publica el Gobierno de Aragón (2015). En el caso específico del cultivo de maíz se dispone de información oficial de costes del MAGRAMA para el 2014 y, por tanto, se ha utilizado esta información. Para el cálculo de los ingresos se han considerado los datos oficiales sobre precios de venta y rendimientos de cultivos publicados por el Ministerio y por el Gobierno de Aragón en todos los años considerados.

Asimismo, los datos de costes y rendimiento de los cultivos se han contrastado y ajustado con los datos reales obtenidos de encuestas personales a varios agricultores de la zona de estudio (CSCV, 2015), ya que los niveles de producción son sensiblemente más altos que los recogidos en los datos del Ministerio para elaborar la contabilidad analítica. Estos mayores rendimientos se deben a que las zonas estudiadas son especialmente aptas para el cultivo de maíz y cereales de invierno y, además, todas las explotaciones disponen de riego por aspersión, que como es bien sabido, comporta una mayor producción en comparación con el riego por superficie. Así, las producciones potenciales de maíz de las zonas estudiadas en condiciones normales alcanzan entre 12 y 15 t ha^{-1} , llegando incluso a las 16 t ha^{-1} en campañas buenas (CSCV, 2015). Por otro lado, los mayores rendimientos implican también unos costes de fertilización y de riego entre

un 7 y un 10 por ciento más altos, lo cual se ha tenido en cuenta para el ajuste de los costes directos de producción. En total fueron encuestados 37 agricultores, lo que supone un total de 143 parcelas y una superficie total de 1557,89 hectáreas totales prospectadas. De ellos, 22 tenían problemas de infestación por teosinte hasta ese momento (343 ha). Además de la información sobre rendimientos y costes de los cultivos, las encuestas permitieron conocer el número de hectáreas y nivel de infestación de teosinte, momento en el que los agricultores detectaron la presencia de teosinte en sus parcelas, planes de cultivo para la campaña siguiente y, en su caso, costes en los que se incurrió para intentar controlar teosinte manualmente.

Para el caso del cultivo de girasol la información obtenida de las encuestas a los agricultores resultó especialmente valiosa, dado que los datos oficiales sobre este cultivo son muy incompletos o incluso no están calculados como en el resto de cultivos, por lo que se ha optado por utilizar directamente la información de las citadas encuestas personales.

Hay que señalar que las fuentes de datos que se han manejado sobre precios de los cultivos son poco convergentes entre si. Así, los datos de precios percibidos por los agricultores en Aragón utilizados por el Ministerio para hacer la contabilidad analítica de las explotaciones medias no coinciden con los publicados por la Secretaría General Técnica del Gobierno de Aragón. Además, tampoco se ha encontrado coincidencia con los publicados por la Lonja del Ebro, que es la encargada de realizar las subastas semanales de los cultivos en la zona de estudio. Esto nos ha obligado a optar por seleccionar los datos que consideramos más cercanos a la realidad de las áreas estudiadas, adaptando los datos de costes medios a la realidad de estas zonas. Por ese motivo para el caso del cultivo de maíz se emplean los datos de precios de la Lonja del Ebro (2010-2014), mientras que para el resto de los cultivos se han utilizado los precios publicados por el Ministerio para Aragón. Obviamente esta decisión hace que los resultados presentados pierdan generalidad para otras zonas menos productivas o con características tecnológicas o climáticas distintas dentro de Aragón. A cambio, consideramos que se ofrece una visión más real del impacto en las zonas afectadas actualmente por teosinte.

2.3. Definición de escenarios

En la situación inicial o escenario base se considera que el agricultor tiene una explotación de maíz sin infestación de teosinte. Para calcular el impacto económico causado por la especie invasora se calculará el beneficio neto por hectárea obtenido por el agricultor en ausencia de infestación y se comparará con el que obtiene bajo distintos niveles de infestación de teosinte. Dado que no existen actualmente datos ciertos que relacionen el nivel de infestación de las parcelas y las pérdidas de rendimiento del cultivo, se ha optado por estimarlas, basándonos en la información disponible en la zona. Para ello hay que tener en cuenta que las infestaciones de teosinte pueden ser muy heterogéneas dentro de una misma parcela, ya que se encuentran zonas limpias de esta especie y zonas en las que se concentra la invasora, por lo que se nos referiremos a un porcentaje medio de pérdidas. Así mismo, se ha valorado que los agricultores dejan de cultivar maíz cuando los niveles de pérdidas son elevados (CSCV, 2015). Por ello, se ha considerado un rango de pérdidas entre el 5% y el 30%. El motivo de la elección de este rango de pérdidas es ofrecer una visión general de la relación entre pérdida de rendimiento y pérdida de beneficio final, en tanto no se disponga de una función de competencia de la invasora.

Las únicas referencias disponibles en la literatura a este respecto son los trabajos de Balbuena et al. (2011, 2007) localizados en México. En el primer trabajo se registran pérdidas de rendimiento entre un 63 y un 70% con una producción potencial de $3,4 \text{ t ha}^{-1}$, mientras que en el segundo se indican pérdidas de un 60%. Hay que tener en cuenta que las producciones potenciales en el valle del Ebro son sensiblemente mayores y que, por tanto, puede esperarse una competencia mayor de teosinte. En estos trabajos además se constató la alta competencia de teosinte en condiciones comerciales también en otros parámetros como la producción de granos (un 337% mayor que el maíz).

La simulación de distintos niveles de infestación permitirá conocer el impacto económico para el agricultor y definir las posibles estrategias de actuación disponibles. A partir de los niveles de infestación considerados, se plantean distintas estrategias de actuación, basadas en las recomenda-

ciones hechas por el Centro de Sanidad y Certificación Vegetal del Gobierno de Aragón (Pardo *et al.*, 2014) a través de una información técnica elaborada para divulgar las características de la invasora y las estrategias más adecuadas para su manejo. Entre los métodos de control de teosinte se especifican dos tipos: la prevención y los controles culturales.

La prevención implica evitar la entrada de semillas de teosinte en las parcelas no infestadas, o bien evitar la propagación en caso de parcelas infestadas. Para ello se insiste en la importancia de utilizar siempre semilla certificada y de limpiar los aperos utilizados y los cursos de agua para evitar la dispersión de la invasora a otros campos. Se recomienda también no sacar restos de cosecha fuera de las parcelas infestadas ni utilizarlos como pienso para la ganadería, pues el estiércol generado puede dispersar las semillas a otros lugares.

Los controles culturales especificados en la información técnica incluyen tres tipos de estrategias: la falsa siembra, el control manual y las rotaciones. Las dos primeras están indicadas para los casos de infestaciones incipientes, mientras que la rotación es imprescindible en las parcelas muy infestadas. En estos casos además se prohíbe volver a sembrar maíz en los siguientes tres años, hasta que se elimine la semilla de teosinte en el suelo. El uso de las rotaciones facilita el control de la invasora porque permite identificarla más fácilmente en las parcelas y además pueden utilizarse herbicidas no selectivos del maíz, tales como antigramíneas que estén autorizados en el correspondiente cultivo (Pardo *et al.*, 2014).

En este estudio se considerarán las estrategias de falsa siembra y de control manual y también varias rotaciones de cultivos, dado que en la zona se han detectado tanto casos de infestaciones incipientes como casos más severos. Las rotaciones recomendadas son la alfalfa, los cereales de invierno, el girasol y las leguminosas. En los casos de abandono del cultivo de maíz por altas infestaciones, consideramos por tanto los escenarios siguientes: cebada-girasol, guisante-girasol, trigo-alfalfa y alfalfa.

Se calcularán, en cada caso, los impactos económicos de cada escenario para establecer la mejor estrategia para el agricultor. En los casos de bajas infestaciones consideraremos los costes de las labores de falsa siembra (pase de cultivador, pase de rotovator, aplicación de herbicida y un riego)

y de las labores para el control manual (mano de obra contratada). En este caso hay que tener en cuenta que se siembra una variedad de maíz de ciclo corto, que normalmente proporciona unos rendimientos entre 3 y 5 t·ha⁻¹ menores que el de ciclo largo.

Para el cálculo del impacto económico social consideraremos el conjunto de hectáreas de maíz en el que se ha detectado la presencia de teosinte y además cuantificaremos los costes de investigación, divulgación y seguimiento de la especie invasora no tenidos en cuenta por el agricultor. Este cálculo nos permitirá obtener una dimensión global del problema económico directo que supone la especie invasora en la zona.

Los escenarios considerados quedan definidos como sigue:

- Escenario base: monocultivo de maíz.
- Escenario 1: rotación cebada-girasol.
- Escenario 2: rotación guisante-girasol.
- Escenario 3: rotación alfalfa.
- Escenario 4: rotación trigo-alfalfa.
- Escenario 5: mantenimiento de maíz + control manual.
- Escenario 6: mantenimiento de maíz + falsa siembra.

3. RESULTADOS

3.1. Escenario base

La Tabla 2 muestra los resultados de producción y beneficios obtenidos en las campañas de 2010 a 2013 para el escenario base o situación actual sin infestación de teosinte. La media de las cuatro campañas consideradas arroja un beneficio medio de 746,73 €·ha⁻¹. Se trata en consecuencia de un cultivo muy rentable, como se verá más adelante cuando se compare con otras opciones de cultivo.

El umbral de rentabilidad del cultivo oscila entre 9,6 y 13 t·ha⁻¹ en las campañas consideradas. Lógicamente este umbral depende especialmente del precio de mercado obtenido cada año, dado que los costes son bastante constantes a lo largo de los años. Así, en los años de precios bajos (especialmente en 2013), dicho umbral asciende hasta casi 13 t·ha⁻¹.

Tabla 2

RESULTADOS ECONÓMICOS DEL CULTIVO DE MAÍZ EN EL ESCENARIO BASE

| Monocultivo de maíz | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | Media |
|---|---------------|---------------|----------------|---------------|---------------|
| Rendimiento del cultivo (t·ha ⁻¹) | 14,2 | 14,9 | 15,8 | 14,8 | 14,92 |
| Precio de venta (€·t ⁻¹) | 173,16 | 203,75 | 243,41 | 165,5 | - |
| Ingresos totales (€·ha ⁻¹) | 2458,87 | 3035,87 | 3845,87 | 2449,4 | - |
| Costes totales (€·ha ⁻¹) | 2185,87 | 2133,03 | 2352,1 | 2132,09 | - |
| Beneficio neto (€·ha ⁻¹) | 273,00 | 902,84 | 1493,77 | 317,31 | 746,73 |
| Umbral rentabilidad (t·ha ⁻¹) | 12,62 | 10,46 | 9,66 | 12,88 | - |

Fuente: MAGRAMA (2011, 2012, 2013, 2014) y Lonja del Ebro (2010-2014).

Conviene resaltar que a pesar de la alta rentabilidad media del cultivo, ésta se ha reducido drásticamente en 2013 debido a la caída de los precios. Esta misma tendencia se ha mantenido en 2014, con un precio de 152,3 €·t⁻¹. Si se considera que los costes totales se mantienen en niveles del año anterior, el beneficio en ese año se encontraría alrededor de los 270 €·ha⁻¹ y el umbral de rentabilidad estaría por encima de los 13,2 t·ha⁻¹. Estos datos muestran hasta qué punto los precios y el mantenimiento de rendimientos altos son determinantes en la rentabilidad del cultivo.

A partir de este escenario base, se han simulado distintos escenarios de infestación de teosinte, con unas pérdidas de rendimiento entre el 5 y el 30 por ciento. Los resultados de la simulación muestran que un nivel de infestación que provoque pérdidas de rendimiento superiores al 20% hace inviable el cultivo de maíz bajo las condiciones consideradas (Tabla 3). Este nivel se encuentra en consonancia con lo observado en las zonas afectadas y confirma que incluso teniendo altas producciones potenciales de maíz, el teosinte provoca graves daños económicos con niveles de infestación relativamente bajos si los comparamos con los registrados en los ensayos experimentales existentes en la literatura (Balbuena *et al.* 2007, 2011).

Tabla 3

SIMULACIÓN DE LOS EFECTOS ECONÓMICOS DE DISTINTOS NIVELES DE INFESTACIÓN
DE TEOSINTE

| Pérdida de rendimiento (%) | Rendimiento (t/ha) | Beneficio (€/ha) | Pérdida de beneficio (€/ha) | % de pérdida de beneficio |
|----------------------------|--------------------|------------------|-----------------------------|---------------------------|
| 0 (escenario base) | 14,92 | 746,73 | - | - |
| 5 | 14,15 | 579,06 | 167,67 | 22,45 |
| 10 | 13,41 | 433,68 | 313,05 | 41,92 |
| 15 | 12,66 | 286,34 | 460,39 | 61,65 |
| 20 | 11,92 | 140,97 | 605,76 | 81,12 |
| 25 | 11,17 | -6,30 | 753,03 | 100,84 |
| 30 | 10,43 | -151,75 | 898,48 | 155,16 |

Fuente: elaboración propia.

Los datos obtenidos de esta simulación se emplearán para poder establecer el nivel de infestación a partir del cual resulta más rentable el abandono del cultivo de maíz por otra estrategia de cultivo que permita controlar la presencia de teosinte en las parcelas. Así, identificaremos el nivel de infestación del 5% con “infestación baja”, nivel del 10% con “infestación media” y nivel del 15% con “infestación alta”.

3.2. Escenario 1: rotación cebada-girasol

Una primera alternativa para los agricultores al monocultivo de maíz es la combinación de dos cultivos seguidos: un cereal de invierno y un cultivo de verano distinto al maíz, lo cual es bastante habitual en la zona cuando no es posible cultivar maíz, ya sea por motivos agronómicos o económicos. El cultivo de cebada es un cultivo bien adaptado a las características climáticas de la zona y que permite aprovechar las lluvias de invierno y principios de la primavera, comunes en la zona. No obstante, es un cultivo de baja rentabilidad, pues son precisos altos rendimientos para obtener beneficios positivos. Este es el principal motivo por el cual es un cultivo más ligado a la agricultura de secano, ya que en tales condiciones es posible un ahorro mayor de costes de producción, si bien los rendimientos son sensiblemente menores (alrededor de 3 t·ha⁻¹).

Las producciones medias de cebada en regadío recogidas en los datos oficiales oscilan entre 4 y 4,5 t·ha⁻¹ (MAGRAMA, 2012), lo cual conduce a beneficios negativos, puesto que el umbral de rentabilidad para la cebada está entre 4,5 y 5,5 t·ha⁻¹ según los datos del Ministerio. En la zona de estudio las producciones se encuentran entre 5 y 6,5 t·ha⁻¹ e incluso pueden alcanzarse las 7 t·ha⁻¹ en riego por aspersión (CSCV, 2015). Por este motivo, se ha optado por utilizar los datos de costes totales y precios de venta oficiales pero considerando los niveles de producción de la zona (Tabla 4). Bajo tales condiciones, el cultivo de cebada presenta una rentabilidad media para el periodo de 48,49 €·ha⁻¹.

Por su parte, el girasol es un cultivo industrial con precios de venta sensiblemente mayores y que además tiene asociada una prima de la PAC de 40 €·ha⁻¹, que lo hacen atractivo para compensar las bajas rentabilidades de la cebada. El girasol aporta una rentabilidad media de 285,63 €·ha⁻¹, si bien la variabilidad anual es muy considerable, por efecto de los fuertes cambios en los precios de un año a otro.

Tabla 4

RESULTADOS ECONÓMICOS DEL CULTIVO DE CEBADA-GIRASOL

| Cultivo Cebada | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | Media |
|--|---------------|---------------|---------------|--------------|---------------|
| Rendimiento del cultivo (t·ha ⁻¹) | 5,5 | 5,1 | 5 | 5,6 | 5,3 |
| Precio de venta (€ t ⁻¹) | 147,1 | 184,3 | 215,1 | 180,7 | - |
| Ingresos totales (€·ha ⁻¹) | 809,05 | 939,93 | 1075,5 | 1011,92 | - |
| Costes totales (€·ha ⁻¹) | 797,57 | 905,54 | 963,82 | 975,48 | - |
| Beneficio neto (€·ha ⁻¹) | 11,48 | 34,39 | 111,68 | 36,43 | 48,49 |
| Umbral de rentabilidad (t·ha ⁻¹) | 5,42 | 4,91 | 4,48 | 5,39 | - |
| Cultivo Girasol | | | | | |
| Rendimiento del cultivo (t·ha ⁻¹) | 2,8 | 3 | 2,9 | 3,15 | 3,03 |
| Precio de venta (€ t ⁻¹) | 377 | 346,6 | 472,6 | 298 | - |
| Ingresos totales (€·ha ⁻¹) | 1131 | 1039,8 | 1417,8 | 938,7 | - |
| Costes totales (€·ha ⁻¹) | 780,43 | 838,57 | 873,71 | 892,06 | - |
| Beneficio neto (€·ha ⁻¹) | 350,57 | 201,23 | 544,09 | 46,64 | 285,63 |
| Umbral de rentabilidad (t·ha ⁻¹) | 2,07 | 2,41 | 1,84 | 2,99 | - |
| Beneficio total (cebada+girasol) (€·ha ⁻¹) | 362,05 | 235,62 | 655,77 | 83,07 | 334,12 |

Fuente: MAGRAMA (2011, 2012, 2013, 2014) y CSCV (2015).

En conjunto, la estrategia cebada-girasol arroja unos beneficios medios de 334,12 €·ha⁻¹ sin considerar la prima de la PAC, y de 374,12 €·ha⁻¹ si la tomamos en cuenta. Tales beneficios son claramente inferiores a los del maíz en monocultivo (Tabla 1).

3.3. Escenario 2: rotación guisante-girasol

Una segunda alternativa de cultivo es el cambio a una leguminosa de invierno seguida por el girasol. El guisante (verde) presenta la ventaja de que, además de ser más rentable que la cebada en los últimos años, tiene asociada una prima de la PAC ligada al cultivo de proteaginosas. La cuantía de la prima fue de 55,57 €·ha⁻¹ en las campañas de 2010 y 2011 y de 51,97 €·ha⁻¹ en 2012 y 2013. La Tabla 5 recoge los resultados económicos de esta opción de cultivo. Considerando las primas en los dos cultivos, la rotación supone un beneficio medio cercano a los 600 €·ha⁻¹, lo cual supone una rentabilidad más cercana a la del cultivo de maíz. Si no se considera el cobro de primas, el escenario conduce a un beneficio de 505 €·ha⁻¹.

Tabla 5

RESULTADOS ECONÓMICOS DE LA ROTACIÓN GUISANTE-GIRASOL

| Cultivo guisante | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | Media |
|---|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| Rendimiento del cultivo (t·ha ⁻¹) | 6,0 | 6,5 | 6,2 | 7,1 | 6,45 |
| Precio de venta (€ t ⁻¹) | 196,7 | 219,5 | 240,4 | 218,8 | - |
| Ingresos totales (€·ha ⁻¹) | 1180,2 | 1426,75 | 1490,48 | 1553,48 | - |
| Costes totales (€·ha ⁻¹) | 1097,05 | 1185,36 | 1237,2 | 1252,36 | - |
| Beneficio neto sin prima PAC (€·ha ⁻¹) | 83,15 | 241,39 | 253,28 | 301,12 | 219,73 |
| Umbral de rentabilidad (t·ha ⁻¹) | 5,5 | 5,4 | 5,1 | 5,7 | - |
| Beneficio neto con prima PAC (€·ha ⁻¹) | 138,72 | 296,96 | 305,25 | 353,09 | 273,50 |
| Cultivo girasol | | | | | |
| Beneficio neto sin prima PAC (€·ha ⁻¹) | 350,57 | 201,23 | 544,09 | 46,64 | 285,63 |
| Beneficio neto con prima PAC (€·ha ⁻¹) | 390,57 | 241,23 | 584,09 | 86,64 | 325,63 |
| Beneficio total (guisante+girasol) sin primas PAC (€·ha ⁻¹) | 433,72 | 442,62 | 797,37 | 347,76 | 505,36 |
| Beneficio total (guisante+girasol) con primas PAC (€·ha ⁻¹) | 529,29 | 538,19 | 889,34 | 439,73 | 599,13 |

Fuente: MAGRAMA (2011, 2012, 2013, 2014) y CSCV (2015).

Tal y como se ha señalado ya, la rentabilidad económica de los cultivos es muy dependiente de los rendimientos. En el caso del girasol, influyen notablemente las condiciones climáticas durante el verano, de forma que un verano poco caluroso puede conducir a cosechas por debajo del umbral de rentabilidad, tal como aparece reflejado en los datos oficiales del Ministerio (MAGRAMA, 2012). También hay que indicar que existe en la zona poca costumbre de cultivar girasol, lo cual se manifiesta en que los agricultores son reticentes a considerarlo en sus planes de cultivo.

3.4. Escenario 3: rotación alfalfa

Una tercera alternativa viable para la zona de cultivo es el cambio al cultivo de alfalfa. El principal problema que presenta esta alternativa es que se trata de un cultivo plurianual que sólo permite obtener rendimientos a partir de los seis o siete meses de permanencia en el campo. En este caso el rendimiento es acumulativo y es necesario poder llevar a cabo un número de cortes del cultivo suficiente para obtener producciones que permitan alcanzar beneficios positivos. Por tanto, si consideramos que se ha levantado el cultivo de maíz en el mes de octubre del año n , podría sembrarse la alfalfa inmediatamente y en ese caso podría obtenerse el primer corte en abril o mayo del año siguiente $n+1$ y unos cuatro cortes hasta final de $n+1$. En todo caso hay que tener en cuenta que en la campaña del año $n+1$ no se obtendrá el mismo rendimiento que en los posteriores. Si el cultivo de maíz se hubiera levantado antes (en julio o agosto) debido a la alta infestación de teosinte, entonces se podría adelantar la siembra de alfalfa y la producción en $n+1$ sería normal. Estas consideraciones serán tenidas en cuenta para evaluar posteriormente este escenario.

Las producciones medias de alfalfa recogidas en los datos oficiales oscilan entre 14,5 y 15,5 t ha^{-1} (MAGRAMA, 2012). En la zona de estudio las producciones se encuentran por encima de las 17 t ha^{-1} . También en este caso se han ajustado al alza los costes de riego y fertilizante (CSCV, 2015).

La Tabla 6 muestra los resultados económicos de esta estrategia considerando los costes e ingresos de campañas con rendimiento normal de alfalfa (con seis cortes por año). En este caso, se obtendría un beneficio

medio de 547,76 €·ha⁻¹ (91,29 € por corte), algo inferior al obtenido en el escenario 2 con primas y por encima del escenario 1.

Si se considera que sólo se llevan a cabo cuatro cortes, el beneficio medio baja a 365,18 €·ha⁻¹.

Tabla 6

RESULTADOS ECONÓMICOS DEL CULTIVO DE ALFALFA

| Cultivo Alfalfa | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | Media |
|---|---------------|----------------|---------------|---------------|---------------|
| Rendimiento del cultivo (t·ha ⁻¹) | 17,50 | 18,63 | 18,00 | 17,00 | 17,78 |
| Precio de venta (€ t ⁻¹) | 87,9 | 106,7 | 113,6 | 168,7 | - |
| Ingresos totales (€·ha ⁻¹) | 1538,25 | 1987,82 | 2044,80 | 2867,90 | - |
| Costes totales (€·ha ⁻¹) | 1252,74 | 1294,12 | 1442,51 | 1343,85 | - |
| Beneficio neto (€·ha ⁻¹) | 285,51 | 693,701 | 602,29 | 609,57 | 547,76 |
| Umbral de rentabilidad (t·ha ⁻¹) | 14,25 | 12,12 | 12,69 | 7,96 | - |

Fuente: MAGRAMA (2011, 2012, 2013, 2014) y CSCV (2015).

Hay que indicar que el cultivo plurianual de alfalfa presenta la ventaja de que implica una carga menor de trabajo para el agricultor que la opción de doble cultivo en las campañas en que el cultivo ya está establecido. Además, las tareas de corte y recogida de la alfalfa suelen llevarse a cabo por terceros, o bien por empresas deshidratadoras o por las cooperativas, por lo que el agricultor se ve menos implicado en las tareas de manejo de cultivo. Este es un factor que puede ser muy relevante en la toma de decisiones del agricultor.

Además, cabe recordar que a partir de la última reforma PAC (2015-2020) la recepción de las primas acopladas puede resultar más difícil, ya que los agricultores deben cumplir otros requisitos para acogerse a ellas en función de lo que cultiven en el resto de su explotación (cumplimiento del *greening* u otros requisitos que van cambiando año a año). Todos los factores comentados provocan que la estrategia de cultivo cebada-girasol o guisante-girasol resulte una opción con una incertidumbre mayor que la estrategia alfalfa, lo que unido a la carga de trabajo más elevada puede hacer más atractivo el escenario 3 que las rotaciones de 2 cultivos.

3.5. Escenario 4: rotación trigo-alfalfa

Una opción tradicional escogida por algunos agricultores de la zona consiste en sembrar un cereal de invierno como el trigo blando para después sembrar alfalfa. Esta estrategia presenta la ventaja de que se aprovechan las lluvias de invierno para obtener un beneficio en la campaña de cultivo siguiente a la que se levantó el maíz y posteriormente se hace la inversión necesaria para el cultivo de alfalfa, que producirá rendimientos a partir del año siguiente. La Tabla 7 presenta los cálculos de beneficios correspondientes al trigo. En este caso los rendimientos y los costes también se han ajustado a las características de la zona (CSCV, 2015).

Tabla 7

RESULTADOS ECONÓMICOS DE LA ROTACIÓN DE TRIGO-ALFALFA

| Cultivo Trigo | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | Media |
|---|--------------|--------------|---------------|---------------|---------------|
| Rendimiento del cultivo (t·ha ⁻¹) | 6,2 | 6,5 | 6 | 6,7 | 6,2 |
| Precio de venta (€ t ⁻¹) | 169,6 | 197,6 | 230 | 213,4 | - |
| Ingresos totales (€·ha ⁻¹) | 1051,52 | 1284,4 | 1380 | 1429,78 | - |
| Costes totales (€·ha ⁻¹) | 856,92 | 1185,36 | 1016,08 | 1028,37 | - |
| Beneficio neto (€·ha ⁻¹) | 194,6 | 99,04 | 363,92 | 401,41 | 264,74 |
| Umbral de rentabilidad (t·ha ⁻¹) | 5,05 | 5,99 | 4,41 | 4,81 | - |

Fuente: MAGRAMA (2011, 2012, 2013, 2014) y CSCV (2015).

La rentabilidad económica de este cultivo es similar a la del guisante o girasol. En la campaña siguiente se obtendría la rentabilidad de la alfalfa, calculada en el escenario 3, por lo que en media el escenario arroja un beneficio de 406,25 €·ha⁻¹.

3.6. Escenario 5: mantenimiento de maíz y control manual

En el escenario 5 se considera una explotación de maíz con una infestación baja del 5%, dado que la opción de sembrar maíz en presencia de teosinte sólo se recomienda en el caso de infestaciones bajas o incipientes (Pardo *et al.*, 2014). En este caso se hacen labores de limpieza manual de teosinte, tal como se ha llevado a cabo en algunas parcelas reales de la zona. En el

cálculo del beneficio para este escenario se considera que se consigue eliminar completamente el teosinte de la parcela y que, por tanto, no hay merma en el rendimiento del cultivo. Se contabiliza, por tanto, el beneficio neto del escenario base y se restan los costes de limpieza, calculados como el coste de contratación de las personas necesarias para la limpieza manual. Para el cálculo del coste de limpieza manual se han utilizado datos reales del coste que asumió el único agricultor de la zona que utilizó este método de control para la limpieza de su explotación en 2014 (CSCV, 2015), y que declaró que pudo eliminar el teosinte obteniendo una producción de 15 €·ha⁻¹. El coste de contratación unitario asciende a 71,4 €·ha⁻¹. Este agricultor contrató dos personas específicamente para la limpieza manual, lo que supone un coste total de 142,8 €·ha⁻¹.

Los cálculos de este escenario permiten afirmar que si la densidad de teosinte es tan elevada que obliga a contratar más de 2 personas para esta labor de limpieza, el beneficio neto desciende por debajo del que se obtendría con los escenarios 2 y 3. Por tanto, sólo en el caso de infestaciones bajas o muy bajas (inferiores al 5%) parece interesante llevar a cabo este tipo de control desde el punto de vista económico.

3.7. Escenario 6: mantenimiento de maíz y falsa siembra

Por último, se ha considerado un escenario en el que se mantiene el cultivo de maíz pero se hacen labores de falsa siembra para eliminar la infestación de teosinte. De nuevo se supone aquí que el nivel de infestación es bajo, ya que esta técnica sólo puede ser empleada en ese contexto, de acuerdo con la recomendación del CSCV (Pardo *et al.*, 2014). En este caso se asume también que dichas labores consiguen mantener el nivel de producción de maíz y se calculan los costes adicionales de las labores de falsa siembra: pase de cultivador y rotovator (85 €·ha⁻¹), aplicación de un riego (30 €·ha⁻¹) y aplicación de herbicida (34,5 €·ha⁻¹). El coste total de estas labores es de 149,5 €·ha⁻¹. Además, hay que considerar que el maíz sembrado es de ciclo corto y por tanto se obtienen menos rendimientos pero también se incurre en menores costes de fertilización y riego, y se eliminan las labores preparatorias. Considerando una producción de 3 t por debajo de la media y ajustando los costes directos de producción, el beneficio neto del maíz de ciclo corto se ha calculado en unos 350 €·ha⁻¹, por lo que

el resultado final del escenario 6 sería de unos 200 €·ha⁻¹, claramente por debajo de la rentabilidad del resto de estrategias.

La Tabla 8 recoge los resultados económicos de los distintos escenarios y alternativas de cultivo. En el caso del escenario 4, aunque en el año n únicamente se obtiene el beneficio correspondiente al trigo, se considera aquí el beneficio medio de los cultivos, pues el cultivo de alfalfa dará rendimiento económico a partir del año $n+1$ en la cuantía calculada para el escenario 3. En esta tabla se muestran, además, los escenarios de infestación baja, media y alta para poder comparar las pérdidas de beneficio con respecto a los escenarios considerados. Así, puede verse que la rotación guisante-girasol con primas provoca pérdidas inferiores a las causadas con un nivel de infestación bajo, por lo que es una alternativa viable incluso con poca infestación de la invasora. La alternativa de cultivo del escenario 3 conduce a una pérdida respecto al escenario base no muy superior al de la infestación baja, por lo que puede considerarse apropiada para erradicar la invasora de las explotaciones en el caso de infestaciones bajas, con una pérdida económica mínima.

Tabla 8

RESULTADOS ECONÓMICOS DE LOS ESCENARIOS CONSIDERADOS

| | Beneficio neto (€·ha ⁻¹) | Pérdida respecto al escenario base(€·ha ⁻¹) |
|--|--------------------------------------|---|
| Escenario base maíz monocultivo | 746,73 | - |
| Infestación baja | 579,06 | 167,67 |
| Infestación media | 433,68 | 313,05 |
| Infestación alta | 286,34 | 460,39 |
| Escenario 1 cebada-girasol (con prima) | 374,12 | 372,61 |
| Escenario 2 guisante-girasol (con primas) | 599,13 | 147,60 |
| Escenario 2 guisante-girasol (sin primas) | 505,36 | 241,37 |
| Escenario 3 alfalfa (año medio) | 547,76 | 198,97 |
| Escenario 4 trigo-alfalfa (media) | 406,25 | 340,48 |
| Escenario 5 maíz infestación baja con escarda manual | 603,93 | 142,8 |
| Escenario 6 maíz infestación baja con falsa siembra | 200 | 546,73 |

Fuente: elaboración propia.

El escenario 5 conduce a pérdidas algo por debajo de las del nivel bajo de infestación, por lo que podría considerarse una estrategia viable económicamente con un nivel igual o inferior al 5%. No obstante, no hay que olvidar que el resultado de este escenario depende del éxito en las labores de limpieza manual de teosinte, y obliga a una vigilancia constante de las parcelas y a persistir en el cumplimiento del resto de medidas cautelares propuestas con el CSCV (limpieza de aperos, control de restos de cosecha y pastoreo, etc). Recordemos que es suficiente tener una única planta de teosinte que llegue a terminar su ciclo y diseminarse para generar problemas serios de infestación en campañas futuras.

En el caso de infestaciones medias, además de los escenarios 2 (con y sin primas) y 3, cabría la posibilidad de plantearse como alternativa el escenario 4, pues aunque en el primer periodo se obtiene un beneficio menor, en los periodos siguientes se obtendría el correspondiente al escenario 3, con la ventaja de reducir las exigencias de control con respecto al mantenimiento del maíz. Parece por tanto razonable económicamente, en casos de infestaciones medias, abandonar el cultivo de maíz y adoptar alguna otra rotación. Con respecto a la posibilidad de llevar a cabo un control manual (escenario 5), sería preciso considerar cuidadosamente cuáles son las necesidades de contratación de personal para la escarda manual, cuál es la pauta de dispersión de la invasora y cuál es la pérdida de rendimiento real, pues recuérdese que este escenario está calculado considerando infestaciones bajas. Tal como se ha indicado ya, cabe esperar un mayor coste de control y una reducción en la eficacia cuanto mayor es el nivel de infestación.

Para el caso de infestaciones altas, todas las rotaciones consideradas son más rentables que el maíz, por lo que no tiene fundamento económico mantener este cultivo en las explotaciones. Este resultado aporta un argumento económico a los motivos agronómicos que el CSCV ha utilizado en sus recomendaciones para erradicar la mala hierba en las explotaciones (Pardo *et al.*, 2014). Los resultados económicos refuerzan la prohibición de sembrar maíz en las explotaciones con infestación alta de teosinte y confirman que sólo en el caso de infestaciones bajas y producciones medias o infestaciones medias con altas producciones potenciales es viable

económicamente mantener el cultivo de maíz y realizar labores de escarda manual.

Los cálculos muestran también que no resulta rentable económicamente el escenario 6, pues las bajas producciones obtenidas con maíz de ciclo corto no compensan los costes de las labores de falsa siembra necesarias para la limpieza de teosinte, incluso considerando que se logra su eliminación total.

Los resultados de la simulación de distintos niveles de infestación de teosinte pueden servir a las autoridades implicadas en el control para el cálculo y diseño de posibles medidas compensatorias a los agricultores afectados por la infestación de teosinte. Así, un agricultor con baja infestación tendría una pérdida con respecto al escenario 5 (maíz+control manual) de tan solo 4,8 €·ha⁻¹ si cambiara a una rotación de guisante-girasol (con primas), de 71,4 €·ha⁻¹ sin primas, y de 56,17 €·ha⁻¹ si cambiara al cultivo de alfalfa, por lo que si recibiera tal compensación económica no tendría motivos para seguir sembrando maíz, y a cambio se reduciría el riesgo de una infestación mayor en la misma parcela y también en otras parcelas vecinas, por lo que se lograría una reducción en costes de control.

3.8. Valoración global: pérdidas privadas y pérdidas sociales

En este apartado se estima la pérdida global generada por la existencia de teosinte en la zona de estudio, para lo cual se calculan las pérdidas de beneficio neto en cada escenario considerando el número de hectáreas globales afectadas. Además, se realiza una estimación de los costes de divulgación y control en los que se ha incurrido desde que se tiene noticia de la existencia de teosinte en los campos aragoneses.

Las parcelas afectadas por teosinte han sido regularmente visitadas por los técnicos del CSCV y por los investigadores del CITA para evaluar la evolución de la invasora y para identificar los planes de cultivo de los agricultores para el año 2015. Esta información se ha utilizado para hacer la estimación de pérdidas de 2015. La Tabla 9 muestra la distribución de cultivos declarada y/o prospectada en 2015.

Tabla 9

DISTRIBUCIÓN DE CULTIVOS SEMBRADOS EN 2015 EN PARCELAS CON INFESTACIÓN EN 2014 (HA)
POR MUNICIPIO

| Cultivo | Municipios | | | | | |
|---------------|------------|-----------|---------|----------|------|---------------|
| | Candasnos | Bujaraloz | Peñalba | Torralba | Ejea | Total |
| Cebada | 133,68 | - | 12 | - | 14 | 159,68 |
| Alfalfa | 50,46 | - | - | - | - | 50,46 |
| Guisante | 57,83 | - | - | - | - | 57,83 |
| Trigo-Alfalfa | - | - | - | 13 | - | 13 |
| Maiz | - | 62 | - | - | - | 62 |

Fuente: CSCV (2015).

Como puede observarse en la Tabla 9, la mayoría de la superficie infestada por teosinte se ha dedicado a cultivos de invierno (cebada y guisante). Esta decisión en muchos casos está motivada por la expectativa de poder verificar la presencia de teosinte en las parcelas tras la cosecha en verano, y poder tomar una decisión sobre la implantación del cultivo siguiente. En el caso de Ejea, el plan previsto de cultivos es cebada seguida de alfalfa, mientras que en Candasnos los agricultores deciden entre sembrar cebada, alfalfa y guisante en las parcelas infestadas. En ningún caso se previó cultivar girasol. Por este motivo, se ha decidido considerar en los cálculos para 2015 la pérdida de beneficios verificables hasta ese momento. Así, las cifras de pérdidas aumentan respecto a las calculadas en la Tabla 7, porque se consideran los beneficios del primer cultivo en el caso de los escenarios 1, 2 y 4 y, en el caso de la alfalfa, se considerarán los beneficios obtenidos con 4 cortes, tal como ha quedado explicado en el apartado anterior. El coste total de cada escenario en cada año se calcula como producto de la pérdida por hectárea y el número de hectáreas correspondiente.

La Tabla 10 muestra los resultados de esta estimación global de costes privados y sociales.

Tabla 10

RESULTADOS GLOBALES DE LOS ESCENARIOS CONSIDERADOS

| | Año 2014 | | Año 2015 | | Coste total (en euros) |
|----------------------------|-------------------------------|---------------|--------------------------------|---------------|---------------------------|
| | Pérdida (€·ha ⁻¹) | N.º hectáreas | Pérdidas (€·ha ⁻¹) | N.º hectáreas | |
| Infestación baja | 167,67 | 62 | - | - | 10.395,54 |
| Infestación media | 313,05 | 117 | - | - | 36.626,85 |
| Infestación alta | 460,39 | 164 | - | - | 75.503,96 |
| Escenario 1 (cebada) | - | - | 698,24 | 159,68 | 111.494,96 |
| Escenario 2 (guisante) | - | - | 473,23 | 57,83 | 27.366,89 |
| Escenario 3 (alfalfa) | - | - | 381,55 | 50,46 | 19.253,01 |
| Escenario 4 (trigo) | - | - | 481,99 | 13,00 | 6.265,87 |
| Escenario 5 (escarda) | - | - | 142,8 | 62,00 | 8.853,60 |
| <i>Coste privado total</i> | | | | | 295.760,6 |
| Costes sociales (euros) | 53.772,15 | - | 127.172,15 | - | 180.944,3 |
| <i>Coste total</i> | | | | | 476.705,2 |

Fuente: elaboración propia.

Con respecto al cálculo de los costes sociales directos debidos a teosinte, no existe una fuente de datos oficial que contabilice los mismos, por lo que se ha hecho una valoración considerando algunos datos objetivos disponibles: el número de técnicos e investigadores implicados en la prospección, control y divulgación de resultados de teosinte, los costes de edición de folletos informativos y charlas informativas impartidas, los costes de los ensayos de investigación puestos en marcha y el coste de proyectos de investigación y otra financiación pública concedida para el estudio de teosinte. Todos estos datos han sido proporcionados por el CSCV y el CITA. El coste de personal y de divulgación se ha dividido por años a partes iguales, mientras que en 2015 se ha contado también la cuantía de la financiación pública destinada a proyectos de investigación.

El coste total estimado hasta junio de 2015 asciende a más de 476.700 euros, de los cuales unos 122.500 euros se deben directamente a la pér-

dida de producción en maíz originada por la infestación de la especie invasora en 2014, mientras que 173.200 euros se relacionan con el cambio en el patrón de cultivos en 2015. Los costes sociales ascienden a casi 181.000 euros. El coste total por hectárea sería por tanto de 1.390 € en los dos periodos considerados. Si se considera que tras el cultivo de cebada y guisante se implantará girasol, entonces los costes debidos al cambio de cultivos descienden a 79.383 euros, y el coste total bajaría hasta 382.854 euros, lo que supondría 1.116 euros por hectárea afectada.

En todo caso, es necesario resaltar que todas las rotaciones consideradas como alternativas al cultivo de maíz aportan un beneficio adicional al considerado, y es la eliminación del riesgo de propagación de la especie invasora a otras parcelas no infestadas o incluso a otras zonas de cultivo. La falta de modelos cuantitativos sobre los mecanismos de propagación específicos de la especie y de información más detallada sobre el riesgo de infestación de parcelas vecinas, impide de momento estimar el ahorro en costes privados y también en costes de control que puede representar el cambio de cultivos. Si se considera únicamente el ahorro en costes de control no asumidos por el agricultor (costes sociales), este ahorro ascendería a 264 €/ha⁻¹ anuales. Este ahorro ha de computarse como un beneficio adicional derivado de las rotaciones consideradas.

Por supuesto, como se ha indicado ya, existen otros costes indirectos asociados a la aparición de teosinte que no se están considerando en este trabajo, como los que pueden producirse en el sector de la industria de semilla certificada o en la industria transformadora del maíz. La consideración de estos impactos es una cuestión que requiere un tratamiento metodológico distinto y que sin duda puede ser objeto de futuros trabajos.

4. CONCLUSIONES

Los cálculos muestran que existen alternativas de cultivo para los campos con bajas infestaciones de teosinte que pueden sustituir al cultivo de maíz con una pérdida económica menor al mantenimiento del cultivo incorporando medidas de control manual, con la ventaja de reducir el peligro de infestaciones en parcelas vecinas o en otras zonas de cultivo.

En el caso de infestaciones medias y altas, los resultados económicos confirman la conveniencia de no sembrar maíz y utilizar otras estrategias de cultivo. Así pues, los argumentos agronómicos utilizados por el CSCV para prohibir la siembra de maíz en parcelas con altas infestaciones quedan reforzados por el argumento económico, ya que todas las alternativas de cultivo consideradas mejoran los beneficios privados del agricultor. En este sentido, los resultados de las rotaciones mostradas pueden servir de guía en las decisiones tomadas por los agricultores en su plan de cultivos.

Las rotaciones implican también un ahorro en costes de control en periodos futuros y reducen además el riesgo de infestación a otras parcelas o zonas de cultivo. No debe olvidarse que la ocupación de este cultivo en Aragón alcanzó en 2014 una cifra superior a 78.000 hectáreas, por lo que el riesgo y las consecuencias de expansión de la invasora no deben considerarse menores.

Existen numerosos ejemplos en la literatura que muestran que la detección precoz y la prevención son los métodos más eficientes y menos costosos para controlar la expansión de una especie invasora. En otros términos, parece constatado que los costes de control y erradicación de una especie invasora aumentan muy rápidamente cuando ésta ha conseguido establecerse en un ecosistema, de forma que en esos casos la erradicación completa resulta inviable y sólo es posible mitigar en parte los daños ocasionados por ésta.

Es muy conveniente, por tanto, que las autoridades implicadas insistan en sus recomendaciones y continúen en sus esfuerzos por divulgar las posibles consecuencias de no tomar en serio las medidas de prevención y control de teosinte. Además, es necesario ampliar el conocimiento de la especie con un doble fin: avanzar en el diseño de posibles medidas alternativas de control y entender mejor cuál es la relación entre niveles de infestación y pérdida de rendimiento de maíz.

Los resultados obtenidos pueden servir de guía en las decisiones tomadas por los agricultores pero también son útiles en la toma de decisiones de las instituciones encargadas del control de las especies invasoras y contribuye a mitigar la notable escasez de trabajos que incorporan la valoración del impacto económico de invasoras en el ámbito español.

AGRADECIMIENTOS

Esta investigación ha sido financiada por el proyecto ERTA-2014-00011-C02. Los autores desean agradecer la colaboración prestada por Santiago Fuertes y Emilio Betrán, del Centro de Sanidad y Certificación Vegetal de Aragón, así como la valiosa colaboración prestada por los agricultores de las zonas de estudio.

BIBLIOGRAFÍA

- ANDREU J. y VILÀ, M. (2008). “Coste de la eliminación de plantas invasoras en España”. Pp. 207-210. En: Vilà M., F. Valladares, A. Traveset, L. Santamaría y P. Castro (Coordinadores). *Invasiones Biológicas*. Colección Divulgación, CSIC, Madrid. 216 pp.
- ARVALIS (2013). “Téosite: une adventice qui demande une vigilance toute particulière”. Service Communication Marketing Arvalis, Institut du végétal.
- BALBUENA, M. A., GONZÁLEZ, H. A., SÁNCHEZ, N. S., TORRES, R. A., PEÑA S. H. y ROSALES, R. E. (2007). “Comportamiento del teocintle en cinco genotipos de maíz en el municipio de Metepec”, Estado de México. Memorias del XXVIII Congreso Nacional de la ASOMECEMA A. C. Mazatlán, Sinaloa, México.
- BALBUENA, M., ROSALES, J. C., VALENCIA, E., GONZÁLEZ, A., PÉREZ, D. J., SÁNCHEZ, S. A., FRANCO, L. y VENCES, C. (2011). “Competencia entre maíz y teocintle: efecto en el rendimiento y sus componentes”. *Centro Agrícola*, 38(1): p. 5-12.
- BORN W., F. RAUSCHMAYER e I. Bräuer (2005). “Economic evaluation of biological invasions—a survey”. *Ecological Economics*, 55: p. 321-336.
- CSCV (2015). “Resultados de encuestas y prospecciones para la evaluación de la presencia de teosinte en Aragón (2014 y 2015)”. Comunicación personal. Centro de Sanidad y Certificación Vegetal del Gobierno de Aragón.
- CUSACK, C., HARTE, M. y CHAN, S. (2009). “The Economics of Invasive Species”. Oregon State University, Oregon, USA.
- DEHNEN-SCHMUTZA, K., PERRINGS, C. y WILLIAMSON, M. (2005). “Controlling *Rhododendron ponticum* in the British Isles: an economic analysis”. *Journal of Environmental Management* 70: p. 323-332.
- GOBIERNO DE ARAGÓN (2015). “Coyuntura Agraria de Aragón”. Secretaría General Técnica, Servicio de Estudios, Análisis e Información, Gobierno de Aragón, Febrero 2015, Zaragoza.

- LONJA DEL EBRO (2010-2014). “Precios de cereales y alfalfas”. Publicado en *Diario del Alto Aragón*, Datos de Hemeroteca 2010-2014.
- MAGRAMA, Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente (2011). “Resultados Técnico-Económicos en Explotaciones Agrícolas de Aragón en 2010”. Subdirección General de Análisis, Prospectiva y Coordinación, Madrid.
- MAGRAMA, Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente (2012). “Resultados Técnico-Económicos en Explotaciones Agrícolas de Aragón en 2011”. Subdirección General de Análisis, Prospectiva y Coordinación, Madrid.
- MAGRAMA, Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente (2013). “Resultados Técnico-Económicos en Explotaciones Agrícolas de Aragón en 2012”. Subdirección General de Análisis, Prospectiva y Coordinación, Madrid.
- MAGRAMA, Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente (2014). “Encuesta sobre Superficies y Rendimientos Cultivos (ESYRCE), Superficies de cultivos por Comunidades Autónomas, 2014”. Madrid.
- NEHRING S. (2005). “International shipping - A risk for aquatic biodiversity in Germany”. In: Nentwig W, Bacher S, Cock MJW, Dietz H, Gigon A, Wittenberg R (eds) *Biological Invasions - From Ecology to Control*. Neobiota 6: p. 125-143.
- PARDO, G., CIRUJEDA, A., AIBAR, J., FERNÁNDEZ-CAVADA, S., RODRÍGUEZ, E., FUERTES, S. y PERDIGUER, A. (2014). “El Teosinte (*Zea mays*, ssp.)”. *Informaciones técnicas*, 4/2014, Centro de Sanidad y Certificación Vegetal, Gobierno de Aragón, Zaragoza.
- PEARCE, D. W. y TURNER, R. K., 1990. “Economics of Natural Resources and the Environment”. The John Hopkins University Press, Baltimore.
- PIMENTEL, D., ZUNIGA, Z. y MORRISON, D. (2005). “Update on the environmental and economic costs associated with alien-invasive species in the United States”. *Ecological Economics* 52: p. 273-288.
- RECASENS, J., CONESA, J. A., MILLÁN, J. y TABERNER, A. (2007). “Estimación del impacto económico de una mala hierba exótica invasora en un cultivo”. El ejemplo de *Sycios angulatus* y *Abutilon theophrasti* en Cataluña”. *Phytoma*, 193: p. 193-210.
- REINHARDT, F., HERLE, M., BASTIANSEN, F. y STREIT, B. (2003). “Ökonomische Folgen der Ausbreitung von gebietsfremden Organismen in Deutschland”. Umweltbundesamt, Berlin.

RESUMEN

Evaluación del impacto económico de una especie invasora en el regadío de Aragón: el teosinte

Este artículo presenta una valoración del impacto económico que provoca la aparición de la especie invasora *Zea mays ssp. mexicana* (teosinte) en las explotaciones de maíz de Aragón. El objetivo es hacer una estimación de los costes directos privados y sociales que ha generado la especie invasora desde su detección y evaluar económicamente las alternativas para su control. Para ello se han recopilado datos de costes e ingresos de las zonas afectadas y se han seguido las indicaciones técnicas oficiales para el control y erradicación de la especie invasora.

Los resultados muestran el cálculo de pérdidas debidas a teosinte en función de distintos grados de afección de las parcelas, así como una clasificación de las distintas alternativas de control disponibles según su rentabilidad económica.

El trabajo confirma que las medidas propuestas por los técnicos son adecuadas desde un punto de vista económico y aporta una evaluación del coste social de las mismas.

PALABRAS CLAVE: especie invasora, valoración de impacto, políticas de control, costes sociales.

CLASIFICACIÓN JEL: Q18, Q28.

ABSTRACT

Evaluating the impact of invasive species in irrigation fields of Aragón: the teosinte case

The aim of the paper is to evaluate the economic impact of the invasive species *Zea mays ssp. mexicana* (teosinte) on the corn fields in Aragón. The main objective is to estimate the private and social costs associated with the species and to perform an economic evaluation of some control alternatives following the technical advices for control and eradication established by the regional government institutions. The analysis quantifies the losses generated by the presence of teosinte in relation to different infestation degrees and incorporates a classification of control measures with respect to their economic profitability. The results confirm that the control measures proposed by technical experts are adequate from the economic perspective and contribute with the evaluation of social costs of measures.

KEY WORDS: invasive species, impact valuation, policy advice, social costs.

JEL CODES: Q18, Q28.