

UNIVERSIDAD DE LAS AMÉRICAS PUEBLA

Escuela de Negocios y Economía

Economía



**Análisis Econométrico del Impacto del Sector de Uso de Suelo
sobre la Polinización en México**

Tesis que, para completar los requisitos del Programa de Honores presenta la
estudiante

Edgar Mauricio Alcántara López

163254

Economía

Martín Alfonso López Ramírez

San Andrés Cholula, Puebla.

Otoño 2022

Hoja de firmas

Tesis que, para completar los requisitos del Programa de Honores presenta el
estudiante Edgar Mauricio Alcántara López con ID 163254

Director de Tesis

Martín Alfonso López Ramírez

Presidente de Tesis

Nicolás Corona Juárez

Secretario de Tesis

Luciano Ayala Cantú

Agradecimientos

No podría sentirme satisfecho con el producto de mi trabajo si no me tomo el tiempo de agradecer a todos quienes me sostuvieron mientras construía y escribía este texto. No tengo idea de quien lo dijo, o si es que alguien lo dijo alguna vez, pero sé que cualquier esfuerzo vale más la pena cuando tienes a quien dedicárselo. Primero a la familia: a mi mamá, Lulú, a quien le debo todo y ha estado siempre y nunca se ha ido. A mi papá, Luis, que llegó para quedarse. A mis hermanos Alex y Xime que no deben dudar que los amo. A mis abuelos Deya y Willy, que siempre han sido un soporte. A Norberta y José Luis, por siempre quererme tanto. A Claudia y Jorge que siempre han creído en mí. A Yiyi por ser una gran amiga. A Chucho y Merce que son muy queridos. Y a Edgar que me enseñó que soy lo que yo hago de mí mismo.

Luego a mis amigos: a Estefanía por ser mi mejor amiga. A Melian, a quien le confiaría mi vida. A Nicole, por ser soporte y guía. A Juan Carlos, por siempre darme ánimos. A Fernanda (Samperio), por siempre procurarme. A Adriana por ser una gran compañía. A Mauricio por siempre sacarme una sonrisa. A Mario por ser tan leal. A Fernanda (Sánchez) por nunca dejarme solo. A Paola por las grandes conversaciones. A Samara, Monse y Mariana, por ayudarme a ser más abierto. A todos los *Econohoes* por ser quienes más me han enseñado. A Fernando, Josué y Liss, que siempre son mi constante y me han visto en todas mis etapas. Y a Joseline, que definitivamente no podía hacer falta.

Finalmente, a mis maestros: a Elitania por ser mi favorita. A Martín por guiarme para escribir esto. A Carlos, por nunca dejar de impresionarme. A mis sinodales, Nicolás, por ser siempre tan gentil; y Luciano, por todas las experiencias. A Roy, por haberme enseñado tanto. A Óscar, por sacarme de mi zona de confort. Y a todos los que han puesto de sí mismos, para hacer de mí lo que soy ahora.

Índice

Resumen.....	1
1. Introducción.....	2
2. Marco Teórico.....	6
2.1 Dependencia de la Producción Agrícola por la Polinización.....	6
2.2 <i>Apis Mellifera</i> y otros polinizadores.....	12
2.3 Declive en la población de polinizadores.....	16
2.4 Uso de Suelo y Polinización.....	19
2.5 Descubrimientos.....	23
3. Metodología.....	26
3.1 Datos.....	26
3.2 Modelo de Regresión.....	39
4. Resultados y Discusión.....	43
4.1 Resultados.....	43
4.2 Discusión.....	51
4.3 Implicaciones.....	53
4.4 Diagnóstico.....	55
5. Conclusiones y Recomendaciones.....	61
6. Referencias.....	64
7. Anexos.....	79

Resumen

*Dentro de la Economía Ambiental, el concepto de Servicios Ecosistémicos ha cobrado una importante relevancia en el estudio del crecimiento y desarrollo económicos a nivel mundial, siendo la polinización uno de los más relevantes al ser una pieza fundamental para la seguridad alimenticia, sostenibilidad y bienestar. Sin embargo, en los últimos años ha llamado la atención un fenómeno de decadencia en las poblaciones de polinizadoras tanto silvestres como controlados, siendo el caso de la abeja de miel (*Apis Mellifera*), lo que dirige a muchos expertos a mencionar una crisis de alimentos como consecuencia. A pesar de que diversos autores señalan otros importantes factores que dan explicación a esta problemática, esta investigación busca dar una respuesta parcial por el lado de la Administración de Uso de Suelo, más específicamente en el contexto mexicano. Mediante la implementación de una regresión lineal por mínimos cuadrados ordinarios, se halló una relación ambigua entre el uso de suelo agrícola y la población de abejas de miel por entidad federativa en México; relación de entre 0.318% y 0.623%, por cada 1% extra de uso de suelo agrícola para la agricultura de riego, mientras que es de -0.842% para la agricultura de temporal. Estos resultados sugieren que podría existir una posible alternancia de suelo agrícola en la que se consideren técnicas agrarias menos agresivas respecto a la sustitución de vegetación natural y así ayude a preservar la diversidad de polinizadores.*

Palabras clave: Polinización, Sector de Uso de Suelo, *Apis Mellifera*, Agricultura en México.

I. Introducción.

Dentro de las dinámicas económicas que existen en una sociedad moderna, muy poco se considera, por lo menos hasta hace treinta años, el impacto de la conservación del medio ambiente en los niveles de bienestar de los ciudadanos o individuos de una nación o país en particular; y en una escala más general, globalmente (Wiesmeth, 2012). Muchos ambientalistas y economistas del medio ambiente han propuesto, como solución, el otorgarle un valor monetario a cada uno de estos “servicios” que son provistos de manera natural por los ecosistemas o la biomasa en su conjunto (Boyd y Banzhaf, 2006). De acuerdo a Costanza et al. (2017), el concepto de “servicios ecosistémicos” ha recogido cierta relevancia en el ámbito académico en, al menos, las últimas cinco décadas, y esto ha traído consigo muy interesantes hallazgos y conclusiones; por ejemplo, para finales del siglo XX, el valor monetario neto de la biósfera en su conjunto representaba entre 16 y 52 billones de dólares (doce ceros), lo que es una cantidad sustancialmente mayor al PIB Mundial.

No obstante, a lo que nos referimos por servicios ecosistémicos abarca un amplio espectro de fenómenos naturales que necesariamente guardan una estrecha relación con todas y cada una de las actividades productivas dentro de una economía; ya sea producción de alimentos, de materias primas, e inclusive las que abarcan actividades meramente culturales o turísticas. Para su estudio, los servicios ecosistémicos se clasifican en cuatro grandes grupos que buscan incorporar las relaciones previamente mencionadas. De acuerdo a El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (2014), estos pueden ser 1) de provisión, los cuales combinados con capital físico, humano y social producen alimentos y otras materias primas fundamentales para el desarrollo económico; 2) de apoyo, que se

encargan de procesos ecosistémicos básicos como la formación de suelos, además de que mantienen condiciones fundamentales para el funcionamiento del resto de servicios ecosistémicos: 3) culturales, los cuales son fundamentales para actividades de recreación y de identidad cultural; y 4) los que nos competen a nosotros dentro de esta investigación: los de regulación, los cuales combinados con los otros tres tipos de capital producen servicios de control, regulación, protección y retroalimentación a las actividades humanas.

Dentro de la definición propuesta por Mengist et al. (2020); los servicios ecosistémicos de regulación son todos aquellos que ofrecen un beneficio como consecuencia de las regulaciones (naturales) de procesos ecosistémicos, siendo la polinización un claro ejemplo de ello. Sin embargo, Mengist et al. (2020) también mencionan lo abandonados que han sido este tipo de servicios en el espectro académico. No obstante, nadie puede negar lo mucho que los seres humanos somos beneficiados por lo que los polinizadores hacen; desde seguridad alimentaria hasta la preservación de la biodiversidad, siendo claramente incalculables, con exactitud, el valor que le podemos otorgar a la polinización. Por ello, no sería de ninguna manera descabellado, tal como lo sugieren Buchholz y Rübhelke (2019), Khalifa et al. (2021) o Xu et al. (2021), intuir una relación estrecha entre el crecimiento y desarrollo económico de una nación, con la disponibilidad de servicios ecosistémicos dentro de ella, en especial de aquellos que no son solamente provisión de materias primas.

Siendo el caso, los seres humanos tenemos una responsabilidad mayúscula con los polinizadores, ya que nuestras acciones repercuten de manera importante en las poblaciones de polinizadores en el ambiente, tanto controlados como silvestres y, por tanto, la repercusión indirecta que existe sobre nuestro bienestar en términos económicos. Lo que esta

investigación buscó, es determinar cómo es que las acciones humanas, desde la perspectiva de la administración de uso de suelo en México, repercuten en la población de polinizadores disponibles. Esta investigación formula una relación estrecha entre los polinizadores controlados (y no controlados), para a partir de ello evaluar como el Sector de Uso de Suelo tiene injerencia en el acervo de colmenas de abejas de miel por Entidad Federativa.

Esta investigación tiene dentro de sus principales objetivos el lograr encontrar y/o explicar cuál es la relación entre el uso de suelo enfocado a la agricultura y la disponibilidad de servicios ecosistémicos regulatorios. Siendo más específicos la polinización controlada, así como analizar las relaciones entre polinizadores y el Sector de Uso de Suelo en el caso mexicano. El propósito anterior se busca cumplir mediante la implementación de técnicas econométricas que ayuden a identificar las relaciones existentes entre nuestras principales variables de interés. Dentro de esta investigación y como parte de nuestro análisis empírico se observó una relación ambigua entre la agricultura y la población de colmenas la cual es estrictamente dependiente del tipo de riego empleado, determinando así un enlace causal entre la sustitución de biomasa por suelo agrícola y el declive de polinizadores. De igual forma, se encontraron relaciones positivas con la vegetación natural, bosques cultivados y pastizales cultivados, los cuales podrían beneficiar la diversidad de especies en un ecosistema y por consecuencia, acrecentar la disponibilidad de polinizadores controlados.

Otro objetivo de esta investigación es servir como una referencia robusta, de carácter empírico, que explique la existencia de una relación circular entre la “oferta” de servicios ecosistémicos (que en este caso es la existencia de polinizadores), la cual puede determinar los rendimientos agrícolas en nuestro país, y una “pseudo-demanda” de los mismos, la cual

se observa en la intensificación de uso de suelo y tienen diversos impactos sobre la diversidad de polinizadores. Para ello, este texto se estructuró de la siguiente manera: dentro de la Sección 2 de este proyecto de investigación se encontrará una síntesis de los hallazgos relevantes que buscan, así, crear un sólido marco de referencia que sustentara teóricamente al modelo econométrico empleado. En la Sección 3 se encontrará la metodología empleada para el análisis de datos para la identificación de la relación entre polinizadores disponibles y el sector de uso de suelo, así como el proceso de recolección de datos y la interpretación de los resultados obtenidos. Finalmente, dentro de la Sección 4 se finalizará con una conclusión que busca resumir de manera clara los principales hallazgos de esta investigación y las implicaciones que esto pueda traer consigo.

2. Marco Teórico

En esta sección se presentan los principales hallazgos en la literatura que motivaron la investigación y justifican la especificación del modelo econométrico, presentado posteriormente. En específico, se detalla 1) La importancia de la polinización en el bienestar del ser humano, utilizando los beneficios que el mencionado servicio ecosistémico aporta a la agricultura. 2) La determinación de la relación que existe entre los polinizadores silvestres y los controlados como justificación del uso de colmenas de abejas como variable proxy a la polinización en su conjunto. 3) El diagnóstico del declive en las poblaciones de polinizadores. Y finalmente 4) El impacto del cambio de uso de suelo en las poblaciones de polinizadores como uno de los canales explicativos en la “crisis de polinizadores”.

2.1 Dependencia de la Producción Agrícola por la Polinización

Es absolutamente complejo poder asegurar que hay una teoría concluyente que afirme los efectos del uso de suelo y la agricultura sobre las poblaciones de polinizadores en un ecosistema. En este sentido, los efectos observados en la literatura tienden a variar dependiendo del contexto geográfico, climático y metodológico del estudio, siendo que, por supuesto no se puede asegurar que la administración de uso de suelo sea comparable en países de clima frío y altos relieves con países de climas cálidos con amplias planicies. No obstante, también es importante comprender que efectos tiene la polinización sobre nuestro bienestar y así, poder justificar cual es la importancia de esta investigación.

Porto et. Al. (2020) explica que en los últimos años el atractivo académico de la evaluación de servicios ecosistémicos ha impulsado a los investigadores a enfocarse, entre

otras cosas, a los servicios referentes a los mecanismos de regulación en el ecosistema. Lo que ellos (los autores) logran encontrar es que, en las últimas décadas los servicios de polinización se han vuelto considerablemente más “valiosos” para los *outputs* agrícolas a lo largo del mundo. Sin embargo, los resultados varían dependiendo del cultivo y el país, así como del tipo de polinización.

De acuerdo con Bustamante et al. (2014) el Sector de Uso de Suelo sería uno de los más importantes en el mundo si se toma en cuenta que, este provee al bienestar humano de diversos bienes y servicios que son clave para su desarrollo (llámese económico o cualquier otra dimensión), siendo que de dicho sector no solamente se obtienen las distintas materias primas que son utilizadas para las amplias cadenas de producción de las cuales depende la economía, o que son utilizadas para la alimentación de los casi de 8 mil millones de habitantes en la tierra, sino que también provee de otro tipo de servicios (ecosistémicos), como los de apoyo, como por ejemplo las interacciones que ocurren en un ecosistema que también hace posible el buen funcionamiento del sector; los culturales, como el turismo verde; y los de regulación, dentro de los que se encuentran control del cambio climático, el control de plagas y la polinización.

De este modo Ollerton et al. (2011) estiman que cerca del 87.5% de los cultivos a nivel global son dependientes de la polinización; de manera más específica para países templados este valor disminuye a 78%, mientras que para países tropicales aumenta al 94%. Khalifa et al. (2021) mencionan que, aproximadamente el 87% de los cultivos más importantes en el mundo dependen directamente de los polinizadores (controlados y silvestres), así mismo, menciona que el 30% de esos cultivos son fundamentales en la

industria alimenticia y la producción de comida. Por otro lado, Klein et al. (2007) afirman que 72% de estos productos agrícolas son dependientes (en primera instancia) de polinizadores tanto controlados como silvestres. Desde una perspectiva económica, Gallai et al. (2009) calculan que el valor global de la polinización asciende a los 153 mil millones de euros, lo que representa alrededor del 9.5% de la producción agrícola mundial en el 2005.

Desde una perspectiva más actualizada y considerablemente más compleja, Lippert et al. (2021) lograron calcular las elasticidades parciales entre los cambios en la abundancia de polinizadores a nivel global y el bienestar que la polinización nos provee utilizando el PIB Mundial como variable aproximada; siendo así, logran encontrar que el valor de la elasticidad es positivo y rondando entre el 1 y el 2%. Así mismo, Baeur y Wing (2010) estima que el riesgo económico, en el contexto estadounidense, de una pérdida directa de polinizadores (haciendo énfasis en la polinización controlada) puede ascender a los 138 mil millones de dólares cuando se determina un equilibrio parcial; mientras que para términos de un equilibrio general esta pérdida más que se duplica siendo de 334.1 mil millones de dólares.

Siendo mucho más específicos, Majewski (2018) estimó que el valor de la polinización en el caso de Polonia ha crecido de manera significativa del 2005 al 2016, siendo en el primer año de 625 millones de euros asciendo hasta el último año a 1195 millones de euros. Vrabcová y Hájek (2020) encuentran que, para República Checa, el valor de los servicios ecosistémicos relacionados a la apicultura (por ejemplo, la polinización) asciende a 160 mil dólares americanos. Picanço, et al. (2017) observaron que cerca del 36% (469,867 euros) de la producción agrícola anual de la Isla Terceira en Portugal es altamente dependiente de insectos polinizadores.

De este modo, Calderone (2012) logra calcular el valor que aporta directamente la polinización de insectos a la producción agrícola en Estados Unidos en 2009, siendo este de 15.12 mil millones de dólares; también calcula la aportación de la polinización realizada exclusivamente por abejas de miel, siendo de aproximadamente 11.68 mil millones de dólares. Whittington et al. (2003) encuentran que, en aquellos cultivos de jitomate (tomate) de invernadero en Canadá que perdían acceso a polinizadores silvestres, la pérdida económica en la producción oscilaba entre los 500 dólares por hectárea a los 2700 dólares, siendo este un buen aproximado del valor de dicho servicio ecosistémico. Finalmente, Gibbs et al. (2015) encuentran que para los cultivos de mora azul en Norteamérica (Estados Unidos y Canadá) que fueron directamente expuestos a polinizadores salvajes (dependiendo también de la diversidad de polinizadores de cada área) aumentó significativamente el conjunto de frutas y semillas obtenidos de cada cosecha, así como el peso de las mismas.

Si nos trasladamos a países con características climáticas similares al nuestro (México), Fajardo et al. (2016) lograron observar que un aumento del 1% en el factor de la polinización sobre los cultivos, consigue aumentar en un 31% el rendimiento de la producción de café en Colombia. De acuerdo a la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (2016) y apoyados por Estay (2013) en Chile alrededor del 75% de los cultivos frutícolas, 48% de la agricultura hortícola y el 36% de los semilleros tienden a mostrar aumentos tanto en los rendimientos como en la calidad de la cosecha bajo la presencia de zoopolinizadores. Giannini et al. (2015) demostraron que de 141 diferentes tipos de cultivos estudiados en todo Brasil, 85 fueron altamente dependientes de la

polinización, haciendo énfasis en la soja; de este modo, la aportación de la polinización a la producción anual tendría un valor de 12 mil millones de dólares (30% del valor total).

Por otro lado, Olschewski et al. (2006) logran encontrar una alta relación entre la polinización y los cultivos de café en Ecuador e Indonesia; utilizando la proximidad de los cultivos a bosques naturales (como variable proxy a la polinización) calculan que los valores de los servicios de polinización se acercan a 43 a 57 dólares por hectárea deforestada en el caso de Indonesia y de 57 a 76 dólares en el caso de Ecuador. Basu et al. (2011) utilizando el índice del Valor Económico de Polinización por Insectos logran encontrar que, en el caso de la India, siendo este el segundo mayor productor de vegetales en el mundo, el valor de la polinización ascendería a los 726 millones de dólares. Finalmente, Allsopp et al. (2008) encuentran que, en el caso sudafricano, la aportación de la polinización controlada se encuentra entre los 28 y los 122.8 millones de dólares; sin embargo, la polinización silvestre tendría un valor mayor de entre 49.1 y 310.9 millones de dólares.

Lo interesante de México, es que su diversidad climática puede volver complejo el obtener resultados que sean comparables con otros casos en distintos países del mundo, por ello es útil también mencionar qué impacto tienen los polinizadores en los cultivos llevados a cabo en climas templados, áridos o tropicales. De acuerdo a la Secretaría de Agricultura y a la Secretaría de Medio Ambiente de México (2021) estudios independientes realizados en 2012 habrían encontrado que, en términos económicos, el beneficio que los polinizadores aportan a, por lo menos, 103 cultivos en el país pueden ser valuado en 43 mil millones de pesos mexicanos. De el mismo reporte previamente mencionado, se puede observar que los

cultivos que son más beneficiados de la polinización se encuentra la calabaza, la sandía, el melón y el cacao.

Aún en México, Lara-Pulido et al. (2022) logran observar que, en el caso de los cultivos de aguacate en Michoacán, aquellos que se encuentran cercanos a áreas naturales diversas en polinizadores tienden a aumentar su productividad en un 28%, sin embargo, este efecto se puede maximizar al 77% de aumento en la productividad media si existe la presencia de polinizadores silvestres y polinizadores controlados. En el caso del Estado de Puebla, Saldaña-Vázquez et al. (2022) muestran que el 63% de los productos pertenecientes a la canasta básica de la entidad dependen significativamente de la polinización, valorando el servicio en 8.5 mil millones de pesos mexicanos, así mismo, 4 de los 13 cultivos más relevantes son polinizados por la abeja de miel. Así mismo, Gaumer (2012) demostró que, en Yucatán, alrededor del 70% de las visitas a flores y cultivos de Nopal Tunero fueron responsabilidad de la *Apis Mellifera*.

Dadas las complicaciones para encontrar datos específicos sobre polinizadores en el caso mexicano, este trabajo de investigación se enfocó exclusivamente en la polinización controlada utilizando a las colmenas de abejas de miel disponibles en cada entidad federativa. Por tanto, es también de suma importancia comprender de qué manera se desempeña la interacción entre la abeja de miel, la cual es el principal insumo para la producción apícola, la cual es una especie exótica y los polinizadores nativos de nuestro país.

2.2 *Apis Mellifera* y otros polinizadores.

Nosotros comprendemos por polinización al proceso de visitación de insectos u otros animales a cierto tipo de plantas, en lo particular florales, con el propósito de transferir polen de la antera de una flor macho al estigma de una hembra; esto con el objetivo de facilitar la producción de frutos (y semillas) y la reproducción de las plantas (Inouye y Ogilvie, 2017). En el caso mexicano, este proceso suele ser, cotidianamente, llevado a cabo por polinizadores silvestres como abejas, mariposas, polillas e inclusive algunas aves y murciélagos (SEMARNAT, 2021). No obstante, si así es deseado un agricultor y/o un apicultor pueden controlar la presencia de ciertos polinizadores en el suelo agrícola introduciendo colmenas o colonias de dichos animales en las cercanías, los cuales se sentirán atraído por el cultivo que se trata de polinizar para llevar el proceso a cabo (Jaramillo, et al. 2018).

México por sí mismo es un país complejo ecológicamente y definitivamente muy diverso en el aspecto de polinizadores. La Oficina de Información Científica y Tecnológica para el Congreso de la Unión (2019) afirma que, en nuestro país, adicional a la exótica abeja de miel, existen aproximadamente otras dos mil especies de abejas, las cuales la gran mayoría son silvestres y no domesticadas. Guzmán-Novoa et al. (2011) explican que la introducción de la abeja de miel europea y la abeja de miel africana a México se deberían considerar como un “éxito biológico” tomando en cuenta que se ha vuelto una de las especies de abejas hegemónicas en el país; no obstante, a costo de desplazar a otras especies de polinizadores nativos.

De acuerdo al Instituto de Ecología de México [INECOL] (2020). En México la abeja de miel europea o *Apis Mellifera* (la cual es el centro de nuestra investigación) es utilizada

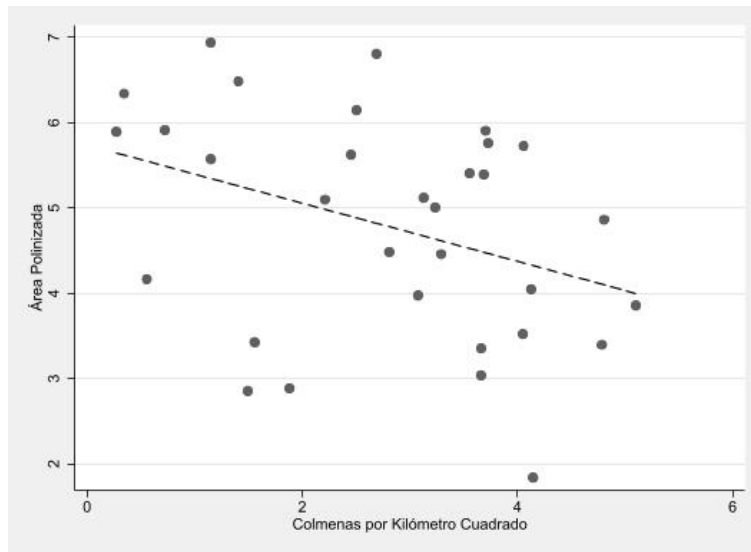
para polinizar cultivos como aguacate, manzanas, fresas, moras, pepinos o almendras; mencionan que esta especie de abejas tiende a ser muy versátil polinizando pues no es una especie especializada. Así mismo, Pinilla y Dáttilo (2021) también menciona que, el éxito de la abeja de miel en México se debe a su alta resiliencia climática y adaptabilidad ecológica; esto trae consigo que las abejas europeas tienden a cambiar las dinámicas de interacción que existen entre plantas y polinizadores nativos. Los autores mencionan que estos cambios en las interacciones planta-visitador pueden ser tanto benéficas como perjudiciales.

Garibaldi et al. (2013) encuentran que la polinización que depende exclusivamente de las abejas de miel no es necesariamente la más eficiente; sin embargo, que las interacciones entre ambos tipos de polinizadores (controlados y silvestres) puede inclusive duplicar el beneficio para los cultivos. Así mismo, Greenleaf y Kremen (2006) encuentran un resultado similar y muestran que dichas interacciones entre polinizadores controlados (abejas de miel) y silvestres puede incrementar las tasas de polinización incluso al doble. Stanley et al. (2018) señalan que, aun cuando no son la única especie, éstas tienen gran relevancia en la polinización de vegetación natural señalando que, en el contexto sudafricano, las abejas de miel se encargan de entre el 35 y el 40% de las visitas a plantas nativas.

Urbanowicz et al. (2019) menciona que las abejas domésticas y los polinizadores silvestres suelen diferir, también en sus preferencias del polen, lo que podría ser un indicio de que no existe, en sí, competencia por polen. No obstante, Parker (1981) y Kremen et al. (2004) ofrecen evidencia de que, en ciertos contextos, con cultivos específicos como los girasoles, los diferentes tipos de polinizadores suelen competir por el polen conllevando desplazamientos y cambios en las interacciones polinizador-cultivo. Se debe hacer énfasis en

que, las mismas características de cada cultivo podría conllevar una competencia entre polinizadores o en contraparte, una perfecta complementación.

Figura 2.2.1 Relación entre la Densidad Poblacional de Abejas de Miel y las Áreas Polinizadas por Entidad Federativa.

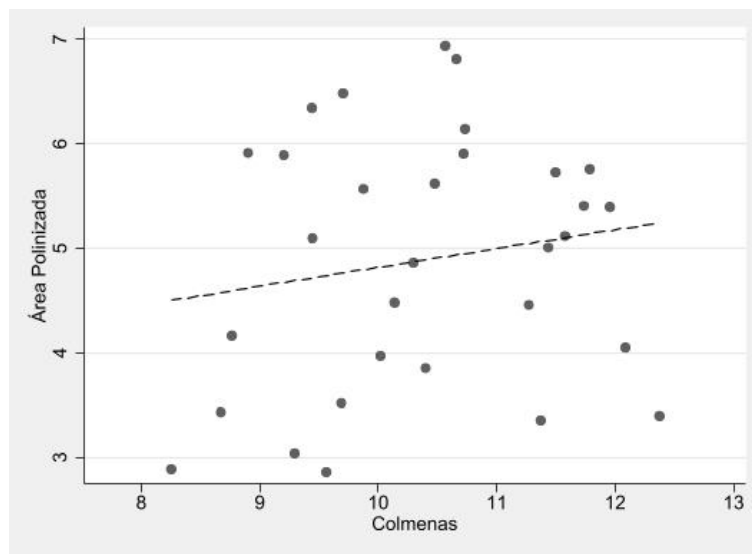


Fuente: Elaboración Propia a partir de datos de Porter et al. (2009)

En sí, la literatura previamente revisada podría ser concluyente al señalar que, las abejas de miel tienden a beneficiar la polinización, como servicio ecosistémico, acrecentando las “ganancias” obtenidas por la producción agrícola bajo diferentes contextos. Sin embargo, en términos ecológicos, los supuestos beneficios que la aparición de la *Apis Mellifera* traen consigo no son concluyentes. No obstante, Porter et al. (2009) logran recolectar una base de datos sobre la polinización en México para el 2006; de esta manera, si se realiza un simple ejercicio estadístico las Figuras 2.2.1 y 2.2.2 muestran cierta relación entre la polinización y la presencia de las abejas europeas.

Lo que las gráficas nos muestran es que, a simple vista, parece que existen relaciones positivas entre las áreas polinizadas en cada entidad federativa y la población de colmenas; lo cual es lógico si tomamos en cuenta lo que señalan Stanley et al. (2018), respecto a la independencia de la *Apis Mellifera* para polinizar aun sin la presencia de otra especie polinizadora. Sin embargo, cuando se considera la densidad poblacional de las abejas, la relación comienza a ser negativa señalando la existencia del desplazamiento de diversidad de polinizadores que mencionan Guzmán-Novoa et al. (2011) y Pinilla y Dáttilo (2021). Cabe mencionar que estas aseveraciones podrían estar sujetas a métodos estadísticos que sean más rigurosos y por tanto ofrezcan resultados más robustos.

Figura 2.2.2 Relación entre la Población de Abejas de Miel y las Áreas Polinizadas por Entidad Federativa.



Fuente: Elaboración Propia a partir de datos de Porter et al. (2009)

De esta manera, se puede justificar que la población de colmenas de abejas de miel (domesticadas) es una variable adecuada para comprender a la polinización en un sistema

agrícola. Por un lado, existe evidencia de que hay complementariedad entre polinizadores controlados y silvestres como lo mencionan Greenleaf y Kremen (2006); o independencia tal como señalan Stanley et al. (2018) y Urbanowicz et al. (2019) lo cual explicaría la tenue pero positiva relación positiva entre áreas polinizadas y el número de colmenas por entidad federativa (Figura 2.2.2). Desde la otra perspectiva, Kremen et al. (2004) y Pinilla y Dáttilo (2021) también se ha otorgado evidencia de que una alta concentración de polinizadores controlados podría mermar a la población de especies silvestres mediante una competencia por polen, lo que explicaría la relación negativa entre colmenas por kilómetro cuadrado y las áreas polinizadas (Figura 2.2.1). Por tanto, de manera teórica y a falta de información a nivel estatal en México, es claro que el acervo de colmenas disponibles para la apicultura puede actuar como instrumento de análisis.

2.3 Declive en la población de polinizadores.

Otro pilar fundamental para la comprensión de esta investigación, además de su justificación, es lograr diagnosticar la situación actual de los polinizadores en México y en el mundo. Lo que es un tema bastante recurrido en la actualidad es que hay un importante declive en las poblaciones de polinizadores. Kearns et al. (1998) mencionan una crisis de polinización a lo largo del mundo cuyas principales causas podrían verse explicadas por la pérdida de diversidad de especies, la fragmentación de los ecosistemas y la intensificación de la agricultura. De acuerdo con Cruz (2019) desde 2015 hasta 2019 se habrían perdido aproximadamente mil seiscientos millones de abejas en todo México lo que conlleva una enorme pérdida ecológica y, como hemos revisado previamente, también implica una posible pérdida económica.

Según señala la FAO (2019) el decrecimiento en la población de polinizadores podría provocar una crisis alimentaria sin precedentes. Zattara y Aizen (2021) logran evidenciar como desde 1990, a nivel mundial, se han mostrado amplias tasas de decrecimiento en la diversidad de especies de polinizadores en el mundo; habiendo entre 2006 y 2015 un 25% menos especies que en el siglo pasado. Althaus et al. (2021) afirman que la comunidad científica ha hecho cierto énfasis en una “crisis de biodiversidad” que actualmente se presenta en el mundo y como esta crisis ha permeado también en el segmento de los insectos y más específicamente en los polinizadores.

Figura 2.3.1 – Existencia de Colmenas.



Elaboración Propia con base en datos de FAOSTAT (2021)

Así mismo, en el caso mexicano, empíricamente podemos observar que para el caso de la *Apis Mellifera* o la abeja de miel, existe un también un amplio decrecimiento en su

población. La Figura 2.3.1 muestra la serie de tiempo (1964-2020) para el *stock* disponible de colmenas de abejas disponibles en la economía para actividades apícolas. Al principio, la serie señala crecimiento de casi 200% en el acervo de colmenas en la industria, para luego experimentar un decrecimiento luego de un máximo de 2,690,500 en 1983. Así mismo, se puede notar la existencia de una media de 1,921,522 colmenas en existencia.

Este decrecimiento en la población de abejas de miel (controladas) parece ser persistente, hasta niveles por debajo de la media a principios de este siglo. De igual manera, se puede observar que a pesar de que la tendencia volvió a cambiar de dirección, no se han podido alcanzar niveles similares a los que había hasta antes del decrecimiento. Todo lo anterior nos podría hacer sospechar que, en México, también existe un decrecimiento en aquellos polinizadores que son controlados; apuntando a algún factor dentro de la industria apícola que provoca a los productores a disminuir sus escalas de producción.

De acuerdo a la FAO (2019), la razón del decrecimiento en la población de abejas es más bien un fenómeno multidimensional, la misma organización señala a factores como el cambio climático, el uso de pesticidas, la pérdida de biodiversidad, la contaminación y el intensivo incremento en las actividades agrícolas (referente al sector del uso de suelo). Así mismo, Sosenski y Domínguez (2017) argumentan que el riesgo que los servicios de polinización enfrentan también pueden ser explicados por la introducción de especies exóticas, añadiendo a lo mencionado por Guzmán-Novoa et al. (2011), lo que conlleva a la transmisión de enfermedades a las cuales las especies nativas no son resilientes, así como a la competencia entre polinizadores, como también lo mencionaban Parker (1981) y Kremen et al. (2004).

Añadiendo a lo mencionado por Sosenski y Domínguez (2017), Ramaswamy (2017) señala que también se pueden observar factores como el cambio climático, la destrucción en los hábitats naturales, relacionados a la administración de uso de suelo y el intenso uso de pesticidas. Puede ser ampliamente demostrado que los últimos dos factores están estrechamente relacionados con la producción agrícola tal como señala Schowalter (2022). Por parte de esta investigación, se tomó la ruta del Uso de Suelo; de esta manera, lo que se buscó es explicar cómo los cambios en la administración de Uso de Suelo por entidad federativa en México afectan a las poblaciones de abejas de miel (*Apis Mellifera*), en su segmento controlado, usando esta variable como un aproximado al servicio ecosistémico de la polinización, dados los hallazgos en la literatura previa que avalan el aporte de este servicio al bienestar humano.

2.4 Uso de Suelo y Polinización.

De acuerdo al Panel Intergubernamental para el Cambio Climático (IPCC por sus siglas en inglés) el Sector de Uso de Suelo engloba a todas las diferentes actividades económicas que impliquen la sustitución de biomasa por terreno enfocada a la producción económica, sea la provisión alimenticia (como la agricultura, la silvicultura o la ganadería), como la producción energética y la satisfacción de la vivienda, así como otros servicios tanto recreativos como educativos (IPCC, 2014). Desde la perspectiva de la economía, el sector de Uso de Suelo contiene en conjunto a otros sectores productivos, por ello su estudio ha tomado relevancia en las últimas décadas debido a la enorme importancia que este tiene sobre el bienestar humano y lo extremadamente sensible que este sector es al cambio climático (Crumpler et al. 2020)

Desde la perspectiva del Uso de Suelo, se encuentra evidencia -previa- mixta que es útil para determinar los resultados esperados para esta investigación. Por ejemplo, Kremen et al. (2002) encuentran que, en el contexto de los cultivos de sandía en California, Estados Unidos, la intensificación de la agricultura reduce las áreas naturales disponibles en los alrededores, lo que también reduce la disponibilidad de *Apis Mellifera*, disminuyendo así los rendimientos de dicho servicio ecosistémico. Meléndez et al. (2021) mencionan que la pérdida de diversidad de polinizadores puede ser ampliamente explicada por actividades humanas relacionadas a la industria agropecuaria, siendo que en todo el mundo alrededor del 40% de la superficie terrestre disponible es destinada a dicho sector.

Así mismo, Goulson et al. (2015) explican que, la intensificación de uso de suelo destinado a actividades humanas trae como principal consecuencia la pérdida de hábitats, lo que ya directamente reduce la población de polinizadores, incluyendo abejas de miel; sin embargo, también observa que la pérdida de hábitats también implica una disminución en la diversidad de la dieta de los insectos, lo que también explica el declive poblacional. Potts et al. (2010) explica que el mecanismo que relaciona a la intensificación de la agricultura con la pérdida de polinizadores es la disminución de la masa floral disponible para ellos, sin embargo, es posible también observar un efecto indirecto de uso de insecticidas en la agricultura.

Alexandre et al. (2020) menciona que los cambios en los insumos usados en la agricultura, como pesticidas, también tienen efectos sobre la población y desempeño de abejas de miel en la industria apícola, esto podría ser interpretado como un efecto indirecto de la intensificación agrícola. Ricketts et al. (2008) explican que los cultivos en regiones

tropicales tienden a ser mucho más susceptibles (o sensibles) a pérdidas en los hábitats naturales de ecosistemas; esto explicado por la distancia de los cultivos a áreas destinadas a vegetación natural: a mayor distancia, menor disponibilidad o diversidad de polinizadores. En contra parte, Winfree et al. (2007) menciona que, en el contexto de Nueva Jersey, Estados Unidos, la diversidad de polinizadores parecería acrecentarse en los campos agrícolas, así mismo, su estudio menciona una relación positiva, pero más pequeña con zonas urbanas de baja densidad de casas y una relación negativa con la cobertura forestal.

Carré et al. (2009) mencionan que, en el contexto europeo, la diversidad de polinizadores no pareció verse estadísticamente afectada por los cambios en el uso de suelo destinado a hábitats seminaturales, variable que capturaba la intensificación de la agricultura, no obstante, lograron observar que la diversidad de abejas sí tenía una relación estadísticamente significativa y positiva con los paisajes urbanos. Por otro lado, Cane et al. (2006) explica que las respuestas de los polinizadores a cambios de uso de suelo y la fragmentación de sus hábitats suelen ser bastante complejas y algunas veces no tan claras, no obstante, encuentran que algunas especies de abejas como la *Anthophora californica* responden positivamente a los procesos de urbanización. Finalmente, Bennett et al. (2020) encuentran que la urbanización acrecienta el problema de “limitación de polen” aportando al decremento de polinizadores afectando principalmente a aquellas especies que depende de especies específicas de polinizadores.

Sin embargo, a pesar de que en primera instancia se puede creer que la sustitución de áreas de vegetación natural por suelo agrícola puede ser perjudicial para los polinizadores, Kovács-Hostyánszki et al. (2017) muestra que las prácticas de intensificación ecológica de

la agricultura pueden ayudar a mitigar los efectos adversos del uso de suelo (particularmente el agrícola) sobre la abundancia de polinizadores salvajes, lo que señala que prácticas agrícolas sustentables pueden eliminar los efectos adversos de sustitución de suelos. Hill y Webster (1995) encontraron que la presencia de suelo forestal puede beneficiar a los polinizadores trayendo mayor complejidad y diversidad a sus ecosistemas, aumentando la producción de miel y polen; llevándonos a creer de manera lógica que también aumenta las poblaciones de abejas.

Bawa (1990) afirma que, en el contexto de países o regiones tropicales, la diversidad de árboles que también son florales, específicamente cacao o café, contribuye a la conservación de polinizadores de todo tipo, tanto silvestres como abejas domésticas; el autor menciona que la conservación de especies de árboles tropicales, así como de polinizadores trae consigo “mejores” interacciones de mutualismo. Klein et al. (2002) contribuyen a lo que menciona Bawa (1990) y afirman que la proximidad de las poblaciones de abejas a áreas forestales es plenamente benéfica para estas aumentando los rendimientos obtenidos de la polinización. Finalmente, Ricketts (2004) encontró que las tasas de visitación de polinizadores a cultivos, son considerablemente mayores cuando las poblaciones de polinizadores, en este caso la abeja de miel, está al menos 100 metros cerca de fragmentos de bosques.

Por último, desde el lado de los pastizales, Mayer (2004) encontró que, bajo un régimen intenso de pastizales en Sudáfrica, en otras palabras, amplias áreas de pastizales, pueden llegar a reducir la diversidad y abundancia de polinizadores. Desde otra perspectiva, Vanbergen et al. (2014) que, en el contexto del Reino Unido, el uso de suelo destinado a

pastizales puede aumentar la diversidad de flores y recursos florales de los que se benefician tanto polinizadores salvajes como controlados. Continuando con los forrajes, Lázaro et al. (2015) afirma, para el contexto del Mediterráneo, un nivel moderado de pastizales específicamente usados para el pasturaje puede aún mantener la complejidad de los ecosistemas florales sin afectar a especies de polinizadores e insectos visitantes. Por último, Di Giulio et al. (2001) mencionan que, en el contexto de Suiza, la siega de pastizales tendría un efecto directo en el aumento de la mortalidad de polinizadores, lo que de manera indirecta señalaría que los polinizadores se benefician de la presencia de forrajes.

2.5 Descubrimientos

Concluyentemente, esta sección sirvió para sostener las cuatro ideas fundamentales de este trabajo de investigación. En la subsección 2.1 se expuso que existe una alta dependencia de los rendimientos agrícolas hacia las especies de polinizadoras (Klein et al. 2007; Ollerton, et al. 2011; Bustamante, et al. 2014; Khalifa et al. 2021; Lippert et al. 2021). No obstante, se observó que esta relación puede variar (en magnitud) de un contexto a otro siendo afectada por factores como el tipo de cultivo, el clima o la región geográfica (Whittington et al. 2003; Baur y Wing, 2010; Calderone, 2012; Gibbs et al. 2015; Picanço et al. 2017; Majewski, 2018; Vrabcová y Hájek, 2020). Así mismo, se encontró que países con climas tropicales tienden a percibir mayores beneficios de la polinización, siendo México un claro ejemplo de esto (Olschewski et al. 2006; Allsopp et al. 2008; Basu et al. 2011; Estay, 2013; Fajardo et al. 2016; Lara-Pulido et al. 2022).

En segunda instancia, la sección 2.2 nos ayudó a clarificar que existe una estrecha relación entre polinizadores controlados y silvestres que puede, inclusive, mejorar los

beneficios que la polinización trae a la agricultura (Greenleaf y Kremen, 2006; Garibaldi et al. 2013; Stanley et al. 2018; Pinilla y Dáttilo, 2021). Sin embargo, cuando la presencia de la *Apis Mellifera* se vuelve dominante con una amplia concentración de colonias en los ecosistemas, esto puede traer consigo competencias entre polinizadores y escasez de polen empeorando la diversidad biológica de una zona (Kremen et al. 2004; Guzmán-Novoa et al. 2011; Urbanowicz et al. 2019). Como tercer momento, la sección 2.3 ayuda a comprender el declive de polinizadores y otras especies animales que países como México -y en general el Mundo- atraviesan (Azqueta et al. 2007; Cruz, 2019; Zattara y Aizen, 2021); habiendo evidencia de que este fenómeno podría ser el comienzo de una crisis ambiental y alimenticia sin precedentes (Kearns et al. 1998; FAO, 2019; Althaus et al. 2021).

Finalmente, siguiendo el camino propuesto por Sosenki y Domínguez (2017), Ramaswamy (2017) y Schowalter (2022), la sección 2.4 ayuda a formular el panorama en el cual se relaciona a la administración de Uso de Suelo en un determinado contexto y la disponibilidad de polinizadores. Se observó que para ciertos casos la intensificación (o aumento) de uso de suelo puede reducir áreas de vegetación natural empeorando así la disponibilidad de polinizadores como la *Apis Mellifera* (Kremen et al. 2002; Potts et al. 2010; Goulson et al. 2015; Alexandre et al. 2020; Meléndez et al. 2021). No obstante, para casos paralelos, esta relación anteriormente descrita puede ser nula o hasta positiva, siendo que campos agrícolas mejoran la diversidad de polinizadores (Winfrey et al; 2007, Carré et al. 2009; Kovács-Hostyánszki et al. 2017).

También se encontró evidencia de una relación positiva entre los polinizadores controlados y procesos de urbanización (Cane et al. 2006; Bennett et al. 2020). Relaciones

directas y de retroalimentación con áreas de vegetación natural debido a un aumento en diversidad vegetal y bosques (Bawa, 1990; Klein et al. 2002; Ricketts, 2004). Por último, relaciones, también positivas, entre visitantes de polen y pastizales cultivados, señalando a la siega de pastizales como altamente perjudicial (Di Giuio et al. 2001; Mayer, 2004; Vanbergen et al. 2014; Lázaro et al. 2015).

3. Metodología

3.1 Datos

Con el propósito de realizar el análisis empírico de esta investigación se recolectaron datos de las fuentes siguientes: 1) el Sistema Nacional de Información Sobre la Biodiversidad (SNIB) el cual es sostenido por el INEGI, 2) el Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP) y, 3) el Sistema de Información Agroalimentaria de Consulta (SIACON), los cuales son subdependencias de la SAGARPA. De la primera, siendo el caso de la administración de uso de suelo para las treinta y dos entidades federativas de la República Mexicana (las cuales son las unidades de análisis) se utilizaron datos recolectados del Portal de Geoinformación 2022 sostenido por el SNIB, la cual es una institución perteneciente a la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. No obstante, es de suma importancia especificar que dichos datos son medidos por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) de manera satelital en periodos irregulares de tres o cuatro años. Para este análisis se obtuvieron las respectivas matrices (o series) para los periodos 2007, 2011, 2014 y 2018 (siendo él último de recién publicación).

Cada serie de uso de suelo y vegetación cuenta con un archivo en formato *Shapefile* el cual fue importado a la versión 3.20 de QGis (Open Source Geospatial Foundation, 2008), con el propósito de calcular las áreas en kilómetros cuadrados de las superficies destinadas a cada tipo de uso. La desventaja de las series espaciales es que las formas de los polígonos correspondientes a cada uso (de suelo) no son necesariamente dependientes de la división política de la superficie total del país, por lo que fue necesario importar también un mapa

para México cuyos polígonos se adecuaban a la forma de los Estados de la República. El mapa de la división política de México fue obtenido de manera desde el portal de datos geográficos del INEGI, siendo estos actualizados por última vez en 2010.

De este modo se cortaron y disolvieron, según el tipo de uso de suelo, treinta y dos nuevos polígonos, que agrupaban a los ciento setenta y nueve mil seiscientos cuatro (179604) de las series originales, de los cuales se pudieron calcular las superficies en kilómetros cuadrados para todo tipo de uso de suelo utilizando la calculadora de atributos de QGis. Cabe mencionar que, el INEGI cuenta, en la sección correspondiente a uso de suelo y vegetación dentro de su portal, con los tabulados que recolectan esta información para la serie VI (correspondiente al año 2014), mientras que la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales cuenta con los tabulados para las series IV y V (2007 y 2011 respectivamente), sin embargo, estas contaban con notorios errores de medición que hicieron necesaria la repetición del proceso en QGis. Por otro lado, dado que la publicación de la serie VII es sumamente reciente, hasta el momento de la redacción de esta investigación, los tabulados oficiales no existían, por lo que para este caso la transformación manual de los datos es completamente justificada.

En segundo lugar, para los datos referente a la producción apícola y la disposición de colmenas de abejas de miel (*Apis mellifera*) se acudió al SIAP, el cual resume la producción pecuaria por entidad federativa (y a nivel municipal). De aquí, se obtuvieron datos anuales desde 2006 al 2020 para los treinta y dos Estados de la República lo que ayudó a constituir un panel de datos que al ser ensamblados con los datos de uso de suelo que conforman una sección cruzada agrupada con cuatro periodos temporales. Es importante mencionar que la

selección temporal de los datos para las variables pecuarias se hizo con base en la disposición temporal de datos de uso de suelo.

Como tercera fuente, para los datos sobre Producción Agrícola, se acudió al SIACON utilizando las mismas dimensiones temporales para las mismas unidades de estudio previamente especificadas. Solamente se recolectó información para la agricultura de riego y temporal que fuese de cielo abierto y que considerara todo el año agrícola, de esta manera, se trataba de amplificar el efecto de la polinización controlada y su interacción con otros polinizadores. Cabe mencionar que, siguiendo el principio de parsimonia, no se especificó un tipo de cultivos en particular, sino solamente su modalidad de riego.

Una vez obtenidos los datos, se ensambló una matriz de datos con 12 variables referentes a la producción apícola y 476 observaciones, el *stock* disponible de colmenas de abejas y los diferentes tipos de uso de suelo en México. La Tabla 3.1.1. muestra una descripción de las variables utilizadas en esta investigación, mientras que la Tabla 3.1.2 presenta las estadísticas descriptivas de dichas variables. En dicha tabla, se determinan las medias, desviaciones estándar, número de observaciones y valores tanto mínimos como máximos para todas las variables en niveles. Las transformaciones logarítmicas son por el momento omitidas de esta descripción.

En la Tabla 3.1.1., la variable COLM se refiere al número de colmenas disponibles para la apicultura. DENSIDAD se refiere a la versión normalizada de la disponibilidad de colmenas dividiendo a estas por el territorio total de sus estados correspondientes (Siendo la superficie total de cada estado también obtenida de los datos geográficos del INEGI). Estas representando a nuestras dos variables independientes, la primera que no descuenta el efecto

de sustitución de uso de suelo por magnitud de las entidades federativas, y el segundo que considera la “densidad de polinización” en cada estado.

Tabla 3.1.1 Descripción de las Variables

Variable	Tipo de Variable	Unidades de Medición	Periodo	Fuente
ESTADO	Cualitativa	No Aplicable	No Aplicable	INEGI
REGION	Catagórica	Norte, Occidente, Centro y Sur	No Aplicable	Centro de Estudios Espinosa Yglesias
COLM	Cuantitativa Continua	Colmenas de Abejas	2006-2020	SIAP
DENSIDAD	Cuantitativa Continua	Colmenas de Abejas por Kilómetro Cuadrado	2006-2020	Elaboración propia a partir de datos obtenidos del SIAP e INEGI
ACUICOLA	Cuantitativa Continua	Kilómetros Cuadrados	2007, 2011, 2014 y 2018	INEGI
HUMEDAL	Cuantitativa Continua	Kilómetros Cuadrados	2007, 2011, 2014 y 2018	INEGI
RIEGO	Cuantitativa Continua	Kilómetros Cuadrados	2007, 2011, 2014 y 2018	INEGI
TEMPORAL	Cuantitativa Continua	Kilómetros Cuadrados	2007, 2011, 2014 y 2018	INEGI
BOSQUE	Cuantitativa Continua	Kilómetros Cuadrados	2007, 2011, 2014 y 2018	INEGI
PASTIZAL	Cuantitativa Continua	Kilómetros Cuadrados	2007, 2011, 2014 y 2018	INEGI
HUMANO	Cuantitativa Continua	Kilómetros Cuadrados	2007, 2011, 2014 y 2018	INEGI
VEGETACIÓN	Cuantitativa Continua	Kilómetros Cuadrados	2007, 2011, 2014 y 2018	INEGI
AGRITOT	Cuantitativa Continua	Kilómetros Cuadrados	2007, 2011, 2014 y 2018	INEGI
BHA	Cuantitativa Continua	Kilómetros Cuadrados	2007, 2011, 2014 y 2018	INEGI

Elaboración propia.

La variable ACUICOLA se refiere a la extensión en kilómetros cuadrados de superficie terrestre destinada al cultivo de especies acuáticas (INEGI, 2017). Por HUMEDAL, nos referimos a agricultura que aprovecha la humedad de suelo

independientemente de los ciclos fluviales. RIEGO es la agricultura a la cual su aplicación de agua es meramente controlada por el agricultor (aspersión o goteo, por ejemplo). Finalmente, TEMPORAL hace referencia a la agricultura que depende solamente de los ciclos de lluvia, siendo esta la más abundante de las tres (INEGI, 2017).

La variable BOSQUE hace énfasis al uso de suelo destinado a los bosques exclusivamente cultivados, mientras que PASTIZAL, siguiendo la misma lógica, se refiere exclusivamente a pastizales cultivados (INEGI, 2017). Las seis variables anteriormente mencionadas hacen referencia a los seis diferentes tipos de agroecosistemas especificados en la Guía para la Interpretación de la Cartografía de Uso de Suelo publicada por el INEGI. De esta manera, se busca capturar el impacto de la manipulación antropocéntrica de la superficie terrestre del país sobre los procesos de polinización en la agricultura.

Tabla 3.1.2 Estadística Descriptiva.

Variable	Observaciones	Media	Desviación Estándar	Mínimo	Máximo
COLM	128	59941.86	71281.79	2028	394880
DENSIDAD	128	1.90503	2.531722	0.0525264	14.04899
ACUICOLA	128	35.31904	126.45	0	690.249
HUMEDAL	128	62.24415	152.3888	0	761.2235
RIEGO	128	3194.908	3119.259	37.47589	12089.81
TEMPORAL	128	7007.907	5703.734	4.155	23340.1
BOSQUE	128	21.67567	53.44917	0	339.676
PASTIZAL	128	4050.504	6495.932	0	30722.72
HUMANO	128	625.7225	352.1727	53.3339	1536.488
VEGETACION	128	45264.7	49395.09	480.1153	223744.3
AGRITOT	128	10202.82	7211.666	328.716	25422.92
BHA	128	119.2389	195.8253	0	769.4786

Elaboración Propia a partir de los datos utilizados Del INEGI y el SIAP (2007-2018).

Continuando con la descripción de las variables, HUMANO se refiere exclusivamente a asentamientos humanos de cualquier índole, siendo estos urbanos o rurales; VEGETACION se refiere a cualquier tipo de vegetación, natural o inducida, que no es directamente manipulada con propósitos agrícolas (INEGI, 2017). AGRITOT y BHA son variables fabricadas que reflejan exclusivamente la suma de la agricultura de tipo riego y temporal y la suma de la agricultura de humedad, suelo acuícola y bosques cultivados respectivamente, para poder determinar el efecto agregado de los cambios en el suelo agrícola sobre las variables apícolas; estas variables sirven para poder generalizar los cambios marginales, así como asegurar robustez estadística.

Es importante mencionar que, para un análisis exploratorio completo de los datos que se utilizaron en esta investigación no es suficiente con observar los promedios aritméticos de las variables, en específico para aquellas que corresponden a la actividad apícola del país. Lo anterior porque, como se puede observar en la Tabla 3.1.2 no todas las entidades federativas cuentan con un amplio nivel de producción o *stocks* disponibles de colmenas de abejas del mismo tamaño. De manera más puntual, se puede observar la notoria existencia de una región de especialización para la producción de miel que engloba, en términos brutos, el volumen de toneladas producido en promedio de los años 2007 al 2018.

Los intervalos con los que se graficaron los mapas se formularon mediante un análisis de cuartiles, en donde se organizan los datos de menor a mayor para así formar grupos de individuos que contengan, cada uno, el 25% de las observaciones. De ese modo, se puede observar que se forman grupos por regiones en las cuales es más abundante la existencia de colmenas de abejas de miel (por ejemplo, los estados del Sur que pertenecen al cuarto cuartil).

Esto nos podría traer indicios o pistas de la necesidad de controlar en nuestra especificación econométrica por efectos fijos de región.

Figura 3.1.1. Mapa Ilustrativo de la Producción Apícola en México



Fuente: Elaboración Propia con datos del SIAP

A partir de esto, y con base en el Plan de Movilidad Social del Centro de Estudios Espinosa Yglesias (CEEY, 2019) se construyeron cuatro regiones que toman en cuenta, más allá de las características económicas que podrían englobar decisiones de producción rural y agrícola, características espaciales que podrían modificar la relación de causalidad que existe entre la población de abejas de miel y el uso de suelo. De esta manera, se buscó controlar para ciertos efectos fijos de carácter geográfico y climatológico incluyendo en las regresiones

una variable categórica haciendo referencia a las anteriormente mencionadas regiones. La Tabla 3.1.3. muestra a las cuatro regiones y qué Entidades Federativas son las que la conforman; estas no son necesariamente homogéneas en el sentido de que todas cuentan con la misma cantidad de individuos, esto porque las consideraciones geográficas tienden a “obligar” a ciertos Estados a pertenecer a determinada región.

Tabla 3.1.3. Categorización de los Estados por Regiones.

Centro		Norte		Occidente		Sur	
Estado	Freq.	Estado	Freq.	Estado	Freq.	Estado	Freq.
Ciudad de México	15	Baja California	15	Aguascalientes	15	Campeche	15
Guanajuato	15	Baja California Sur	15	Colima	15	Chiapas	15
Hidalgo	15	Chihuahua	15	Jalisco	15	Guerrero	15
Morelos	15	Coahuila	15	Michoacán	15	Oaxaca	15
México	15	Durango	15	Nayarit	15	Quintana Roo	15
Puebla	15	Nuevo León	15	San Luis Potosí	15	Tabasco	15
Querétaro	15	Sinaloa	15	Zacatecas	15	Veracruz	15
Tlaxcala	15	Sonora	15			Yucatán	15
		Tamaulipas	15				
Total	120	Total	135	Total	105	Total	120

Fuente: Elaboración Propia con base a Plan de Movilidad Social del CEEY (CEEY, 2019)

Siguiendo una lógica similar, también se buscó categorizar a los Estados dependiendo de su variedad de uso de suelos. Con esto se obtuvieron tres grupos principales en los que se realizará este estudio. El primer conjunto (G1) se refiere a los estados que cuentan con Agricultura de Temporal y/o de Riego sin tomar en consideración su distribución de otros usos; en conjunto la sección cruzada agrupada que se crea cuenta con 128 observaciones. El segundo subconjunto (G2) contiene a los estados con Agricultura de Temporal y/o Riego que además cuente con Pastizales y alguna de los tres Usos de Suelo adicionales determinados en la Tabla 3.1.1 (Bosques Cultivados, Agricultura de Temporal o Suelo Acuícola).

Excluyendo a Aguascalientes, Morelos, Nuevo León, Tlaxcala y Zacatecas se obtuvo una sección cruzada agrupada de 103 observaciones. Finalmente, el último subconjunto (G5) engloba a todos los estados que cuenten con todos los usos de suelo en conjunto (los más diversos), construyendo así una sección cruzada agrupada de 51 observaciones luego de excluir 16 de los 32 estados de la muestra (Véase Anexo 7.1).

El Anexo 7.1 resume lo anteriormente explicado determinando los cinco subconjuntos de estados que cuentan con los usos de suelo previamente especificados. Esta categorización, aunque no sea explícita en las regresiones debe ser considerada por dos razones principales: La primera porque determina un conjunto predeterminado de Entidades Federativas que comparten características de uso de suelo en común y que, implícitamente, cuentan con características geográficas que pueden ser comparables al momento del análisis, a modo de efectos fijos por región. La segunda, para poder contrastar los resultados de los modelos econométricos realizados en esta investigación, con estudios que se hayan hecho previamente y que toman en cuenta una amplia diversidad de factores que afectan a la población de abejas de miel en una economía.

Ya que se determinó de manera formal la categorización de los subconjuntos de estados, a continuación, se buscó identificar si existen relaciones (correlaciones) entre las variables objetivo y las variables explicativas. De esta manera se usan tres diferentes pruebas de correlación para determinar relaciones lineales (ρ de Pearson) y no lineales (ρ de Spearman o la τ de Kendall A pesar de presentar a las variables en base logarítmica, apreciamos la utilización de coeficientes de correlación no lineales para identificar si existen (o puede ser preocupante) otro tipo de relación entre nuestras variables. Siendo que, para la

estimación de modelos de la familia de los Mínimos Cuadrados Ordinarios nosotros hacemos el supuesto de funciones estrictamente lineales (Wooldridge, 2019).

Podemos notar que existen variables que comparten un coeficiente de correlación no lineal bastante elevado (inclusive más que el lineal), y notando también que ningún coeficiente es cero, tenemos indicios para afirmar, para futuras investigaciones deberíamos tomar en cuenta técnicas de estimación que relajen el supuesto de linealidad. En la Tabla 3.1.4 se observan los coeficientes de correlación para las dos variables de interés (colmenas y su densidad por kilómetro cuadrado en base logarítmica) respecto a las variables de uso de suelo de interés. Dentro de la tabla anterior se puede observar que existen coeficientes que cambian de signo dependiendo de la manera en que estos son presentados.

Tabla 3.1.4. Correlaciones de Pearson, Spearman y Kendall

Variables	Pearson		Variables	Spearman		Variables	Tau de Kendall	
	DENSIDAD	COLM		DENSIDAD	COLM		DENSIDAD	COLM
ACUICOLA	-0.024	0.153	ACUICOLA	0.028	0.252	ACUICOLA	0.121	0.242
HUMEDAL	0.599	0.717	HUMEDAL	0.455	0.483	HUMEDAL	0.273	0.333
RIEGO	-0.181	0.118	RIEGO	-0.280	-0.007	RIEGO	-0.212	-0.091
TEMPORAL	-0.474	-0.259	TEMPORAL	-0.532	-0.434	TEMPORAL	-0.273	-0.212
BOSQUE	0.335	0.052	BOSQUE	0.350	0.049	BOSQUE	0.364	0.182
PASTIZAL	-0.324	-0.322	PASTIZAL	-0.385	-0.385	PASTIZAL	-0.303	-0.182
HUMANO	-0.323	-0.065	HUMANO	-0.259	-0.077	HUMANO	-0.121	0.000
VEGETACION	0.450	0.655	VEGETACION	0.455	0.657	VEGETACION	0.242	0.424

Fuente: Elaboración Propia

La presencia del fenómeno previamente mencionado es la justificación de porque adicional al *stock* absoluto de colmenas por Entidad Federativa se utiliza una versión normalizada (o su densidad por kilómetro cuadrado) de la respectiva variable, pero por kilómetro cuadrado, utilizado la superficie total de cada Estado. Lo anterior porque, parecería

muy natural observar que aquellos Estados con mayor superficie tengan mayor extensión de todos los usos de suelo, mientras que Entidades productoras de miel de abeja (Véase la Figura 3.1.1) cuenten con un *stock* de colmenas más grande. De este modo, dichos estados podrían estar “arrastrando” las relaciones positiva o negativamente dependiendo del caso, lo cual haría menos confiables a nuestras estimaciones desde una perspectiva teórica.

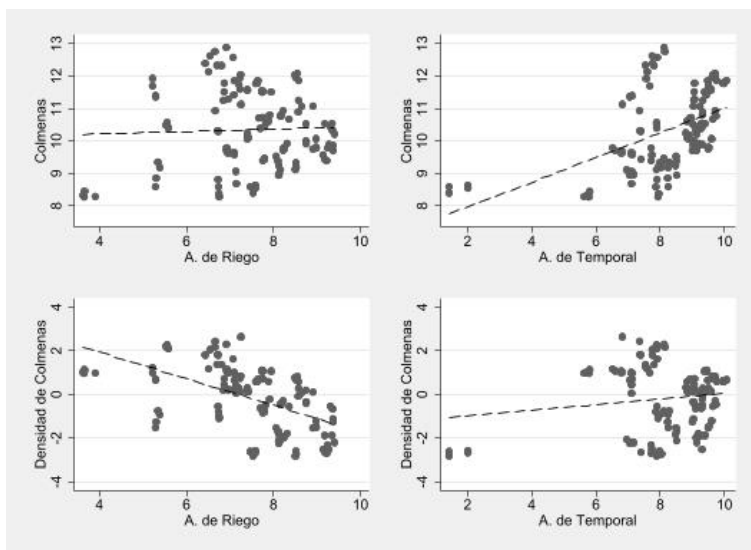
Adicionalmente, utilizando la densidad poblacional de colmenas por kilómetro cuadrado, tratamos de capturar una especie de “efecto directo” de los distintos usos de suelo en el *stock* disponible de colmenas de abejas. Esto, con el sentido de que la superficie territorial de cada Estado es constante (por lo menos en nuestro periodo de estudio) y solamente estaríamos capturando cambios en la “intensidad” de polinizadores que hay en cada entidad. Sin embargo, tampoco se busca descartar ninguna de las dos formas de comprender estas relaciones pues ambas nos permiten observar el mismo fenómeno desde dos perspectivas importantes e interesantes. Siendo así, aún utilizamos al número (total) de colmenas de abeja para tratar de capturar la sustitución entre diferentes tipos de uso de suelo (a modo de un efecto total) dada la restricción de territorio.

De esta manera, se hipotetizan dos tipos de relaciones; la relación “total”, capturada por el uso de suelo en sí mismo, señalando que un aumento en el uso de suelo destinado a la agricultura creará una sustitución entre otros tipos de uso de suelo lo cual tendría un impacto, en dos sentidos, sobre el *stock*. Y la directa, la cual se vería reflejada en la densidad de colmenas siendo que, un aumento en el uso de suelo destinado a la agricultura provocaría que se requiera o produzca una mayor demanda de colmenas de abejas lo que aumentaría su disponibilidad. Esto podría ser una posible explicación a porque los coeficientes de

correlación de la Tabla 3.1.4 suelen ser mayores (o menores) dependiendo de la variable dependiente que utilicemos.

Ya que se tomó en cuenta que las relaciones entre variables se construyen en su base logarítmica (para controlar para relaciones polinomiales) la Figura 3.1.2, muestra los gráficos de dispersión, con su respectiva línea de ajuste, para las dos versiones de nuestra variable dependiente respecto a nuestras dos principales variables explicativas correspondientes al uso de suelo agrícola. En los dos segmentos superiores se pueden observar relaciones que no son tan claras y podríamos asumir que no existe algún tipo de correlación, sin embargo, se puede observar la presencia de valores atípicos o “*outliers*” en el gráfico. La observación nos hace apuntar a la existencia de un Estado (Véase el Anexo 7.2) con un *stock* de colmenas bastante inferior y que además cuenta con una extensión de suelo también, muy pequeña.

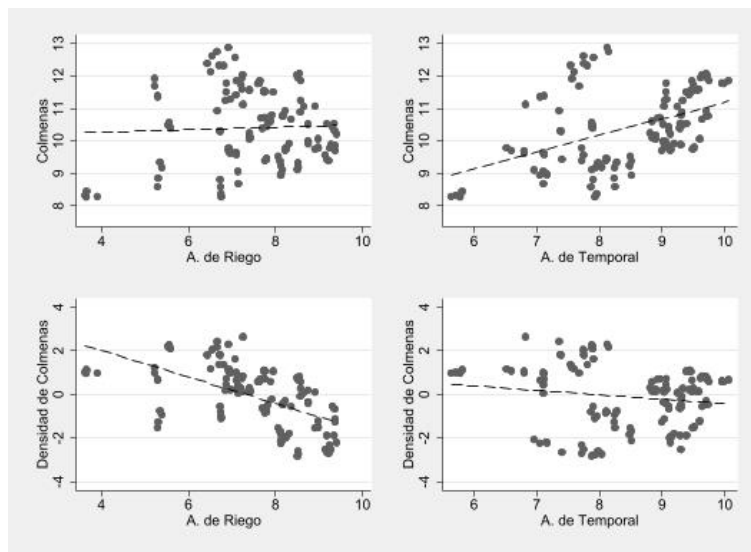
Figura 3.1.2. Gráficos de Dispersión entre variables independientes y explicativas.



Elaboración Propia

Para identificar a dicha Entidad Federativa causante de los valores atípicos se realizó un gráfico de caja, el cual funciona a manera de una distribución excluyendo de la “caja” a todos aquellos valores que caen muy por fuera de la primera desviación estándar. En el apéndice 7.2 se puede observar dicho diagrama identificando que, para la Agricultura de Temporal, Baja California Sur cuenta con observaciones muy alejadas de su media y muy por fuera del intervalo formulado por una desviación estándar, por lo que este fue el Estado eliminado de la muestra. Para la Agricultura de Riego, parece ser que la Ciudad de México también podría ser considerado un valor atípico, no obstante, al ser eliminado esto no afecta las tendencias de las relaciones entre nuestras variables por lo que para mantener la mayor cantidad de observaciones posibles este Estado no fue retirado.

Figura 3.1.3. Gráficos de Dispersión entre las principales variables independientes y explicativas luego de corregir por *outliers*.



Elaboración Propia

Haciendo referencia a la Figura 3.1.3. es importante observar el cambio de signo en la relación entre la Agricultura de Temporal (a su nivel logarítmico) y la Densidad de Colmenas por la extensión territorial de su respectivo Estado. De esta manera, se justifica la eliminación de los valores poco comunes de la estimación. Desde la perspectiva individual de la realización de este trabajo, se cree que se añadirá robustez a las estimaciones para capturar las relaciones verdaderas entre las variables a costa de solamente un pequeño porcentaje de las observaciones. Mediante un análisis gráfico, se observa que la relación “total” entre uso de suelo y disponibilidad de colmenas es positiva, lo que implica que el hecho de aumentar el uso de suelo agrícola en cada entidad, tiene un efecto de sustituibilidad tal que incrementa la existencia de poblaciones de abejas. Por otra parte, se evidencia que el efecto “directo” sería negativo, lo que implica que un mayor uso de suelo agrícola disminuye la densidad de colmenas por kilómetro cuadrado.

3.2 Modelo de Regresión

Dado en análisis exploratorio presentado en la sección anterior, se especificó una relación, de carácter lineal (en base logarítmica) mediante Mínimos Cuadrados Ordinarios, entre la disponibilidad de polinizadores en la economía, utilizando como variable proxy al *stock* de colmenas de abejas (en su versión absoluta y su densidad por kilómetro cuadrado), y la administración de uso de suelo por entidad federativa (siendo estas nuestra unidad de estudio), especificadas en la Tabla 3.1.1. Para ello, se propone la estimación de las siguientes dos ecuaciones:

$$Colmenas_{it} = \beta_0 + \beta_1 Agricultura_{it} + \sum_{k=1}^K \beta_k X_{kit} + \gamma_1 REG_i + \lambda_t + \mu_{it} \quad (1)$$

$$Densidad_{it} = \alpha_0 + \alpha_1 Agricultura_{it} + \sum_{k=1}^K \alpha_k X_{kit} + \varphi_1 REG_i + \lambda_t + \mu_{it} \quad (2)$$

donde $Agricultura_{it}$ hace referencia al uso de suelo exclusivo para la agricultura de riego y/o temporal (RIEGO Y TEMPORAL en la Tabla 3.1.1) para la entidad “i” en el año “t”; $\sum_{k=1}^K \beta_k X_{kit}$ se refiere al set de covariables referentes a usos de suelo adicionales (también referenciados en la Tabla 3.1.1), pero cuyo efecto NO es prioritario en las estimaciones; REG_i se refiere a una variable categórica que describe la región a la cual pertenece cada entidad; λ_t son efectos fijos por tiempo, refiriéndose a constantes no-observables y exclusivas para cada Estado que podrían afectar la estimación del coeficiente de interés; finalmente μ_{it} se refiere a un término de aleatorio el cual se asumió sigue un proceso de ruido blanco. Lo anterior promueve intuir que se estimarán dos veces los modelos de nuestras variables dependientes: dos para cada variable explicativa.

De esta manera, esperaríamos observar la existencia de una relación tal que la administración del sector de uso de suelo a nivel estatal en México transforme la distribución, abundancia y densidad de polinizadores controlados. Siendo así, se intuye que una mayor intensidad de uso de suelo agrícola deteriore la población de *Apis Mellifera*; lo anterior sujeto a que distintos tipos de uso agrícola traigan distintas consecuencias para la diversidad de especies en los ecosistemas mexicanos y por ende los polinizadores, tal como se leyó en la sección 2.4 de este texto. Por otro lado, también esperaríamos observar que la vegetación natural fuese el uso de suelo “alternativo” que beneficiase de manera directa a polinizadores tanto controlados como silvestres.

Nuestra hipótesis (estadísticamente y matemáticamente) señala que esperaríamos que nuestros resultados arrojen las siguientes relaciones entre diferentes usos de suelo y la población de polinizadores controlados: 1) Relación ambigua (positiva o negativa) entre la agricultura y la población de colmenas dependiendo del tipo de riego empleado en dicho uso tal como lo mencionan Kremen et al. (2002), Potts et al. (2010), Goulson et al. (2015), Alexandre et al. (2020) y Meléndez et al. (2021). 2) Relación positiva con el uso de suelo correspondiente a asentamientos urbanos de cualquier tipo (esto debido a la poca especificación de los datos disponibles) tal como se observa en Cane et al. (2006) y Bennett et al. (2020). 3) Relación positiva con el uso de suelo destinado a bosques cultivados y vegetación natural (Bawa, 1990; Rickets, 2004). Y finalmente 4) Relación ambigua con el uso de suelo destinado a pastizales (Vanbergen et al. 2014; Lázaro et al. 2015).

A partir de las estimaciones, adicional al comúnmente utilizado R cuadrado ajustado (el cual NO es muy informativo en el contexto de secciones cruzadas agrupadas), se utilizarán como criterios de bondad de ajuste al Criterio de Información de Akaike (1973) y el Criterio de Información Bayesiano (Schwartz, 1978). De esta manera, para fines de discutir los resultados solo se trabajó con los coeficientes del mejor modelo estimado (dados los criterios anteriores los cuales se pueden consultar en los Anexos 7.7 al 7.9). Cabe (volver a) enfatizar que con el propósito de “linealizar” el modelo, se trabajó con todas las variables en forma logarítmica; siendo el caso, los coeficientes estimados resultarán en las elasticidades parciales (Gujarati y Porter, 2008). En otras palabras, los coeficientes representan los cambios porcentuales de la variable dependiente respecto a cambios porcentuales de las variables explicativas.

Continuando, es importante señalar que también se construyeron los coeficientes de correlación de Pearson, la ρ de Spearman y la τ de Kendall para las covariables (Anexo 7.3 a 7.5) y así poder observar si existen relaciones (significativas) entre ellas y, de esta manera, poder tomar en cuenta el problema de multicolinealidad en el modelo. Así mismo, en el Anexo 7.6 observamos los Factores de Inflación de Varianza producto de la multicolinealidad entre las variables dependientes. No obstante, no existe ninguna relación que sea lo suficientemente alta que podría generar alguna preocupación en la estimación del modelo, dado que ningún FIV es mayor a 10 (Gujarati y Porter, 2008).

Finalmente, para no tener preocupaciones por problemas de heteroscedasticidad y autocorrelación en las regresiones y asegurar que los coeficientes estimados no presenten problemas de eficiencia, se utilizan errores estándar robustos o errores estándar de Eicker–Huber–White los cuales corrigen los errores estándar obtenidos de la regresión original para así evitar la ineficiencia en los “betas” obtenidos (Kleiber y Zeileis, 2006). Aún siendo el caso, también cabe la posibilidad de que la técnica econométrica no siempre sea la más adecuada para nuestro contexto. No obstante, de manera inicial y con propósito exploratorio, se cree que utilizar Mínimos Cuadrados Ordinarios (Agrupados) basta para encontrar resultados satisfactorios para sostener nuestra hipótesis.

4. Resultados y Discusión

4.1 Resultados

Una vez descrita la especificación de las ecuaciones a estimar, se presentan los resultados de dichas estimaciones realizadas en Stata 15.1 (StataCorp, 1985) mediante mínimos cuadrados ordinarios. Para cada variable dependiente se realizan tres especificaciones diferentes que hacen referencia a los tres subconjuntos fundamentales (G1, G2 Y G5) previamente especificados en el Anexo 7.1. Así las tablas 4.1.1, 4.1.2 y 4.1.3 muestran las diferentes variaciones del modelo utilizando nuestra principal variable explicativa: el uso de suelo enfocado en la agricultura, además del resto de covariables para su subconjunto correspondiente de Entidades Federativas.

Para dichas tablas los coeficientes que estén remarcados son aquellos, al menos, significativos al 90% (un asterisco para 90%, dos para 95% y tres para 99% o más). Es importante recordar que, dado un intervalo de confianza, la significancia estadística nos devela cual es la probabilidad de no estar cometiendo un error del tipo II: no rechazar la hipótesis nula en el caso de que esta sea falsa. Siendo para nuestras pruebas de significancia las hipótesis nulas establecen que β_1 y α_1 para las ecuaciones 1 y 2 sean coeficientes iguales a cero, mientras que las hipótesis alternativas buscan probar que dichas estimaciones son distintas a cero (Gujarati y Porter, 2008).

De esta manera, cada columna de dichas tablas resume los resultados que captura las elasticidades de diferentes especificaciones de uso de suelo sobre el *stock* de colmenas para su respectivo conjunto de Estados. Los coeficientes son elasticidades parciales que encasillan

relaciones específicas para un subconjunto de Entidades Federativas correspondiente con características similares entre sí. Lo anterior abre la puerta a que se crea que las elasticidades son globales, cuando en realidad son locales; esto debido a la naturaleza de la administración de uso de suelo específica para cada Estado. Es necesario enfatizar en la utilidad de presentar las mismas regresiones para las dos variables independientes en esta investigación; siendo que, el efecto “directo” del uso de suelo se vería sobre la densidad de polinizadores controlados, mientras que el efecto “total” incluiría esos factores, no capturados, de la sustitución entre tipos de suelo al no controlar por el tamaño de cada Estado.

Tabla 4.1.1. Estimaciones del Impacto del Uso de Suelo para el Conjunto 1

Variables	Grupo 1							
	COLMENAS				COLMENAS POR KILOMETRO CUADRADO			
	1	2	3	4	1	2	3	4
AGRITOTAL			0.320***				0.023	
RIEGO	0.394***			0.318***	0.208**			0.280**
TEMPORAL		0.259***		0.113		0.023		-0.105
HUMANO	0.278*	0.303*	0.296*	0.266*	0.202	0.246	0.247	0.213
PASTIZAL								
BHA								
BOSQUE								
HUMEDAD								
VEGETACION	0.122	0.216**	0.182*	0.106	-0.515***	-0.403***	-0.403***	-0.500***
C	4.651***	4.290***	4.032***	4.464***	2.479**	2.500**	2.490**	2.653***
Efectos de Tiempo	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
Efectos por Region	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI
N	124	124	124	124	124	124	124	124
R2	0.631	0.613	0.615	0.635	0.720	0.711	0.711	0.723
R2ADJ	0.612	0.593	0.595	0.613	0.706	0.696	0.696	0.706
AIC	278.170	284.118	283.532	278.774	287.391	291.569	291.594	288.259
BIC	297.912	303.860	303.274	301.336	307.132	311.311	311.336	310.821

Legend: * p<0.1; ** p<0.05; *** p<0.01

Elaboración Propia

Entonces, regresando a la Tabla 4.1.1, se observa que los efectos de los cambios de uso de suelo de agricultura de riego sobre la densidad de colmenas por entidad federativa oscilaban entre 0.208 y el 0.280% por cada punto porcentual de aumento en dicho uso. En el caso del Conjunto 1, el efecto de la agricultura de temporal es prácticamente nulo siendo que no es estadísticamente significativo bajo ninguno de los niveles de significancia. Adicionalmente, parece ser que el efecto conjunto (agricultura total) de los dos tipos de agricultura resulta no ser significativa cuando se analiza su efecto sobre colmenas por kilómetro cuadrado.

Si no controláramos para el tamaño de cada Estado, la agricultura de riego afectaría a la población de polinizadores (controlados), aún de manera positiva y significativa con un rango entre 0.310 y 0.394% por cada aumento porcentual. Sin embargo, para el caso de la agricultura de temporal la relación no parece ser lo bastante concluyente, esto porque dependiendo de la especificación esta es significativa o no; aunque, si tomamos en cuenta una de nuestras estimaciones, la relación sería positiva oscilando entre el 0 y el 0.259%. Finalmente, el efecto de la agricultura en su totalidad sobre nuestra variable objetivo es positivo, significativo al 99% y con valor del 0.32% por cada punto porcentual extra en el uso de suelo destinado a la producción agrícola.

Cabe entonces hacer dos observaciones referentes a la Tabla 4.1.1: la primera, que el hecho de que la agricultura, en general, tenga un efecto positivo en ambas variables podría ser primeramente explicado con que, hay una especie de beneficio entre la agricultura y la existencia de abejas en una economía, como mencionan Winfree et al (2007), Carré et al. (2009) o Kovács-Hostyánszki et al. (2017). La segunda, que al observar el cambio de signo

para el uso de suelo especificado para la vegetación natural debería ser un indicio de que, en términos absolutos las poblaciones de abejas son beneficiadas por la existencia de flora salvaje en un estado en específico, tal como señalan Klein et al. (2002) y Ricketts (2004). No obstante, esto podría traer consigo que la polinización controlada (o la apicultura en sí) cuente con mayores espacios para desempeñarse lo que reduce la “densidad poblacional”.

Siguiendo la retórica anteriormente explicada, pero ahora para el Subconjunto 2 de individuos, se puede revisar la Tabla 4.1.2 la cual resume los resultados de dichas estimaciones. Lo primero a observar es que la magnitud de los coeficientes, por lo menos para la agricultura de riego, fueron amplificadas al reducir el tamaño de la muestra. Sin embargo, en ambos casos siguen siendo positivos y significativos al 99%, con rangos entre 0.230 y 0.411% para el efecto sobre la densidad de polinizadores y 0.403 y 0.431% para el “efecto total” sobre las colmenas en términos absolutos.

Lo que de nuevo resulta intrigante es que, dependiendo de la especificación los efectos del uso de suelo de temporal sobre la población de abejas de miel (controladas) el intervalo de confianza referente a los estimadores se vuelve cada vez más ancho, incrementando la probabilidad de cometer un error al rechazar la hipótesis nula. Lo anterior puede ser explicado por la presencia de multicolinealidad entre nuestras variables de control, debido al Factor de Inflación de Varianza (véase el Anexo 7.6) responsable de “acrecentar” los errores estándar de los estimadores. Esto hace más complejo lograr obtener conclusiones; ya que el mismo fenómeno puede ser señalado para los dos tipos de agricultura en su conjunto que solamente cuenta con coeficientes menores en comparación del Conjunto 1 y con intervalos de confianza más amplios (con un valor del 0.195%).

Tabla 4.1.2. Estimaciones del Impacto del Uso de Suelo para el Subconjunto 2

Variables	Grupo 2							
	COLMENAS				COLMENAS POR KILOMETRO CUADRADO			
	1	2	3	4	1	2	3	4
AGRITOTAL			0.195*				-0.061	
RIEGO	0.403***			0.431***	0.230**			0.411***
TEMPORAL		0.165**		-0.034		-0.032		-0.222*
HUMANO	0.691***	0.704***	0.709***	0.698***	0.585***	0.639***	0.645***	0.634***
PASTIZAL	0.039	0.053**	0.050*	0.040	0.018	0.038	0.041	0.026
BHA	-0.109**	-0.070	-0.080	-0.110**	-0.130**	-0.101*	-0.097*	-0.139***
BOSQUE								
HUMEDAD								
VEGETACION	0.183*	0.366***	0.346***	0.183*	-0.431***	-0.261**	-0.244**	-0.436***
C	1.266	0.812	0.708	1.314	-0.840	-1.002	-0.955	-0.522
Efectos de Tiempo	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
Efectos por Region	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI
N	99	99	99	99	99	99	99	99
R2	0.766	0.739	0.738	0.766	0.755	0.744	0.745	0.766
R2ADJ	0.745	0.716	0.714	0.742	0.733	0.721	0.722	0.742
AIC	197.133	207.800	208.351	199.008	215.147	219.251	219.074	212.568
BIC	220.489	231.157	231.707	224.959	238.503	242.607	242.430	238.519

Legend: * p<0.1; ** p<0.05; *** p<0.01

Elaboración Propia

El interés de hacer la estimación sobre diferentes subconjuntos es que se permite la añadidura de usos de suelo adicionales, en este caso (y posteriormente en lectura para el Subconjunto 5), es poder descubrir que para los usos de suelo diversificados (Bosques, Agricultura de Humedad o Suelo Acuícola), los efectos son significativos y negativos en ambos casos, lo que implica que severamente estos pueden reducir la población de polinizadores controlados, No obstante, se puede observar la relación previamente descrita para la vegetación natural permanece “intacta”. Lo que de hecho resulta sorprendente cuando, para el Subconjunto 5 de individuos, dicha relación se “rompe”, tal como se puede observar en la Tabla 4.1.3 que repite los dos ejercicios previamente explicados.

Tabla 4.1.3. Estimaciones del Impacto del Uso de Suelo para el Subconjunto 5

Variables	Grupo 5							
	COLMENAS				COLMENAS POR KILOMETRO CUADRADO			
	1	2	3	4	1	2	3	4
AGRITOTAL			-0.348**				-0.607***	
RIEGO	0.049			0.623***	-0.196			0.462**
TEMPORAL		-0.417***		-0.842***		-0.650***		-0.965***
HUMANO	0.560**	0.891***	0.822***	0.978***	0.370	0.784***	0.723***	0.849***
PASTIZAL	0.185***	0.272***	0.247***	0.289***	0.159***	0.266***	0.238***	0.278***
BHA								
BOSQUE	-0.040	-0.054	-0.048	-0.075*	-0.023	-0.048	-0.039	-0.064*
HUMEDAD	0.106*	0.151***	0.151***	0.058	0.117**	0.131**	0.138**	0.062
VEGETACION	0.951***	1.009***	1.022***	0.768***	0.564***	0.534***	0.562***	0.355***
C	-3.615*	-2.631	-2.734	-1.79	-6.848***	-5.381***	-6.848***	-4.757***
Efectos de Tiempo	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
Efectos por Region	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI
N	51	51	51	51	51	51	51	51
R2	0.815	0.848	0.837	0.815	0.688	0.806	0.786	0.841
R2ADJ	0.774	0.814	0.801	0.774	0.620	0.763	0.739	0.801
AIC	84.908	74.962	78.489	61.585	87.315	63.130	68.214	54.962
BIC	104.226	94.280	97.807	82.835	106.634	82.448	87.532	76.213

Legend: * p<0.1; ** p<0.05; *** p<0.01

Elaboración Propia

Lo que se vuelve interesante es que, acotando la muestra a la mitad, el efecto del uso de suelo de riego comienza a presentar problemas respecto a los errores estándar de acuerdo al tipo de especificación, sin embargo, podríamos ser medianamente conclusivos apuntando a que la relación permanece positiva, (salvo en el caso del efecto sobre la densidad de colmenas) con valores otra vez amplificados del 0.462% y 0.623%. Lo nuevo es que, la agricultura de temporal parecería tener un efecto negativo para este subconjunto de Estados, lo que implicaría que, un aumento del 1% en dicho tipo de uso de suelo reduce entre 0.650 y 0.965% la densidad poblacional de colmenas, mientras que a su vez reduce en 0.417 y 0.842% la población en términos absolutos. Este resultado es revelador cuando se toma en

cuenta que según datos del SIAP (2020) este es el tipo de agricultura más utilizado en todo el país.

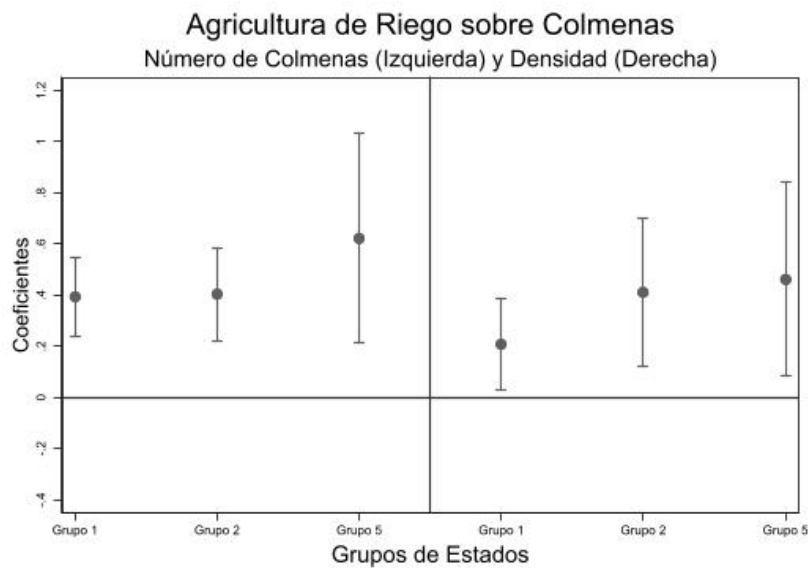
Asimismo, se puede rescatar que, para el último subconjunto de estados, los efectos sobre la población de abejas por parte de la vegetación natural, los pastizales y, en ciertos casos la agricultura de humedad, aparentan ser considerablemente positivos logrando contrastar el efecto negativo de la agricultura de temporal, tal como señalan autores como Klein et al. (2002), Ricketts (2004), Vanbergen et al. (2014) y Lázaro et al. (2015). Consecuentemente, estos resultados podrían (más no es concluyente) sugerir que los métodos de riego en la agricultura también tienen un papel importante en la determinación de la población de polinizadores en una economía, rescatando a Carré et al. (2009) y Kovács-Hostyánszki et al. (2017).

No obstante, cabe recalcar que, debemos ser absolutamente cuidadosos con las estimaciones y no aseverar que las diferencias entre las elasticidades (dependiendo de la forma de la variable dependiente) deberían ser estadísticamente iguales a los efectos indirectos que no se cuentan al no controlar por el tamaño de cada Estado. En otras palabras, no por restarle una “elasticidad de efecto directo” a una “elasticidad de efecto total” implica que estamos obteniendo el valor de los valores indirectos, para ello, se deberían realizar otro tipo de estimaciones estadísticas las cuales fueron omitidas en esta investigación. Sin embargo, esas diferencias entre los coeficientes estimados también sirven para justificar el porque se presentan los resultados de ambas especificaciones econométricas.

Finalmente, con el propósito de un mejor entendimiento de los resultados, las Figuras 4.1.4.1 y 4.1.4.2 retoman los resultados y valores de las estimaciones de los “mejores

modelos” de acuerdo a los criterios de selección que se comentaron previamente, para así ofrecer mayor comprensión sobre los efectos de la agricultura en la población de abejas. De esta forma, ambos gráficos también señalan que, en términos estadísticos, nuestra hipótesis fue parcialmente comprobada dado que acertamos al signo de la relación para los efectos sobre la población (absoluta) de abejas de miel, pero no fue el caso para la densidad de colmenas, lo que implica la posibilidad de que haya algún factor no cuantificado que desenlaza lo que se observa en la Figura 3.1.2 y nuestras estimaciones.

Figura 4.1.4.1 Estimaciones Puntuales para la Agricultura de Riego

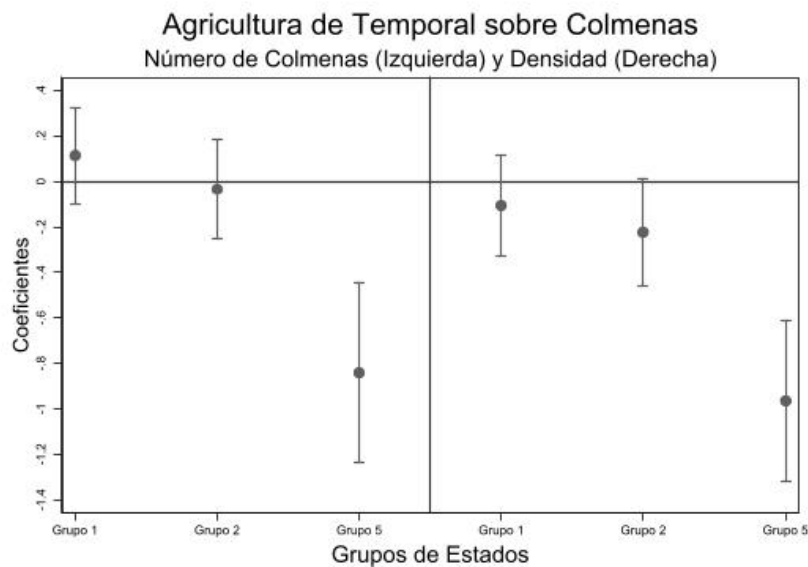


Elaboración Propia

Las Figuras 4.1.4.1 y 4.1.4.2 resumen lo que ya se había observado: los efectos son amplificados (en términos absolutos) a medida que se acota la muestra; sin embargo, ahora se observa que también sus intervalos de confianza van aumentando (construidos por los errores estándar), perdiendo certidumbre en los resultados. Vuélvase a notar que la

agricultura de temporal solo es significativa (al 95% de confianza) sobre la población de polinizadores controlados cuando se realizan las estimaciones solo para el Subconjunto 5, con una relación notoriamente negativa, por lo que abre la puerta a creer que dicha relación está siendo afectada por otro tipo de fenómenos los cuales no se controlaron en esta investigación.

Figura 4.1.4.2 Estimaciones Puntuales para la Agricultura de Temporal



Elaboración Propia

4.2 Discusión

Los resultados previamente mencionados toman aún más relevancia cuando son comparados con investigaciones similares, pero con un contexto fuera de México y menos generalizado. Los principales hallazgos de esta investigación resaltan similitudes con la aseveración revisada en la Sección 2 sobre las relaciones mixtas entre uso de suelo agrícola y polinización, las cuales están estrechamente conectadas con el tipo de agricultura empleada.

Por un lado, lo que es mencionado por Kremen (2002), Ricketts et al. (2008), Potts et al. (2010) Goulson (2015) y Alexandre et al. (2020) referente a que la intensificación de las actividades agrícolas es altamente perjudicial para la diversidad y población de polinizadores dentro de un área; como se observa en la elasticidad abejas contra agricultura de temporal. Por otro lado, lo mencionado por Cane et al. (2006), Winfree et al. (2007), Carré et al. (2009) y Kovács-Hostyánszki et al. (2017) respecto al ambiguo papel de la agricultura en la disponibilidad de polinizadores, que incluso puede a llegar traer un efecto positivo; tal como se observó en la elasticidad abejas contra agricultura de riego. Estas observaciones podrían dirigir nuestra atención a interesarnos en métodos agrícolas que nos sean tan intensivos con el uso de suelo y que permitan la coexistencia de ecosistemas naturales (y no intervenidos) con la actividad agropecuaria dentro de determinada región

Para los hallazgos “secundarios”, la elasticidad abejas contra vegetación natural parece estar respaldada por las investigaciones de Bawa (1990), Hill y Webster (1995), Klein et al. (2002) y Ricketts (2004), siendo que la disponibilidad de diversidad de flora en una región beneficia a las poblaciones de polinizadores; hallazgo que ayudaría a formular argumentos sólidos que defiendan la preservación de ecosistemas naturales e incentiven a darle un mayor peso a la pérdida de biodiversidad cuando se contemple la expansión agrícola. Respecto a la elasticidad abejas contra pastizales, el signo positivo de nuestros resultados parece ser congruente con lo encontrado por Di Giulio et al. (2001), Mayer (2004), Vanbergen et al. (2014) y Lázaro et al. (2015), lo cual señala una alternativa a la conservación de ecosistema y su interacción con la agricultura. Todo lo anterior parece ser bastante alentador pues añade un cierto grado de “robustez” a nuestros resultados y por ello, pareciese

que este modelo es útil para comprender las dinámicas de sustitución entre el uso de suelo y la polinización dentro de una economía. Sin embargo, para ello es de suma importancia comprender cual es la situación de México respecto a polinización y uso de suelo.

4.3 Implicaciones

Dados los resultados de nuestro modelo y con el propósito de sustentar matemáticamente nuestras recomendaciones de política pública, se derivó una pseudo función de producción para resumir la dinámica entre polinizadores y uso de suelo. Este tipo de funciones suelen ser bastante atractivas en el estudio de la economía, pues cuenta con propiedades matemáticas interesantes, además de ser relativamente sencilla de optimizar. Utilizando los parámetros obtenidos en la Sección, la función de polinizadores para México tiene la siguiente forma:

$$Colm = \frac{Riego^{\alpha_1} Humano^{\alpha_2} Veg^{\alpha_3} Past^{\alpha_4}}{Temp^{\alpha_5}}$$

La cual está sujeta a la siguiente restricción:

$$Litoral - OUS = Riego + Temp + Humano + Veg + Past$$

Para la cual *Litoral - OUS* representa el litoral, completo, de suelo mexicano una vez restando los usos de suelo que NO son relevantes (los cuales son representados por la variable OUS), o afectan de algún modo, a la dinámica de polinizadores de nuestro modelo. A partir de ello, se puede plantear una función de Lagrange. A partir de ello, en la Tabla 4.3.1. se hace la comparativa entre lo que arroja la optimización del modelo utilizando los parámetros para las tres diferentes especificaciones dados los diferentes subconjuntos de Estados, y los valores reales (observados), para cada uso de suelo.

La Tabla 4.3.1. muestra que, desde la perspectiva del uso de suelo para la polinización, ninguno de las asignaciones actuales (observadas) es la óptima para maximizar el número de colmenas de abejas en la economía. No obstante, hay que tener en cuenta dos puntos importantes: 1) Las Abejas de Miel (*Apis Mellifera*) no son las únicas polinizadoras que existen, a pesar de que su preservación es importante, se debe tomar en cuenta que existe evidencia científica que sustenta la importancia de la diversidad ecológica y el “*trade-off*” que se observa entre abejas de miel y otros polinizadores. 2) Este modelo, a pesar de explicar la dinámica entre uso de suelo y colmenas de abejas, NO les da el peso requerido a otras variables fundamentales para la preservación de otros servicios ecosistémicos también fundamentales para el bienestar del ser humano y, por tanto, para el desarrollo económico de nuestro país. Por ejemplo, dado lo observado en nuestro modelo, lo más eficiente en términos matemáticos sería destruir vegetación natural para construir más centros apícolas; no obstante, resulta obvio que en términos ecológicos (e incluso económicos) esto no es la decisión adecuada.

Tabla 4.3.1. Resultados de la Optimización.

	Subconjunto 1	Subconjunto 2	Subconjunto 5	Reales (2018)
Lit – OUS	1804042.35	1934755.72	1934755.72	1948896.27
Riego	626249.06	587239.24	692333.61	107555.52
Temporal	411671.34	224813.16	-	223050.39
Humano	422797.59	9510278.15	1086841.53	24064.45
Vegetal	343324.36	249338.24	853470.65	1449372.00
Pastizal	-	72212.71	321162.78	126468.34

Elaboración Propia a partir de resultados obtenidos.

Por tanto, los resultados de este modelo deben ser tratados con cuidado, pues no son suficientes para formular un panorama completo para comprender de qué manera el uso de suelo puede incrementar, mejorar y perpetuar los beneficios que la polinización trae para nuestro bienestar. No obstante, es importante mencionar que, en el caso mexicano, si parece probable que exista una transición a asignaciones de uso de suelo que beneficien estrategias más sostenibles de agricultura, beneficiando sistemas de riego no tan intensivos que ayuden a mitigar la pérdida de recursos naturales, diversidad de especies y fragmentación de ecosistémicas, situaciones que han demostrado han sido perjudiciales para la existencia de polinizadores.

4.4 Diagnóstico

Una vez se obtuvieron los resultados del modelo se podría pensar que, dadas todas las consideraciones y precauciones que se tuvieron, las estimaciones observadas son un ciento por ciento confiables para sostener nuestra hipótesis estadísticamente. Sin embargo, la metodología aquí presentada no pretende ser, bajo ninguna circunstancia, infalible y libre de errores. Es bien sabido que todas las técnicas econométricas presentan desventajas y no todas las ecuaciones que se estiman se comportan como ejemplos de libro de texto. Por ello, esta subsección pretende servir como un “descargo de responsabilidad” para informar que consideraciones podrían tenerse en el futuro para añadir robustez a los resultados.

4.4.1 Endogeneidad

De acuerdo con Wooldridge (2010) un modelo econométrico de regresión lineal puede sufrir de endogeneidad (correlación del término de error con los controles) producto

de tres fuentes principales: 1) doble causalidad, 2) errores de medición y 3) variables omitidas. La presencia de endogeneidad es de suma preocupación al desarrollar una especificación econométrica, ya que esta provoca sesgos e inconsistencia en los coeficientes estimados lo que restaría confiabilidad y poder explicativo a los resultados. No obstante, teóricamente podríamos sustentar que en el contexto de esta investigación no deberían existir dichos problemas, por lo menos desde las dos primeras fuentes.

Podemos excluir una situación de doble causalidad ya que, dada la revisión de literatura de la Sección 2 de este texto, la relación de uso de suelo con los polinizadores siempre sigue la dirección propuesta en nuestra metodología: agricultura determina a las abejas. Esto resulta también lógico puesto que, esperaríamos observar que las decisiones de uso de suelo en una economía no consideren la disponibilidad de especies que polinicen cultivos o la diversidad de especies en general, sino solamente las necesidades de los agentes económicos en sí mismos. Por otro lado, dado que la metodología del INEGI (2017) para la construcción de los datos de uso de suelo en México utilizan imágenes satelitales, asumimos que la precisión de dichos datos es lo suficientemente buena para evitar endogeneidad por errores de medición.

Sin embargo, una de las principales observaciones que podrían hacerse a las ecuaciones 1 y 2 de la Sección 3 es la falta de variables de control, por lo que este modelo podría aparentar estar infra-especificado. No obstante, durante la construcción de las secciones cruzadas utilizadas en esta investigación se tomaron en cuenta variables que deberían haber sido integradas en el modelo de regresión lineal, pero que no fueron encontradas al nivel de desagregación deseado y que era conveniente (a nivel estatal), además

de que no parecían existir para los años en los que este estudio se realizó (2007, 2011, 2014 y 2018). Por ello, es recomendable que de ser replicable esta metodología se pueda integrar una mayor abundancia de variables explicativas para omitir el sesgo por omisión de controles.

4.4.2 Multicolinealidad

Gujarati y Porter (2008) mencionan que cuando las variables de control son colinealmente dependientes entre sí, esto puede traer consigo ineficiencia en los estimadores (lo que implica que las varianzas no son las mínimas posibles). Así mismo, podrían producirse “falsas significancias” en las relaciones que se proponen al construir las regresiones lineales. Ambas situaciones pueden producir cierta desconfianza e incertidumbre al determinar significancias estadísticas mediante las pruebas de hipótesis haciendo más probable cometer errores al rechazar las hipótesis nulas. No obstante, es lógico pensar que, en el contexto de esta investigación, los controles tengan algún tipo de relación entre sí, por lo que es importante determinar si el fenómeno es importante de considerar o no.

En los Anexos 7.3 al 7.6 podemos ver tanto los coeficientes de correlación entre las variables de control, así como los Factores de Inflación de Varianza por multicolinealidad. Al observar los primeros con detalle, podemos concluir que no existe ninguna relación especialmente alta que nos haga concluir que las relaciones entre variables independientes traigan consigo serios problemas de ineficiencia. Lo anterior puede ser corroborado por los FIV dados que ninguno cuenta con un valor mayor a diez (usando este como un multiplicador de la varianza de los coeficientes estimados), siendo esta la regla de dedo que se usa para determinar si la multicolinealidad es severa o no. Es importante señalar que en el Anexo 7.6

también se presentan los R^2 ajustados para las regresiones entre las principales variables de control y el resto de covariables, los cuales aparentan tampoco ser muy altos.

4.4.3 Heteroscedasticidad

En el contexto econométrico comprendemos por heteroscedasticidad al fenómeno de variabilidad en la varianza del término de error en nuestro modelo de regresión lineal. La presencia de esta puede traer consigo severos problemas de ineficiencia en los coeficientes estimados los cuales, al igual que la multicolinealidad, traen consigo incertidumbre en la fiabilidad de los resultados obtenidos (Gujarati y Porter, 2008). Sin embargo, contemplando la presencia de posibles complicaciones por la ausencia de homocedasticidad (véase las pruebas de Breusch-Pagan para heteroscedasticidad en el Anexo 7.10) y tal como se menciona en la Sección 3, se implementó el uso de errores estándar robustos los cuales ajustan y corrigen los errores estándar de los coeficientes estimados con el propósito de darle certidumbre a la significancia de nuestros resultados.

De acuerdo con Montero (2011), si las pruebas de Breusch-Pagan arrojan la presencia de varianza no constante en los errores del modelo de regresión lineal, un Modelo de Mínimos Cuadrados Ordinarios debería ser suficiente para capturar las relaciones estadísticas que se están buscando. Si se observa el Anexo 7.10 podemos notar que para algunas especificaciones no existe la presencia de heteroscedasticidad, mientras que para algunas otras, es notoria la existencia dado el valor-p de la prueba de hipótesis. Por ello, para futuras consideraciones, debería ser prudente tomar en cuenta técnicas de estimación econométrica que corrijan para estas complicaciones, ya sean Mínimos Cuadrados Generalizados o Efectos Aleatorios.

4.4.4 Efectos Fijos y Efectos Aleatorios: Heterogeneidad Inobservable y Correlación Serial

Wooldridge (2019) explica que en contextos de datos panel, los individuos de estudio suelen contar con factores no observables los cuales provocan heterogeneidad entre la muestra de estudio. Dado que el error estadístico es un término compuesto, dicha heterogeneidad puede ser causada por características invariables (en el tiempo) que cada individuo posee y a su vez pueden estar correlacionadas con los controles provocando sesgos en las estimaciones. Algunos ejemplos de esto pueden ser, en términos generales, cuestiones culturales para cada entidad federativa que no pueden ser medidas pero que tengan injerencia en la producción apícola (como el caso de los Estados exportadores de miel de abeja como Yucatán) o en la distribución de uso de suelo (como estados que no priorizan la agricultura como Ciudad de México o Baja California Sur).

Por otro lado, aún si la parte fija del error compuesto no está correlacionada con los controles, su sola presencia podría provocar correlación serial o autocorrelación cuya principal consecuencia son coeficientes ineficientes (como en el contexto de heteroscedasticidad). Dado que tenemos noción de la posible existencia de dichos problemas, en el Anexo 7.11 se pueden observar las pruebas de Hausman para determinar si necesitamos considerar un contexto de efectos fijos o efectos aleatorios. Para el caso de presencia de heterogeneidad inobservable, debemos considerar una transformación de nuestras ecuaciones 1 y 2 de la Sección 3.2 en la cual se le resta la media de cada variable a cada individuo. Por otro lado, para el caso de correlación serial, se debe aplicar una transformación derivada del método de Mínimos Cuadrados Generalizados con el objetivo de normalizar el término de error (Wooldridge, 2019).

El Anexo 7.11 señala que, dependiendo de la variable dependiente y de la especificación, la presencia de efectos fijos o efectos aleatorios puede variar. Dicho resultado es similar a lo observado en el Anexo 7.10 el cual sugiere que no todas las especificaciones sufren de heteroscedasticidad. Por ello, para futuras consideraciones, lo más sensato sería presentar los resultados de ambos tipos de técnicas econométricas y comparar los resultados entre sí. Si nuestro modelo está bien especificado, ambas estimaciones deberían ser bastante similares entre sí, dándonos indicios de que no existe sesgo por endogeneidad.

Si bien, nuestro modelo podría contar con mayor robustez si se consideraran estos problemas (Endogeneidad, Multicolinealidad, Heteroscedasticidad, Heterogeneidad Inobservable y Correlación Serial), nuestras especificaciones si trataron de controlar, dadas las posibilidades técnicas, por la mayor cantidad de puntos débiles posibles. Esto mediante la aplicación de errores estándar robustos a la White para corregir por heteroscedasticidad y correlación serial y la aplicación de la variable “REGIONES” como aproximación a posibles efectos fijos por región geográfica, además de tratar de reducir el sesgo por omisión de controles. Finalmente, también se consideraron efectos fijos temporales, los cuales son invariables por individuo de estudio, no obstante, los criterios de selección de los modelos de regresión señalaban que estos no eran necesarios de considerar.

5. Conclusiones y Recomendaciones

La literatura ha demostrado que la polinización no solamente es fundamental para la evolución de los ecosistemas naturales, sino que también lo es para el crecimiento económico a lo largo del mundo. Esta crea las condiciones necesarias para la expansión del sector agrícola el cual es pilar fundamental para la economía global; y más relevante aún en el contexto del cambio climático en donde la seguridad alimentaria se convertirá en un parámetro primordial del desarrollo económico a nivel mundial. Económicamente hablando, es de suma relevancia darle importancia a los servicios ecosistémicos cuando se estudia al bienestar humano y la polinización atrae a varios de los reflectores al tratar el tema.

Mediante la implementación de una regresión lineal, los resultados de esta investigación sugieren que existe un efecto directo de la asignación de uso de suelo a la agricultura y los servicios de polinización en una economía. En específico, se observa que, con base en la evidencia estimada, se obtiene que cuando el uso de suelo es agricultura de riego la probabilidad de existencia de colmenas de abejas es más alta; para el caso del uso de suelo de agricultura de temporal la relación es inversa. De este modo, se observa que la conservación de diversidad vegetal en nuestro país puede ser la solución más adecuada para la conservación de especies de polinizadores, tanto controlados como salvajes, permitiendo así aprovechar al máximo los beneficios que la polinización nos trae.

De igual forma, parece ser que los beneficios obtenidos de otros tipos de uso de suelo son inconclusos, sin embargo, abren una puerta a futuras investigaciones, por ejemplo, el efecto real (una vez descontando granjas apícolas y otras actividades agropecuarias) de los

asentamientos humanos sobre la población de polinizadores. Asimismo, se hace un llamado a que se preste atención a la recolección de datos referentes a la polinización en México dado que, hasta el momento de esta investigación, parece que la información existente es insuficiente para la comprensión integral de este fenómeno; siendo esta otra oportunidad para construir conocimiento al respecto. México parece ser un país en el que poca atención se ha prestado a las dinámicas de polinización y como estas benefician directamente a los rendimientos obtenidos del sector agropecuario.

Por tanto, esta investigación podría confirmar (con suficiente evidencia empírica) que existe una relación circular y dinámicas entre la existencia de polinizadores en la economía (y el ecosistema) y la intensificación de uso de suelo. Por lo que grandes aumentos en el uso de suelo enfocado a la agricultura de temporal podría reducir sensiblemente la existencia de polinizadores lo que en el tiempo implicaría que deberíamos abandonar ciertas actividades agrícolas (por una crisis de polinizadores). No obstante, la literatura señala que la polinización mejora los rendimientos agrícolas creando incentivos a intensificar actividades agrícolas y pecuarias.

Para futuras investigaciones y una posible mejoría de la metodología de esta investigación, se podrían considerar los efectos espaciales que no se contemplaron del todo (solamente se incluyeron efectos regionales a las regresiones) dentro del análisis empírico. Así mismo, también se debería buscar la manera de contemplar las posibles relaciones no lineales que existen entre polinización y uso de suelo aún dentro de la escala logarítmica. Por simple parsimonia, se consideró una relación lineal la cual resultó fuerte y estadísticamente significativa, no obstante, los coeficientes de Spearman y Kendall sugieren que, para ciertos

tipos de uso de suelo, no necesariamente existen relaciones estrictamente lineales. Por último, una especificación más completa del modelo incluiría variables que controlaran los efectos que otros fenómenos tienen sobre el declive de las poblaciones de polinizadores, por ejemplo, el uso de pesticidas en la agricultura.

A diferencia de Estados Unidos, tal como lo ejemplifica Goodrich (2019), México no parece tener un mercado definido de polinización del cual se pueda obtener criterios contables de la aportación directa de la apicultura sobre la agricultura, sin embargo, parece ser que la dinámica existe. Se podría entonces, comenzar a recolectar, también, información referente a una pseudo-demanda de polinización por parte de los agricultores y así comenzar a evaluar, de manera contable, los efectos de esta sobre los rendimientos de cultivos. Todo esto se debe tomar en cuenta dada la relevancia de la polinización en nuestro bienestar tanto social como ecológico. De este modo, autores como Hanley et al. (2015) ofrecen diversas estrategias de medición para evaluar el peso de la polinización en la economía.

Finalmente, si bien parece lejano, no falta mucho tiempo para que los esfuerzos de conservación de especies como polinizadores se deban de multiplicar, por lo que el entendimiento de este tipo de relaciones (suelo-polinización) debe ser considerada cada vez más relevante para el espectro académico. Solamente mediante la construcción de conocimiento es que se encuentran soluciones reales para problemáticas nuevas. Nos gustaría creer que, esta investigación realmente está aportando a la discusión del tema y que, por tanto, ayudando a formular resultados reales en beneficios de la sostenibilidad, conservación y bienestar.

6. Referencias

- Alexandre, N. P., Vincent, N. M., Pacifique, U., Abias, M., Alexis, S., Francoise, M., & Jacques, N. H. (2020). Effect of Farming Practices on Honey Production in Boundary of Gishwati Forest National Park. *Journal of Geoscience and Environment Protection*, 08(05), 107–119. <https://doi.org/10.4236/gep.2020.85007>
- Akaike, H. (1973). Information Theory and an Extension of the Maximum Likelihood Principle. In B. N. Petrov, & F. Csaki (Eds.), *Proceedings of the 2nd International Symposium on Information Theory* (pp. 267-281). Budapest: Akademiai Kiado.S
- Allsopp, M. H., de Lange, W. J., & Veldtman, R. (2008). Valuing Insect Pollination Services with Cost of Replacement. *PLoS ONE*, 3(9), e3128. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0003128>
- Althaus, S. L., Berenbaum, M. R., Jordan, J., & Shalmon, D. A. (2021). No buzz for bees: Media coverage of pollinator decline. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 118(2). <https://doi.org/10.1073/pnas.2002552117>
- Azqueta Oyarzun, D., Alviar, M., Domínguez, L. & O’Ryan, R. (2007). *Introducción a la Economía Ambiental (Segunda)*. McGraw Hill.
- Basu, P., Bhattacharya, R., & Ianetta, P. (2011). A decline in pollinator dependent vegetable crop productivity in India indicates pollination limitation and consequent agro-economic crises. *Nature Precedings*. <https://doi.org/10.1038/npre.2011.6044.1>
- Bauer, D. M., & Wing, I. S. (2010). Economic Consequences of Pollinator Declines: A Synthesis. *Agricultural and Resource Economics Review*, 39(3), 368–383. <https://doi.org/10.1017/s1068280500007371>

- Bawa, K. S. (1990). Plant-Pollinator Interactions in Tropical Rain Forests. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 21(1), 399–422.
<https://doi.org/10.1146/annurev.es.21.110190.002151>
- Bennett, J. M., Steets, J. A., Burns, J. H., Burkle, L. A., Vamosi, J. C., Wolowski, M., Arceo-Gómez, G., Burd, M., Durka, W., Ellis, A. G., Freitas, L., Li, J., Rodger, J. G., Ştefan, V., Xia, J., Knight, T. M., & Ashman, T. L. (2020). Land use and pollinator dependency drives global patterns of pollen limitation in the Anthropocene. *Nature Communications*, 11(1). <https://doi.org/10.1038/s41467-020-17751-y>
- Boyd, J. & Banzhaf, S. (2006). What Are Ecosystem Services? The Need for Standardized Environmental Accounting Units. En Resources for the Future (RFF DP 06-02). Resources for the Future. <https://media.rff.org/documents/RFF-DP-06-02.pdf>
- Buchholz, W. & Rübhelke, D. (2019). Foundations of Environmental Economics. Springer.
- Bustamante, M., Robledo-Abad, C., Harper, R., Mbow, C., Ravindranat, N. H., Sperling, F., Haberl, H., de Siqueira Pinto, A., & Smith, P. (2014). Co-benefits, trade-offs, barriers and policies for greenhouse gas mitigation in the agriculture, forestry and other land use (AFOLU) sector. *Global Change Biology*, 20(10), 3270–3290.
<https://doi.org/10.1111/gcb.12591>
- Calderone, N. W. (2012). Insect Pollinated Crops, Insect Pollinators and US Agriculture: Trend Analysis of Aggregate Data for the Period 1992–2009. *PLoS ONE*, 7(5), e37235. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0037235>
- Cane, J. H., Minckley, R. L., Kervin, L. J., Roulston, T. H., & Williams, N. M. (2006). Complex Responses Within A Desert Bee Guild (Hymenoptera: Apiformes) To

Urban Habitat Fragmentation. *Ecological Applications*, 16(2), 632–644.

[https://esajournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1890/1051-](https://esajournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1890/1051-0761%282006%29016%5B0632%3ACRWADB%5D2.0.CO%3B2)

[0761%282006%29016%5B0632%3ACRWADB%5D2.0.CO%3B2](https://esajournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1890/1051-0761%282006%29016%5B0632%3ACRWADB%5D2.0.CO%3B2)

Carré, G., Roche, P., Chifflet, R., Morison, N., Bommarco, R., Harrison-Cripps, J., Krewenka, K., Potts, S. G., Roberts, S. P., Rodet, G., Settele, J., Steffan-Dewenter, I., Szentgyörgyi, H., Tscheulin, T., Westphal, C., Woyciechowski, M., & Vaissière, B. E. (2009). Landscape context and habitat type as drivers of bee diversity in European annual crops. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 133(1–2), 40–47. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2009.05.001>

Centro de Investigaciones en Ecosistemas (CIEco), Universidad Nacional Autónoma de México Campus Morelia., Porter, L., Carrillo, U., & Balvanera, P. (2009).

Polinización en México (Única) [Conjunto de datos]. Portal de Geoinformación.

http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/?vns=gis_root/region/rgeconom/polini
gw

Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. (2009). *Uso del suelo y vegetación, escala 1:250000, serie IV (continuo nacional)* (Versión 4) [Conjunto de datos]. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.

<http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/#secc0t3>

Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. (2015). *Uso del suelo y vegetación, escala 1:250000, serie V (continuo nacional)* (Versión 5) [Conjunto de datos]. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.

<http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/#secc0t3>

Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. (2021). *Uso del suelo y vegetación, escala 1:250000, serie VII (continuo nacional)* (Versión 7) [Conjunto de datos]. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.
<http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/#secc0t3>

Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). (2017). *Uso del suelo y vegetación, escala 1:250000, serie VI (continuo nacional)* (Versión 6) [Conjunto de datos]. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). <http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/#secc0t3>

Costanza, R., de Groot, R., Braat, L., Kubiszewski, I., Fioramonti, L., Sutton, P., Farber, S., & Grasso, M. (2017). Twenty years of ecosystem services: How far have we come and how far do we still need to go? *Ecosystem Services*, 28, 1–16.
<https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2017.09.008>

Crumpler, K., Meybeck, A., Federici, S., Salvatore, M., Damen, B., Gagliardi, G., Dasgupta, S., Bloise, M., Wolf, J. & Bernoux, M. (2020). A common framework for agriculture and land use in the nationally determined contributions. FAO, 85.
<https://doi.org/10.4060/cb1589en>

Datos Abiertos / Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera / gob.mx. (2005–2020). [Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera]. Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera.
<http://infosiap.siap.gob.mx/gobmx/datosAbiertos.php>

di Giulio, M., Edwards, P. J., & Meister, E. (2001). Enhancing insect diversity in agricultural grasslands: the roles of management and landscape structure. *Journal of*

- Applied Ecology*, 38(2), 310–319. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2664.2001.00605.x>
- Estay, P. (2022). Servicios de polinización con abejas (*Apis mellifera*) en frutales: Parámetros técnicos y de calidad. *Tierra Adentro*, 102. <https://hdl.handle.net/20.500.14001/5335>
- Fajardo, A. M., Timofeiczky, R., Ruíz, M., Silva, Z. A., Juazeiro, A., & Garzel, J. C. (16d. C.). Implicit price for pollination services: Improving coffee yield in Risaralda, Colombia. *Revista Espacios*, 38(23), 11. https://www.researchgate.net/publication/317234665_Implicit_price_for_pollination_services_Improving_coffee_yield_in_Risaralda_Colombia
- FAOSTAT. (1961–2020). [Cultivos y productos de ganadería]. Cultivos y productos de ganadería. <https://www.fao.org/faostat/es/#data/QCL>
- Gallai, N., Salles, J. M., Settele, J., & Vaissière, B. E. (2009). Economic valuation of the vulnerability of world agriculture confronted with pollinator decline. *Ecological Economics*, 68(3), 810–821. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2008.06.014>
- Garibaldi, L. A., Steffan-Dewenter, I., Winfree, R., Aizen, M. A., Bommarco, R., Cunningham, S. A., Kremen, C., Carvalheiro, L. G., Harder, L. D., Afik, O., Bartomeus, I., Benjamin, F., Boreux, V., Cariveau, D., Chacoff, N. P., Dudenhoffer, J. H., Freitas, B. M., Ghazoul, J., Greenleaf, S., . . . Klein, A. M. (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>
- Gaumer, R. (2012). *CONTRIBUCIÓN AL CONOCIMIENTO SOBRE LA BIOLOGÍA FLORAL Y REPRODUCTIVA DE OPUNTIA STRICTA (HAW.) HAW.*

(CACTACEAE) EN LA DUNA COSTERA DE LA RESERVA ESTATAL «EL PALMAR», YUCATÁN, MÉXICO (1ra. Edición). Centro de Investigación Científica de Yucatán A.C.

Giannini, 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 of Economic Entomology*, 108(3), 849–857.
<https://doi.org/10.1093/jee/tov093>

Gibbs, J., Elle, E., Bobiwash, K., Haapalainen, T., & Isaacs, R. (2016). Contrasting

Pollinators and Pollination in Native and Non-Native Regions of Highbush Blueberry Production. *PLOS ONE*, 11(7), e0158937.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0158937>

Goodrich, B. (2019). Contracting for Pollination Services: Overview and Emerging Issues.

Agricultural and Applied Economics Association, 34(4).
<https://doi.org/10.22004/ag.econ.296569>

Goulson, D., Nicholls, E., Botías, C., & Rotheray, E. L. (2015). Bee declines driven by

combined stress from parasites, pesticides, and lack of flowers. *Science*, 347(6229).
<https://doi.org/10.1126/science.1255957>

Greenleaf, S. S., & Kremen, C. (2006). Wild bees enhance honey bees' pollination of

hybrid sunflower. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 103(37), 13890–13895. <https://doi.org/10.1073/pnas.0600929103>

Gujarati, D. N. & Porter, D. C. (2009). Basic Econometrics. McGraw-Hill Education.

Guzmán-Novoa, E., Correa, A., Espinosa, L. G., & Guzmán Novoa, G. (2011).

Colonización, impacto y control de las abejas melíferas africanizadas en México.

Veterinaria México, 42(2).

http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0301-50922011000200005

Hanley, N., Breeze, T. D., Ellis, C., & Goulson, D. (2015). Measuring the economic value of pollination services: Principles, evidence and knowledge gaps. *Ecosystem Services*, 14, 124–132. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2014.09.013>

Hill, D. B., & Webster, T. C. (1995). Apiculture and forestry (bees and trees). *Agroforestry Systems*, 29(3), 313–320. <https://doi.org/10.1007/bf00704877>

Inouye, D. W. & Ogilvie, J. (2017). Pollinators, Role of ☆. Reference Module in Life Sciences. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-809633-8.02309-8>

Instituto de Ecología (INECOL). (2022). *La abeja melífera altera el funcionamiento de las interacciones entre plantas y polinizadores*. Instituto de Ecología. Recuperado 19 de abril de 2022, de <https://www.inecol.mx/inecol/index.php/es/2017-06-26-16-35-48/17-ciencia-hoy/1584-la-abeja-melifera-altera-el-funcionamiento-de-las-interacciones-entre-plantas-y-polinizadores>

Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2014). *Guía para la interpretación de cartografía. Uso de suelo y vegetación*. (No 5). https://www.inegi.org.mx/contenidos/temas/mapas/usosuelo/metadatos/guia_interusosuelov.pdf

Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2017). *Guía para la interpretación de cartografía. Uso de suelo y vegetación*. (No 6).

http://internet.contenidos.inegi.org.mx/contenidos/Productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/nueva_estruc/702825092030.pdf

- Juliana Jaramillo, Christian Maus & Caroline van Breukelen-Groeneveld. (2018). La Importancia de los insectos polinizadores en la agricultura. En BEEInformed (N.o 7). Bayer. https://www.bayer.com/sites/default/files/BEEINFormed_No7_-_La_Importancia_de_los_insectos_polinizadores_en_la_agriculturajsliiguy.pdf
- Kearns, C. A., Inouye, D. W., & Waser, N. M. (1998). ENDANGERED MUTUALISMS: The Conservation of Plant-Pollinator Interactions. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 29(1), 83–112. <https://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.29.1.83>
- Khalifa, S. A. M., Elshafiey, E. H., Shetaia, A. A., El-Wahed, A. A. A., Algethami, A. F., Musharraf, S. G., AlAjmi, M. F., Zhao, C., Masry, S. H. D., Abdel-Daim, M. M., Halabi, M. F., Kai, G., al Naggar, Y., Bishr, M., Diab, M. A. M., & El-Seedi, H. R. (2021). Overview of Bee Pollination and Its Economic Value for Crop Production. *Insects*, 12(8), 688. <https://doi.org/10.3390/insects12080688>
- Kleiber, C. & Zeileis, A. (2006). Applied Econometrics with R. R-Project. <https://www.r-project.org/conferences/useR-2006/Slides/Kleiber+Zeileis.pdf>
- Klein, A. M., Steffan-Dewenter, I., Buchori, D., & Tscharntke, T. (2002). Effects of Land-Use Intensity in Tropical Agroforestry Systems on Coffee Flower-Visiting and Trap-Nesting Bees and Wasps. *Conservation Biology*, 16(4), 1003–1014. <https://doi.org/10.1046/j.1523-1739.2002.00499.x>
- Klein, A. M., Vaissière, 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>
- Kovács-Hostyánszki, A., Espíndola, A., Vanbergen, A. J., Settele, J., Kremen, C., & Dicks, L. V. (2017). Ecological intensification to mitigate impacts of conventional intensive land use on pollinators and pollination. *Ecology Letters*, 20(5), 673–689. <https://doi.org/10.1111/ele.12762>
- Kremen, C., Williams, N. M., Aizen, M. A., Gemmill-Herren, B., LeBuhn, G., Minckley, R., Packer, L., Potts, S. G., Roulston, T., Steffan-Dewenter, I., Vázquez, D. P., Winfree, R., Adams, L., Crone, E. E., Greenleaf, S. S., Keitt, T. H., Klein, A. M., Regetz, J., & Ricketts, T. H. (2007). Pollination and other ecosystem services produced by mobile organisms: a conceptual framework for the effects of land-use change. *Ecology Letters*, 10(4), 299–314. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2007.01018.x>
- Kremen, C., Williams, N. M., Bugg, R. L., Fay, J. P., & Thorp, R. W. (2004). The area requirements of an ecosystem service: crop pollination by native bee communities in California. *Ecology Letters*, 7(11), 1109–1119. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2004.00662.x>
- Kremen, C., Williams, N. M., & Thorp, R. W. (2002). Crop pollination from native bees at risk from agricultural intensification. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 99(26), 16812–16816. <https://doi.org/10.1073/pnas.262413599>
- Lázaro, A., Tscheulin, T., Devalez, J., Nakas, G., Stefanaki, A., Hanlidou, E., & Petanidou, T. (2016). Moderation is best: effects of grazing intensity on plant-flower visitor

- networks in Mediterranean communities. *Ecological Applications*, 26(3), 796–807.
<https://doi.org/10.1890/15-0202>
- Lippert, C., Feuerbacher, A., & Narjes, M. (2021). Revisiting the economic valuation of agricultural losses due to large-scale changes in pollinator populations. *Ecological Economics*, 180, 106860. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2020.106860>
- Majewski, J. (2018). Ecosystem services value: case of pollination. *Economic Science for Rural Development*. <https://doi.org/10.22616/esrd.2018.116>
- Mayer, C. (2004). Pollination services under different grazing intensities. *International Journal of Tropical Insect Science*, 24(01). <https://doi.org/10.1079/ijt20047>
- Meléndez, V., Chablé, J. B., & Sélem, C. I. (2020). Polinización y polinizadores amenazados en desaparecer. *Bioagrociencias*, 13(2).
<https://www.revista.ccba.uady.mx/ojs/index.php/BAC/article/view/3558>
- Mengist, W., Soromessa, T., & Feyisa, G. L. (2020). A global view of regulatory ecosystem services: existed knowledge, trends, and research gaps. *Ecological Processes*, 9(1). <https://doi.org/10.1186/s13717-020-00241-w>
- Montero, R. (2011): Efectos fijos o aleatorios: test de especificación. Documentos de Trabajo en Economía Aplicada. Universidad de Granada. España
- Oficina de Información Científica y Tecnológica para el Congreso de la Unión. (2019). *Abejas: insectos polinizadores* (N.o 031). FCCyT.
https://foroconsultivo.org.mx/INCYTU/documentos/Completa/INCYTU_19-031.pdf
- Ollerton, J., Winfree, R., & Tarrant, S. (2011). How many flowering plants are pollinated by animals? *Oikos*, 120(3), 321–326. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0706.2010.18644.x>

- Olschewski, R., Tschardtke, T., Benítez, P. C., Schwarze, S., & Klein, A. M. (2006). Economic Evaluation of Pollination Services Comparing Coffee Landscapes in Ecuador and Indonesia. *Ecology and Society*, *11*(1). <https://doi.org/10.5751/es-01629-110107>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2019, 20 mayo). *La reducción de la población de abejas es una amenaza para la seguridad alimentaria y la nutrición*. Recuperado 29 de abril de 2022, de <https://www.fao.org/news/story/es/item/1194963/icode/>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, & Claro, R. (2016). *Línea Base del Servicio Ecosistémico de la Polinización en Chile*: <http://www.fao.org/documents/card/en/c/3dc11a8f-06eb-4108-9cff-f21f01b032f3/>
- Parker, F. D. (1981). Sunflower Pollination: Abundance, Diversity and Seasonality of Bees and Their Effect on Seed Yields. *Journal of Apicultural Research*, *20*(1), 49–61. <https://doi.org/10.1080/00218839.1981.11100473>
- Picanço, A., Gil, A., Rigal, F., & Borges, P. A. (2017). Pollination services mapping and economic valuation from insect communities: a case study in the Azores (Terceira Island). *Nature Conservation*, *18*, 1–25. <https://doi.org/10.3897/natureconservation.18.11523>
- Pinilla, C., & Dáttilo, W. (2022, 26 enero). *La abeja melífera altera el funcionamiento de las interacciones entre plantas y polinizadores*. Instituto de Ecología. Recuperado 19 de abril de 2022, de <https://www.inecol.mx/inecol/index.php/es/bolsa-de-trabajo/17-ciencia-hoy/1584-la-abeja-melifera-altera-el-funcionamiento-de-las-interacciones-entre-plantas-y-polinizadores>

- 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 Security*, 12(6), 1425–1442. <https://doi.org/10.1007/s12571-020-01043-w>
- Potts, S. G., Biesmeijer, J. C., Kremen, C., Neumann, P., Schweiger, O., & Kunin, W. E. (2010). Global pollinator declines: trends, impacts and drivers. *Trends in Ecology & Evolution*, 25(6), 345–353. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2010.01.007>
- Publicaciones CEEY. (2019, 3 junio). *Movilidad social en México: las cinco regiones*. Centro de Estudios Espinosa Yglesias. Recuperado 19 de abril de 2022, de <https://ceey.org.mx/movilidad-social-en-mexico-las-cinco-regiones/>
- Pulido, J. A. L. (2021). Honey-Guacamole: Assessment of pollination environmental service in avocado production in Michoacan, Mexico. *Acta Universitaria*, 31. <https://doi.org/10.15174/au.2021.3083>
- Ramaswamy, S. (2017, 21 febrero). Reversing Pollinator Decline is Key to Feeding the Future. USDA. <https://www.usda.gov/media/blog/2016/06/24/reversing-pollinator-decline-key-feeding-future>
- RICKETTS, T. H. (2004). Tropical Forest Fragments Enhance Pollinator Activity in Nearby Coffee Crops. *Conservation Biology*, 18(5), 1262–1271. <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2004.00227.x>
- Saldaña-Vázquez, R. A., Ortega, S., & Cornejo, C. (todavía no publicado). Servicios Ecosistémicos: La polinización en el estado de Puebla. *ResearchGate*.
- Schwarz, G. "Estimating the Dimension of a Model." *Ann. Statist.* 6 (2) 461 - 464, March, 1978. <https://doi.org/10.1214/aos/1176344136>

Schowalter, T. D. (2022). Pollination, seed predation, and seed dispersal. *Insect Ecology*, 623-665. <https://doi.org/10.1016/b978-0-323-85673-7.00009-5>

Secretaria de Agricultura y Desarrollo Rural & Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2021). *Diagnóstico. Situación actual de los polinizadores en México* (1ra. Edición).

https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/629650/Diagnostico_calidad_medioambiente.pdf

Smith P., M. Bustamante, H. Ahammad, H. Clark, H. Dong, E. A. Elsididig, H. Haberl, R. Harper, J. House, M. Jafari, O. Masera, C. Mbow, N. H. Ravindranath, C. W. Rice, C. Robledo Abad, A. Romanovskaya, F. Sperling, and F. Tubiello, 2014: Agriculture, Forestry and Other Land Use (AFOLU). In: *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Edenhofer, O., R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, E. Farahani, S. Kadner, K. Seyboth, A. Adler, I. Baum, S. Brunner, P. Eickemeier, B. Kriemann, J. Savolainen, S. Schlömer, C. von Stechow, T. Zwickel and J.C. Minx (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

Sosenski, P., & Domínguez, C. A. (2018). El valor de la polinización y los riesgos que enfrenta como servicio ecosistémico. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 89(3). <https://doi.org/10.22201/ib.20078706e.2018.3.2168>

Stanley, D. A., Msweli, S. M., & Johnson, S. D. (2020). Native honeybees as flower visitors and pollinators in wild plant communities in a biodiversity hotspot. *Ecosphere*, 11(2). <https://doi.org/10.1002/ecs2.2957>

- Urbanowicz, C., Muñiz, P. A., & McArt, S. H. (2020). Honey bees and wild pollinators differ in their preference for and use of introduced floral resources. *Ecology and Evolution*, *10*(13), 6741–6751. <https://doi.org/10.1002/ece3.6417>
- Vanbergen, A. J., Woodcock, B. A., Gray, A., Grant, F., Telford, A., Lambdon, P., Chapman, D. S., Pywell, R. F., Heard, M. S., & Cavers, S. (2013). Grazing alters insect visitation networks and plant mating systems. *Functional Ecology*, *28*(1), 178–189. <https://doi.org/10.1111/1365-2435.12191>
- Vrabcová, P., & Hájek, M. (2020). The Economic Value of the Ecosystem Services of Beekeeping in the Czech Republic. *Sustainability*, *12*(23), 10179. <https://doi.org/10.3390/su122310179>
- Whittington, R., Winston, M. L., Tucker, C., & Parachnowitsch, A. L. (2004). Plant-species identity of pollen collected by bumblebees placed in greenhouses for tomato pollination. *Canadian Journal of Plant Science*, *84*(2), 599–602. <https://doi.org/10.4141/p02-192>
- Wiesmeth, H. (2012). *Environmental Economics: Theory and Policy in Equilibrium*. Springer Texts in Business and Economics.
- WINFREE, R., GRISWOLD, T., & KREMEN, C. (2007). Effect of Human Disturbance on Bee Communities in a Forested Ecosystem. *Conservation Biology*, *21*(1), 213–223. <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2006.00574.x>
- Wooldridge, J. M. (2010). *Econometric Analysis of Cross Section and Panel Data*, second edition (2nd ed.). The MIT Press.
- Wooldridge, J. M. (2019). *Introductory Econometrics: A Modern Approach* (7th ed.). Cengage Learning.

Xu, Y., Wei, J., Li, Z., Zhao, Y., Lei, X., Sui, P. & Chen, Y. (2021). Linking ecosystem services and economic development for optimizing land use change in the poverty areas. *Ecosystem Health and Sustainability*, 7(1).

<https://doi.org/10.1080/20964129.2021.1877571>

Zattara, E. E., & Aizen, M. A. (2019). Worldwide occurrence records reflect a global decline in bee species richness. *bioRxiv*. <https://doi.org/10.1101/869784>

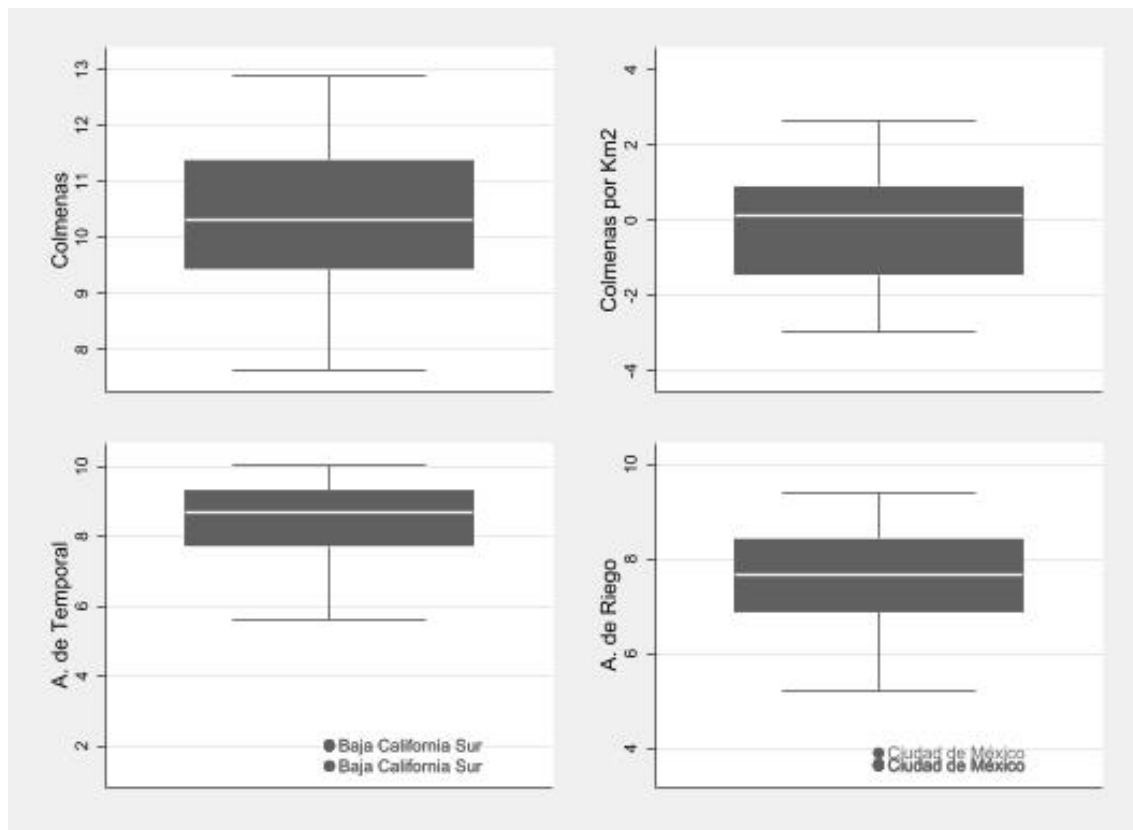
7. Anexos

Anexo 7.1 Categorización de los Estados por su diversificación de usos de suelo.

G1: Temporal/Riego		G2: G1 + PAST + BHA		G3: G1 + PAST + BOSQUE		G4: G1 + PAST + HUMEDAD		G5: TODOS	
Estado	Freq	Estado	Freq	Estado	Freq	Estado	Freq	Estado	Freq
Aguascalientes	4								
Baja California	4	Baja California	4	Baja California	3				
Baja California Sur	4								
Campeche	4	Campeche	4	Campeche	4	Campeche	4	Campeche	4
Chiapas	4	Chiapas	4	Chiapas	4	Chiapas	4	Chiapas	2
Chihuahua	4	Chihuahua	4	Chihuahua	2				
Ciudad de México	4	Ciudad de México	4	Ciudad de México	4				
Coahuila	4	Coahuila	4			Coahuila	4		
Colima	4	Colima	3	Colima	1				
Durango	4	Durango	4	Durango	4				
Guanajuato	4	Guanajuato	2	Guanajuato	2	Guanajuato	2	Guanajuato	2
Guerrero	4	Guerrero	4	Guerrero	4	Guerrero	3	Guerrero	3
Hidalgo	4	Hidalgo	4	Hidalgo	4	Hidalgo	4	Hidalgo	4
Jalisco	4	Jalisco	4	Jalisco	4	Jalisco	4	Jalisco	4
México	4	México	2	México	2	México	2	México	2
Michoacán	4	Michoacán	4	Michoacán	4	Michoacán	4	Michoacán	4
Morelos	4								
Nayarit	4	Nayarit	4						
Nuevo León	4								
Oaxaca	4	Oaxaca	4	Oaxaca	4	Oaxaca	4	Oaxaca	4
Puebla	4	Puebla	4	Puebla	4	Puebla	2	Puebla	2
Querétaro	4	Querétaro	4	Querétaro	4	Querétaro	4	Querétaro	4
Quintana Roo	4	Quintana Roo	4	Quintana Roo	4	Quintana Roo	4	Quintana Roo	4
San Luis Potosí	4	San Luis Potosí	4	San Luis Potosí	4	San Luis Potosí	4	San Luis Potosí	4
Sinaloa	4	Sinaloa	4			Sinaloa	3		
Sonora	4	Sonora	4						
Tabasco	4	Tabasco	4	Tabasco	4	Tabasco	2	Tabasco	2
Tamaulipas	4	Tamaulipas	4	Tamaulipas	2	Tamaulipas	4	Tamaulipas	2
Tlaxcala	4								
Veracruz	4	Veracruz	4	Veracruz	4	Veracruz	4	Veracruz	4
Yucatán	4	Yucatán	4	Yucatán	3				
Zacatecas	4								
Total	128	Total	99	Total	75	Total	62	Total	51

Fuente: Elaboración Propia.

Anexo 7.2 Gráficos de Cajas para Identificar Valores Atípicos



Fuente: Elaboración Propia

Anexo 7.3 Coeficientes de Correlaciones de Pearson entre covariables.

Coeficientes de Correlación de Pearson								
	ACUICOLA	HUMEDAL	RIEGO	TEMPORAL	BOSQUE	PASTIZAL	HUMANO	VEGETACION
ACUICOLA	1.000							
HUMEDAL	-0.241	1.000						
RIEGO	0.374	0.433	1.000					
TEMPORAL	-0.071	0.372	0.712	1.000				
BOSQUE	-0.336	-0.226	-0.708	-0.714	1.000			
PASTIZAL	0.495	-0.454	-0.169	0.036	-0.001	1.000		
HUMANO	0.102	0.455	0.841	0.957	-0.750	0.018	1.000	
VEGETACION	0.449	0.445	0.571	-0.014	-0.466	-0.489	0.190	1.000

Fuente: Elaboración Propia

Anexo 7.4 Coeficientes de Correlaciones de Spearman entre covariables.

Coeficientes de Correlación de Spearman								
	ACUICOLA	HUMEDAL	RIEGO	TEMPORAL	BOSQUE	PASTIZAL	HUMANO	VEGETACION
ACUICOLA	1.000							
HUMEDAL	-0.301	1.000						
RIEGO	0.294	0.371	1.000					
TEMPORAL	-0.161	0.357	0.699	1.000				
BOSQUE	-0.252	-0.371	-0.720	-0.559	1.000			
PASTIZAL	0.539	-0.413	0.084	0.273	0.000	1.000		
HUMANO	-0.007	0.532	0.860	0.902	-0.629	0.105	1.000	
VEGETACION	0.049	0.427	0.154	-0.203	-0.441	-0.664	0.070	1.000

Fuente: Elaboración Propia

Anexo 7.5 Coeficientes de Correlación τ de Kendall entre covariables.

Coeficientes de Correlación τ de Kendall								
	ACUICOLA	HUMEDAL	RIEGO	TEMPORAL	BOSQUE	PASTIZAL	HUMANO	VEGETACION
ACUICOLA	1.000							
HUMEDAL	-0.242	1.000						
RIEGO	0.242	0.273	1.000					
TEMPORAL	-0.061	0.333	0.455	1.000				
BOSQUE	-0.152	-0.242	-0.606	-0.242	1.000			
PASTIZAL	0.455	-0.364	0.000	0.242	0.030	1.000		
HUMANO	0.030	0.424	0.667	0.788	-0.394	0.030	1.000	
VEGETACION	-0.030	0.364	0.061	-0.182	-0.333	-0.515	-0.030	1.000

Fuente: Elaboración Propia

Anexo 7.6 Factores de Inflación de Varianza para las principales variables de control

	G1		G2		G5	
	R2	FIV	R2	FIV	R2	FIV
AGRITOTAL	0.479	1.918	0.503	2.012	0.511	2.045
RIEGO	0.481	1.928	0.542	2.182	0.428	1.749
TEMPORAL	0.284	1.397	0.300	1.428	0.516	2.066

Fuente: Elaboración Propia

Anexo 7.7 Tabla Comparativa Regresiones para G1

G1: Y = X + HUMANO + VEGETACIÓN									
Modelo	Y	X	Efectos Fijos	Efectos en el Tiempo	Regiones	Regiones##Tiempo	N	AIC	BIC
a1	COLMENAS	RIEGO	NO	NO	NO	NO	124	379.337	390.618
a2	COLMENAS	RIEGO	NO	SÍ	NO	NO	124	385.271	405.013
a3	COLMENAS	RIEGO	NO	SÍ	SI	NO	124	284.113	312.316
a4	COLMENAS	RIEGO	NO	NO	SI	NO	124	278.170	297.912
a5	COLMENAS	TEMPORAL	NO	NO	NO	NO	124	364.756	376.037
a6	COLMENAS	TEMPORAL	NO	SÍ	NO	NO	124	370.435	390.177
a7	COLMENAS	TEMPORAL	NO	SÍ	SI	NO	124	290.029	318.232
a8	COLMENAS	TEMPORAL	NO	NO	SI	NO	124	284.118	303.860
a9	COLMENAS	RIEGO	NO	NO	NO	SI	124	301.402	354.988
a10	COLMENAS	TEMPORAL	NO	NO	NO	SI	124	307.365	360.950
fa1	COLMENAS	RIEGO	SI	NO	NO	NO	124	-81.519	-73.058
fa2	COLMENAS	RIEGO	SI	SÍ	NO	NO	124	-76.628	-59.707
fa5	COLMENAS	TEMPORAL	SI	NO	NO	NO	124	-82.839	-74.378
fa6	COLMENAS	TEMPORAL	SI	SÍ	NO	NO	124	-79.091	-62.169
fa9	COLMENAS	RIEGO	SI	NO	NO	SI	124	-75.098	-32.794
fa10	COLMENAS	TEMPORAL	SI	NO	NO	SI	124	-78.555	-36.251
b1	DENSIDAD	RIEGO	NO	NO	NO	NO	124	370.317	381.598
b2	DENSIDAD	RIEGO	NO	SÍ	NO	NO	124	376.118	395.860
b3	DENSIDAD	RIEGO	NO	SÍ	SI	NO	124	293.257	321.460
b4	DENSIDAD	RIEGO	NO	NO	SI	NO	124	287.391	307.132
b5	DENSIDAD	TEMPORAL	NO	NO	NO	NO	124	370.435	381.716
b6	DENSIDAD	TEMPORAL	NO	SÍ	NO	NO	124	375.992	395.734
b7	DENSIDAD	TEMPORAL	NO	SÍ	SI	NO	124	297.440	325.642
b8	DENSIDAD	TEMPORAL	NO	NO	SI	NO	124	291.569	311.311
b9	DENSIDAD	RIEGO	NO	NO	NO	SI	124	310.486	364.071
b10	DENSIDAD	TEMPORAL	NO	NO	NO	SI	124	314.704	368.290
fb1	DENSIDAD	RIEGO	SI	NO	NO	NO	124	-81.519	-73.053
fb2	DENSIDAD	RIEGO	SI	SÍ	NO	NO	124	-76.628	-59.707
fb5	DENSIDAD	TEMPORAL	SI	NO	NO	NO	124	-82.384	-74.378
fb6	DENSIDAD	TEMPORAL	SI	SÍ	NO	NO	124	-79.091	-62.169
fb9	DENSIDAD	RIEGO	SI	NO	NO	SI	124	-75.098	-32.794
fb10	DENSIDAD	TEMPORAL	SI	NO	NO	SI	124	-78.555	-36.251
ag1	COLMENAS	AGRITOT	NO	NO	NO	NO	124	380.555	391.836
ag2	COLMENAS	AGRITOT	NO	SÍ	NO	NO	124	386.411	406.153
ag3	COLMENAS	AGRITOT	NO	SÍ	SI	NO	124	289.470	317.673
ag4	COLMENAS	AGRITOT	NO	NO	SI	NO	124	283.532	303.274
ag5	COLMENAS	AGRITOT	NO	NO	NO	SI	124	306.803	360.388
faq1	COLMENAS	AGRITOT	SI	NO	NO	NO	124	-91.285	-82.824
faq2	COLMENAS	AGRITOT	SI	SÍ	NO	NO	124	-86.331	-69.409
faq5	COLMENAS	AGRITOT	SI	NO	NO	SI	124	-86.698	-44.394
bg1	DENSIDAD	AGRITOT	NO	NO	NO	NO	124	378.281	389.562
bg2	DENSIDAD	AGRITOT	NO	SÍ	NO	NO	124	384.020	403.762
bg3	DENSIDAD	AGRITOT	NO	SÍ	SI	NO	124	297.470	325.673
bg4	DENSIDAD	AGRITOT	NO	NO	SI	NO	124	291.594	311.336
bg5	DENSIDAD	AGRITOT	NO	NO	NO	SI	124	314.734	368.320
fbg1	DENSIDAD	AGRITOT	SI	NO	NO	NO	124	-91.285	-82.824
fbg2	DENSIDAD	AGRITOT	SI	SÍ	NO	NO	124	-86.331	-69.409
fbg5	DENSIDAD	AGRITOT	SI	NO	NO	SI	124	-86.698	-44.394
ah1	COLMENAS	RIEGO + TEMPORAL	NO	NO	NO	NO	124	345.413	359.514
ah2	COLMENAS	RIEGO + TEMPORAL	NO	SÍ	NO	NO	124	351.014	373.576
ah3	COLMENAS	RIEGO + TEMPORAL	NO	SÍ	SI	NO	124	284.712	315.735
ah4	COLMENAS	RIEGO + TEMPORAL	NO	NO	SI	NO	124	278.774	301.336
ah5	COLMENAS	RIEGO + TEMPORAL	NO	NO	NO	SI	124	302.007	358.413
fah1	COLMENAS	RIEGO + TEMPORAL	SI	NO	NO	NO	124	-87.050	-75.769
fah2	COLMENAS	RIEGO + TEMPORAL	SI	SÍ	NO	NO	124	-82.270	-62.528
fah5	COLMENAS	RIEGO + TEMPORAL	SI	NO	NO	SI	124	-79.305	-34.181
bh1	DENSIDAD	RIEGO + TEMPORAL	NO	NO	NO	NO	124	351.428	368.530
bh2	DENSIDAD	RIEGO + TEMPORAL	NO	SÍ	NO	NO	124	359.912	382.474
bh3	DENSIDAD	RIEGO + TEMPORAL	NO	SÍ	SI	NO	124	294.162	325.185
bh4	DENSIDAD	RIEGO + TEMPORAL	NO	NO	SI	NO	124	288.259	310.821
bh5	DENSIDAD	RIEGO + TEMPORAL	NO	NO	NO	SI	124	311.362	367.767
fbh1	DENSIDAD	RIEGO + TEMPORAL	SI	NO	NO	NO	124	-87.050	-75.769
fbh2	DENSIDAD	RIEGO + TEMPORAL	SI	SÍ	NO	NO	124	-82.270	-62.528
fbh5	DENSIDAD	RIEGO + TEMPORAL	SI	NO	NO	SI	124	-79.305	-34.181

Fuente: Elaboración Propia

Anexo 7.8 Tabla Comparativa Regresiones para G2

G2: Y = X + HUMANO + VEGETACIÓN + PASTIZAL + BHA									
Modelo	Y	X	Efectos Fijos	Efectos en el Tiempo	Regiones	Regiones#Tiempo	N	AIC	BIC
c1	COLMENAS	RIEGO	NO	NO	NO	NO	99	283.562	299.132
c2	COLMENAS	RIEGO	NO	SI	NO	NO	99	289.456	312.812
c3	COLMENAS	RIEGO	NO	SI	SI	NO	99	201.782	232.923
c4	COLMENAS	RIEGO	NO	NO	SI	NO	99	197.133	220.489
c5	COLMENAS	TEMPORAL	NO	NO	NO	NO	99	281.606	297.177
c6	COLMENAS	TEMPORAL	NO	SI	NO	NO	99	287.540	310.896
c7	COLMENAS	TEMPORAL	NO	SI	SI	NO	99	213.179	244.321
c8	COLMENAS	TEMPORAL	NO	NO	SI	NO	99	207.800	231.157
c9	COLMENAS	RIEGO	NO	NO	NO	SI	99	218.769	273.267
c10	COLMENAS	TEMPORAL	NO	NO	NO	SI	99	230.619	285.116
fc1	COLMENAS	RIEGO	SI	NO	NO	NO	99	-87.395	-74.419
fc2	COLMENAS	RIEGO	SI	SI	NO	NO	99	-82.793	-62.032
fc5	COLMENAS	TEMPORAL	SI	NO	NO	NO	99	-99.774	-86.798
fc6	COLMENAS	TEMPORAL	SI	SI	NO	NO	99	-96.725	-75.964
fc9	COLMENAS	RIEGO	SI	NO	NO	SI	99	-70.883	-26.766
fc10	COLMENAS	TEMPORAL	SI	NO	NO	SI	99	-85.610	-41.493
d1	DENSIDAD	RIEGO	NO	NO	NO	NO	99	289.400	304.971
d2	DENSIDAD	RIEGO	NO	SI	NO	NO	99	295.325	318.681
d3	DENSIDAD	RIEGO	NO	SI	SI	NO	99	220.851	251.993
d4	DENSIDAD	RIEGO	NO	NO	SI	NO	99	215.147	238.503
d5	DENSIDAD	TEMPORAL	NO	NO	NO	NO	99	295.522	311.093
d6	DENSIDAD	TEMPORAL	NO	SI	NO	NO	99	301.412	324.768
d7	DENSIDAD	TEMPORAL	NO	SI	SI	NO	99	225.016	256.158
d8	DENSIDAD	TEMPORAL	NO	NO	SI	NO	99	219.251	242.607
d9	DENSIDAD	RIEGO	NO	NO	NO	SI	99	237.946	292.444
d10	DENSIDAD	TEMPORAL	NO	NO	NO	SI	99	242.314	296.812
fd1	DENSIDAD	RIEGO	SI	NO	NO	NO	99	-87.395	-74.419
fd2	DENSIDAD	RIEGO	SI	SI	NO	NO	99	-82.793	-62.032
fd5	DENSIDAD	TEMPORAL	SI	NO	NO	NO	99	-99.774	-86.798
fd6	DENSIDAD	TEMPORAL	SI	SI	NO	NO	99	-96.725	-75.964
fd9	DENSIDAD	RIEGO	SI	NO	NO	SI	99	-70.883	-26.766
fd10	DENSIDAD	TEMPORAL	SI	NO	NO	SI	99	-85.610	-41.493
cg1	COLMENAS	AGRITOT	NO	NO	NO	NO	99	289.395	304.966
cg2	COLMENAS	AGRITOT	NO	SI	NO	NO	99	295.279	318.635
cg3	COLMENAS	AGRITOT	NO	SI	SI	NO	99	213.631	244.772
cg4	COLMENAS	AGRITOT	NO	NO	SI	NO	99	208.351	231.707
cg5	COLMENAS	AGRITOT	NO	NO	NO	SI	99	231.089	285.586
fcg1	COLMENAS	AGRITOT	SI	NO	NO	NO	99	-103.013	-90.038
fcg2	COLMENAS	AGRITOT	SI	SI	NO	NO	99	-98.368	-77.607
fcg5	COLMENAS	AGRITOT	SI	NO	NO	SI	99	-87.234	-43.117
dg1	DENSIDAD	AGRITOT	NO	NO	NO	NO	99	296.743	312.314
dg2	DENSIDAD	AGRITOT	NO	SI	NO	NO	99	302.663	326.019
dg3	DENSIDAD	AGRITOT	NO	SI	SI	NO	99	224.841	255.982
dg4	DENSIDAD	AGRITOT	NO	NO	SI	NO	99	219.074	242.430
dg5	DENSIDAD	AGRITOT	NO	NO	NO	SI	99	242.132	296.630
fdg1	DENSIDAD	AGRITOT	SI	NO	NO	NO	99	-103.301	-90.038
fdg2	DENSIDAD	AGRITOT	SI	SI	NO	NO	99	-98.368	-77.607
fdg5	DENSIDAD	AGRITOT	SI	NO	NO	SI	99	-87.234	-43.117
ch1	COLMENAS	RIEGO + TEMPORAL	NO	NO	NO	NO	99	265.616	283.782
ch2	COLMENAS	RIEGO + TEMPORAL	NO	SI	NO	NO	99	271.557	297.509
ch3	COLMENAS	RIEGO + TEMPORAL	NO	SI	SI	NO	99	203.517	237.253
ch4	COLMENAS	RIEGO + TEMPORAL	NO	NO	SI	NO	99	199.008	224.959
ch5	COLMENAS	RIEGO + TEMPORAL	NO	NO	NO	SI	99	220.385	277.478
fch1	COLMENAS	RIEGO + TEMPORAL	SI	NO	NO	NO	99	-100.640	-85.070
fch2	COLMENAS	RIEGO + TEMPORAL	SI	SI	NO	NO	99	-96.551	-73.194
fch5	COLMENAS	RIEGO + TEMPORAL	SI	NO	NO	SI	99	-84.696	-37.984
dh1	DENSIDAD	RIEGO + TEMPORAL	NO	NO	NO	NO	99	351.428	368.530
dh2	DENSIDAD	RIEGO + TEMPORAL	NO	SI	NO	NO	99	359.912	382.474
dh3	DENSIDAD	RIEGO + TEMPORAL	NO	SI	SI	NO	99	294.162	325.185
dh4	DENSIDAD	RIEGO + TEMPORAL	NO	NO	SI	NO	99	288.259	310.821
dh5	DENSIDAD	RIEGO + TEMPORAL	NO	NO	NO	SI	99	311.362	367.767
fdh1	DENSIDAD	RIEGO + TEMPORAL	SI	NO	NO	NO	99	-100.640	-85.070
fdh2	DENSIDAD	RIEGO + TEMPORAL	SI	SI	NO	NO	99	-96.551	-73.194
fdh5	DENSIDAD	RIEGO + TEMPORAL	SI	NO	NO	SI	99	-84.696	-37.984

Fuente: Elaboración Propia

Anexo 7.9 Tabla Comparativa Regresiones para G5

Modelo	Y	X	G5: Y = X + HUMANO + VEGETACIÓN + PASTIZAL + BOSQUE + HUMEDAL					N	AIC	BIC
			Efectos Fijos	Efectos en el Tiempo	Regiones	Regiones#Tiempo				
e1	COLMENAS	RIEGO	NO	NO	NO	NO	51	115.092	128.615	
e2	COLMENAS	RIEGO	NO	SI	NO	NO	51	120.327	139.645	
e3	COLMENAS	RIEGO	NO	SI	SI	NO	51	90.147	115.261	
e4	COLMENAS	RIEGO	NO	NO	SI	NO	51	84.908	104.226	
e5	COLMENAS	TEMPORAL	NO	NO	NO	NO	51	116.003	129.525	
e6	COLMENAS	TEMPORAL	NO	SI	NO	NO	51	120.846	140.165	
e7	COLMENAS	TEMPORAL	NO	SI	SI	NO	51	78.402	103.516	
e8	COLMENAS	TEMPORAL	NO	NO	SI	NO	51	74.962	94.280	
e9	COLMENAS	RIEGO	NO	NO	NO	SI	51	101.525	140.162	
e10	COLMENAS	TEMPORAL	NO	NO	NO	SI	51	90.426	129.063	
fe1	COLMENAS	RIEGO	SI	NO	NO	NO	51	-55.073	-43.482	
fe2	COLMENAS	RIEGO	SI	SI	NO	NO	51	-54.481	-37.094	
fe5	COLMENAS	TEMPORAL	SI	NO	NO	NO	51	-71.005	-59.414	
fe6	COLMENAS	TEMPORAL	SI	SI	NO	NO	51	-69.943	-52.556	
fe9	COLMENAS	RIEGO	SI	NO	NO	SI	51	-52.382	-25.336	
fe10	COLMENAS	TEMPORAL	SI	NO	NO	SI	51	-68.057	-41.011	
f1	DENSIDAD	RIEGO	NO	NO	NO	NO	51	120.104	133.626	
f2	DENSIDAD	RIEGO	NO	SI	NO	NO	51	125.627	144.945	
f3	DENSIDAD	RIEGO	NO	SI	SI	NO	51	92.657	117.771	
f4	DENSIDAD	RIEGO	NO	NO	SI	NO	51	87.315	106.634	
f5	DENSIDAD	TEMPORAL	NO	NO	NO	NO	51	120.036	133.559	
f6	DENSIDAD	TEMPORAL	NO	SI	NO	NO	51	125.209	144.527	
f7	DENSIDAD	TEMPORAL	NO	SI	SI	NO	51	66.896	92.010	
f8	DENSIDAD	TEMPORAL	NO	NO	SI	NO	51	63.130	82.448	
f9	DENSIDAD	RIEGO	NO	NO	NO	SI	51	103.627	142.263	
f10	DENSIDAD	TEMPORAL	NO	NO	NO	SI	51	79.016	117.653	
ff1	DENSIDAD	RIEGO	SI	NO	NO	NO	51	-55.073	-43.482	
ff2	DENSIDAD	RIEGO	SI	SI	NO	NO	51	-54.481	-37.094	
ff5	DENSIDAD	TEMPORAL	SI	NO	NO	NO	51	-71.005	-59.414	
ff6	DENSIDAD	TEMPORAL	SI	SI	NO	NO	51	-69.943	-52.556	
ff9	DENSIDAD	RIEGO	SI	NO	NO	SI	51	-52.382	-25.336	
ff10	DENSIDAD	TEMPORAL	SI	NO	NO	SI	51	-68.057	-41.011	
eg1	COLMENAS	AGRITOT	NO	NO	NO	NO	51	113.941	127.464	
eg2	COLMENAS	AGRITOT	NO	SI	NO	NO	51	118.691	138.009	
eg3	COLMENAS	AGRITOT	NO	SI	SI	NO	51	82.665	107.779	
eg4	COLMENAS	AGRITOT	NO	NO	SI	NO	51	78.489	97.807	
eg5	COLMENAS	AGRITOT	NO	NO	NO	SI	51	94.534	133.171	
geg1	COLMENAS	AGRITOT	SI	NO	NO	NO	51	-72.221	-60.630	
geg2	COLMENAS	AGRITOT	SI	SI	NO	NO	51	-69.695	-52.309	
geg5	COLMENAS	AGRITOT	SI	NO	NO	SI	51	-68.186	-41.140	
fg1	DENSIDAD	AGRITOT	NO	NO	NO	NO	51	116.748	130.270	
fg2	DENSIDAD	AGRITOT	NO	SI	NO	NO	51	121.813	141.131	
fg3	DENSIDAD	AGRITOT	NO	SI	SI	NO	51	72.716	97.830	
fg4	DENSIDAD	AGRITOT	NO	NO	SI	NO	51	68.214	87.532	
fg5	DENSIDAD	AGRITOT	NO	NO	NO	SI	51	84.739	123.376	
ffg1	DENSIDAD	AGRITOT	SI	NO	NO	NO	51	-72.221	-60.630	
ffg2	DENSIDAD	AGRITOT	SI	SI	NO	NO	51	-69.695	-52.309	
ffg5	DENSIDAD	AGRITOT	SI	NO	NO	SI	51	-68.186	-41.140	
eh1	COLMENAS	RIEGO + TEMPORAL	NO	NO	NO	NO	51	116.424	131.879	
eh2	COLMENAS	RIEGO + TEMPORAL	NO	SI	NO	NO	51	121.318	142.568	
eh3	COLMENAS	RIEGO + TEMPORAL	NO	SI	SI	NO	51	62.805	89.851	
eh4	COLMENAS	RIEGO + TEMPORAL	NO	NO	SI	NO	51	61.585	82.835	
eh5	COLMENAS	RIEGO + TEMPORAL	NO	NO	NO	SI	51	73.097	113.666	
feh1	COLMENAS	RIEGO + TEMPORAL	SI	NO	NO	NO	51	-69.727	-56.204	
feh2	COLMENAS	RIEGO + TEMPORAL	SI	SI	NO	NO	51	-68.181	-48.863	
feh5	COLMENAS	RIEGO + TEMPORAL	SI	NO	NO	SI	51	-66.258	-37.280	
fh1	DENSIDAD	RIEGO + TEMPORAL	NO	NO	NO	NO	51	120.473	135.928	
fh2	DENSIDAD	RIEGO + TEMPORAL	NO	SI	NO	NO	51	125.673	146.923	
fh3	DENSIDAD	RIEGO + TEMPORAL	NO	SI	SI	NO	51	57.356	84.402	
fh4	DENSIDAD	RIEGO + TEMPORAL	NO	NO	SI	NO	51	54.962	76.213	
fh5	DENSIDAD	RIEGO + TEMPORAL	NO	NO	NO	SI	51	68.236	108.804	
ffh1	DENSIDAD	RIEGO + TEMPORAL	SI	NO	NO	NO	51	-69.727	-56.204	
ffh2	DENSIDAD	RIEGO + TEMPORAL	SI	SI	NO	NO	51	-68.181	-48.863	
ffh5	DENSIDAD	RIEGO + TEMPORAL	SI	NO	NO	SI	51	-66.258	-37.280	

Fuente: Elaboración Propia

Anexo 7.10 Pruebas de Breusch-Pagan para heteroscedasticidad

Breusch-Pagan Test G1			Breusch-Pagan Test G2			Breusch-Pagan Test G5		
Modelo	p-value	Heteroscedasticidad	Modelo	p-value	Heteroscedasticidad	Modelo	p-value	Heteroscedasticidad
a4	0.400	NO	c4	0.510	NO	e4	0.002	SI
a8	0.775	NO	c8	0.332	NO	e8	0.034	SI
ag4	0.988	NO	cg4	0.327	NO	eg4	0.018	SI
ah4	0.929	NO	ch4	0.405	NO	eh4	0.442	NO
b4	0.000	SI	d4	0.449	NO	f4	0.018	SI
b8	0.000	SI	d8	0.551	NO	f8	0.066	NO
bg4	0.000	SI	dg4	0.474	NO	fg4	0.039	SI
bh4	0.000	SI	dh4	0.400	NO	fh4	0.275	NO

Fuente: Elaboración Propia

Anexo 7.11 Pruebas de Hausman Efectos Fijos vs. Efectos Aleatorios

Hausman Test G1			Hausman Test G2			Hausman Test G5		
Modelo	p-value	FE vs RE	Modelo	p-value	FE vs RE	Modelo	p-value	FE vs RE
fa1	0.239	RE	fc1	0.036	FE	fe1	0.044	FE
fa5	0.599	RE	fc5	0.129	RE	fe5	0.531	RE
fag1	0.215	RE	fcg1	0.007	FE	feg1	0.508	RE
fah1	0.372	RE	fch1	0.033	FE	feh1	-	FE
fb1	0.085	RE	fd1	0.045	FE	ff1	0.208	RE
fb5	0.219	RE	fd5	0.002	FE	ff5	0.862	RE
fbg1	0.951	RE	fdg1	0.001	FE	ffg1	0.010	FE
fbh1	0.017	FE	fdh1	0.022	FE	ffh1	-	FE

Fuente: Elaboración Propia