

**INTERACCIÓN DE LOS SERVICIOS DE REGULACIÓN DE PLAGAS Y POLINIZACIÓN EN SISTEMAS DE CAFÉ**

**(INTERACTING PEST REGULATION AND POLLINATION SERVICES IN COFFEE SYSTEMS)**

**ALEJANDRA MARTÍNEZ-SALINAS<sup>1\*</sup>, ADINA CHAIN-GUADARRAMA<sup>1</sup>, NATALIA ARISTIZÁBAL<sup>2,3</sup>, SERGIO VILCHEZ-MENDOZA<sup>1</sup>, ROLANDO CERDA<sup>1</sup>, TAYLOR H. RICKETTS<sup>2,3</sup>**

<sup>1</sup> CATIE - Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, 30501, Turrialba, Cartago, Costa Rica

<sup>2</sup> Instituto Gund para el Ambiente, Universidad de Vermont, Burlington, VT, 05405, EE. UU.

<sup>3</sup> Escuela Rubenstein para el Ambiente y los Recursos Naturales, Universidad de Vermont, Burlington, VT, 05405, EE. UU.

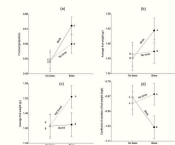
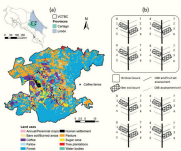
\*Autor de correspondencia. Email: amartinez@catie.ac.cr

La biodiversidad provee servicios ecosistémicos (SE) que benefician la producción de alimentos (Potts et al. 2016, Savary et al. 2019), pero la valoración de estos suele hacerse de forma independiente obviando potenciales interacciones. A la fecha, conocemos muy poco sobre cómo múltiples SE interactúan ecológica y económicamente, sabiendo que estas interacciones pueden producir efectos positivos (sinergias) o negativos (trade-offs) (Garibaldi et al. 2018).

Evaluamos la interacción de los SE de regulación de plagas y polinización por medio de un experimento factorial de exclusión de aves y abejas en 30 fincas productoras de café ubicadas a lo largo del Corredor Biológico Volcánica Central Talamanca en Costa Rica. En cada una de las 30 fincas se seleccionaron ocho plantas de café, de la misma edad, similares en vigor y altura, y ubicadas en la misma parcela de tal forma que compartieran condiciones ambientales y de manejo. Cuatro de las ocho plantas seleccionadas fueron excluidas de la actividad de las aves por medio de una malla que permitía el acceso a insectos, pero no de aves pequeñas como colibríes. Además, en cada una de las ocho plantas se seleccionaron cuatro ramas, dos de ellas fueron excluidas de la actividad de las abejas, previo a la floración del café, por medio de una malla de tela que impedía la entrada de insectos pequeños. Adicionalmente, en cada una de las ocho plantas cuatro ramas adicionales fueron seleccionadas para evaluar la infestación de broca (Fig. 1). La combinación de las exclusiones de aves y abejas generaron cuatro tratamientos dónde: (1) aves y abejas podían forrajear y polinizar libremente (condiciones naturales), (2) aves fueron excluidas, pero abejas podían polinizar libremente, (3) aves podían forrajear libremente, pero abejas fueron excluidas y (4) aves y abejas fueron excluidas, simulando la pérdida de ambos grupos y por tanto sus servicios de control de plagas y polinización.

Nuestros resultados demuestran que las aves y las abejas contribuyen a la productividad del café al incrementar el número de frutos cuajados (i.e., flores que se convierten en frutos cosechables), el peso y la uniformidad de los frutos (Fig. 2, Table 1). Las aves además contribuyeron significativamente a reducir los niveles de infestación de broca del café (*Hypothenemus hampei*). Los efectos combinados de aves y abejas fueron más significativos que sus efectos independientes, indicando que existen sinergias entre estos dos SE. Nuestra revisión de la literatura indica que nuestros resultados constituyen una de las pocas evidencias derivadas de datos experimentales que demuestran la existencia de sinergias entre SE (Garibaldi et al. 2018, Chain-Guadarrama et al. 2019). Estas sinergias sugieren que la evaluación independiente de SE puede subestimar los beneficios que la biodiversidad proporciona al bienestar humano. Además, nuestro experimento demuestra que la polinización por abejas y la regulación de la broca del café por aves se traducen en beneficios económicos. Excluir a ambos grupos (abejas y aves) resultó en una reducción promedio del rendimiento del 24.7% (equivalente a perder US\$1,066.00/ha); excluir únicamente a las abejas en una reducción del 24.5% (US\$1,059/ha), representando un incremento del 11% comparado con la exclusión únicamente de aves (13.5%, US\$584/ha). Nuestros resultados resaltan que manejar los cafetales considerándolos como hábitat para la biodiversidad puede generar múltiples beneficios, y que considerar las potenciales interacciones entre SE es esencial para entender y cuantificar su valor ecológico y económico.

**FIGURA 1.** Ubicación del área de estudio y diseño experimental. (a) Ubicación del Corredor Biológico Volcánica Central Talamanca (CBVCT) y mapa de uso de suelo. Los triángulos negros indican la ubicación de las fincas estudiadas. (b) Diseño del experimento factorial completo con que se evaluó los servicios de control de la broca del café (aves) y polinización (abejas) y su interacción. En cada una de las fincas evaluadas, se seleccionó 8 plantas de café y se excluyó un grupo de 4 plantas de las aves, así como dos ramas de cada planta de las abejas. Esto resultó en 4 tratamientos a nivel de rama: exclusión solo de aves, exclusión de aves y abejas, exclusión solo de abejas, y presencia de ambos. En las ramas 1-4 evaluamos la proporción de frutos cuajados (polinización). En las ramas 1-8 evaluamos la proporción de frutos brocados (control de plagas).



**FIGURA 2.** Interacción de los efectos de abejas y aves en diferentes parámetros de los frutos de café. (a, b) Efectos de la actividad de abejas y aves en la proporción de frutos cuajados y peso de los frutos. (c) Efectos de la actividad de las abejas y la condición de los frutos (i.e., brocados vs. no-brocados) en el peso promedio de los frutos, y (d) efectos de la actividad de abejas y aves en el coeficiente de variación de los frutos (CV) como medida de uniformidad del fruto producido. Letras diferentes indican diferencias significativas, estadísticos presentados en el cuadro 1.

**CUADRO 1.** Modelo de efectos mixtos y su evaluación de los efectos de la exclusión de abejas (BeeEx), exclusión de aves (BirdEx) y su interacción en los frutos cuajados, peso de los frutos, y proporción de frutos brocados. Además, evaluamos el efecto de la condición de los frutos (brocado vs. no-brocado) (BOR) y su interacción con la exclusión de abejas y aves sobre el peso de los frutos, al igual que el efecto del tiempo (Time) y su interacción con las exclusiones de abejas y aves en la proporción de fruto brocado. CV = coeficiente de variación.

Efectos fijos	DF	F-valor	P
<b>Frutos cuajados</b>			
BirdEx	1	1.83	0.1790
BeeEx	1	402.48	<0.0001
BirdEx x BeeEx	1	67.06	<0.0001
<b>Peso de los frutos (gr)</b>			
BirdEx	1	0.87	0.3584
BeeEx	1	15.05	0.0002
BOR	1	7.97	0.0054
BirdEx x BeeEx	1	10.12	0.0018
BirdEx x BOR	1	0.01	0.9327
BeeEx x BOR	1	12.18	0.0005
BirdEx x BeeEx x BOR	1	0.01	0.9184
<b>CV del peso de los frutos</b>			
BirdEx	1	2.71	0.1106
BeeEx	1	1.56	0.2142
BOR	1	0.06	0.8071
BirdEx x BeeEx	1	5.65	0.0190
BirdEx x BOR	1	0.59	0.4438
BeeEx x BOR	1	1.37	0.2443
BirdEx x BeeEx x BOR	1	0.01	0.9315
<b>Proporción de frutos brocados</b>			
BirdEx	1	2.54	0.1119
BeeEx	1	74.34	<0.0001
Time	3	769.83	<0.0001
BirdEx x BeeEx	1	111	0.2924
BirdEx x Time	3	10.91	<0.0001
BeeEx x Time	3	92.37	<0.0001
BirdEx x BeeEx x Time	3	3.12	0.0259

**Referencias bibliográficas**

Garibaldi, L. A., G. K. S. Andersson, F. Requier, T. P. M. Fijen, J. Hipólito, D. Klejn, N. Pérez-Méndez, and O. Rollin. 2018. Complementarity and synergisms among ecosystem services supporting crop yield. *Global Food Security* 17:38-47.

Chain-Guadarrama, A., A. Martínez-Salinas, N. Aristizábal, and T. H. Ricketts. 2019. Ecosystem services by birds and bees to coffee in a changing climate: A review of coffee berry borer control and pollination. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 280:53-67.

Potts, S. G., V. Imperatriz-Fonseca, H. T. Ngo, M. A. Aizen, J. C. Biesmeijer, T. D. Breeze, L. V. Dicks, L. A. Garibaldi, R. Hill, J. Settele, and A. J. Vanderberg. 2016. Safeguarding pollinators and their values to human well-being. *Nature* 540:220-229.

Savary, S., L. Wilcockson, S. J. Pettybridge, P. Baker, N. McRoberts, and A. Nelson. 2019. The global burden of pathogens and pests on major food crops. *Nature Ecology and Evolution* 3:430-439.