



Impactos económicos de las horas frío en la producción de trigo en Sonora, México

Economic impacts of chill hours on wheat production in Sonora, México

Jesús Mario Moreno Dena^{a*}, Vidal Salazar Solano^{b*}, Isaac Shamir Rojas Rodríguez^{c*}

*Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C.

RESUMEN

La literatura especializada no profundiza en impactos económicos de horas frío sobre rendimientos productivos agrícolas. El objetivo del artículo es evaluar los impactos económicos de las horas frío en el trigo en cuatro regiones productoras: Cajeme, Navojoa, Hermosillo y Guaymas. La metodología consistió en un ejercicio de correlación entre rendimiento productivo y los promedios de irradiación de horas frío para cada región; posteriormente se realizó un análisis beneficio-costos con base en la construcción de tres escenarios de horas frío. En los resultados, se obtuvo un coeficiente r de 0.80, lo cual confirma la relación positiva entre horas frío y rendimiento; el análisis beneficio-costos muestra que en Hermosillo se obtienen mayores ganancias económicas por hectárea. Los hallazgos de este trabajo radican en su trascendencia al ámbito económico, aportando información sobre los impactos de la irradiación de horas frío en la rentabilidad del cultivo.

ABSTRACT

Specialized literature does not delve into economic impacts of chill hours on agricultural production yields. The objective of this article is to evaluate economic impacts of chill hours on wheat in four producing regions: Cajeme, Navojoa, Hermosillo and Guaymas. The methodology consisted in a correlation exercise between crop yields and chill hour averages for each region; subsequently, a benefit-cost analysis was carried out based on the construction of three chill hour scenarios. In the results, the obtained coefficient r was 0.80, which confirms a positive relationship between chill hours and crop yield; the benefit-cost analysis shows that in Hermosillo, greater economic gains are obtained per hectare. The findings of this work lie in its importance to the economic sphere, providing information of chill hour impact on crop profitability.



Recibido: 23 de enero de 2018;
aceptado: 6 de marzo de 2018



Palabras clave:
producción de trigo,
cambio climático,
horas frío, valor
de producción,
beneficio-costos.



Keywords:
wheat production,
climate change, chill
hours, production
value, profit-cost.



Se autoriza la reproducción total o parcial de los textos aquí publicados siempre y cuando se cite la fuente completa y la dirección electrónica de la publicación. CC-BY-NC-ND

INTRODUCCIÓN

El trigo se cultiva en prácticamente todas las regiones del planeta bajo diversas condiciones climáticas. Ha sido alimento básico de la humanidad desde el surgimiento de la civilización en Asia, Norte de África y Europa hace ya más de 8 mil años. En el presente, al aportar más de 720 millones de toneladas cosechadas a la producción mundial de granos (Faostat, 2017), mantiene relevancia histórica como un recurso alimentario junto al maíz y el arroz.

Se trata de uno de los cultivos más importantes de la estructura productiva alimentaria de México; en el ciclo agrícola 2015-2016 fueron plantadas 729 mil hectáreas, para obtener un valor de 14,136 millones de pesos (SIAP, 2017). Entre las principales regiones que contribuyen en estos indicadores, destaca el liderazgo de las zonas productoras del estado de Sonora al aportar dos quintas partes de la superficie y casi la mitad del valor de la producción nacional triguera.

En las últimas décadas, se argumenta con solidez que junto a los elementos de naturaleza económica y social que condicionan la producción agrícola, ha cobrado fuerza la reapreciación de factores de índole ambiental. En ese sentido, se asume que el medio ambiente ofrece servicios ambientales, los cuales se definen como los beneficios que las personas obtienen de los ecosistemas. Entre estos se incluyen los alimentos, agua, vegetación, regulación del clima y sus variables y demás componentes de los ecosistemas que proveen soporte al desarrollo de las actividades económicas (Daily *et al.*, 1997; Wallace, 2007). De acuerdo con Tetreault (2008), la economía ambiental concibe los problemas ambientales como una consecuencia de fallas del mercado; además el mismo autor menciona que:

En las situaciones donde los servicios ambientales se tratan como si tuvieran un valor de cero, los defensores de la economía ambiental introducen al concepto de 'externalidades', definidas como los efectos externos experimentados por una o varias personas como resultado de las acciones u omisiones de otras. Una externalidad puede ser positiva o negativa. Puesto que las externalidades no entran al ámbito del mercado, no hay suficientes incentivos monetarios para mitigar los efectos negativos o para

promover los efectos positivos (p. 237).

La economía ambiental ha avanzado en la búsqueda de instrumentos para valorar económicamente las externalidades ambientales y asignarles un importe monetario, intentando con esto, afrontar problemas del medio ambiente a través de un enfoque basado en el mercado (Tetreault, 2008). Sin embargo, el desarrollo que presenta el pensamiento económico desde la economía convencional o estándar, en la cual se sustenta la economía ambiental, deja fuera del análisis económico al medio ambiente natural, al centrar su objeto de estudio en el sistema de producción y particularmente en estimaciones de procesos de valor que obvian los recursos y procesos naturales implicados en cada sistema de producción económica (Naredo, 2002).

En cambio, la economía ecológica se preocupa de la naturaleza física de los bienes a gestionar, así como de los sistemas donde se encuentren inmersos, considerando desde su escasez hasta la nocividad y su posible reciclaje (Naredo, 1994). En otras palabras, es una disciplina transdisciplinaria, la cual incorpora temas de economía y ecología (Common y Stagl, 2008). Es precisamente esta perspectiva integral que hace que la economía ecológica tome a la naturaleza como parte de un sistema interconectado cuyos componentes principales son la economía (mercado) y la ecología (naturaleza).

Por lo anterior, este trabajo adopta el enfoque de la economía ecológica y se centra en un servicio ambiental relacionado con la función de regulación climática. El frío a que son expuestas las plantaciones de trigo (expresado en cantidad de horas), es un servicio ambiental que actúa como inductor del alargamiento de las etapas ontogénicas. Esa variabilidad de temperatura en las regiones productoras del estado, propicia que la productividad anual esté asociada a factores climatológicos.

Las conclusiones de los informes de la Tercera Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (Semarnat e INE, 2006), vaticinan que el clima, en el espacio territorial que incluye al estado de Sonora, será más cálido en el año 2030. Se espera que la temperatura de la región incremente, en los próximos años, de uno a dos grados centígrados sobre los niveles manifestados al inicio del

presente siglo. En ese sentido, a medida que la temperatura promedio se incrementa, las horas frío tenderán a reducirse, este fenómeno tendrá eventualmente efectos negativos en la productividad de las plantaciones de trigo del territorio.

Debido a su ubicación geográfica, Sonora presenta un gradiente de temperaturas extremas y escasos niveles de precipitación, por lo cual el clima de la región es seco y cálido la mayor parte del año. La oscilación de la temperatura durante otoño e invierno, cuando tiene efecto la etapa de desarrollo de las plantaciones de trigo, es de -1° a 31° centígrados y entre 20° a 42° centígrados en el verano (Félix *et al.*, 2009). Diversos análisis confirman la relación entre el promedio de horas frío que irradia una plantación de trigo en el estado de Sonora y su rendimiento productivo (Félix *et al.*, 2008; Félix *et al.*, 2009; Cortés *et al.*, 2011). Sin embargo, la literatura académica no profundiza en el abordaje de los impactos económicos de las variaciones en el promedio de horas frío de un ciclo a otro en el desempeño del sistema productivo. Con base en lo anterior surgen dos interrogantes: a) ¿Cuál es el impacto ocasionado por las variaciones de horas frío de temperatura en la producción de trigo?; b) ¿Cuáles son los impactos en términos de rentabilidad económica que esas variaciones causan sobre la producción de trigo en las regiones productoras de Sonora?

En la búsqueda de aportar una respuesta a las preguntas planteadas, el presente artículo se propone como objetivo evaluar los impactos de las variaciones del promedio de horas frío en la plantación de trigo, así como la forma en que repercute en su rentabilidad económica en cuatro Distritos de Desarrollo Rural (DDR): Cajeme, Navojoa, Hermosillo y Guaymas. La hipótesis de trabajo es que la cantidad de horas frío registrada en un ciclo agrícola tiene un impacto positivo en los rendimientos productivos del trigo, el cual traspasa al ámbito económico y se convierte en factor determinante de su rentabilidad.

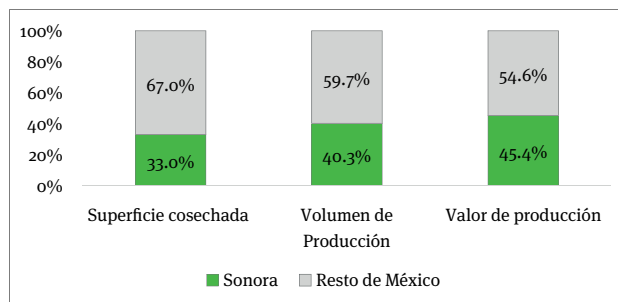
La estructura del documento se compone de seis apartados. El primero comprende la presente introducción. En el segundo se pone de manifiesto la importancia de la producción de trigo en México, así como del liderazgo con que las regiones de Sonora se asumen en ese desempeño. La tercera sección presenta el marco teórico que fundamenta el trabajo; se aborda el enfoque de la economía ecológica y los servicios ambientales, así como su relación con actividades productivas agrícolas. El cuarto

apartado discute los elementos conceptuales que sustentan la investigación, haciendo énfasis en aquellos que esclarecen la relación entre el clima y el desarrollo de las plantaciones de trigo. En la quinta sección se detalla el procedimiento metodológico que condujo a la obtención de resultados, los cuales son presentados en el apartado sexto. Finalmente, se incorporan las conclusiones y hallazgos derivados de la investigación.

SONORA Y LA PRODUCCIÓN DE TRIGO EN MÉXICO

El cultivo del trigo se ha extendido por todo el planeta y en México se constituye como el segundo cereal en importancia para la alimentación (Márquez *et al.*, 2014). El desempeño de su actividad durante décadas ha sido apuntalado por las aportaciones de Sonora; en el periodo 1980 - 2016, cuatro de cada diez toneladas del trigo mexicano fueron cosechadas en las regiones productoras sonorenses (figura 1). En 2016, estos territorios destinaron más de 292 mil hectáreas a su cultivo y generaron un valor superior a los 6,910 millones de pesos, equivalentes a 40.1% y 48.9 % de la superficie y el valor de la producción nacional triguera respectivamente (SIAP, 2017).

Figura 1. Participación de Sonora en la producción nacional de trigo, 1980 - 2016



Fuente: elaborado a partir de información de SIAP (2017).

Destacan los territorios agrícolas del Valle del Yaqui (DDR Cajeme) y Valle del Mayo (DDR Navojoa), que aportan, de manera conjunta, 90% de la producción estatal de esta gramínea (tabla 1). En estas regiones, la producción triguera se orienta en su mayoría a variedades de trigos duros o cristalinos (*Triticum durum L.*), debido a su

mayor tolerancia a enfermedades y mayor rendimiento productivo en condiciones similares respecto a trigos blandos o harineros (*Triticum aestivum L*) (Márquez *et al.*, 2014). Por su parte, en el DDR Hermosillo, la proporción entre los dos diferentes tipos de variedades es más equilibrada.

Tabla 1. Producción regional de trigo en Sonora y México, 2016

Regiones	Superficie Cosechada		Producción		Valor Producción	
	(Ha)	Participación estatal	(Ton)	Participación estatal	(Miles de Pesos)	Participación estatal
Cajeme	173 495	59.3%	1 166 505	61.4%	4 073 285	58.9%
Navojoa	89 136	30.5%	547 163	28.8%	2 139 323	31.0%
San Luis Río	16 508	5.6%	97 126	5.1%	369 032	5.3%
Hermosillo	7 409	2.5%	53 450	2.8%	200 133	2.9%
Caborca	3 928	1.3%	23 911	1.3%	90 608	1.3%
Ures	772	0.26%	4 101	0.22%	15 380	0.22%
Magdalena	532	0.18%	3 190	0.17%	10 486	0.15%
Guaymas	409	0.14%	2 194	0.12%	8 203	0.12%
Agua Prieta	167	0.06%	768	0.04%	2 845	0.04%
Moctezuma	76	0.03%	248	0.01%	992	0.01%
Total Sonora	292 431	100%	1 898 657	100%	6 910 286	100%

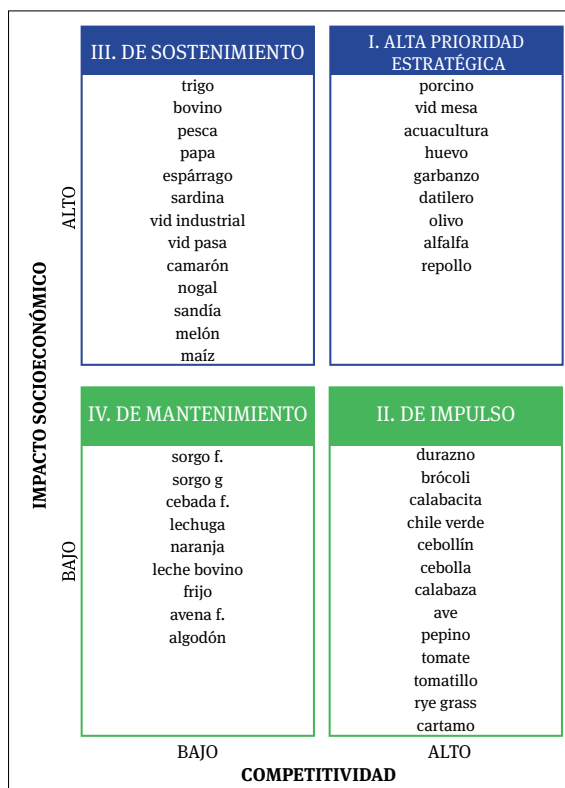
Fuente: elaborado a partir de información de SIAP (2017).

El éxito de la actividad triguera en el estado se alcanza gracias a diversos factores, entre los que se encuentran, el conocimiento de sus actores productivos acerca de tecnología disponible en centros de investigación, la diversidad de variedades de trigo disponibles, los elevados rendimiento y tolerancia a enfermedades, pero especialmente el contar con apoyos públicos y un mercado relativamente seguro. Pese al liderazgo que Sonora ha sostenido durante décadas en la producción nacional de trigo, resultados del análisis técnico sobre el desempeño competitivo de esa cadena productiva lo sitúan por debajo de los promedios observados en el contexto de cadenas agroalimentarias de la entidad. Sin embargo, al ser valorada en función de sus impactos socioeconómicos, su ponderación alcanza un elevado puntaje (figura 2). Estos resultados contribuyen a alentar, entre los productores sonorenses, la idea de que el cultivo de trigo les ofrece gran certidumbre económica (Salazar, Moreno y Arvizu, 2011).

La figura 2 muestra la Matriz de Posicionamiento Estratégico de las cadenas agroalimentarias del estado de Sonora, clasificadas según su desempeño competitivo e impactos socioeconómico para el periodo 2005 - 2010. El trigo se posicionó junto a las cadenas Bovino, Pesca,

Papa, Espárrago, Sardina, Vid Industrial y Pasa, Camarón, Nogal, Sandía, Melón y Maíz, en el tercer cuadrante, también llamado de *Sostenimiento*. Ahí fueron agrupadas aquellas cadenas con alto impacto socioeconómico pero poca competitividad.

Figura 2. Matriz de posicionamiento estratégico de las cadenas agroalimentarias de Sonora



Fuente: Salazar, Moreno y Arvizu (2011, p. 79).

Otros análisis de la producción sonorenses de trigo, en el sur de Sonora, confirma que su cultivo presentó una competitividad baja o negativa, debido en gran parte a la competitividad negativa del sector agroalimentario mexicano en general a escala mundial, pero particularmente dentro de la región del Tratado de Libre Comercio con Estados Unidos y Canadá (Márquez *et al.*, 2014).

Contribuyeron a esta carencia de competitividad los subsidios recibidos por los productores de los países desarrollados, básicamente aquellos otorgados a los

norteamericanos, así como a las prácticas de *dumping*¹ estadounidenses (Márquez *et al.*, 2014). Se argumenta además que este cultivo no alcanza los niveles de eficiencia requeridos para ser competitivo, por lo que los apoyos gubernamentales se vuelven una parte importante de su ingreso (Márquez *et al.*, 2008).

EL ENFOQUE DE LA ECONOMÍA ECOLÓGICA Y LOS SERVICIOS AMBIENTALES

Entre las críticas más comunes hacia la visión económica convencional de la economía, se encuentra la puntualización de que su arsenal metodológico excluye al principal proveedor de bienes y servicios de las entidades generadoras de riqueza: el medio ambiente (Rojas y Salazar, 2018). El enfoque neoclásico deja de lado el estudio de los elementos de la naturaleza, ignorando las repercusiones de la incorporación de efectos negativos producidos por la presión que ejerce la actividad económica en los ecosistemas. Por su parte, la economía ecológica presenta herramientas metodológicas y conceptuales para dar respuesta a las relaciones de causalidad de los fenómenos que surgen de la interacción del hombre y la naturaleza.

Con los aportes de Georgescu-Roegen (1986), quien introdujo al análisis económico las leyes de la termodinámica, donde explica que la materia degradada por la aplicación de energía no es valorada por el sistema económico, es que surge la reinterpretación de la economía como un sistema abierto y complejo, generador de materia degradada que debiera ser incorporada al análisis económico. Con estas nuevas ideas el esquema analítico económico adopta un enfoque transdisciplinario al estudiar las relaciones que existen entre el sistema natural y los subsistemas económicos que se gestan dentro de él.

Es a través de este enfoque transdisciplinario, que además de la valoración económica a las actividades productivas, se suma el análisis de los factores ambientales. En ese contexto se incluyen los servicios ambientales, los cuales son ofrecidos dentro de un ecosistema y son determinantes para producción. Los ecosistemas propor-

cionan una amplia variedad de servicios que contribuyen al desarrollo del bienestar y la calidad del ser humano; sin ellos la vida no sería posible. Sin embargo, la mayor parte de la sociedad solo está consciente de aquéllos de los cuales obtiene algún beneficio directo; por esta razón es que el ser humano se ha encargado de explotarlos, contaminarlos, modificarlos y a veces transformarlos de manera irreversible, lo cual ha afectado su bienestar (Rojas y Salazar, 2018). Debido a esto, su buen manejo es clave para continuar recibiendo los beneficios que los ecosistemas proporcionan; por ello se requiere de herramientas que coadyuven al entendimiento de la dependencia que el ser humano tiene de los ecosistemas.

La interacción entre actividades económicas y servicios ambientales es el objeto de estudio de la economía ecológica. Esta disciplina identifica tres tipos de servicios ambientales fundamentales (Daly y Farley, 2004; Gómez-Baggethun *et al.*, 2010): recursos renovables, servicios de los ecosistemas y capacidad de absorción. A su vez es posible clasificar los servicios ambientales de acuerdo al tipo de función que realizan: de regulación; de hábitat; de producción; de información, y de sustrato (Gómez-Baggethun *et al.*, 2010).

Entre las funciones de regulación, se encuentra la climática, la cual se encarga de proveer un clima adecuado (temperatura, precipitación, humedad) para la salud, actividades agrícolas y pecuarias, entre otras (Gómez-Baggethun *et al.*, 2010). De esta forma, dentro de la economía ecológica, se reconoce la importancia de variables climáticas para algunas actividades, entre ellas los sistemas productivos agrícolas, y se analiza cómo el cambio climático impacta en los cultivos, no solo desde una visión de mercado, sino desde un enfoque integral que también ponga atención al proceso productivo.

EL CLIMA, SU RELACIÓN CON LA AGRICULTURA Y LA PRODUCCIÓN DE TRIGO

La Organización Meteorológica Mundial (OMM) define al clima como “una síntesis de las condiciones meteorológicas en un lugar determinado, caracterizada por estadísticas a largo plazo de los elementos meteorológicos en dicho lugar” (OMM, 2012, p. 3). Es un estado medio del tiempo, y sus análisis de variabilidad se dan durante períodos que pueden ser de meses a miles o

¹ La Organización Mundial del Comercio (OMC) define al *dumping* como “la exportación de productos a un precio inferior a su valor normal, es decir, a un precio inferior a aquel al que se venden en el mercado interno o en los de terceros países, o al costo de producción”. Definición disponible en https://www.wto.org/spanish/thewto_s/glossary_s/glossary_s.htm#collapseD

millones de años. El período normal es de 30 años (IPCC, 2001). Es también una descripción (incluso estadística) del estado del sistema climático, el cual consiste en cinco componentes principales: la atmósfera, la hidrósfera, la criósfera, la superficie terrestre y la biósfera, así como las interacciones entre ellas (IPCC, 2001).

En el transcurso del tiempo, el clima ha estado experimentando variaciones que se manifiestan como cambios en componentes del sistema climático. En décadas recientes, los efectos de tales manifestaciones en los espacios nacionales y sus habitantes han obligado a los organismos multilaterales a incrementar su atención en esas modificaciones. En 1992, durante la *Conferencia de las Naciones Unidas Sobre Medio Ambiente y Desarrollo* celebrada en Río de Janeiro (Cumbre de la Tierra), se dio a conocer el tratado internacional *Convención Marco de las Naciones Unidas Sobre el Cambio Climático* (CMNUCC), definiéndolo como “un cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante periodos de tiempo comparables” (ONU 1992, p. 3).

La definición anterior es concordante con la concepción de la OMM, quien conceptualiza al cambio climático como “una modificación a largo plazo del clima producida por uno o más de los siguientes factores: i) cambios internos dentro del sistema climático; ii) interacción entre componentes climáticos; iii) cambios en fuerzas externas originados por fenómenos naturales o actividades humanas” (OMM, 2012, p. 54).

El clima y agricultura

El clima no solo es uno de los principales determinantes de la productividad en la agricultura (Adams *et al.*, 1998), además es su principal fuente de riesgo (Antle, 2008). El sector agrícola es extremadamente vulnerable a cambios en el clima, estos representan una latente amenaza a la seguridad alimentaria mundial (Ordaz *et al.*, 2010); de igual forma, es una limitante para el desarrollo sostenible y la erradicación de la pobreza. La agricultura debe adaptarse a los efectos del cambio climático y mejorar la resiliencia de los sistemas de producción de alimentos para sostener a una creciente población (FAO, 2015).

Factores e insumos básicos de la producción alimentaria, como el suelo, el agua y la biodiversidad resultan

afectados por factores climáticos. Más ampliamente, el clima está presente en las cuatro dimensiones de la seguridad alimentaria: la disponibilidad de alimentos, el acceso a los mismos, la estabilidad en su suministro y la capacidad por parte de los consumidores de utilizar los alimentos, considerando su inocuidad y su valor nutritivo (FAO, 2007).

Entre los elementos constituyentes del clima, destaca por su impacto en la agricultura, la temperatura, la cual hace referencia a la cantidad de calor existente en un tiempo y espacio determinados, así como a su evolución. La temperatura de la atmósfera es función de la mayor o menor insolación o radiación solar. Esta insolación depende de dos tipos de factores (Strahler, 1960):

- 1) Factores cósmicos, como el movimiento de rotación terrestre (que da origen al día y la noche, con las diferencias térmicas que ello conlleva) y el movimiento de traslación de la Tierra alrededor del Sol, que da origen a las estaciones (épocas de mayor o menor exposición de la radiación solar influida por la inclinación del eje terráqueo en relación a la trayectoria elíptica de la órbita terrestre).
- 2) Factores geográficos, que dependen de las condiciones específicas del lugar con respecto a las características térmicas del aire en tal ubicación. Estos son: la latitud, que explica la mayor o menor radiación solar en función de la inclinación del eje terrestre a lo largo del año; la altitud, que origina a la diferenciación térmica de la atmósfera; la mayor o menor distancia al mar que afecta a su vez la oscilación o amplitud térmica del aire; la orientación del relieve de acuerdo a la insolación (vertientes o laderas de solana, más cálidas; y de umbría, más frías; ambas consideradas a una altitud y latitud equivalentes) y las corrientes marinas, que proporcionan una forma importante de trasladar parte del calor de la zona intertropical a las zonas templadas y polares.

La literatura científica documenta evidencias sobre la existencia de cambios en elementos climáticos, especialmente en temperatura, y de qué manera ocasiona modificaciones significativas en la producción alimentaria, afectando principalmente a los rendimientos productivos, los cuáles a su vez impactan en la estructura de costos, así como en la disponibilidad y el precio de

los alimentos.² Algunos trabajos alrededor del mundo dan cuenta de los impactos económicos, entre los que destacan dos enfoques principales: *a*) las funciones de producción (Adams, 1989) y, *b*) los modelos ricardianos (Mendelsohn *et al.*, 1994).

Adams (1989) introduce una función de producción agrícola para estimar los costos futuros que ocasionarán los cambios en temperatura y nivel de precipitaciones en Estados Unidos. En un estudio realizado en 6 regiones productoras, se analizaron las funciones de producción para el cultivo del maíz y la soya, y se encontró una relación directa entre el incremento en la temperatura y los costos de producción de esos cultivos. Mendelsohn *et al.* (1994) fueron los primeros en utilizar un modelo ricardiano para estimar los impactos económicos del cambio climático en agricultura. En su estudio realizado con base en información de tres mil granjas agrícolas de Estados Unidos, encontraron que las variaciones futuras esperadas en la temperatura se traducirán en aumentos en los costos de producción e insumos, y en una disminución en los ingresos de los productores y un posible ajuste en los niveles de precios.

En México también se han desarrollado estudios sobre impactos del clima en agricultura. Ibararán y Rodríguez (2007) muestran un estudio sobre la economía del cambio climático en México, con el objetivo de analizar la aplicación de diversos métodos de valoración económica que ayuden a determinar el impacto del cambio climático. En materia de agricultura encontraron una disminución en los rendimientos de 6 cultivos (caña de azúcar, maíz, naranja, trigo, frijol y café) durante el periodo 1981-2006, los cuales obedecen a modificaciones en la temperatura y precipitación esperadas.

Otros estudios que emplean el enfoque ricardiano han encontrado que las pérdidas al valor de la tierra pueden ser considerables, especialmente para el caso de los pequeños agricultores. Mendelsohn, Arellano-González y Christensen (2010) encuentran que México enfrentaría cuantiosas pérdidas que pueden rebasar incluso 50% del valor de la tierra.

En 2010 se presentó el estudio *La Economía del Cambio Climático en México* (Galindo, 2010). En este trabajo se utilizaron tres modelos (modelo de función de producción, modelo de tipo ricardiano y modelo de

heteroscedasticidad condicional) para el sector agrícola que permitieron identificar los impactos del cambio climático para México. Dichos modelos confirmaron los impactos del cambio climático, aunque difieren sobre la magnitud específica de estos. Uno de los principales resultados que se obtuvo es que los rendimientos y la producción agrícola dependen del clima con impactos heterogéneos por regiones, no lineales y crecientes en el tiempo. Asimismo, se observa que cada ciclo productivo y cada producto tienen diferentes sensibilidades de respuesta a la temperatura y la precipitación.

Galindo *et al.* (2015) encuentran efectos negativos cuya magnitud es comparable a lo encontrado por Mendelsohn *et al.* (2010). Sin embargo, su análisis, basado en un panel de datos para 2,431 municipios de México en el periodo 2003-2009, incluye la presencia de eventos climáticos extremos, además de distinguir entre tierras irrigadas, de temporal y mixtas. Al hacer esto, los autores muestran que los efectos son heterogéneos; las tierras irrigadas son más vulnerables a los aumentos en temperatura mientras que las de temporal lo son a disminuciones en precipitación y a la presencia de eventos extremos.

Producción de trigo y temperatura

La temperatura es un factor ambiental importante que influye en la expresión de las respuestas del desarrollo y en el tiempo de floración en las plantas (Rawson y Gómez, 2000). Por ello, la productividad anual de un área agrícola se explica en gran medida por la oscilación de la temperatura. Conocer los efectos de variaciones en temperatura, ayuda a los actores agrícolas en la toma de decisiones de adaptación y mitigación, entre ellas el uso de tecnologías específicas para elevar la productividad y obtener un aprovechamiento máximo de las condiciones climatológicas en un área o ciclo específico (Félix *et al.*, 2009).

El rendimiento económico de la mayoría de las plantas, está en función del fruto o semilla, de ahí que en la agricultura se pone especial cuidado en el desarrollo reproductivo de las mismas, ya que es crítico en la determinación del rendimiento productivo. Si se quiere alcanzar el máximo de producción, los cultivos deben de completar su desarrollo reproductivo dentro de la estación de crecimiento disponible y evitar estrés en fa-

² Para una revisión amplia de estudios sobre impactos económicos de cambio climático en agricultura consultar López y Hernández, 2016.

ses vulnerables (Loomis y Connor, 2002). Si por alguna circunstancia la planta no cumple los requerimientos de alguna de sus fases, esta se inhibe lo que ocasiona que las siguientes fases no ocurran y no se alcanza a un desarrollo adecuado (Maximov, 1940, en Cortés *et al.* 2011, p. 156).

En determinadas especies, la temperatura es, también, el principal factor que controla la respuesta al ambiente, especialmente en aquellas que requieren acumular un total de horas frío (HF), para pasar de un período vegetativo a uno reproductivo (Flood y Halloran, 1984). Una hora frío es definida como la cantidad de horas en un rango determinado de tiempo donde las temperaturas son inferiores a una cierta cantidad de grados (Gil, 2000). También es denominada periodo de vernalización y ésta ocurre entre los 0° y 12° centígrados, dependiendo de la planta (Miralles, 2004).

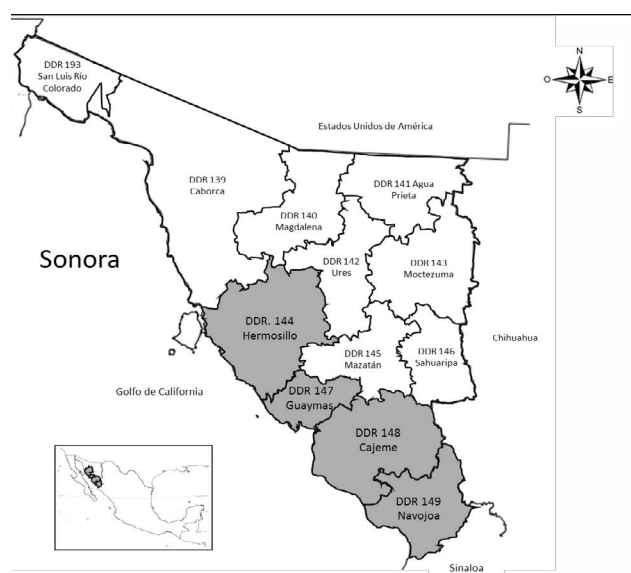
Para el caso del trigo, la temperatura se considera el factor más importante que induce el desarrollo de la planta desde la emergencia hasta la floración y la madurez (Miralles, 2004) y afecta los procesos de crecimiento (Kirby, 1995). Los altos registros de temperaturas favorecen una mayor actividad metabólica de la planta, así como una aceleración de los procesos fisiológicos determinantes de su crecimiento y desarrollo; y a medida que las temperaturas descienden, los ciclos fenológicos de las plantas son más lentos, lo cual propicia un mayor rendimiento productivo (Rawson y Gómez, 2000).

Cuando la temperatura es inferior a los 10° C satisface la respuesta de vernalización y su efecto al hacerlo parece aumentar cuantitativamente de 10 a 0° centígrados, mientras que la temperatura por encima de 10° centígrados se considera inhibitoria de la vernalización, impidiendo el desarrollo óptimo de la especie vegetal (Flood y Halloran, 1984).

METODOLOGÍA

La producción de trigo en Sonora se lleva a cabo en diez de los doce Distritos de Desarrollo Rural (DDR)³ que ordenan su geografía rural. Para efectos de este estudio se eligieron cuatro de estos distritos, estos concentran conjuntamente 92.5% de la producción estatal: DDR 148 Cajeme, DDR 149 Navojoa, DDR 144 Hermosillo y DDR 147 Guaymas (figura 3). Para el tratamiento de cada distrito se retomaron los rendimientos productivos por hectárea reportados por el Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP) en el periodo 2006 – 2015 en el ciclo otoño invierno (OI).

Figura 3. Región de estudio



Fuente: elaboración propia a partir de Inegi (s.f.).

El cálculo de horas frío se realizó con base en información de la red estatal de estaciones climáticas automatizadas de INIFAP-PIEAES-Cofupro (denominada Agrosón). Una hora frío en el cultivo del trigo en el área de estudio es la temperatura igual o menor a 10° centígrados que registra la estación climatológica durante una hora. La

³ Con el propósito de converger las acciones, servicios y recursos destinados a fomentar la producción agropecuaria, forestal, agroindustrial, acuícola y en general del desarrollo integral de los habitantes del campo, el territorio mexicano ha sido regionalizado por la Secretaría de Agricultura Ganadería Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (Sagarpa) en Distritos de Desarrollo Rural (DDR). Estos comprenden zonas con características ecológicas y socioeconómicas homogéneas para la actividad agropecuaria, forestal, de las agroindustrias y de acuicultura bajo condiciones de riego, de drenaje y de temporal; esto es con objeto de planear, fomentar y promover el Desarrollo Rural Integral (DOF, 1988).

memoria digital de cada estación meteorológica registra lecturas cada 10 minutos y proporciona el dato integrado por hora y por día.

Los registros de temperatura obtenidos provienen de seis estaciones climatológicas ubicadas en los distintos DDR: Campo 16 y Buaysicobe, ubicadas en DDR Cajeme; Sahuaral, en DDR Navojoa; Campo Experimental Costa de Hermosillo (CECH) y La Florida, en DDR Hermosillo; Campo 52, en DDR Guaymas. Los datos obtenidos corresponden al periodo del 1 de noviembre al 31 de mayo del siguiente año, ya que el inicio de la producción se retrasa en algunos casos hasta principios de diciembre, además de que hay variedades que tardan en alcanzar su madurez fisiológica hasta 149 días después de la siembra (Ruiz *et al*, 1999). En el caso de las estaciones climatológicas ubicadas en los DDR Cajeme y Navojoa, no fue posible obtener la cantidad de horas frío durante el ciclo 2013 – 2014, esto debido a la falta de información en los meses de febrero, marzo y abril.

Después de generar la información de temperatura y producción agrícola, se efectuó un cálculo de estadísticos descriptivos de tendencia central y dispersión, así como una prueba para determinar la normalidad en ambas variables. El siguiente paso fue un análisis de correlación entre la cantidad de horas frío y los rendimientos productivos identificados en las regiones para el periodo analizado de 10 años. Posterior a esto, se realizó un modelo de regresión lineal simple por el método de mínimos cuadrados ordinarios para estimar parámetros de horas frío como variable dependiente, así como su impacto en los rendimientos productivos. Al modelo obtenido se le hicieron pruebas de contraste para detectar posibles errores de especificación

Una vez obtenidos los parámetros para estimar la producción con base en diferentes niveles de horas frío, se procedió a analizar el impacto de esas variaciones en el ámbito económico. Inicialmente, para demostrar la relación entre el valor y los costos de producción, se calculó un coeficiente de beneficio-costos (b/c), construido con base en el cociente del valor de producción por hectárea y los costos de producción por hectárea. Cuando la relación es igual a la unidad, significa que el valor generado apenas cubrió los costos de producción; cualquier valor por encima de uno, indica una ganancia proporcional a los costos, la cual es de 100% por cada unidad adicional; por último, si el coeficiente es menor a uno, es resultado

de que el valor de producción no permitió recuperar la inversión en ese ciclo.

Por último, con la intención de plasmar el impacto que las variaciones en la cantidad de horas frío tiene en el cultivo del trigo y su rentabilidad económica, y a partir de estimaciones basadas en los coeficientes obtenidos del análisis de regresión, se presentan tres escenarios futuros para el ciclo productivo 2016-2017 en cada región:

- 1) Un escenario base, tomando el promedio de las horas frío para los ciclos productivos otoño – invierno en el periodo 2015 – 2016.
- 2) Un escenario optimista, con el máximo de horas frío registrado.
- 3) Un escenario pesimista, con el mínimo de horas frío que se obtuvo en el periodo analizado, el cual fue para los cuatro DDR el último ciclo con registro de horas frío (2014-2015).

Los costos de producción por hectárea se calcularon con la tasa de crecimiento promedio registrada de 2012 a 2016 (2.73%) y finalmente, el precio por tonelada se estimó partiendo de los precios de 2016 como año base más una subida de 5.46%, el doble del incremento en los costos, en espera de que el valor de producción se encuentre por encima de los costos de producción, y en caso de no ser así, se deba al impacto de las horas frío. Es importante mencionar que los criterios de selección fueron arbitrarios, debido a que el fin de este ejercicio es mostrar cómo las variaciones de las horas frío impactan en la rentabilidad económica del cultivo. Lo idóneo en este caso es contar con estimaciones futuras de datos de temperatura para cada región, sin embargo, no fue posible acceder a esa información.

RESULTADOS

La productividad del trigo es cambiante en una misma región de un año a otro, y muestra diferencias entre los Distritos analizados. Se observó que el DDR Hermosillo reportó un mayor rendimiento para el periodo analizado, seguido de Cajeme, Navojoa y Guaymas respectivamente; este último, observó una sensible diferencia respecto al rendimiento de los demás distritos. La producción se corresponde con la tendencia de los registros de horas frío en cada ciclo agrícola, se confirma además esa

correlación positiva entre ambas variables: Hermosillo consignó el mayor número de horas frío, seguido por Cajeme, Navojoa y Guaymas, según el orden de esos registros (tabla 2).

Tabla 2. Rendimiento productivo de trigo (toneladas por hectárea) y horas frío registradas por ciclo agrícola

Ciclo agrícola	Cajeme		Navojoa		Hermosillo		Guaymas	
	Ton/ha	HF	Ton/ha	HF	Ton/ha	HF	Ton/ha	HF
2005-2006	6.26	808	6	615	6.2	797	4.36	249
2006-2007	6.32	801	6.1	606	6.1	966	3.56	396
2007-2008	6.26	790	6.1	761	6.3	939	4.77	410
2008-2009	5.73	475	5.62	413	6	799	5.04	233
2009-2010	6.41	576	6.4	524	6.7	864	5.26	280
2010-2011	6.3	780	6.32	737	6	1 030	4.8	420
2011-2012	7.15	765	6.96	787	7.5	976	5.6	454
2012-2013	7.19	714	6.62	623	6.8	826	5.59	440
2013-2014	6.22	-	5.5	-	6.13	661	5.15	237
2014-2015	5.11	281	4.57	209	5.77	500	4.9	177
Promedio 2005-2015	6.3	666	6.02	586	6.35	836	4.9	330

Fuente: elaborado a partir de información de SIAP (2017) y Agroson (2017).

Los comportamientos de las horas frío y los rendimientos productivos se analizaron a través del uso de estadísticos descriptivos de tendencia central y dispersión (tabla 3). De igual forma, se aplicó la prueba Jarque-Bera para determinar que las variables siguen una distribución normal, esto al presentar una probabilidad asociada mayor a 5%.

Tabla 3. Estadísticos descriptivos de las variables a analizar y normalidad

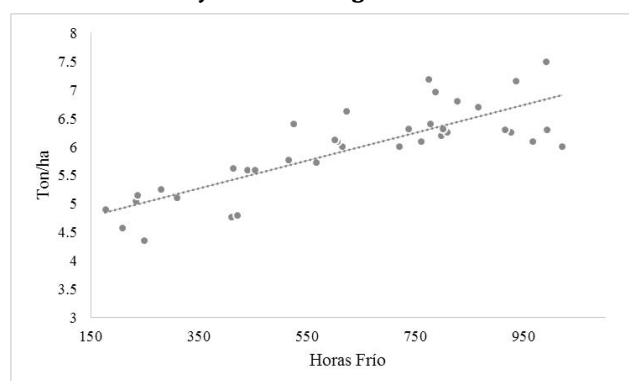
Estadístico	Horas frío	Rendimiento productivo
Media	608.73	5.96
Mediana	623	6.1
Máximo	1030	7.5
Mínimo	177	4.36
Desviación estándar	244.726	0.76
Varianza de la muestra	59,890.65	0.58
Curtosis	-1.091	-0.483
Jarque-Bera	2.122	0.673
Jarque-Bera prob.	0.346	0.714

Fuente: elaboración propia.

Una vez confirmada la normalidad en ambas variables, se optó por realizar un análisis de correlación de

Pearson, el cual arrojó un coeficiente $r=0.80$ ($p<.05$), esto refleja una alta correspondencia positiva entre las variables analizadas (horas frío y rendimiento por hectárea), la cual se observa gráficamente en la Figura 4. Estos resultados son acordes a los presentados por Félix *et al.* (2009) y Cortés *et al.* (2011) quienes encontraron una relación positiva entre las horas frío y el rendimiento productivo; de igual forma, se coincide con Félix *et al.* (2009) en que Hermosillo registra los promedios de irradiación de horas frías más elevados, seguidos de Cajeme, Navojoa y Guaymas.

Figura 4. Relación entre rendimiento productivo de trigo y horas frío registradas



Fuente: elaboración propia.

Después de establecer la relación positiva entre las dos variables, el siguiente paso fue la elaboración de un modelo de regresión lineal simple por mínimos cuadrados ordinarios, a través del cual fuera posible estimar el comportamiento del rendimiento productivo del trigo con base en las horas frío. Partiendo de una base de 177 horas frío, la producción de trigo por hectárea será de 4.439 toneladas, y se incrementará 249.2 kilogramos por cada 100 horas frío adicionales que se registren por ciclo productivo (figura 5).

Figura 5. Resultados de regresión lineal simple en software Stata

```

. reg rend hf
-----+-----
Source |      SS      df    MS              Number of obs =      37
-----+-----
Model   | 13.3934031    1 13.3934031          F( 1, 35) =      63.56
Residual| 7.37563898   35  .210732542          Prob > F      =    0.0000
Total   | 20.7690421   36  .576917836          R-squared     =    0.6449
-----+-----
                                Adj R-squared  =    0.6347
                                Root MSE     =    .45906

-----+-----
rend |      Coef.   Std. Err.      t    P>|t|     [95% Conf. Interval]
-----+-----
hf   |  .0024924   .0003126     7.97   0.000   .0018577   .0031271
_cons|  4.439299   .2047267    21.68   0.000   4.023682   4.854916
    
```

Fuente: elaboración propia.

Para verificar la correcta especificación del modelo se observa que la probabilidad del estadístico F es estadísticamente significativa (0.00) y el coeficiente de determinación obtenido de 0.644 corrobora que las horas frío explican, en parte, el comportamiento de los rendimientos de trigo. De igual forma, se realizaron pruebas que permitieron verificar el cumplimiento de los supuestos de homocedasticidad, normalidad y no autocorrelación del modelo (tabla 4).

Tabla 4. Pruebas realizadas al modelo de regresión

Homocedasticidad (White)	
chi2(2)	5.22
Prob > chi2=	0.0736
Normalidad (Jarque-Bera)	
Pr(asimetría)	0.9052
Pr(curtosis)	0.8558
adj chi2(2)	0.05
Prob>chi2	0.9767
No Autocorrelación (Breusch-Godfrey)	
lags(p)	1
chi2	0.907
df	1
Prob > chi2	0.341

Fuente: elaboración propia.

Al realizar la prueba de White, se demostró que el modelo cumple con la hipótesis de no heterocedasticidad. El test de normalidad Jarque-Bera demostró la normalidad con una probabilidad mayor a 0.05. De igual forma permitió confirmar que no existen problemas asociados a curtosis y asimetría. Finalmente, una vez realizada la prueba Breusch-Godfrey se acepta el supuesto de no autocorrelación.

Económicamente, la importancia de las horas frío en el trigo, se refleja en el valor generado por hectárea, el cual está en función de a) los rendimientos obtenidos y b) el precio de venta, el cual a su vez se fija con base en la calidad del producto, los costos de producción y el mercado. La Tabla 5 presenta una relación del valor por hectárea para los últimos cuatro ciclos agrícolas registrados, así como los costos por hectárea, los cuales se incrementaron en promedio 2.73% anual, de acuerdo con información proporcionada por el Fideicomiso Instituido

en Relación con la Agricultura (FIRA, 2017).

Por su parte, los precios variaron entre regiones y también con el tiempo; sin embargo, se observa que la diferencia entre el valor y el costo por hectárea es poca, y en algunos casos estos últimos superan el valor generado.

Tabla 5. Valor y costos de producción por hectárea sembrada de trigo

Ciclo agrícola	Costo/ha	Cajeme		Navojoa		Hermosillo		Guaymas	
		Precio/ton	Valor/ha	Precio/ton	Valor/ha	Precio/ton	Valor/ha	Precio/ton	Valor/ha
2012-13	18 739	3 566	25 321	3 423	22 694	3 450	23 463	3 662	20 471
2013-14	19 189	3 221	19 971	3 332	18 526	3 309	20 283	3 137	15 685
2014-15	19 647	4 263	21 829	3 750	17 063	4 286	24 728	4 200	20 580
2015-16	20 315	3 492	23 465	3 910	24 006	3 744	26 996	3 740	20 045

Fuente: elaborado a partir de información de SIAP (2017) y FIRA (2017).

Al aplicar el coeficiente de relación beneficio-costo, la mayor ganancia por hectárea fue de 37% sobre los costos de producción, y en algunos casos, estos no se alcanzaron a cubrir. La región que presenta los coeficientes más bajos es el DDR Guaymas, el cual a su vez, registra la menor cantidad de horas frío. Por su parte, el Distrito Hermosillo muestra los mayores beneficios con base en sus costos; esta región fue donde se obtuvo el conteo de horas frío más alto (tabla 6).

Tabla 6. Coeficiente de relación beneficio-costo en cultivo del trigo

Ciclo agrícola	Cajeme	Navojoa	Hermosillo	Guaymas
2012-2013	1.07	0.99	1.08	0.84
2013-2014	1.14	0.89	1.29	1.07
2014-2015	1.19	1.22	1.37	1.02
2015-2016	1.25	1.12	1.15	1.01

Fuente: elaborado a partir de información de SIAP (2017) y FIRA (2017).

Una vez aplicado el análisis de escenarios futuros de valor de producción, se observó que al igual que en los resultados obtenidos del análisis beneficio-costo para el periodo 2012-2016, se estima que en el DDR Hermosillo (donde se presenta la mayor cantidad de horas frío), se obtenga mayores beneficios por hectárea, y que estos sean superiores a los costos, incluso en un escenario pesimista. En contraparte, la producción estimada por hectárea para el DDR Guaymas, no alcanza a cubrir los costos en los escenarios base y pesimista (tabla 7).

Tabla 7. Escenarios futuros de valor de producción por hectárea con base en horas frío

Escenario	Cajeme		Navojoa		Hermosillo		Guaymas		Costo de producción por hectárea
	\$	b/c	\$	b/c	\$	b/c	\$	b/c	
Base	22 191	1.06	24 034	1.15	25 452	1.22	20 496	0.98	\$ 20 870
Optimista	23 482	1.13	26 079	1.25	27 343	1.31	21 703	1.04	
Pesimista	18 692	0.90	20 197	0.97	22 178	1.06	19 007	0.91	

Nota: \$: Pesos mexicanos; b/c: coeficiente de relación beneficio-costo.

Fuente: elaborado a partir de información de SIAP (2017) y FIRA (2017).

La tabla anterior muestra la importancia económica de las horas frío para el trigo, la cual se traduce en cambios en los coeficientes beneficio-costos hasta de 0.26 entre un escenario y otro. En general, el valor estimado respecto a los costos es bajo y deja una ganancia mínima a los productores, especialmente a aquellos considerados como pequeños y que poseen superficies de cultivo no mayores de 5 hectáreas y deben conformarse con ingresos máximos de 25 mil pesos como fruto de 6 meses de trabajo. Probablemente la producción se vuelve rentable gracias a los apoyos gubernamentales de los cuales son sujeto la mayoría de los productores de trigo, permitiendo incluso obtener ganancias en ciclos donde el valor no cubrió sus costos de producción; de igual forma, se convierte en un buen negocio para los productores que cuentan con grandes extensiones de tierra dedicada a la producción de trigo.

Tal como ocurre en otras regiones trigueras de Sonora, los mejores precios de este cultivo han ayudado a la recapitalización de los productores, pero la crisis financiera mundial y la mayor producción en el planeta han reducido estos precios. Los costos de los insumos continúan altos, disminuyendo las ganancias de los productores trigueros haciendo nuevamente necesario que se trabaje en el mejoramiento de la rentabilidad (Márquez *et al.*, 2014).

CONCLUSIONES

El trabajo de investigación realizado permite aceptar la hipótesis de que la recepción de horas frío registradas durante un ciclo agrícola, influye directamente en los rendimientos del trigo de los Distritos de Desarrollo Rural Cajeme, Navojoa, Hermosillo y Guaymas; ello condiciona el valor de la producción generado por hectárea y la rentabilidad económica. De esta manera, una baja cantidad de horas frío se refleja en un coeficiente menor beneficio-costos, el cual en ocasiones fue inferior a la unidad, indicando con ello que el valor generado es insuficiente para cubrir los costos de producción del cultivo.

La diferencia en los registros de irradiación de horas frío entre las regiones observadas, así como los rendimientos productivos obtenidos en cada una, ponen de manifiesto la trascendencia de esta variable climática para la producción de trigo. La importancia de este trabajo radica en su trascendencia al ámbito económico, aportando información sobre los impactos de la irradiación de horas frío en la rentabilidad del cultivo. El enfoque transdisciplinario de la economía ecológica permite el estudio tanto de características físicas como monetarias de un sistema productivo, en este caso el cultivo del trigo. Ello permite la obtención de resultados en distintos ámbitos que coadyuvan a un análisis más completo del objeto de estudio.

En los próximos años, se esperan incrementos en la temperatura de la entidad, y con ello una reducción en el promedio de horas frío, que eventualmente afecte la producción. La importancia económica y social del trigo, aunada a la amenaza que sus indicadores técnicos presentan frente a un posible decremento en la irradiación de frío, plantean la necesidad de construir estrategias de adaptación y mitigación al cambio climático, así como reforzar la generación de conocimientos de modelos predictivos de la variación de los factores climáticos y sus impactos socioeconómicos. Las estrategias que se planteen no deben ser rígidas, ya que tendrán que adecuarse a los diversos escenarios que se enfrenten. Es necesario invertir en infraestructura de equipos de medición que permitan monitorear variables climáticas en la superficie agrícola y predecir con mayor precisión los efectos de estas en la producción.

Para tales propósitos es necesario que el gobierno apueste a la inversión en ciencia y tecnología (CyT); se

debe promover el aprovechamiento de la infraestructura y los recursos humanos disponibles en el sector, en especial en instituciones del estado: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), el Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo (CIAD) A. C., Patronato para la Investigación y Experimentación Agrícola del Estado de Sonora (PIEAES) A. C., Instituto Tecnológico de Sonora (Itson), Universidad de Sonora (Unison), entre otras. De la mano con las instituciones de CyT, será necesario trabajar en mejorar las variedades que se siembran en el estado para que se adapten a las condiciones climatológicas, o bien, agregar insumos a la producción que permitan mayores rendimientos, o al menos impedir que estos se vean fuertemente afectados por variables climáticas.

Desde hace algunas décadas, la literatura científica ha coincidido en señalar que la agricultura es de las actividades económicas más vulnerables al cambio climático, de ahí la necesidad de aportar trabajos desde la economía ambiental y otras disciplinas que ayuden a valorar el costo económico que el clima puede representar para dicha actividad. Es evidente que el grado de concientización de los actores productivos respecto al cambio climático va en aumento; sin embargo, el conocimiento que estos poseen acerca de sus efectos en el mediano plazo, aun representa una importante área de oportunidad. Finalmente, es necesario desarrollar análisis de introspección sobre la percepción de riesgos de los actores productivos con relación al cambio climático y las estrategias de adaptación que esas percepciones implican en el futuro próximo.

REFERENCIAS

- Adams, R. (1989). Global climate change and agriculture: an economic perspective. *American Journal of Agricultural Economics*, 71(5), 1272-1279.
- Adams, R., Hurd, B., Lenhart, S., y Leary, N. (1998). Effects of global climate change on agriculture: an interpretative review. *Climate research*, 11(1), 19-30.
- Antle, J. (2008). Climate change and agriculture: economic impacts. *Choices*, 23(1), 9-11.
- Common, M., y Stagl, S. (2008). *Introducción a la economía ecológica*. Barcelona: Reverté.
- Cortés, J., Fuentes, G., Ortiz, J., Tamayo, L., Cortez, E., Ortiz, A ... Armenta, I. (2011). *Agronomía del trigo en el sur de Sonora*. México: Sagarpa-INIFAP.
- Daily, G., Alexander, S., Ehrlich, P., Goulder, L., Lubchenco, J., Matson, P ... Woodwell, G. (1997). Ecosystem services: benefits supplied to human societies by natural ecosystems. *Issues in Ecology*, 2, 1-16.
- Daly, H. E., y Farley, J. (2004). *Ecological economics: principles and applications*. Washington: Island Press.
- Diario Oficial de la Federación [DOF]. (1988). *Acuerdo por el que se establecen los Distritos de Desarrollo Rural y sus centros de apoyo*. Recuperado de <http://www.sagarpa.gob.mx/Transparencia/pot2009/XIV%20Marco%20Normativo/ACUERDO%2008-08-1998.pdf>
- Félix, P., Jiménez, G., Grageda, J., Quintana, J., Ortiz, J., y Leyva, J. (2008). *Comportamiento histórico y tendencia del clima en la zona agrícola y pecuaria del sur de Sonora. Expectativas ante un cambio climático*. México: INIFAP.
- Félix, P., Ortiz, J., Fuentes, G., Quintana, J., y Grageda, J. (2009). *Horas frío en relación al rendimiento del trigo. Áreas de producción del estado de Sonora*. México: Sagarpa- INIFAP.
- Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura [FIRA]. (2017). *Agrocostos*. Recuperado de <https://www.fira.gob.mx/Nd/Agrocostos.jsp>
- Flood, R., y Halloran, G. (1984). Basic development rate in spring wheat. *Agron. J.* 76, 260-264.
- Food and Agriculture Organization [FAO]. (2007). *Cambio climático y seguridad alimentaria: un documento marco*. Recuperado de <http://www.fao.org/do>

- crep/010/i0145s/i0145s00.htm
- Food and Agriculture Organization [FAO]. (2015). *FAO Statistical Pocketbook 2015*. Roma: FAO.
- Galindo, L. M. (2010). (Coord.). *La Economía del Cambio Climático en México*. México: Semarnat.
- Galindo, L., Reyes, O., y Alatorre, J. (2015). Climate change, irrigation and agricultural activities in Mexico: a ricardian analysis with panel data. *Journal of Development and Agricultural Economics*, 7(7), 262-273.
- Georgescu-Roegen, N. (1986). The entropy law and the economic process in retrospect. *Eastern Economic Journal*, 12(1), 3-25.
- Gil, G. (2000). *Fruticultura: el potencial productivo (2^{da} ed.)*. México: Alfaomega grupo.
- Gómez-Baggethun, E., De Groot, R., Lomas, P., y Montes, C. (2010). The history of ecosystem services in economic theory and practice: from early notions to markets and payment schemes. *Ecological Economics*, 69, 1209–1218.
- Ibarrarán, E., y Rodríguez, M. (2007). *Estudio sobre economía del cambio climático en México*. Puebla: Instituto Nacional de Ecología y Universidad Iberoamericana.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía [Inegi]. (s.f.). *Mapas*. Recuperado de <http://cuentame.inegi.org.mx/mapas/>
- IPCC (2001). *Anexo B. Glosario de términos. Tercer Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático*. Recuperado de <https://www.ipcc.ch/pdf/glossary/tar-ipcc-terms-sp.pdf>
- Kirby, E. (1995). Factors affecting rate of leaf emergence in barley and wheat. *Crop Science Abstract*, 35, 11-19.
- Loomis, R. S., y Connor, D. J. (2002). *Ecología de cultivos. Productividad y manejo en sistemas agrarios*. España: Mundi-Prensa.
- López, A., y Hernández, D. (2016). Cambio climático y agricultura: una revisión de la literatura con énfasis en América Latina. *El trimestre económico*, 83(332), 459-496. Recuperado de <https://dx.doi.org/10.20430/ete.v83i332.231>
- Márquez, S., Almaguer, G., Schwentessius, R., Ayala, A., y Gómez, M. (2008). *La crisis agrícola y alimentaria. El caso del trigo*. México: Universidad Autónoma Chapingo. Centro de Estudios para el Desarrollo Rural Sustentable y la Soberanía Alimentaria.
- Márquez, S., Almaguer, G., Schwentesius, R., y Ayala, A. (2014). *Trigo en Sonora y su contexto nacional e internacional. Situación, retos y tendencias para el desarrollo rural sustentable*. México: Centro de Estudios para el Desarrollo Rural Sustentable y la Soberanía Alimentaria-Cámara de Diputados, LXII legislatura.
- Mendelsohn, R., Arellano-González, J., y Christensen, P. (2010). A Ricardian analysis of mexican farms. *Environment and Development Economics*, 15(2), 153-171.
- Mendelsohn, R., Nordhaus, W., y Shaw, D. (1994). The impact of global warming on agriculture: a Ricardian analysis. *The American Economic Review* 84(4), 753-771.
- Miralles, D. (2004, Mayo). Consideraciones sobre ecofisiología y manejo de Trigo. *Información técnica de trigo. Campaña 2004. Publicación miscelánea*, 101. Recuperado de http://rafaela.inta.gov.ar/info/miscelaneas/101/trigo2004_n1.pdf
- Naredo, J. M. (1994). Fundamentos de la economía ecológica. En F. Aguilera, y Alcántara, V. (Comp.), *De la economía ambiental a la economía ecológica* (pp. 231-252). Barcelona: ICARIA-FUHEM.
- Naredo, J. M. (2002). Economía y sostenibilidad: la economía ecológica en perspectiva. *Polis*, 2, 1-28.
- Ordaz, J. L., Ramírez, D., Mora, J., Acosta, A., y Serna, B. (2010). *Costa Rica: efectos del cambio climático sobre la agricultura*. México: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (Cepal) – Department for International Development (DFID).
- Organización de las Naciones Unidas [ONU]. (1992). *Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático*. Recuperado de <http://unfccc.int/resource/docs/convkp/convsp.pdf>
- Organización de las Nacionales Unidas para la Alimentación y la Agricultura [Faostat]. (2017). *Datos sobre alimentación y agricultura*. Recuperado de <http://www.fao.org/faostat/es/#home>
- Organización Meteorológica Mundial [OMM]. (2012). *Glosario Hidrológico Internacional*. Suiza: OMM.
- Organización Mundial del Comercio [OMC]. (s.f.). *Glosario de términos*. Recuperado de <https://www>

wto.org/spanish/thewto_s/glossary_s/glossary_s.htm#collapseD

Rawson, H., y Gómez, H. (2000). *Irrigated wheat: Managing your crop*. Rome: FAO.

Red Estatal de Estaciones Meteorológicas de Sonora, Agroson. (2017). *Consulta de datos agroclimáticos*. Recuperado de <http://agroson.org.mx/agroson2/agroson6/buscadatos>

Rojas, I., y Salazar, V. (2018). La acuicultura frente a los impactos de la actividad agrícola en la calidad de los servicios ambientales de la cuenca del río mayo. Una propuesta para su abordaje desde la economía ecológica. *Estudios Sociales*, 28(51), 1-26.

Ruiz, J., Medina, G., González, I., Flores H., Ramírez, G., Ortiz, C ... Martínez, R. (1999). *Requerimientos agroecológicos de cultivos*. México: INIFAP.

Salazar, V., Moreno, J., y Arvizu, M. (2011). El Sector Rural del estado de Sonora: Recursos Naturales, demografía y estructura agropecuaria y pesquera, En C. Borbón (Ed.), *Diagnóstico del sector agropecuario y pesquero del Estado de Sonora. Problemáticas, población rural afectada y potencialidades*. México: CIAD.

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [Semarnat], e Instituto Nacional de Ecología [INE]. (2006). *México, tercera comunicación nacional ante la convención marco de las naciones unidas sobre el cambio climático*. México: Semarnat- INE.

Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera [SIAP]. (2017). *Producción agrícola*. Recuperado de <http://www.gob.mx/siap/acciones-y-programas/produccion-agricola-33119>

Strahler, A. (1960). *Physical Geography*. New York: John Wiley and Sons.

Tetreault, D. (2008). Escuelas de pensamiento ecológico en las Ciencias Sociales. *Estudios Sociales*, 16(32), 227-263.

Wallace, K. (2007). Classification of ecosystem services: problems and solutions. *Biological Conservation*, 139(3-4), 235-246.

NOTAS DE AUTOR

- ^a Estudiante del programa de doctorado en Desarrollo Regional del Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C. Correo electrónico: mario_dena@hotmail.com
- ^b Doctor en ciencias económicas. Investigador titular de la coordinación de Desarrollo Regional del Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C. Correo electrónico: vidal@ciad.mx
***Autor de correspondencia**
- ^c Estudiante del programa de doctorado en Desarrollo Regional del Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C. Correo electrónico: shamir_rojas@hotmail.com