

El valor de la polinización: Un análisis económico del servicio de polinización en la producción de arándano del Litoral Argentino

RESUMEN

Los servicios ecosistémicos de polinización son muy importantes en la producción de alimentos. Uno de los ejes principales en los que se ha ahondado es estimar el valor de los polinizadores en la agricultura. Este es un tema relevante para los tomadores de decisión tanto como para la comunidad científica, pero hasta el momento no se cuenta con un método apropiado que refleje la complejidad de esta dimensión. Con la intención de obtener la mejor valoración posible es que en este trabajo se propone un método que viene a incorporar nuevos inputs a los métodos ya disponibles. De esta forma nuestro trabajo contribuye, mediante la adecuación de una ecuación que explicita los múltiples impactos de la polinización en la producción y mediante la estimación de una valoración económica del servicio de polinización incorporando dimensiones hasta ahora no consideradas y permitiendo tomar decisiones de forma comparativa. A partir de nuestro trabajo, podemos concluir que el método propuesto se ajusta de mejor manera a la realidad productiva que el resto de los modelos hasta el momento disponibles. Dado que la ecuación de fondo de la mayoría de los modelos es la misma, denotamos que nuestro modelo propuesto supone que la polinización puede afectar todos los inputs, no solo el rinde sino también los precios y los costos, mientras que el modelo más aceptado hasta el momento, el método del ingreso neto atribuible, supone que la polinización solo afecta el rinde y eso repercute en los ingresos y en los costos totales.

1. INTRODUCCIÓN

El concepto de servicios ecosistémicos se define como los beneficios recibidos por la sociedad humana de los procesos ecológicos naturales. La polinización es uno de los servicios ecosistémicos más estudiados a nivel mundial, ya que sustenta el 78 % de la reproducción mundial de plantas con flores y mejora la producción en el 75 % de los cultivos de importancia mundial (**Breeze et al, 2016**). Desde una perspectiva económica, la polinización entomófila no solo incrementa los rendimientos, sino que además mejora la calidad de frutos y semillas de varias especies vegetales destinadas ya sea a alimentación animal o humana (**Imperatriz-Fonseca et al., 2006; Klein et al., 2007; Chacoff et al., 2010; Garibaldi et al., 2013; Stanley et al., 2013; Gianinni et al., 2015; Gatica Hernández et al., 2017; Basualdo et al., 2022; Siopa et al., 2023**).

El impacto del servicio ecosistémico de polinización en la producción de alimentos hace que esta contribución sea de interés dentro de las políticas públicas. Al año 2020 existen 24 documentos gubernamentales (Canadá, Francia, la Unión Europea, Australia, Reino Unido y FAO) donde se aborda cinco temas principales: (1) estado, monitoreo y preservación de los polinizadores; (2) estrategias de conservación de polinizadores; (3) informes y recomendaciones sobre el uso de plaguicidas, especialmente neonicotinoides; (4) Acciones y recomendaciones para ambientes saludables para los polinizadores; (5) valor de los polinizadores en la agricultura, intensificación ecológica y agricultura sostenible (**Porto et al, 2020**)

Desde el periodo 2011-2018 se encuentran vigentes nueve políticas positivas para proteger a los polinizadores y sus contribuciones para los agroecosistemas. Estas nueve políticas fueron iniciativas, leyes y decretos en Francia, Canadá, Irlanda, Australia, Puerto Rico y la Unión Europea. Las medidas deliberaron sobre los cinco temas principales cubiertos en los documentos gubernamentales (mencionados en el anterior párrafo), pero también abordaron la mejora del conocimiento sobre la polinización y los polinizadores y establecieron esfuerzos para aumentar la conciencia social sobre la preservación de los polinizadores y su importancia para el bienestar humano (**Porto et al, 2020**).

Si bien los polinizadores son parte integral de los ecosistemas y de los sistemas agrícolas, y es reconocido su rol en la producción de alimentos, las estimaciones sobre su contribución en la productividad y las ganancias de los agricultores son escasas (aunque ver para Latinoamérica y Argentina, **Basualdo et al, 2022; Basualdo & Cavigliasso, 2023** respectivamente). Los paquetes tecnológicos que se utilizan en agricultura no incluyen, generalmente, la polinización entomófila como un factor de importancia productiva. En este sentido, se cuantifican las pérdidas provocadas por un mal manejo integral, como el raleo, la

poda, aspectos nutricionales, control de plagas, manejo del riego, pero no se consideran las pérdidas causadas por una polinización deficiente.

Winfree, Gross & Kremen (2011) proponen los dos métodos más utilizados en la literatura para valorar la contribución de la polinización en los sistemas productivos, el valor de reposición y el método del valor de producción, son casos especiales de la misma ecuación general (ecuación 1):

$$V_{polinización} = P * Y * D * \rho \quad (1)$$

Donde: $V_{polinización}$ es el valor del servicio de polinización, P es el precio pagado por unidad de producto, Y es el rinde potencial cuando la polinización es plena, D representa la dependencia del cultivo de la polinización por insectos, ρ es el grado de polinización aportado.

El valor de toda la polinización se calcula reemplazando ρ por 1. El valor de la polinización aportada por taxones particulares, por ejemplo, el valor de toda la polinización de abejas nativas (ρ_{nb}) o de abejas melíferas (ρ_{hb}), se calcula reemplazando ρ con ρ_{nb} o ρ_{hb} , que representa la fracción de todos los granos de polen que depositan las abejas nativas o las abejas melíferas, respectivamente.

D representa la reducción fraccionaria en el cuajado de frutos que ocurre cuando los insectos polinizadores están ausentes (**Klein et al, 2007** en **Winfree, Gross & Kremen, 2011**). D se mide como $1 - \left(\frac{f_{pe}}{f_p}\right)$, donde f_{pe} es la fructificación en condiciones de exclusión de polinizadores y f_p es la fructificación con insectos polinizadores presentes.

Posteriormente, estos autores presentan una propuesta superadora denominada “ingreso neto atribuible”, con la intención de mejorar la valorización de la polinización biótica en cultivos de importancia económica. Dicho método resta el costo de los insumos utilizados para la producción del cultivo al valor de la polinización, por lo que no atribuye el valor de estos insumos a los polinizadores. La ecuación que modela el ingreso neto atribuible (ecuación 2) adhiere a la ecuación anterior (ecuación 1) el efecto que tiene la polinización en los costos de producción.

$$V\Delta_{polinización} = (P \cdot Y - C * Y) \cdot D \cdot \rho \quad (2)$$

Donde C denota el costo variable por unidad.

En las últimas décadas, el cultivo de arándano se ha expandido a nivel mundial y emerge como un buen modelo de estudio para evaluar el impacto de la polinización en la producción

de frutas (**Eeraerts et al, 2023**). Esto es así ya que, debido a su alta dependencia a la polinización biótica, se realiza un manejo sistematizado de servicios profesionalizados de polinización mediado por colmenas manejadas (de *Apis mellifera* y abejorros del género *Bombus* según la región del mundo donde se cultive) para una formación óptima de sus frutos (**Cavigliasso et al, 2020; 2021**).

Teniendo en cuenta el anterior marco conceptual, el objetivo del presente trabajo es realizar una estimación ajustada del valor económico atribuido a la polinización biótica, usando como caso de estudio a la producción de arándano del Litoral argentino. Los beneficios evaluados se atribuyen a: 1) una mayor cantidad de frutos producidos, 2) una mayor calidad de estos frutos, y 3) una mayor homogeneidad en la producción, lo que impacta en la cosecha y destino de las bayas. De esta forma nuestro trabajo contribuye, por un lado, mediante la adecuación de una ecuación que explicita los múltiples impactos de la polinización en la producción y, por otro lado, estima el valor económico del servicio de polinización incorporando dimensiones hasta ahora no consideradas y permitiendo tomar decisiones de forma comparativa.

2. MÉTODOLOGIA

2.1. Sistema de estudio.

En la provincia de Entre Ríos se encuentran plantadas ~ 805 ha de cultivos de arándano de la especie *Vaccinium corymbosum* (informe presentado por el **Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca, 2020**) representando aproximadamente el 27.89% de la superficie cultivada nacional y siendo uno de los principales núcleos de exportación a países de Europa y Estados Unidos (**IBO, 2022**).

Los datos fueron tomados en una de las nuevas variedades presentes en el mercado, “Emerald”, la cual ya tenía una ocupación de 260 ha plantadas en el Noreste Argentino para el año 2015, con una tendencia de aumento de su superficie mediante la implantación de nuevos lotes o el recambio de variedades con bajo valor productivo. El manejo de las parcelas en todos los casos es convencional, con suplementación nutricional (fertirriego y/o fertilización al voleo) y poda, con un fin primario para exportación. Para este estudio se utilizaron datos de 9 predios productivos correspondientes a la temporada 2016 y 2021 tomados en los mismos lotes con plantas de edad similar (± 5 años de plantación en la temporada 2016). El servicio de polinización tradicional realizado, en todos los casos, fue mediante colmenas de *Apis mellifera* con una densidad aproximada de 10 colmenas por ha. Durante la temporada 2017 en 3 de estos lotes se realizaron prácticas de polinización de precisión (ver detalles en **Cavigliasso et al, 2021**). A modo aclaratorio, la polinización de precisión consiste en el uso del conocimiento, tecnologías e información para sesgar

conductas de polinizadores comerciales hacia cultivos blanco en pos de la optimización del servicio de polinización en diferentes sistemas productivos.

2.2. Modelo de valoración económica propuesto.

La ecuación que representa el marco conceptual propuesto por **Winfree, Gross & Kremen (2011)** se define como:

$$\frac{d\pi}{dq} = P * \frac{dY}{dq} - C'(Y) * \frac{dY}{dq} - Cq \quad (3)$$

Donde: q es la cantidad de servicio de polinización utilizada, π es la ganancia agrícola, por lo que la ecuación 3 representa como varia la ganancia de la empresa agrícola ante variaciones en la cantidad de servicio de polinización brindado. $\frac{dY}{dq}$ es el cambio en el rendimiento resultante del cambio en la polinización, $C'(Y)$ es el costo marginal de producción (el costo adicional por producir una unidad más o menos de rendimiento), y Cq es el costo del servicio de polinización brindado, P es el precio del producto.

El método presentado aquí considera que el precio variara también con la cantidad de servicio ecosistémico ($\frac{dP}{dq}$). Esto dado que un mayor servicio ecosistémico permitiría lograr una mayor calidad de fruta. También considera que los costos totales de producción también pueden variar debido a una mayor polinización ($\frac{dC(Y,q)}{dq}$), por ejemplo, al reducir costos fijos como puede ser la cantidad de veces que se entra a un lote a cosecharlo. El termino $\frac{dC(Y,q)}{dY} * \frac{dY}{dq}$ es equivalente al termino $C'(Y) * \frac{dY}{dq}$ en la ecuación 3.

$$\frac{d\pi}{dq} = \frac{dP}{dq} * Y + P * \frac{dY}{dq} - \frac{dC(Y,q)}{dq} - \frac{dC(Y,q)}{dY} * \frac{dY}{dq} - Cq \quad (4)$$

La variación del precio con respecto al tipo de servicio de polinización se debe a que este se desprende de la siguiente ecuación, en el caso de los arándanos en argentina:

$$P(q) = P_e * \alpha_e(q) + P_f * \alpha_f(q) + P_i * \alpha_i(q) \quad (5)$$

Donde: P_e es el precio que se paga por tonelada de arándanos exportada. $\alpha_e(q)$ es la proporción de la producción de arándanos exportada, la cual es función de la cantidad de polinización recibida, ya que más polinización implica mejor calidad y una mayor proporción destinada a exportación. P_f es el precio de la tonelada de arándanos con destino a fresco. $\alpha_f(q)$ es la proporción de arándanos con destino a fresco, esta tiene un tope superior que es la fruta que tiene más calidad la cual va a exportación, y un límite mínimo de exigencia en base a calidad para ser aceptada. P_i es el precio de la tonelada de arándanos que tiene por destino la industria. $\alpha_i(q)$ es la proporción de arándanos que no alcanzo una calidad para ser comercializada en fresco.

2.3. *Datos utilizados para la estimación.*

La información relevante para aplicar la metodología propuesta es de dos tipos, productivos y económicos. Los datos productivos tienen que ver con respecto a cómo cambia la cantidad y la calidad (peso y calibre) de la fruta producida frente a dos situaciones contrastantes de base: Con vs. Sin polinización entomófila (**Tabla 1**). Los datos económicos refieren a los precios y costos que enfrentan los productores.

A partir del set de datos propuesto anteriormente (**Cavigliasso et al, 2020; 2021**; y datos sin publicar) se confecciono la **Tabla 1** con la cuantificación de cómo cambia la cantidad de arándanos promedio producidos por hectárea en base a 3 sistemas de polinización diferentes: 1. Autopolinización, ausencia total de polinizadores; 2. Polinización tradicional, en donde se incorporan al sistema una media de 10 colmenas/ha de forma aditiva a los polinizadores disponibles en el ambiente; 3. Polinización de precisión, donde, sumado a la condición anterior, se poliniza de forma estratégica utilizando manejos y tecnologías, además de un monitoreo del grado de interacción de los polinizadores sobre las flores.

Tabla 1. Producción y destino de fruta bajo diferentes escenarios de polinización

	Unidad	Autopolinización	Polinización Tradicional	Polinización de Precisión
Cantidad y Calidad fruta				
Frutos formados	%	23.3	69.9	82.9
Peso/baya	g	1.62	2.58	2.9
Firmeza/baya	g fuerza	183.38	260.53	296.62
Destino fruta según calidad *				
Mercado fresco **	Kg	833.3	9200.0	11284.6
Industria	Kg	2499.7	800.0	575.2

* Se considera la calidad según si cumple o no los requisitos para comercializarse en fresco

** Mercado en Fresco considera tanto la fruta que va a mercado interno como a mercado externo.

A partir de consultas realizadas a asociación de productores (APAMA), contratistas de cosecha de la zona de estudio y valores de venta en mercado central se obtuvieron los precios y los costos de la producción. Al respecto, el productor percibe US\$ 5.33¹ por kg cuando comercializa en fresco, ya sea con destino a exportación o con destino a mercado interno, bajando este valor a US\$ 3 por kg cuando cambia el destino de la fruta a industria. El costo de cosecha promedio ronda los US\$ 0.82 por kg. El costo del servicio de polinización tradicional cuesta en argentina US\$ 123.29 por hectárea. El servicio de polinización de precisión internacional, el cual incluye el manejo de 10 colmenas de *Apis mellifera* hectárea, la utilización de promotores (productos incentivadores de forrajeo en colmenas y de aumento de la atraktividad de las flores objetivo) y el servicio de monitoreo, asciende a los US\$ 2400 por hectárea (**Tabla 2**).

¹ Se utiliza el precio de US\$ 5.33 para todo lo que es en fresco debido a que, US\$ 5.33 es lo que se paga en promedio para la fruta que tiene por destino mercado interno durante toda la temporada. Mientras US\$ 5.16 es lo que se paga en promedio durante la temporada para lo que es fruta de exportación. Pero eso son precios promedios para la temporada, y siendo que la fruta de exportación es de mayor calidad que la de mercado interno es que entendemos que si el precio de exportación es inferior al de mercado interno esa fruta que se hubiese exportado se volcaría a mercado interno hasta equilibrar el mercado. Por tal motivo es que se supone que el precio del mercado en fresco es US\$ 5.33 coincidiendo con el precio del mercado interno.

Tabla 2. Resumen de información de mercado y productiva utilizada para los cálculos.

información de Mercado (US\$ / Kg)		Fuente
Costo cosecha de fruta (pago a cuadrilla)	0,82	Contratistas
Venta exportación (80 % total)	5,16	Precio FOB
Venta mercado interno (12 % total)	5,33	Mercado Central
Venta mercado industria (8 % total)	3	APAMA
Costo de servicio de polinización (10 colmenas/ha)		
Tradicional - Argentina	123,29	Apicultores de la región
Precisión – Internacional	2400	Empresa de polinización internacional
Información experimental - porcentaje de bayas según calibre y sistema reproductivo		
Polinización entomófila < 11 mm	4,85	
Polinización entomófila >11 mm	95,15	
Autopolinización < 11 mm	75,00	
Autopolinización >11 mm	25,00	

3. RESULTADOS

Mediante el modelo propuesto se pudo comparar el valor de la polinización entre la producción en ausencia de polinizadores y los 2 panoramas de manejo de la polinización a través de colmenas de abejas melíferas. De esta forma se contrasto el valor económico del aporte del servicio de polinización acorde a las especificaciones desarrolladas en dicho modelo.

En el caso del “método asociado al valor de producción o valor de reemplazo”, al igual que para la aplicación del método del ingreso neto atribuible, en primer lugar, se estima el precio promedio ponderado que posee la fruta en el caso de polinización tradicional (US\$ 5.14). Este valor sale de multiplicar el precio que recibe la fruta acorde al destino que tiene (porcentaje con diferencia de calidad), por la cantidad de fruta que tiene ese destino en el caso de polinización tradicional. Esto es dividido por la cantidad de fruta total. Esto se diferencia de los modelos mencionados, ya que en estos casos se utiliza el precio promedio de la situación conocida para realizar las estimaciones. La ecuación 6 expresa lo mencionado.

$$\frac{9200 * 5.33 + 800 * 3}{10000} = 5.1436 \quad (6)$$

Teniendo en cuenta el precio del servicio de polinización, se estima cual es el valor del servicio de polinización tradicional al compararlo con la autopolinización, este valor es de ~ US\$ 34169 ha. En caso de aplicar manejos de precisión de la polinización, este manejo incrementa el valor de la polinización con respecto a la polinización tradicional en ~ US\$ 7289 ha (**Tabla 3**).

Tabla 3. Comparación de los diferentes métodos de estimación del valor económico del servicio de polinización.

	Autopolinización	polinización Tradicional	polinización de Precisión
Método del valor de producción			
Ingreso Total	17143,6	51436	61002,1
Costo servicio polinización *		123	2400
Margen	17143,6	51313	58602,1
Diferencia con escenario de base (Pol. Tradicional)	-34169,4		7289,1
Método del ingreso neto atribuible			
Ingreso Total	17143,6	51436	61002,1
Costos de cosecha **	2733,1	8200	9725
Costo servicio polinización *		123	2400
Margen	14410,5	43113	48877,1
Diferencia con escenario de base (Pol. Tradicional)	-28702,5		5764,1
Método de valoración propuesto			
Ingreso Total ***	11940,5	51436	61872,5
Costos de cosecha **	2733,1	8200	9725
Costo servicio polinización *		123	2400
Margen	9207,4	43113	49747,5
Diferencia con escenario de base (Pol. Tradicional)	-33905,6		6634,5

* Escenario autopolinización sin costos. Escenario polinización tradicional, costo de servicio de 10 colmenas/ha (sin costo de polinizadores naturales). Escenario polinización tradicional, costo del servicio internacional de polinización de precisión.

** Costo de cosecha, se considera el pago de US\$ 0.82 por kg cosechado informado por contratistas.

*** En este escenario el precio promedio para cada escenario cambia, ya que se permite que el precio promedio percibido varíe en base a la calidad de la fruta producida.

Cuando se aplica el "método del ingreso neto atribuible", el cual incluye los cambios en los costos totales producto de un mayor rinde, como por ejemplo los diferenciales de costos

asociados al proceso de cosecha de un volumen diferente de fruta sumado al del servicio de polinización, se ve una discrepancia en la valoración. En este caso, el valor del servicio de polinización tradicional, equivalente al incremento en la cantidad de fruta producida teniendo en cuenta los costos de cosecha, fue de ~ US\$ 28702 ha. En el caso que se aplica manejos de precisión de la polinización, el beneficio de las firmas se ve incrementado en ~ US\$ 5764 ha (**Tabla 3**).

Cuando aplicamos la metodología de valoración económica del servicio de polinización propuesto en este trabajo, se tiene en cuenta que el precio promedio ponderado en cada escenario diferirá debido a que cambian las proporciones comercializadas a cada destino. Por lo que el precio promedio sigue siendo el mismo para el escenario de polinización tradicional. El precio promedio de la producción en el caso de autopolinización es de ~ US\$ 3.58 kg. En el caso de polinización de precisión el precio promedio es de ~ US\$ 5.21 kg (**Tabla 3**). Esta diferencia en el precio promedio es totalmente atribuible al cambio en la calidad de la fruta por la mayor/menor polinización.

En este caso, el valor del servicio de polinización tradicional, donde se estima no solo el incremento en la cantidad de fruta producida teniendo en cuenta los costos de cosecha, sino también como varía el precio promedio de la producción acorde a los diferentes destinos comerciales, fue de ~ US\$ 33905 ha. En el caso de aplicar manejos de precisión de la polinización, se obtiene un ingreso superior al de la polinización tradicional de ~ US\$ 6634 ha (**Tabla 3**).

Debe aclararse que el término $\frac{dCY}{dq}$ en la estimación no fue incorporado debido a que no se cuenta con los datos necesarios para tal estimación. Por lo que el análisis está suponiendo que la polinización no está afectando el valor de los costos variables de producción. Pero sí está considerando como cambian los costos totales ante variaciones en la producción, suponiendo costos variables constantes.

Al comparar los diferentes métodos disponibles en la literatura con la metodología propuesta en este trabajo se puede observar que, en contraste con el método del valor de producción, en el caso del escenario sin polinización se estaría subestimando la pérdida, mientras que en el caso de la polinización de precisión se estaría sobreestimando la ganancia. Por otro lado, en comparación con el método del ingreso neto atribuible, en el escenario de sin polinización se estaría sobrestimando la pérdida, mientras que en el caso de la polinización de precisión se estaría subestimando la ganancia.

4. DISCUSIÓN

A través de nuestro trabajo se pretende evaluar una propuesta superadora para valorar el servicio de polinización mediante una ecuación que admita la posibilidad de incorporar dentro de su cálculo métricas asociadas a manejos que impactan sobre esta contribución. De esta forma se hace posible cuantificar el valor de la polinización de base y comparar con sistemas de polinización que tienden a disminuir el déficit polínico, o discriminar tal valor en función al aporte de diferentes organismos o grupos de organismos.

En la literatura disponible este tema es discutido por **Winfrey, Gross & Kremen (2011)**. En su trabajo mencionan que los métodos más utilizados en la literatura son casos especiales de una ecuación más general (el valor de reposición y el método del valor de producción). Poniendo en consideración que este método puede ser mejorado, por lo que se propone el método del ingreso neto atribuible. El método del ingreso neto atribuible mejora la estimación al considerar que al variar la producción también lo harán los costos de producción y cosecha y no solo los ingresos. En este caso, se modifica la ecuación 1 de forma de incluir un término que representa la tasa de cambio de los costos totales ante mayor producción, lo que lleva al planteo de la ecuación 2.

Breeze et al (2016) plantea la necesidad de abordar métodos dinámicos que se adapten a sistemas, regiones y contextos diferentes que permitan la comparación entre modelos. El método propuesto en nuestro trabajo permite mejorar la estimación del valor económico de la polinización de forma comparativa, pudiendo incorporar diversos inputs asociados a manejos diferentes (variaciones del precio y costo de producción). De esta forma se propone pasar de la ecuación 2 a la propuesta, ecuación 4. Para desglosar los modelos, en el caso del método de valor de producción los supuestos son que, los costos totales y el precio promedio no se modifican ante variaciones en el servicio de polinización.

El método del ingreso neto atribuible apunta a quitar el supuesto sobre que los costos totales no se modifican ante variaciones en el servicio de polinización. El supuesto adoptado es que los costos totales no se ven afectados directamente por el servicio de polinización, pero sí como respuesta a cambios en la cantidad producida, mientras el precio promedio en este caso sigue suponiéndose constante. El modelo propuesto en este trabajo elimina ambos supuestos restantes a fin de obtener una estimación lo más cercana a la realidad posible. Se permite que el precio promedio se modifique ante cambios en la calidad de la fruta, y que los costos cambien debido a las diferentes características que presente el sistema productivo ante diferentes servicios de polinización.

De esta forma se puede pensar, por lo expuesto, que la diferencia entre los métodos radica en los supuestos sobre que variables afecta la polinización. En el método del valor de producción se supone que la polinización solo afecta los ingresos a través de una mayor producción. En

el método del ingreso neto atribuible se supone que la polinización solo afecta el rinde y eso repercute en los ingresos y en los costos totales, debido a que precio y costo están fijos. Y por último en el modelo propuesto suponemos que la polinización puede afectar todo, no solo el rinde, lo que modificaría los costos asociados a una mayor cantidad de fruta cosechada, sino también la calidad de la fruta, lo que hace que pueda accederse a mejores precios. Además, por otro lado, la polinización puede afectar la firmeza de la fruta, el momento de cosecha, entre otros aspectos que pueden permitir realizar cosechas más eficientes bajando costos de almacenaje y logística, e incluso cosechar en ventanas temporales que permitan obtener mejores precios.

En lo respectivo a los supuestos de cómo afecta la polinización a la producción, en el método del valor de producción y en el método del ingreso neto atribuible, la relación entre polinización y rinde es lineal a través del término “D”. Estos métodos consideran que la mayoría de las plantas necesitan un número finito de granos de polen requeridos para establecer un tamaño máximo de fruta, conocido como “umbral de polinización” de la planta. En estos casos, el polen depositado adicional más allá de este umbral no aumentará el rendimiento ni lo reducirá. Los umbrales de polinización pueden ser superados tanto en entornos agrícolas como naturales (**Winfree, Gross & Kremen, 2011**). En el caso del arándano, la relación de cantidad de polen depositado con la calidad de la fruta se comporta como una función cuadrática, esto quiere decir que las flores de arándano tienen un número óptimo de visitas con el cual el tamaño del fruto es máximo y que sobre ese número de visitas el fruto resultante disminuye su calidad (**Ramírez-Mejía et al., 2023**). Esta informa resulta relevante a la hora de considerar cual es la carga optima de colmenas por unidad de superficie que se traducirá en un servicio de polinización adecuado y, de esta forma, se podría mejorar la cantidad y calidad de las bayas de arándano (**Garibaldi et al., 2021**) al mismo tiempo que se reduce el impacto de *A. mellifera* sobre las comunidades de polinizadores silvestres (**Torne-Noguera et. al, 2016**).

Por estas razones consideramos que el método propuesto es superior, mejorando la estimación del valor del servicio de polinización y permitiendo la comparación entre diferentes manejos y sistemas. Aun así, entendemos que, debido la rigurosidad de su cálculo, acceder a la información necesaria para realizar dichas estimaciones no siempre es posible. Estas limitaciones conllevan a adoptar supuestos, que tienden a recaer en los modelos propuestos anteriormente (método del valor de producción y/o del ingreso neto atribuible según el caso particular) siendo validos ya que permiten realizar una valuación cercana a la realidad. En este contexto, es necesario tener en cuenta que las diferencias en los valores entre los métodos de estimación sesgan los resultados, resaltando que el valor de producción sobreestima las ganancias por polinización, mientras que el método del ingreso neto atribuible subestimaría estas ganancias.

4.1. Conclusión

Mediante los resultados obtenidos se pone en evidencia la importancia de tener herramientas adecuadas para la valoración del servicio de polinización que tengan en cuenta los inputs reales en casos de estudios contrastantes. Dado que los servicios ecosistémicos de polinización han tomado relevancia a nivel mundial para la sostenibilidad de la producción de alimentos de calidad, es necesario que tanto los tomadores de decisión como la comunidad científica cuenten con el método más apropiado para dicha ponderación.

Al respecto, nuestro trabajo contribuye con una ecuación con la suficiente flexibilidad para absorber la variabilidad que presenta un cambio de paradigma productivo, prestando especial atención a sus diferentes aristas en un mercado cambiante con diversidad de destinos en función de la calidad y las ventanas de oportunidad. Esto hace más accesible evaluar la rentabilidad de incorporar nuevos manejos asociados a este servicio.

A modo de cierre, se propone su uso como una herramienta de toma de decisión a la hora de realizar las correcciones pertinentes al servicio de polinización dentro de predios productivos (suplementar, quitar colmenas o mantener los niveles iniciales) en pos de mejorar la producción de alimentos potenciando las contribuciones de la biodiversidad asociada y aumentando la rentabilidad. En este último punto es necesario tener en cuenta el contexto general donde se encuentran los cultivos, siendo en este dónde están los recursos que sirven como alimento y refugio para los polinizadores, para, de esta forma, poder incluir dentro de esta estimación el aporte de los polinizadores silvestres.

Agradecimientos

Se agradece el apoyo del “Programa Nacional Apicultura (PNAPI)” del INTA que a través del proyecto estructural *Desarrollo del sector apícola organizado, sustentable y competitivo* (2019-PE-E1-I017-001), el cual continua con el nombre *Aportes al Desarrollo Sostenible de la Apicultura Argentina* (2023-PE-L01-I069-INTA), ha financiado los estudios en ecología de polinización en cultivos de arándano. Además, se resalta el aporte del Proyecto Disciplinario *Evaluación económica de medidas de adaptación y mitigación al cambio climático en el sector AgroBioIndustrial* (2023-PD-L03-I117-INTA) con el cual sin su interacción no se hubiesen logrado tales aproximaciones interdisciplinarias.

Bibliografía

- Basualdo, M., & Cavigliasso, P. (2023). Economic assessment of entomophilous pollination in crops from Argentina: possible effects of the pollinator crisis in agricultura. *Revista de la Sociedad Entomológica Argentina*, 82(1), 48-56.
- Basualdo, M., Cavigliasso, P., de Avila Jr, R. S., Aldea-Sánchez, P., Correa-Benítez, A., Harms, J. M., ... & Salvarrey, S. (2022). Current status and economic value of insect-pollinated dependent crops in Latin America. *Ecological Economics*, 196, 107395.
- Breeze, T.D.; Gallai, N.; Garibaldi, L.A.; Li, X.S. (2016) Economic Measures of Pollination Services: Shortcomings and Future Directions. *Trends in Ecology & Evolution*, Volume 31, Issue 12, 927-939. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2016.09.002>.
- Cavigliasso, P., Bello, F., Rivadeneira, M. F., Monzon, N. O., Gennari, G. P., & Basualdo, M. (2020). Pollination Efficiency of Managed Bee Species (and) in Highbush Blueberry () Productivity. *Journal of Horticultural Research*, 28(1), 57-64. <https://doi.org/10.2478/johr-2020-0003>
- Cavigliasso, P., Negri, P., Viel, M., Graziani, M. M., Challiol, C., Bello, F., & Saez, A. (2021). Precision management of pollination services to blueberry crops. *Scientific Reports*, 11(1), 20453. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-00068-1>
- Chacoff, N.P., Morales, C.L., Garibaldi, L.A., Ashworth, L., & Aizen, M.A. (2010) Pollinator Dependence of Argentinean Agriculture: Current Status and Temporal Analysis. *The Americas Journal of Plant Science and Biotechnology*, 3(1), 106-116
- Eeraerts, M., DeVetter, L. W., Batáry, P., Ternest, J. J., Mallinger, R., Arrington, M., ... & Isaacs, R. (2023). Synthesis of highbush blueberry pollination research reveals region-specific differences in the contributions of honeybees and wild bees. *Journal of Applied Ecology*, 60(12), 2528-2539. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.14516>
- Garibaldi, L.A., Steffan-Dewenter, I., Winfree, R., Aizen, M.A., Bommarco, R., Cunningham, S.A., ... & Bartomeus, I. (2013). Wild pollinators enhance fruit set of crops regardless of honey bee abundance. *Science*. 339(6127): 1608-1611. <https://doi.org/10.1126/science.1230200>
- Garibaldi, L. A., et al. (2021). Negative impacts of dominance on bee communities: Does the influence of invasive honey bees differ from native bees?. *Ecology*. 102(12): e03526
- Gatica Hernández, I, Soto, C., Basualdo, M., & Galmarini, C.R. (2017) Evaluación de la efectividad de *Apis mellifera* y *Bombus pauloensis* como polinizadores para la producción de semilla híbrida de cebolla (*Allium cepa* L.). *Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica*, 52, 55-56.
- Gianinni, T.C., Cordeiro, G.D., Freitas, B.M., Saraiva, A.M., & Imperatriz-Fonseca, V.L. (2015) The Dependence of Crops for Pollinators and the Economic Value of Pollination in Brazil. *Journal Economic Entomology*, 108(3), 1-9 DOI: 10.1093/jee/tov093
- IBO (2022). International Blueberry Organization. Global state of the blueberry industry report. Last view 21/09/22: <https://www.internationalblueberry.org/2022-report/>

- Imperatriz-Fonseca, V.L., Saraiva, A.M., & De Jong, D. (2006) Bees as pollinators in Brazil: assessing the status and suggesting best practices. Ribeirão Preto, Sao Paulo, Brazil.
- Klein, A. M., Vaissiere, B. E., Cane, J. H., Steffan-Dewenter, I., Cunningham, S. A., Kremen, C., & Tscharntke, T. (2007). Importance of pollinators in changing landscapes for world crops. *Proceedings of the royal society B: biological sciences*, 274(1608), 303-313. <https://doi.org/10.1098/rspb.2006.3721>
- Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca (octubre 2020). Arándanos: Evolución de los principales indicadores del sector productivo. <https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/arandanos-oct-2020.pdf>
- Porto, R.G., de Almeida, R.F., Cruz-Neto, O., Tabarelli, M., Viana, B.F., Peres, C.A., Lopes, A.V. (2020) Pollination ecosystem services: A comprehensive review of economic values, research funding and policy actions. *Food Sec.* 12, 1425–1442. <https://doi.org/10.1007/s12571-020-01043-w>
- Ramírez-Mejía, A. F., Blendinger, P. G., Woodcock, B. A., Schmucki, R., Escobar, L., Morton, R. D., ... & Chacoff, N. P. (2023). Landscape structure and farming management interacts to modulate pollination supply and crop production in blueberries. *Journal of Applied Ecology*. 00: 1-11. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.14553>
- Siopa, C., Carvalheiro, L., Castro, H., Loureiro, J., & Castro, S. (2023). Quantifying crop pollinator dependence values--an updated compilation and discussion on methodological approaches. DOI: [10.22541/au.167828466.63884414/v1](https://doi.org/10.22541/au.167828466.63884414/v1)
- Stanley, D.A., Gunning, D., & Stout, J.C. (2013) Pollinators and pollination of oilseed rape crops (*Brassica napus* L.) in Ireland: ecological and economic incentives for pollinator conservation. *Journal Insect Conservation*, 17, 1181-1189. DOI 10.1007/s10841-013-9599-z
- Torne-Noguera, A., Rodrigo, A., Osorio, S., & Bosch, J. (2016). Collateral effects of beekeeping: Impacts on pollen-nectar resources and wild bee communities. *Basic and applied ecology*, 17(3), 199-209. <https://doi.org/10.1016/j.baae.2015.11.004>
- Winfrey, R.; Gross, B.J.; Kremen, C. (2011) . Valuing pollination services to agriculture. *Ecological Economics* 71: 80–88. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2011.08.001>