



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS
Y AMBIENTALES**

**CARRERA DE INGENIERÍA EN RECURSOS NATURALES
RENOVABLES**

**ANÁLISIS DEL IMPACTO AMBIENTAL POR EL USO DE
AGROQUÍMICOS Y DISTRIBUCIÓN BIOGEOGRÁFICA DE
MELIFERAS (HYMENOPTERA: APIDAE) EN EL CANTÓN OTAVALO**

**TRABAJO DE TITULACIÓN PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERAS EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES**

AUTORAS: Cisneros Rojas Melina Nicole
Cortez Benavides Jessica Pamela

DIRECTOR:

Ing. Gabriel Alexis Jácome Aguirre MSc.

Ibarra – Ecuador

2023



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
CARRERA RECURSOS NATURALES RENOVABLES

**CERTIFICACIÓN TRIBUNAL TUTOR TRABAJO DE
TITULACIÓN**

Ibarra, 23 de noviembre del 2023

Para los fines consiguientes una vez revisado el documento en formato digital el trabajo de titulación "ANÁLISIS DEL IMPACTO AMBIENTAL POR EL USO DE AGROQUÍMICOS Y DISTRIBUCIÓN BIOGEOGRÁFICA DE MELIFERAS (HYMENOPTERA: APIDAE) EN EL CANTÓN OTAVALO" de autoría de las señoritas MELINA NICOLE CISNEROS ROJAS, y JESSICA PAMELA CORTEZ BENAVIDES estudiantes de la carrera de INGENIERÍA EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES el tribunal tutor CERTIFICAMOS que los autores han procedido a incorporar su trabajo de titulación las observaciones y sugerencias realizadas por este tribunal.

Atentamente

TRIBUNAL TUTOR

Ing. Gabriel Jácome MSc.
DIRECTOR TRABAJO TITULACIÓN

Ing. Melissa Layana MSc.
MIEMBRO TRIBUNAL TUTOR TRABAJO DE TITULACION



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
CARRERA RECURSOS NATURALES RENOVABLES

AUTORIACION DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA
UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

1. IDENTIFICACION DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hacemos la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual ponemos a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO		
CÉDULA DE IDENTIDAD	1003923040	
APELLIDOS Y NOMBRES	Cisneros Rojas Melina Nicole	
DIRECCIÓN:	Otavalo-Imbabura	
EMAIL:	mncisnerosr@utn.edu.ec	
TELÉFONO FIJO:	TELÉFONO MÓVIL:	0990437078

DATOS DE CONTACTO		
CÉDULA DE IDENTIDAD	0401764303	
APELLIDOS Y NOMBRES	Cortez Benavides Jessica Pamela	
DIRECCIÓN:	Montufar- Carchi	
EMAIL:	pamela_cb77@hotmail.com	
TELÉFONO FIJO:	TELÉFONO MÓVIL:	0960349362

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	ANÁLISIS DEL IMPACTO AMBIENTAL POR EL USO DE AGROQUÍMICOS Y DISTRIBUCIÓN

	BIOGEOGRÁFICA DE MELIFERAS (HYMENOPTERA: APIDAE) EN EL CANTÓN OTAVALO
AUTORAS:	Cisneros Rojas Melina Nicole Cortez Benavides Jessica Pamela
FECHA:	23 de noviembre 2023
PROGRAMA:	PREGRADO
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniera en Recursos Naturales Renovables
DIRECTOR:	Ing. Gabriel Jácome MSc

2.CONSTANCIAS


Las autoras manifiestan que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y son titulares de los derechos patrimoniales, por lo que asumimos la responsabilidad sobre el contenido de esta y saldremos en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 29 días del mes de noviembre del 2023

LAS AUTORAS



Melina Nicole Cisneros Rojas
100392304-0



Jessica Pamela Cortez Benavides
040176430-3

AGRADECIMIENTO

Nuestro más sincero agradecimiento a nuestros padres y hermanos, quienes nos han ayudado a sostenernos con amor y comprensión para salir adelante y culminar esta etapa tan importante de nuestras vidas.

A la Universidad Técnica del Norte por inculcarnos sabiduría e investigación durante los últimos años de formación profesional.

De manera especial, extendemos un sincero agradecimiento a nuestro director Ing. Gabriel Jácome y a nuestra asesora Ing. Melissa Layana quienes con su experiencia, comprensión y paciencia contribuyeron a nuestro complejo y gratificante camino de la investigación. Su guía constante y su fe inquebrantable en nuestras habilidades nos han motivado a alcanzar alturas que nunca imaginamos. No tenemos palabras para expresar nuestra gratitud por su inmenso apoyo durante este viaje.

Así mismo, agradecemos a cada apicultor visitado en las distintas comunidades del cantón Otavalo. Gracias por abrirnos las puertas y platicarnos sus problemas e inquietudes, esta tesis no sería la que es sin sus recomendaciones.

Además, quisiéramos expresar nuestra gratitud a todas las personas que contribuyeron con el desarrollo de nuestra investigación. Agradecemos a todos los que nos ayudaron a recopilar datos y a aquellos que dedicaron su tiempo a revisar nuestro trabajo. Gracias por sus comentarios de mejora.

Finalmente, un sincero agradecimiento a todos nuestros amigos y compañeros que estuvieron con nosotras en los momentos de estrés y alegría durante este largo y retador camino. Su apoyo, confianza, soporte y cariño han sido invaluable. Cada uno de ustedes ha contribuido a nuestra fortaleza y ánimo de una manera u otra. Gracias por ser un punto de apoyo, un equipo de aliento

Melina y Pamela

DEDICATORIA

Esta tesis está dedicada a:

A mis padres Fabián y Amparito quienes con su amor, paciencia y esfuerzo me han permitido llegar a cumplir hoy un sueño más, gracias por inculcar en mí el ejemplo de esfuerzo y valentía, de no temer las adversidades porque Dios está conmigo siempre.

A mis hermanos Christopher y Bruce por su cariño y apoyo incondicional, durante todo este proceso, por estar conmigo en todo momento gracias. A toda mi familia porque con sus oraciones, consejos y palabras de aliento hicieron de mí una mejor persona y de una u otra forma me acompañan en todos mis sueños y metas.

Finalmente quiero dedicar esta tesis a todas mis amigas, especialmente a Mishelle, Marcela y Pamela por apoyarme cuando más las necesito, por extender su mano en momentos difíciles y por el amor brindado cada día, de verdad mil gracias hermanitas, siempre las llevo en mi corazón.

**Con amor
Melina**

DEDICATORIA

A todos quienes han estado presentes en este arduo y sinuoso camino académico y personal. Gracias.

*De manera especial a mi madre Blanca Benavides y a mi padre José Cortez, quienes a pesar de las adversidades me han acompañado fielmente en este proceso. Su bendición ha sido fundamental para haber llegado a este punto.
Los amo.*

A mis hermanos Viviana, José Luis y sobrinos Dayana, María José, Yanela, Adair, Mathías, quienes han sido verdaderos ejemplos de vida y pilares en lo que me he sostenido cuando el camino se ha vuelto ambiguo.

A mis amigos, Hady, Jazmín, Francisco, quienes se han convertido en verdaderos compañeros de vida, un infinito Dios les pague.

***Con Amor
Pamela Cortez***

Índice

CAPITULO I	18
Introducción	18
1.1. Antecedentes o estado del arte.....	18
1.2. Problema y Justificación.....	21
1.3. Objetivos	25
1.3.1. Objetivo General	25
1.3.2. Objetivos Específicos	26
Marco Teórico.....	27
2.1. Análisis Biogeográfico de <i>Polinizadores</i>	27
2.2. Distribución potencial de especies polinizadoras.....	28
2.3. Máxima Entropía.....	30
2.4. Taxonomía de <i>Apis mellifera</i>	33
2.4.1 Hymenoptera	33
2.4.2. Apidae	33
2.4.3. <i>Apis mellifera</i>	34
2.5. Morfología y anatomía de la abeja	34
2.5.1. Morfología.....	34
2.5.2. La cabeza.....	36
2.5.3. El tórax	36
2.5.4. Las patas.....	37
2.6. Anatomía de la abeja	39
2.6.1. Aparato nervioso	39
2.6.2. Aparato Circulatorio	40
2.6.3. Aparato Respiratorio	41
2.6.4. Aparato digestivo	42
2.7. Uso actual y efectos de agroquímicos en la población melífera	43

2.8. Impacto ambiental y estrategias de conservación	45
2.9. Marco Legal	46
2.9.1. Constitución de la República del Ecuador	46
2.9.2. Convenios Internacionales.....	48
2.9.3. Código Orgánico del Ambiente	48
CAPITULO III.....	50
Metodología	50
3.1 Área de Estudio	50
3.1.1 Altitud y Clima.....	50
3.1.2. Zona de vida y Cobertura Vegetal	52
3.1.3. Tipo de Suelo	52
3.1.4. Clases agrológicas (Uso de Suelo).....	52
3.1.5. Zonas Agrícolas.....	53
3.1.6. Zonas Apícolas.....	53
3.2. Métodos.....	53
3.2.1. Impacto causado por el uso de insecticidas	53
3.2.2. Condiciones óptimas para el desarrollo de la familia Apidae	58
3.3. Diseño de estrategias para la implementación de apiarios basados en buenas prácticas ambientales.....	66
3.4. Materiales.....	69
CAPITULO IV.....	70
Resultados y Discusión	70
4.1 Caracterización de apiarios visitados en el cantón Otavalo	70
4.1.1. Cantidad de colmenas registradas en el Cantón Otavalo.....	70
4.1.2. Abejas y Productividad.....	71
4.1.3 Productos obtenidos de la apicultura y su producción de miel anual ..	72
4.1.4. Descenso de población en el cantón Otavalo	75
4.1.5 Afectación del cambio climático en la población de abejas.....	76

4.1.6 Alimentación complementaria y trashumancia	82
4.2 Evaluación de Impactos Ambientales	85
4.2.1 Proceso productivo del cultivo de Haba (<i>Vicia faba</i>).....	85
4.2.2. Proceso productivo del cultivo de maíz (<i>Zea mays</i>).....	87
4.2.3. Proceso productivo del cultivo de Papa (<i>Solanum tuberosum</i>)	90
4.2.4. Proceso productivo del cultivo de fresa (<i>Fragaria x ananassa</i>).....	93
4.2.5. Proceso productivo del chocho (<i>Lupinus mutabilis</i>)	96
4.3. Modelamiento de nicho ecológico.....	99
4.3.1. Grado de importancia de las variables empleadas en el modelo de distribución de <i>Apis mellifera</i>	99
4.3.2. Distribución potencial de <i>Apis mellifera</i> bajo condiciones actuales.	106
4.3.3. Modelo de distribución potencial futura para <i>Apis mellifera</i>	107
4.4. Estrategias ambientales basadas en buenas prácticas apícolas.....	109
4.4.1. Problemas influyentes detallados en el cantón Otavalo	109
4.4.2. Análisis de activos y pasivos ambientales	109
4.4.3. Interpretación y asignación de valores numéricos en la matriz de Vester	111
4.4.4. Estrategia 1. Diagnóstico y tratamiento de enfermedades invasivas	115
4.4.5. Estrategia 2. Distribución adecuada de apiarios y disminución de agroquímicos tóxicos en zonas de cultivos del cantón Otavalo	118
4.4.6. Estrategia 3. Educación Ambiental para la comunidad apícola del cantón Otavalo	121
CAPÍTULO V	123
Conclusiones y Recomendaciones	123
5.1. Conclusiones	123
5.2. Recomendaciones.....	124
Bibliografía	125
ANEXOS	143

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Técnicas para el desarrollo de modelos de distribución.....	30
Tabla 2. Toxicidad oral aguda y por contacto (48h) de los insecticidas neonicotinoides para las abejas melíferas.....	45
Tabla 3. Factores climáticos de las cinco parroquias de la zona de estudio	51
Tabla 4. Apicultores registrados en el Cantón Otavalo	54
Tabla 5. Parroquias encuestadas en el cantón Otavalo	55
Tabla 6. Casas de agro servicio visitadas en la zona de estudio	55
Tabla 7. Matriz de importancia de Conesa Fernández.....	57
Tabla 8. Rango de colores para la identificación de Impactos Ambientales	58
Tabla 9. Variables bioclimáticas	60
Tabla 10. Rango de valores de AUC	66
Tabla 11. Proceso sistemático para realizar la matriz de Vester	67
Tabla 12. Equipos, materiales y softwares para la investigación.....	69
Tabla 13. Código por parroquia.....	70
Tabla 14. Insecticidas utilizados en los cultivos circundantes a los apiarios identificados en el cantón Otavalo.....	84
Tabla 15. Proceso productivo de <i>Vicia faba</i>	85
Tabla 16. Proceso productivo de <i>Zea mays</i>	88
Tabla 17. Proceso productivo de <i>Solanum tuberosum</i>	91
Tabla 18. Proceso productivo de <i>Fragaria x ananassa</i>	94
Tabla 19. Proceso productivo de <i>Lupinus mutabilis</i>	97
Tabla 20. Lista de problemas	109
Tabla 21. Matriz de Vester - Especificación de problemas y calificación	110
Tabla 22. Efectos, soluciones y metas para desarrollar buenas prácticas ambientales apícolas	113

Tabla 23. Plan estratégico para prevenir enfermedades invasivas en la población melífera	117
Tabla 24. Plan estratégico adecuado para la distribución de un apiario en el cantón Otavalo, libre de contaminación.....	120
Tabla 25. Plan de Educación Ambiental.....	122

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Secciones del Cuerpo de la abeja.....	35
Figura 2. Morfología de la abeja <i>Fuente: Llorente (2023) p.21</i>	36
Figura 3. Estructura de las patas de la abeja.....	37
Figura 4. Morfología del abdomen de la abeja	39
Figura 5. Sistema nervioso de la abeja	40
Figura 6. Sistema circulatorio de la abeja	41
Figura 7. Sistema respiratorio de la abeja	42
Figura 8. Sistema digestivo de la abeja	43
Figura 9. Ubicación del área de estudio	50
Figura 10. Presencia de <i>Apis mellifera</i>	59
Figura 11. Gráfica de la prueba de correlación con valores absolutos de las variables bioclimáticas	62
Figura 12. Identificación de los cuadrantes de la Matriz de Vester	68
Figura 15. Abejas encontradas en el Cantón Otavalo.....	72
Figura 16. Productos comerciales provenientes de la apicultura	72
Figura 17. Distribución de productos derivados de la apicultura en el cantón Otavalo. ..	75
Figura 18. Pérdida de colmenas en los últimos años en el cantón Otavalo.....	76
Figura 19. Afectación en la productividad de las abejas por el cambio climático	77
Figura 20. Descenso de la población de abejas en el Cantón Otavalo	78
Figura 21. Agroquímicos más frecuentes usados por agricultores en el cantón Otavalo.	79
Figura 22. Dosis de agroquímicos usadas mayormente por agricultores en el cantón Otavalo.....	80
Figura 23. Aplicación del agroquímico en los cultivos identificados en el cantón Otavalo.	81

Figura 24. Frecuencia de Aplicación de los agroquímicos en las zonas de cultivo de Otavalo.....	81
Figura 25. Alimentación suplementaria usada por los apicultores	82
Figura 26. Proceso de trashumancia registrada en el cantón Otavalo.....	83
Figura 27. Impacto ambiental en <i>Apis mellifera</i> por el uso de insecticidas en el cultivo de <i>Vicia faba</i>	86
Figura 28. Extensión del cultivo de maíz (<i>Zea mays</i>) en el Cantón Otavalo	88
Figura 29. Impacto ambiental en <i>Apis mellifera</i> por el uso de insecticidas en el cultivo de <i>Zea mays</i>	89
Figura 30. Extensión del cultivo de papa (<i>Solanum tuberosum</i>) en el Cantón-Otavalo...	91
Figura 31. Impacto ambiental en <i>Apis mellifera</i> por el uso de insecticidas en el cultivo del <i>Solanum tuberosum</i>	92
Figura 32. Extensión del cultivo de fresa (<i>Fragaria x ananassa</i>) en el cantón Otavalo ..	94
Figura 33. Impacto ambiental en <i>Apis mellifera</i> por el uso de insecticidas en el cultivo de <i>Fragaria x ananassa</i>	95
Figura 34. Impacto ambiental en <i>Apis mellifera</i> por el uso de insecticidas en el cultivo de <i>Lupinus mutabilis</i>	98
Figura 35. Resultado de la prueba de Jackknife para la especie <i>Apis mellifera</i>	99
Figura 36. Curvas de respuesta de las variables bioclimáticas	101
Figura 37. Curvas de respuesta de las variables bioclimáticas; Error! Marcador no definido.	
Figura 38. Curvas de respuesta de la velocidad del viento	104
Figura 39. AUC del modelo de distribución de <i>Apis mellifera</i>	105
Figura 40. Modelo de distribución potencial bajo condiciones actuales.....	106
Figura 41. Modelo de distribución potencial futura de <i>Apis mellifera</i> escenario SSP585	108
Figura 42. Representación gráfica de la Matriz de Vester.....	112

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS
Y AMBIENTALES**

**CARRERA DE INGENIERÍA EN RECURSOS NATURALES
RENOVABLES**

**ANÁLISIS DEL IMPACTO AMBIENTAL POR EL USO DE
AGROQUÍMICOS Y DISTRIBUCIÓN BIOGEOGRÁFICA DE
MELIFERAS (HYMENOPTERA: APIDAE) EN EL CANTÓN OTAVALO**

Melina Nicole Cisneros Rojas y Jessica Pamela Cortez Benavides

RESUMEN

Apis mellifera es mundialmente reconocida por su alto valor nutricional y ecosistémico como principal agente polinizador en zonas naturales y agrícolas. Por este motivo, el presente estudio se basó en analizar el impacto ambiental causado por el uso de agroquímicos y la distribución biogeográfica de Melíferas (Hymenoptera: Apidae) en el cantón Otavalo, provincia de Imbabura. Para la evaluación de impactos ambientales se aplicó la matriz de Conesa-Fernández, y se realizaron encuestas y entrevistas, donde se identificaron las principales causas por las que, la población melífera ha estado disminuyendo a ritmos alarmantes en los últimos años. Además, se realizó un modelado de nicho ecológico para estimar la distribución potencial de *Apis mellifera*, y a su vez, mediante la priorización de problemas, proponer estrategias de conservación basadas en buenas prácticas agrícolas y apícolas. Finalmente, se obtuvo como resultado, que la población de abejas se ve afectada principalmente por la toxicidad producida por el uso de insecticidas en un 56.3% en los cultivos circundantes a los apiarios localizados en Otavalo. Y en cuanto al nicho ecológico de la especie, se determinó que la variable con mayor influencia son los insecticidas mismos que están presentes en zonas de cultivo, vegetación arbustiva y herbácea, generando un problema para la población de estos ejemplares; en este mismo sentido, se obtuvo que las áreas destinadas con alta presencia para los años 2040, 2060 reducen su probabilidad de presencia en 1385ha, 8.9ha respectivamente, sin embargo, en 2080 el área de esta categoría representa un aumento de 238 ha. En conclusión, todas estas problemáticas, han llevado a proponer soluciones enfocadas en educación ambiental, priorizando la vida tanto de los ejemplares.

Palabras Clave: Apiarios, Insecticidas, Impacto Ambiental, Distribución potencial, Nicho ecológico.

ABSTRACT

Apis mellifera is worldwide recognized for its high nutritional and ecosystem value as the main pollinating agent in natural and agricultural areas. For this reason, the present study was based on analyzing the environmental impact caused by the use of agrochemicals and the biogeographic distribution of Melifers (Hymenoptera: Apidae) in Otavalo, province of Imbabura. For the evaluation of environmental impacts, the Conesa-Fernández matrix was applied, and surveys and interviews were carried out, where the main causes why the honey population has been decreasing at alarming rates in recent years were identified. In addition, ecological niche modeling was carried out to estimate the potential distribution of *Apis mellifera*, and in turn, by prioritizing problems, propose conservation strategies based on good agricultural and beekeeping practices. Finally, the result was that the bee population is mainly affected by the toxicity produced by the use of insecticides by 56.3% in the crops surrounding the apiaries located in Otavalo. And regarding the ecological niche of the species, it was determined that the variable with the greatest influence are the insecticides themselves that are present in crop areas, shrubby and herbaceous vegetation, generating a problem for the population of these specimens; in this same sense, it was obtained that the areas designated with high presence for the years 2040, 2060 reduce their probability of presence by 1385 ha, 8.9 ha respectively, however, in 2080 the area of this category represents an increase of 238 ha. In conclusion, all these problems have led to proposing solutions focused on environmental education, prioritizing the lives of both the specimens.

Key words: Apiaries, Insecticides, Environmental Impact, Potential Distribution, Ecological niche.

CAPITULO I

Introducción

1.1. Antecedentes o estado del arte

Dado que los seres vivos no se dividen de forma igualitaria en el planeta, comprender la distribución y sobre todo, la disminución de los mismos y de lo que se conoce como insectos polinizadores, se ha convertido en un recurso clave hoy en día, para la realización de estudios evolutivos orientados primordialmente a la ecología, conservación de estos ejemplares y de lugares específicos donde, estas especies están disminuyendo a un ritmo alarmante, debido al cambio climático y a la fragmentación de los hábitats inducidos por el hombre (Potts et al., 2016; Klein et al., 2007; Sandhi et al., 2023).

En ese sentido, y según los estudios realizados por Orr et al., (2021) a nivel mundial, la distribución de abejas se encuentra dividida en el suroeste de los EE. UU., la cuenca del Mediterráneo en Medio Oriente y Australia. Israel tiene la mayor riqueza por unidad de área, aunque los EE. UU (occidental), el Mediterráneo, Nepal, las áreas alrededor de los Andes, las áreas al sur de la cuenca del Amazonas en América del Sur y Sudáfrica tienen altos niveles de riqueza ponderada de la especie *Apis mellifera* (Ghazoul, 2005).

Es así como, de acuerdo con Primo et al., (2019), en ciertas investigaciones francesas, la riqueza ponderada de esta especie se ve afectada, indicando que las causas más frecuentes para la disminución de esta población están distribuidas en cuatro principales: cambio climático, seguido del uso de plaguicidas, la pérdida del hábitat y finalmente se les atribuye a enfermedades parasitarias (Sammataro et al., 2000). El levantamiento de información realizado por Klein et al., (2006) informó, que los cultivos individuales como el café en Panamá, las almendras en California, algunos otros cultivos de semillas, nueces y frutas disminuyen radicalmente un 90% sin la presencia de estos polinizadores, ya que, al no ser visitados por estos ejemplares, los campos agrícolas, no tienen manera de gestionar y sobre todo garantizar la polinización en estas zonas (Ashman et al., 2004; Finke et al., 2021).

En este sentido, Orr et al., (2021) mencionan que la información de distribución recabada en diferentes lugares del mundo sobre la presencia o ausencia de ciertas especies polinizadoras (como la abeja mielera), ayudan a la toma de decisiones, sobre la conservación y gestión a nivel local y regional, ya que, las abejas juegan un papel importante en la economía de estas zonas y dan lugar a estudios de investigación para la diversificación de cultivos a nivel global (Scheper et al., 2014).

En 2014, la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), reportó que, en países latinoamericanos, las abejas como *Apis mellifera* fertilizan naturalmente algunos cultivos, como berenjena, chayote, cacao, girasol, legumbres, papa, papaya, tabaco, vainilla y yuca (Baena-Díaz et al., 2022). En nuestro país, se cultiva la mayoría de ellos, siendo ellas también, quienes polinizan la flora silvestre asociada a zonas de vegetación transformada (FAO, 2014).

Los cambios en cobertura vegetal y uso de suelo en el Ecuador representan una variable significativa en cuando a disminución de especies como *Apis mellifera*, ya que, según estudios recientes realizados por Arévalo et al., (2023) en la cuenca del río Mira, la reducción de cobertura se debe a zonas transformadas para cultivos de mediano, largo plazo y para uso netamente ganadero, desplazando así, la flora nativa indispensable para la supervivencia de este y muchos ejemplares.

Por estas razones, la necesidad de cuidar, ubicar y criar adecuadamente este tipo de ejemplares, ha llevado a cierto grupo de personas a especializarse en la cría y recolección de miel, desglosando esta actividad de la rama agropecuaria, mediante la instalación de lo que hoy conocemos como *apiarios*, donde, la principal función es la crianza de abejas mielera para la obtención principalmente de miel y otros derivados, haciendo de esta actividad un importante servicio ecosistémico (Barrios et al., 2012).

En nuestro país, Jordán (2016) menciona que la apicultura es una actividad en desarrollo y poco reconocida. Sin embargo, los estudios donde se toma como prioridad el cuidado de las colmenas y por ende de la población melífera ha ido aumentando, así como, las personas que se dedican a esta actividad, a pesar de contar con recursos técnicos y organizacionales muy limitados (Cabrera , 2020).

En consecuencia, se han creado escenarios con factores externos de monitoreo para determinar que puede vulnerar la vida, salud y sobre todo actividad ecológica de las abejas (Quilambaqui-Jara et al., 2017). Por tal motivo, Al Naggar et al., (2023) indica que posibles responsables externos como, el ácaro de la *Varroa destructor* (una enfermedad parasitaria responsable de la desaparición de colmenas) en la población melífera, puede determinar si existe o no, una correlación directa entre este microorganismo, las tasas de infestación, la producción de miel y el descenso de la población.

Es así que, el estudio realizado por Naggar et al., (2021) sugieren que a pesar de haber encontrado *Varroa destructor* en todos los escenarios muestreados en la Sierra central del Ecuador, este parásito, no afecta directamente a la producción y no hubo un descenso considerable de la población melífera, sin embargo, en la investigación se menciona que una variable determinante y a la cual, se la categorizó como inversamente influyente fue *la altitud*, ya que, al ejecutar esta variable en diferentes rangos altitudinales (2600–2800, 2801–3000 y >3000 msnm) los efectos agresivos del microorganismo se redujeron considerablemente, dando a entender que las consecuencias en otro escenario podrían haber causado mayor daño en la población y producción de *Apis mellifera*.

Así mismo, según Knowlton et al., (2022) se han investigado especies de avispas, abejas silvestres y domesticadas, ubicadas específicamente en los Andes Tropicales del Sur de Ecuador a una altitud de 2900 y 3100 msnm, en 4 transectos de 100*100m, con la finalidad, de obtener información sobre las preferencias florales de los ejemplares en esta zona. El estudio fue dirigido para 4 familias de la flora local: Asteraceae, Aquifoliaceae, Ericaceae y Melastomataceae, donde, se

evidenció la frecuencia de visita de la especie y a través de un previo marcaje se obtuvo como resultado que, *Apis mellifera* al ser considerada una especie generalista, se encontraba frecuente en todos los campos florales demostrando así, su facilidad para adaptarse a la flora presente, llevar de la mano el proceso de polinización y aumentar los márgenes de producción (Z Haider et al., 2022; Freitas et al., 2009).

1.2. Problema y Justificación

Desde la antigüedad, investigadores como Michener (2007) se han enfocado en el estudio de las abejas, debido a que, este grupo de insectos es uno de las más evolucionados y está constituido por sociedades muy complejas y también, por poseer una gran importancia económica y/o ecológicas, Probablemente, la actividad más importante de las abejas en términos benéficos para los humanos es la polinización tanto de la vegetación natural como la de cultivos (Lindao et al., 2020).

La pérdida de colmenas de abejas es un problema cada vez más preocupante en todo el mundo (Moritz et al., 2007). Este fenómeno ha sido atribuido principalmente al cambio climático y al uso indiscriminado de agroquímicos en la agricultura. Investigaciones realizadas por Easterling et al., (2000) señalan que el comportamiento y distribución de estos insectos benéficos y de otros perjudiciales, se ven amenazados, directamente por factores ambientales bióticos y abióticos, donde los cambios de temperatura y precipitación pueden influenciar la biología de las especies, los elementos de un ecosistema, induciendo así, a la desestabilización en la dinámica poblacional de su estado natural (Potts et al., 2010). Por lo tanto, esta tesis tiene como objetivo investigar la relación entre estos dos factores y su impacto en las poblaciones de abejas.

En primer lugar, el cambio climático juega un papel fundamental en la disminución de las colmenas de abejas. Las alteraciones en los patrones climáticos, como el aumento de temperaturas, sequías más frecuentes y eventos climáticos extremos afectan directamente a la supervivencia y salud de la especie (Jaffe et al., 2010). Estos cambios, pueden comprometer su capacidad para encontrar alimento,

alterar su ciclo reproductivo y aumentar su vulnerabilidad a enfermedades y plagas (Winfree et al., 2009).

Uno de los principales efectos del calentamiento global serán los cambios acelerados en la distribución de las especies, ya que muchos insectos tienen rangos geográficos que no se limitan directamente por la vegetación, pero sí por la temperatura (Briggs, 2003). Existe evidencia científica de que el cambio climático, puede influir directamente en la distribución de los insectos y podría adelantar las épocas del año, así como aumentar la posibilidad de migración de estos insectos, ocasionando cambios de adaptabilidad de estos, por lo que se hace necesario conocer la distribución espacial actual de los insectos (Easterling et al., 2000).

Tomando en cuenta lo anterior, ciertos autores Aizen & Harder (2009) sostienen, que la crisis de los polinizadores que el planeta atraviesa hoy en día no sólo tiene impacto sobre la agricultura y su economía, sino que también afecta a la biodiversidad vegetal, animal y al ecosistema. Según Jerrett et al. (2005) dada la importancia tanto ecológica como económica de estos insectos, en la actualidad, existe un gran interés por el reciente descenso de las poblaciones de polinizadores detectado en la mayoría de las regiones del mundo, especialmente en Ecuador.

En ese mismo sentido, dado el valor de estos ejemplares, tanto en el mantenimiento de los procesos ecológicos, como en la agricultura, es imprescindible realizar estudios que generen información verídica sobre los posibles riesgos para sus poblaciones, además de proveer de herramientas para la toma de decisiones informada respecto a las acciones necesarias para su conservación, y como parte de las medidas para enfrentar los riesgos del cambio climático y los impactos ambientales generados que comprometan su hábitat (Garibaldi et al., 2017).

Por otro lado, los agroquímicos utilizados en la agricultura moderna también representan una seria amenaza para las abejas. Los pesticidas y herbicidas sintéticos son diseñados para eliminar plagas y malezas, pero muchos de ellos resultan

nocivos para estos polinizadores (Rocha & García , 2008). Estas sustancias químicas pueden contaminar el néctar y el polen de las flores, convirtiéndose en una fuente de envenenamiento para las abejas (Rodriguez , 2011). Además, estudios realizados por Sánchez et al., (2016) han demostrado que ciertos agroquímicos pueden interferir con el sistema nervioso de las abejas, afectando su capacidad de navegación y comunicación, lo que disminuye su eficiencia polinizadora.

En el Ecuador, no existen registros de trabajos que generen datos sobre la distribución de las poblaciones de melíferas y, por ende, este hecho provoca un desconocimiento sobre la importancia de estos insectos en todos los aspectos antes mencionados. En la provincia de Imbabura, los estudios de distribución potencial son escasos, lo que conlleva, a que los apicultores de la zona desconozcan de las estrategias ya planteadas en trabajos de investigación como Corrales & Lobato (2023) que, pueden emplear para optimizar sus apiarios, trayendo consigo varios beneficios (Huera Ipial & López Gomez, 2022).

Los atributos ecológicos y geográficos en el cantón Otavalo, se prestan a la distribución espacial de insectos como *Apis mellifera*, ya que son parámetros requeridos para desarrollar planes de muestreo en campo y ningún muestreo es viable, si no se entiende antes su distribución espacial (Vides et al., 2019). Para ello, los Sistemas de Información Geográfica (SIG) en Ecuador, permiten analizar datos georreferenciados, tales como la densidad de una especie, tipo de vegetación, tipo de clima y de suelo, mismos que al ser incorporados en el sistema proporcionan mapas que permiten tener una mejor representación de los individuos en un estudio (Jácome et al., 2019). Actualmente, los programas de manejo integrado de plagas requieren del uso de programas computacionales especializados para conocer la distribución de insectos benéficos y perjudiciales (Vílchez, 2000).

El desarrollo de los SIG ha impulsado el análisis de la distribución espacial aplicada a la ecología de especies (Moral-García et al. 2004). Esto, con el fin de conocer cómo interactúan las especies con su ambiente y proporcionar un medio simple y flexible del modelado de las relaciones existentes (Briggs, 2005). Esta

información puede proporcionar conocimientos sobre competencia intraespecífica, atracción mutua y dispersión de poblaciones que permiten caracterizar y analizar la distribución de insectos (Gonzales et al., 2018; Park & Obryeki, 2004).

Según Peterson et al., (2011) una herramienta que puede ser útil para abordar el problema de la ubicación de apiarios es el uso de los modelos de nicho ecológico (MNE), los cuales, por medio de análisis estadísticos estiman sitios donde las especies pueden establecerse, representando la idoneidad ambiental de su hábitat (Moya et al., 2017). Los MNE se fundamentan en la teoría de nicho Grinnelano y Eltoniano, en donde se considera la combinación de las condiciones ecológicas (bióticas y abióticas) que una especie puede tolerar en el espacio multidimensional (Soberón, 2007, 2010).

En este contexto, según Arias-Muñoz et al., (2022). es importante resaltar la ayuda que mediante mapas de distribución potencial de la especie *Apis Mellifera* en espacio, tiempo actual y con proyección a 50 años ayudarán a determinar los posibles escenarios en los que se logre encontrar la población de abejas, según las condiciones climáticas, sociales y ambientales del lugar. De igual forma, se presentó información relevante dirigida a apicultores, quienes han hecho de la apicultura, no solo una actividad de crianza de abejas, con el fin de generar un desarrollo económico mediante la comercialización de sus productos, sino que también, están encargados del cuidado y la preservación de dicha población.

Es crucial investigar a fondo esta problemática, ya que, las abejas desempeñan un papel fundamental en la polinización de cultivos alimentarios y ecológicamente importantes (Caña & Tepedino, 2016). Cerca del 75% de los cultivos utilizados para alimentación humana dependen en cierta medida de la polinización de las abejas, lo que contribuye a la seguridad alimentaria y a la biodiversidad (Fischer et al., 2014). Por lo tanto, la pérdida de colmenas de abejas puede tener consecuencias negativas para los ecosistemas, la agricultura y la economía.

Nuestro planeta avanza de manera desmedida hacia un modelo social y económico en el que es fundamental dar prioridad al equilibrio con el ambiente que nos rodea y el uso de los recursos naturales que disponemos, de tal forma que, la adaptación a un modelo de economía circular permita implementar políticas específicas que contribuyan con la mitigación de los daños causados a los ecosistemas y la creación de asentamientos que lleven a la creación de empleo y oportunidades. Lo que se propone es avanzar las condiciones legales, económicas y de protección ambiental necesarias para desarrollar el funcionamiento de las actividades humanas con criterio ambiental y de transición ecológica, mediante la programación de acciones que permitan la conservación de hábitat, gestión eficiente de los recursos naturales y la reparación de ecosistemas, así como menciona el objetivo 11 (Secretaría Nacional de Planificación, 2021-2025)

Motivo por el que, a través de esta investigación, se pretende generar conciencia sobre la importancia de conservar las abejas y buscar soluciones sostenibles para coexistir con ellas en un entorno cambiante. Se espera que los resultados obtenidos, brinden información valiosa para la implementación de políticas y prácticas agrícolas más amigables con los polinizadores y promover la adopción de prácticas de manejo adecuadas en apicultura.

En conclusión, la pérdida de colmenas de abejas debido al cambio climático y el uso de agroquímicos es un problema urgente que requiere atención y acción. Esta tesis busca proporcionar conocimientos y evidencia científica sólida para abordar esta problemática y contribuir a la conservación de las abejas y la protección de los servicios de polinización que brindan a nuestro planeta.

1.3.Objetivos

1.3.1. Objetivo General

- Analizar el impacto ambiental causado por el uso de agroquímicos y la distribución biogeográfica de Melíferas (Hymenoptera: Apidae) en el cantón Otavalo.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Determinar el impacto ambiental causado por el uso de pesticidas en la especie *Apis mellifera* en el cantón Otavalo
- Generar modelos de distribución biogeográfica para la especie *Apis mellifera* empleando variables biofísicas determinantes en su nicho ecológico.
- Proponer estrategias para la implementación de apiarios basado en buenas prácticas agrícolas y apícolas.

CAPITULO II

Marco Teórico

2.1. Análisis Biogeográfico de Polinizadores

Según Myers et al., (2000); Rull, (2011); Al Toufailia et al., (2017) los Andes tropicales son reconocidos por su alta biodiversidad y endemismo ya que, gran parte de esta diversidad se puede atribuir a procesos evolutivos en los cuales las especies se han adaptado a condiciones cambiantes, y ambientes extremos durante millones de años (Hoorn et al., 2011; Sosenki & Domínguez, 2018; Baéz et al., 2020). Por ende, esta diversidad ha sido objeto de investigación donde se toman en cuenta grupos de insectos que no han sido estudiados a profundidad y la información básica como su taxonomía, evolución, biogeografía, interacciones ecológicas etc., es escasa o ausente (Estrada & Fernández, 1999; Gonzalez & DeNisi, 2009).

Son pocos los investigadores, biólogos o entomólogos que se atreven a incursionar en el ciclo de vida de los insectos (Breeze et al., 2016). Sin embargo, se ha logrado determinar que en el planeta existen un millón de especies descritas, cumpliendo con procesos ecológicos importantes como es el actuar dentro de cadenas tróficas desarrollando el papel de consumidores primarios o siendo fuente de alimento para otras especies (Amat-García & Fernández, 2011; Toro et al., 2003). Dicho esto, cabe resaltar que la polinización es una de las funciones ecosistémicas que también es realizada por estos organismos, pero de la cual, poco se ha estudiado y la información se ha vuelto desactualizada o incompleta (Nuñez-Avellaneda & Rojas-Robles, 2008; Squeo et al., 2006; Simón-Porcar & Abdelaziz, 2018).

Pues bien, dentro del grupo de los insectos, los órdenes de polinizadores más importantes son: himenópteros, dípteros, lepidópteros y coleópteros (Gómez & Zamora, 2006; Arista y otros, 2013; Navarro, 2000). Los dos primeros órdenes son los más diversos y predominantes en el gremio de polinizadores, por ejemplo, las abejas son los principales agentes polinizadores debido a su eficiencia como

visitantes florales y según ciertos autores existe una dependencia de la polinización mediada por estos animales para varios cultivos (Gómez J., 2002; Armbruster et al., 1999; Olalde et al., 2020).

Las abejas (Himenóptera: Apoidea) se encuentran en casi cada una de las biorregiones del mundo y tienen una composición muy diversa en los neotrópicos (Cane & Love, 2016). Las abejas silvestres (no-*Apis*) representan casi el 90% de las especies de abejas en todo el mundo, siendo la polinización un servicio importante ya que aporta en la germinación de las especies de plantas silvestres y plantas en agroecosistemas (Nates-Parra, 2005). En la mayoría de los casos, el servicio del ecosistema de polinización es reconocido por *Apis mellifera* y sus colmenas artificiales (Gaines & Gratton, 2016).

En Ecuador, existen 305 especies identificadas de las abejas distribuidas en el bosque húmedo tropical, perteneciente dentro de la rama de la taxonomía a la familia Apidae y Halictidae, clasificadas en un total de cinco tribus ya descritas como: Euglossini, Meliponini, Bombini, Halictini y Xylocopini (Freitas et al. 2009).

2.2. Distribución potencial de especies polinizadoras

Para la identificación de las áreas geográficas adecuadas para ciertas especies de fauna silvestre neotropical, es necesario tener una mejor comprensión de los parámetros biológicos, geológicos, topográficos, ambientales y climáticos que le son propios (Batomeus et al., 2018). Esto facilita predecir hábitats potenciales, contribuyendo significativamente a aportar información fundamental para la conservación, mantenimiento y preservación de la biodiversidad, la conectividad ecológica y la prevención a la fragmentación de estas zonas (Evans et al., 2021; Dong et al., 2020).

El modelado espacial predictivo basado en el análisis de los parámetros ambientales es ampliamente utilizado en los campos de protección del medio ambiente, ecología, planificación de áreas protegidas, entre otros (Cartaya et al., 2017; Cao et al., 2013; Yuan et al., 2015). Los modelos de distribución geográfica

de las especies requieren generalmente, datos acerca de la presencia y ausencia de animales, sin embargo, la mayoría de los datos actualmente son escasos (Romo et al., 2013).

Según Yanga et al., (2013) en los últimos 50 años, científicos investigadores han trabajado arduamente para analizar simultáneamente modelos de distribución de especies, donde se ocupa principalmente la rama de la estadística y cartografía que permiten analizar la biodiversidad y riqueza específica de una especie en particular, todo ello en tiempo real potenciando idóneamente una zona en específico; entonces, la idoneidad es reconocida como la relación matemática o estadística entre la distribución real conocida y un conjunto de variables independientes ya mencionadas, que se usan como fuertes indicadores (Schank et al., 2015).

A lo largo del tiempo y referenciando a Mateo et al., (2011) la generación de modelos de nicho ecológico ha ido cambiando de acuerdo con la interpretación científica, pero no es más que definir áreas prioritarias para la conservación de la biodiversidad de especies con el objetivo principal de realizar modelos idóneos, bajo la creación específica de técnicas y softwares (Tabla 1) que brindan alternativas de interpretación. Según De Souza & De Marco (2014) los modelos de nicho ecológico pueden mejorar la toma de decisiones en cuanto a la gestión de conservación y preservación de especies que se encuentran en estado vulnerable debido a las amenazas que enfrentan en la actualidad como cambio climático, deforestación, incendios forestales, producción y expansión agrícola, explotación de combustibles fósiles, sobreconsumo de productos, entre otros (GreenPeace 2022).

Para la realización de estos modelos, es necesario tomar en cuenta variables dependientes en donde la presencia, ausencia y abundancia son importantes para generar un buen modelo de distribución. Anexo a ello, se le suman también variables independientes con indicadores medioambientales, donde se tiene una relación directa entre la especie o ejemplar a modelar y el medio biótico que le

rodea, todo ello mediante una exhaustiva georreferenciación y apreciación de los factores que pueden intervenir y correlacionarse para el desarrollo de esta.

Tabla 1. Técnicas para el desarrollo de modelos de distribución

Técnicas (BM= presente en software BIOMOD)	Nombre completo (inglés)	Fuente
ANN (BM)	Artificial Neural Networks	Lek et al. (1996)
BIOCLIM	Bioclimatic Envelope Algorithm	Busby (1991)
BRT (BM)	Boosting Regression Trees	Friedman (2001)
CART (BM)	Classification and Regression Trees	Vayssieres et al. (2000)
ENFA	Ecological Niche Factor Analysis	Hirzel et al. (2002)
GAM (BM)	Generalized Additive Models	Hastie & Tibshirani (1990)
GARP	Genetic Algorithm for Rule-set Production	Stockwell & Peters (1999)
GDM	Generalised Dissimilarity Modelling	Ferrier et al. (2007)
GLM (BM)	Generalized Linear Models	McCullagh & Nelder (1989)
MARS (BM)	Multivariate Adaptive Regression Splines	Friedman (1991)
MAXENT	Maximum Entropy	Phillips et al. (2006)
RF (BM)	Random Forest	Breiman (2001)

Fuente. Modificado de (Van Strien, 2008) en (Pliscoff & Fuentes-Catillo, 2011)

2.3. Máxima Entropía

El método de principio de máxima entropía generalizada está basado en parámetros de la distribución de valores, donde se evalúa la máxima verosimilitud

y momentos de probabilidad pesada, para datos reales como también para datos con muestreo distribucional (Reynal, 2008).

En la actualidad, se pueden encontrar varios programas para el modelado de especies por distintos métodos y datos para desarrollar las predicciones (Elith et al., 2006). Phillips et al., (2006) menciona que dentro de estos programas MaxEnt permite proyectar las variaciones en la distribución de una especie o un grupo de especies frente a cambios ambientales de temperatura, humedad y precipitación (Morales, 2013). MaxEnt ofrece ventajas en comparación con otros programas, ya que solo necesita datos de reportes georreferenciados; puede utilizar datos continuos o categorizados y sus algoritmos son eficientes, garantizando la óptima distribución de la probabilidad de máxima entropía (Phillips et al., 2006).

Los modelos de distribución de especies pueden estimar qué, áreas dentro de una región satisfacen los requerimientos para desarrollar a una especie (Anderson & Matínez-Meyer, 2004). La modelación mediante el enfoque de máxima entropía es un modelo de distribución de especies el cual se basa en sitios donde la especie fue observada, es decir, puntos georreferenciados solamente de presencia y variables que proporcionen información socioeconómica y bioclimática (Gallien et al., 2012).

2.3.1 Escenario climático y modelo de distribución

ACCESS-CM2 es un modelo climático que simula el sistema climático de la Tierra combinando los componentes de la atmósfera, el océano y el hielo marino (CSIRO, 2023; ACCESS National Research Infrastructure, 2023). Es una de las dos versiones del modelo acoplado global de ACCESS ejecutadas por la comunidad climática australiana para el Proyecto de Intercomparación de Modelos Acoplados (CMIP) el modelo presenta una dinámica de fluidos mejorada y un esquema de aerosol micro físico, así como también permite a los científicos del clima simular el clima hasta 2100 y más allá para una variedad de trayectorias socioeconómicas futuras (ACCESS National Research Infrastructure, 2023).

Las simulaciones de ACCESS-CM2 proporcionan amplios conjuntos de datos que abarcan una amplia gama de variables que caracterizan el clima, como la temperatura, las precipitaciones, la nubosidad, la extensión del hielo marino y la circulación oceánica; el modelo se utiliza para estudiar el sistema climático de la Tierra y hacer predicciones sobre el cambio climático futuro (Center for Climate and Resilience Research , 2021).

El modelo consta de varios componentes, incluido el modelo atmosférico UM de UKMO, el modelo de superficie terrestre CABLE, el modelo oceánico GFDL MOM5 y el modelo de hielo marino LANL CICE5; hay varias variantes del modelo, que combinan diferentes versiones de la atmósfera del Modelo Unificado, el modelo de superficie terrestre CABLE, el océano MOM y los modelos de hielo marino CICE (Caldwell et al., 2019).

2.3.2 Abejas y el Cambio Climático

Las abejas melíferas están asociadas a cambios ambientales dada su historia evolutiva de origen paleártico donde se ubicaban desde regiones montañosas con climas templados hasta climas fríos (Kumar et al., 2014). Esta disponibilidad adaptativa los vuelve organismos sensibles a amenazas que representan un riesgo para su vida como, por ejemplo, la fragmentación de hábitat, uso de plaguicidas, enfermedades y el actual cambio climático (Gonzales et al., 2021).

En ese sentido, se considera que la temperatura y otras variables ambientales afectadas por el cambio climático, determinan la fenología y otras funciones biológicas de las abejas de quienes depende al menos el 60% de la producción agrícola del mundo (Yuan et al., 2015). A pesar de que el cambio climático probablemente es una de las amenazas más importantes para la biodiversidad, son pocos los trabajos que se han realizado sobre polinizadores, incluidas las abejas frente al cambio climático (Aizen & Lawrence, 2009). El género *Apis* constituye un grupo de abejas, llamadas melíferas y es uno de los grupos de organismos que se ha estado estudiando dentro del contexto del cambio climático (Rasmont, et al., 2015).

De acuerdo con National Oceanic and Atmospheric Administration, (2007), el cambio climático es un término que se acuña para indicar cambios en las estadísticas del clima en un período largo de tiempo, siendo el cambio climático antropogénico el de mayor impacto significativo en la distribución geográfica y fenológica de la especie.

Durante los últimos 500 años, la actividad humana en el planeta ha causado cambios importantes en los ambientes naturales. El aumento de temperatura, nivel y acidificación de los océanos, así como la deforestación, cambio del uso de suelo, la agricultura y urbanización, son algunas causas de la modificación del ambiente que han reducido y amenazado a la polinización que brinda *Apis mellifera* a nivel mundial (Osterman et al., 2021).

2.4. Taxonomía de *Apis mellifera*

2.4.1 *Hymenoptera*

Gonzales & Hernández (2006) indican que el orden Himenóptera se divide en 84 familias agrupadas en un total de 20 súper familias. Los himenópteros constituyen uno de los órdenes de insectos considerados como hiper-diversos del que se conocen alrededor de 150 000 especies, donde la distribución de este orden a nivel mundial es cosmopolita, y se halla representado prácticamente todos los ecosistemas del planeta, encontrándose desde los manglares hasta los bordes nevados de las montañas más altas (Gayubo & Pujade, 2015).

2.4.2. *Apidae*

Son una familia de himenópteros apócritos que constituyen un numeroso grupo de abejas que incluye a la abeja melífera o doméstica (la más conocida), a las abejas sin aguijón, las abejas de las orquídeas, las abejas parásitas, los abejorros y abejorroscarpinteros además de otros grupos menos conocidos (Tolentino et al., 2019).

2.4.3. *Apis mellifera*

Apis mellifera es una especie que representa la organización, almacenamiento de recursos alimenticios y sobre todo el trabajo en equipo dentro del reino animal. Son considerados organismos antófilos pues son conocidos comúnmente por el apego hacia las flores, lo que genera una ventaja ecológica porque ayudan al transporte de polen originando y siendo precursores de posibles nuevos ecosistemas además de ayudar indirectamente a la polinización y propagación de cultivos (Channel B. , 2013).

Estos ejemplares cuentan con dos pares de alas, en los machos es común encontrar en las antenas 13 segmentos y en las hembras 12. El aguijón es denominado como ovipositor u oviscapto y forma parte en la reproducción de la abeja. Dicho aguijón está unido a un saco que contiene veneno, su cuerpo está cubierto de negro generalmente por franjas amarillas y por pelos muy pequeños donde se concentra el polen y accidentalmente es repartido por los lugares que la especie visite (Ruttner, 1988).

2.5. Morfología y anatomía de la abeja

Por morfología de la abeja entendemos el estudio de su forma corporal y por anatomía el examen de su constitución interna. Cualquier animal, para sobrevivir, debe obtener y distribuir a sus tejidos tanto el alimento como el oxígeno, pero también debe ser capaz de eliminar los residuos y correlacionar las actividades de varios órganos entre sí y con sus propias actividades en condiciones ambientales variables (Stephen et al., 1969). Por consiguiente, presentará unos sistemas: locomotor, de alimentación y digestión, de distribución de alimentos, respiratorio, excretor y nervioso determinados (Fernández Rodríguez, 2004).

2.5.1. Morfología

Es bien sabido y ya mencionado que particularmente la ecología y funciones de vida de estos ejemplares están íntimamente relacionado con las distinciones en su anatomía, es decir su forma y estructura. El cuerpo de la abeja está dividido en tres partes, cabeza, tórax y abdomen (Figura 1) acompañado por exoesqueleto de quitina que le brinda estabilidad y que aparte de ello, contiene los órganos en el

interior de la abeja. La cabeza es una caja quitinosa, está unida al tórax por un cuello angosto y membranoso que contiene el órgano de la visión, las antenas y el aparato bucal (Miloni de Meira & Barbosa, 2021).

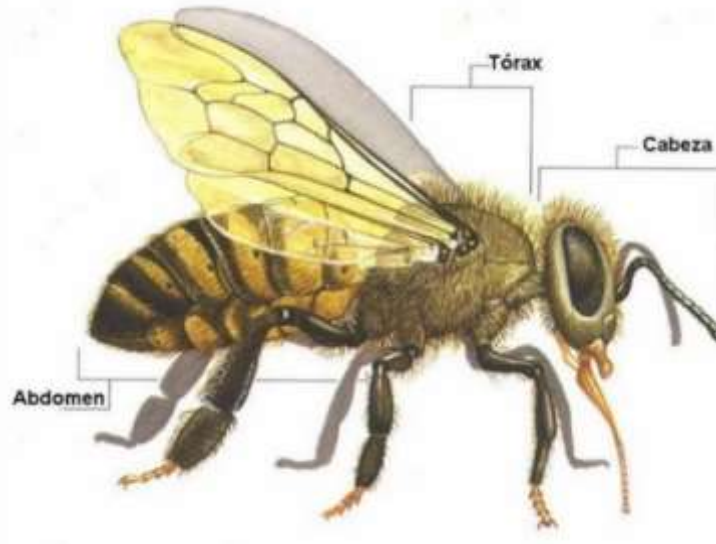


Figura 1. Secciones del Cuerpo de la abeja

Fuente: Jesús Llorente, 2016.

El tórax es la parte de la abeja donde se encuentra las alas y el aparato locomotor, compuesto por tres segmentos llamados Protórax, Mesotórax y Metatórax. El abdomen está cubierto por pelos que según su color y tamaño ayuda a la identificación de las especies, donde se compone de 9 segmentos, pero solo son visibles seis en las hembras y siete en los machos (Llorente, 2023).

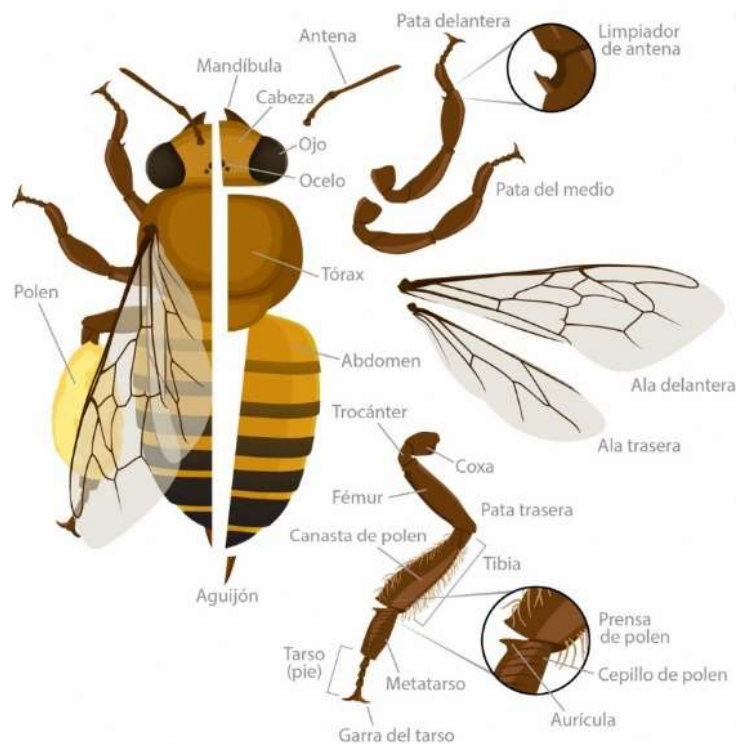


Figura 2. Morfología de la abeja

Fuente: Llorente (2023)

2.5.2. La cabeza

En esta parte del cuerpo de la abeja se sitúan estructuras relacionadas con la visión y el olfato, fundamentales para la localización del alimento, de la colmena, de otros congéneres, etc. También residen los órganos implicados en la captación de alimento y procesamiento de este, así como de la cera, esencial para el mantenimiento de la estructura física de la colmena (Fernández Rodríguez, 2004).

2.5.3. El tórax

Es la parte central del cuerpo que soporta las patas y las alas. Su cavidad está ocupada en su mayor parte por la musculatura relacionada con los apéndices locomotores, así como los músculos que mueven la cabeza y el abdomen (p. 21).

Está formado por cuatro segmentos: protórax, mesotórax, metatórax y propóleo, este último es en realidad el primer segmento del abdomen que se ha unido al tórax, es así que posee un par de patas en cada segmento y un par de alas

ensambladas que se forman a partir del segundo, tercer segmento y el movimiento de las patas y de las alas es posible gracias a la existencia de potentes paquetes musculares en el tórax, algunos de los cuales están implicados en el sostén de la cabeza y del abdomen (ASU, 2023).

2.5.4. Las patas

La principal función de las patas es la locomoción, pero en las abejas, cumplen además otros papeles extraordinariamente importantes desde el punto de vista ecológico: Limpieza de ojos y lengua. Realizados por el primer par de patas, revisten gran importancia, ya que gran parte de la capacidad de detección del alimento y de las relaciones sociales de las abejas dependerán de una correcta visión (Figura 3). La lengua, como órgano captador del polen, debe mantenerse también limpio y libre de partículas, al igual que la limpieza de las antenas. Esta última se realiza por medio de unas estructuras (espolones) situadas en el ápice de las tibias del primer par de patas y consiste en una escotadura semicircular provista internamente de un peine de pelos que se cierra con una pieza articulada, dejando un agujero del tamaño de la antena, es así que, esta limpieza es fundamental, ya que como hemos visto, las antenas cumplen una importante función como órganos del olfato y del tacto en la recogida y transporte de polen (Davidson, 2015). Teniendo en cuenta que la única casta involucrada en esta actividad son las obreras, las modificaciones anatómicas que vamos a explicar sólo son aplicables a éstas, y no a la reina o a los zánganos (Rodríguez et al., 2004).

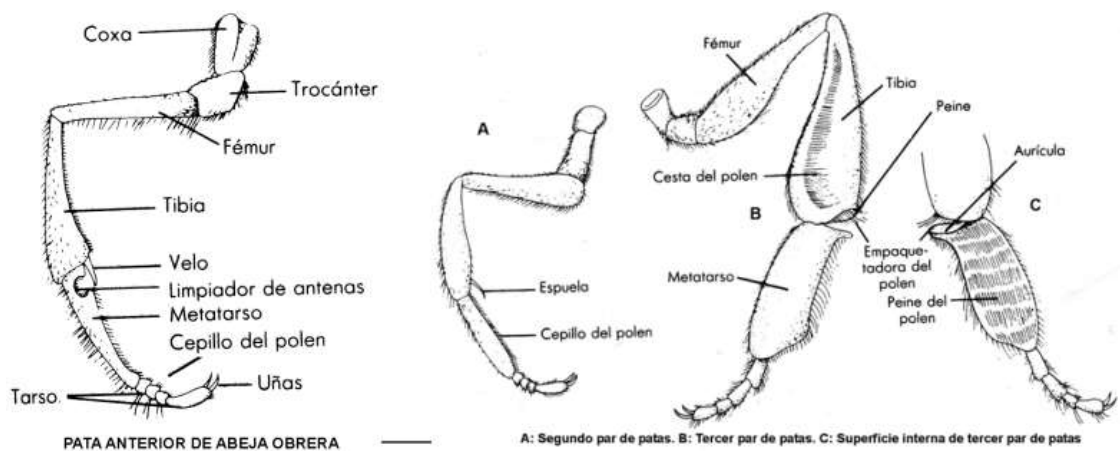


Figura 3. Estructura de las patas de la abeja

Está formado por siete segmentos visibles y encierra numerosos órganos esenciales. Aunque la larva tiene diez segmentos, en los adultos sólo encontramos nueve, ya que el primero (propóleo), como ya indicamos, se ha unido al tórax (Figura 4). Los segmentos octavo, noveno y décimo no se aprecian por encontrarse retraídos debajo del séptimo y haber cambiado de forma y tamaño, las estructuras más significativas que encontraremos en el abdomen son: cuatro pares de superficies pulidas, ovales y brillantes llamadas espejos y situadas bajo el abdomen entre los esternitos cuatro y siete; estas estructuras corresponden a glándulas céreas, las cuales producen una secreción líquida que se endurece rápidamente en contacto con el aire, dando lugar a escamas de cera que posteriormente serán moldeadas por la abeja con sus mandíbulas para formar los panales (ASU, 2023).

En la parte posterior del séptimo terguito se encuentra una banda pálida por la que se evapora el producto generado por las glándulas odoríferas o glándulas de Nassanoff que emiten una secreción esencial para el reconocimiento entre los individuos en la colmena (Waikato Domestic Beekeepers Association , 2022). En el extremo del abdomen encontraremos una de las estructuras más características de las abejas, el aparato defensivo, este consta de dos glándulas productoras de veneno, una vesícula donde almacena y un aguijón, con el cual es inoculado en la víctima (ASU, 2023). El aguijón se encuentra alojado en el interior de una cámara situada en el extremo del abdomen, se trata de un ovopositor modificado para la inyección de veneno en lugar de para la puesta de huevos (Davidson, 2015). De hecho, consta de tres piezas independientes, el estilete y las lancetas, estas últimas se van introduciendo en la víctima por movimientos alternativos mientras el estilete se desliza entre ellas hacia adelante, donde interviene las denominadas lancetas quienes presentan una serie de púas es su lado exterior que impiden que el aguijón se desprenda una vez que se ha insertado, y por entre ellas pasará el veneno (Rodríguez et al., 2004).

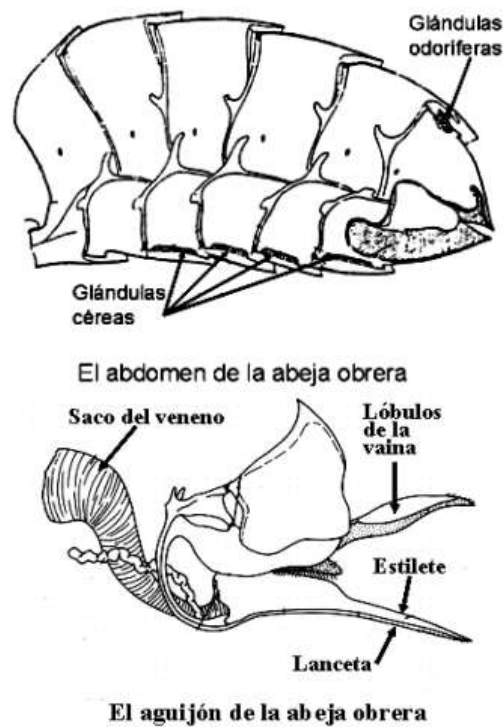


Figura 4. Morfología del abdomen de la abeja

Fuente: Rodríguez et al., 2004.

2.6. Anatomía de la abeja

2.6.1. Aparato nervioso

Es un cordón nervioso integrado por una cadena de ganglios que corre a lo largo de todo el cuerpo, por debajo del tubo digestivo (Figura 5). El mayor de estos ganglios se halla en la cabeza, situado sobre el esófago, siendo el cerebro el que constituye el más importante centro nervioso y recibe las impresiones visuales de los ojos, olfato y tacto de las antenas, y las de control de la cavidad bucal y órganos correspondientes del gusto (Llorente, 2023). Los dos ganglios del tórax gobiernan las patas y las alas. Los cinco ganglios del abdomen emiten nervios hacia los distintos órganos del mismo; el último controla las funciones del aguijón en las obreras y de los órganos sexuales en la reina y el zángano (Martínez Ortiz & Cobo Ochoa, 1988).

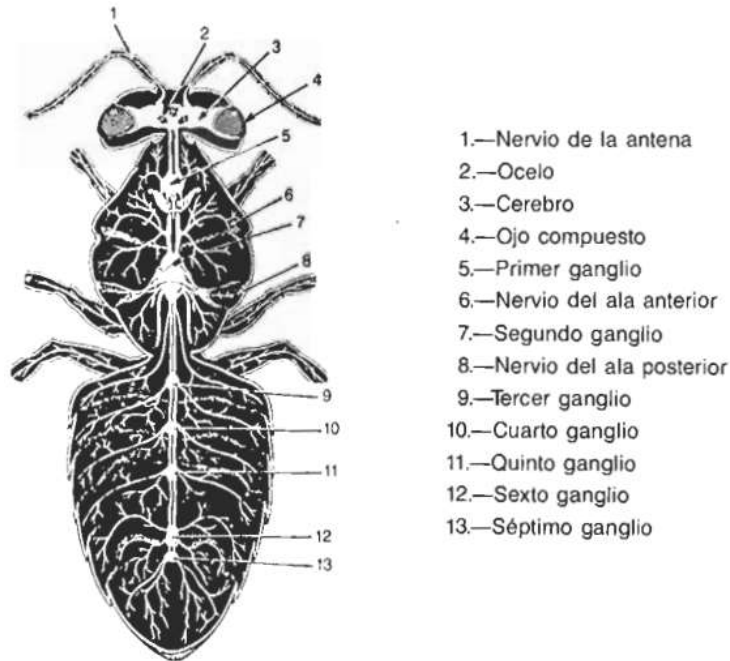


Figura 5. Sistema nervioso de la abeja

Fuente: Martínez Ortiz & Cobo Ochoa, 1988

2.6.2. Aparato Circulatorio

La sangre de las abejas es un líquido incoloro, incoagulable, rico en magnesio y sin glóbulos rojos, circula libremente por el organismo distribuyendo los nutrientes y absorbiendo los productos de desecho y el anhídrido carbónico (Figura 6). La impulsión se hace por medio del tubo cardíaco (corazón), situado en el dorso del abdomen llegando hasta la cabeza, donde vierte su contenido. La sangre pasa al interior de los ventrículos por válvulas situadas en sus costados y es impulsada continuamente hacia adelante hasta llegar a la abertura de la cabeza, desde donde fluye en todas las direcciones para dirigirse a las distintas partes del cuerpo (Cabello T. , 2007).

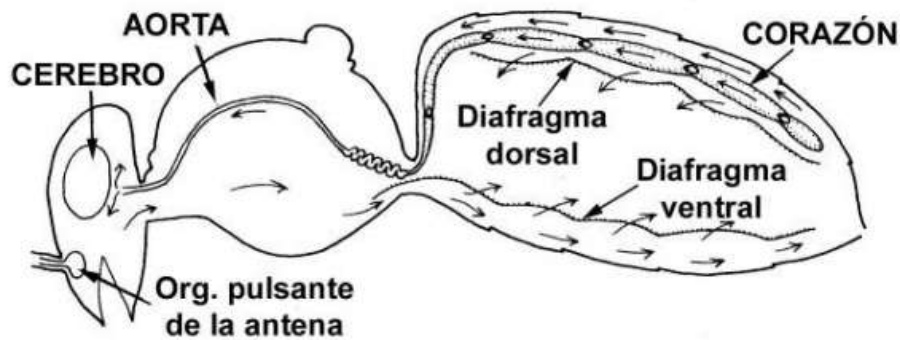


Figura 6. Sistema circulatorio de la abeja

Fuente: Cabello T. , 2007

2.6.3. Aparato Respiratorio

Está formado por un extenso sistema de tubos (tráqueas) que llevan oxígeno a todas las partes del cuerpo enriqueciendo con él la hemolinfa o sangre (Figura 7). Las tráqueas principales corren a los lados del cuerpo formando grandes ensanchamientos (sacos aéreos), en la parte posterior del tórax, para proporcionar el oxígeno que requiere la gran actividad muscular del vuelo y a los lados del abdomen (Martínez Ortiz & Cobo Ochoa, 1988).

El aire penetra en las tráqueas a través de los estigmas que son unos orificios situados a ambos lados del cuerpo, tres pares en el tórax y seis en el abdomen. Los estigmas se abren o cierran según convenga y demás llevan en su entrada unos pelitos para filtrar el aire e impedir el acceso de materias nocivas (Ravazzi, 2016).

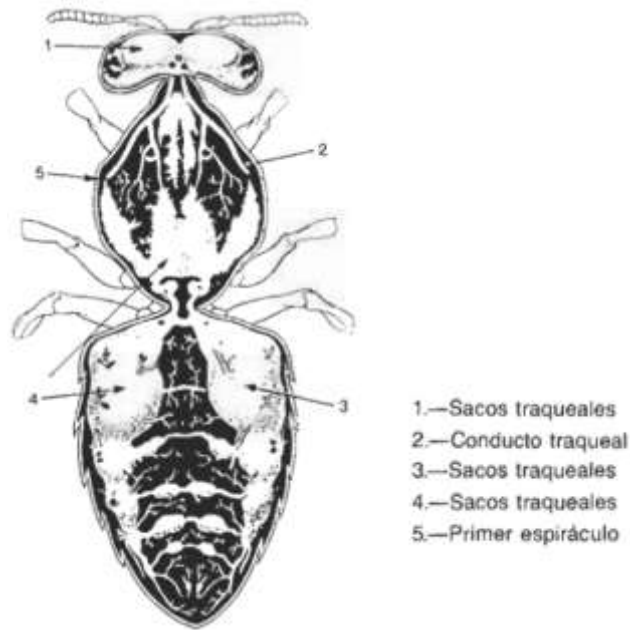


Figura 7. Sistema respiratorio de la abeja

Fuente. Martínez Ortiz & Cobo Ochoa, 1988

2.6.4. Aparato digestivo

Comienza en la boca situada en el extremo anterior de la cabeza, se continua por el esófago, que es un tubo delgado a través de la cabeza y el tórax hasta la parte anterior del abdomen donde se dilata y forma el buche. En él se almacena el néctar libado en las flores (Figura 8) el buche termina en la válvula ventricular a través de la cual, la abeja deja pasar el néctar que necesita para su mantenimiento al saco ventricular o estomago propiamente dicho; el resto de la miel contenida en el buche es regurgitada en la colmena para su almacenamiento (De Pierre, 2007). En el estómago se digiere la comida de la abeja y a continuación, hay un estrechamiento que da lugar a un corto intestino posterior o delgado donde aún se absorben sustancias nutritivas del alimento y a cuya entrada vierten la secreción los tubos de Malpighi, cuya función corresponde a los riñones (ASU, 2023). El intestino delgado termina en el intestino grueso o ampolla fecal, donde se acumulan las materias de desecho, hasta su expulsión (Martínez Ortiz & Cobo Ochoa, 1988).

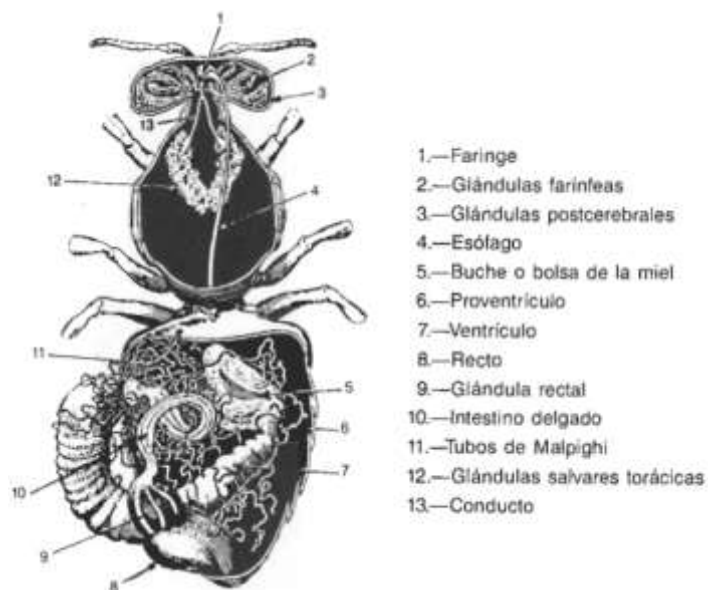


Figura 8. Sistema digestivo de la abeja

Fuente. Martínez Ortiz & Cobo Ochoa, 1988

2.7. Uso actual y efectos de agroquímicos en la población melífera

El actual crecimiento poblacional y la necesidad de abastecer de alimento a la población, ha generado una incursión en diferentes sectores agrícolas con excesiva demanda agroquímica donde el principal objetivo es sacar a flote la producción. Los pesticidas son el principal método de protección en cultivos y plantas, si bien pueden parecer la mejor opción, el principal desafío está en el uso, almacenamiento y eliminación de estos pesticidas y fertilizantes utilizados en la producción agrícola.

Ahora bien, de acuerdo con Torres & Capote (2004) el mal uso y manejo de los agroquímicos ha generado contaminación ambiental y se establece que solo el 0.1 % de la cantidad de plaguicidas utilizados llegan a la plaga, mientras que el restante transita contaminando los recursos naturales suelo, agua y biota. Además, es necesario mencionar que no solo produce las adversidades antes mencionadas, sino que también afecta a la salud humana, ya que son muchas las evidencias que revelan graves daño en la sangre, leche materna y quizá el hecho más difícil de tratar, se atribuya a malformaciones genéticas producidas por el uso no controlado de este tipo de productos químicos (Ward et al., 2022).

Kahl (2015) menciona que “Si bien, los productos agroquímicos modernos enfatizan la selectividad como una de sus principales ventajas”, “numerosos trabajos permiten afirmar que los agroquímicos no se limitan solo a la intoxicación del blanco o “target” para el que fueron empleados” Devine et al., (2008), sino que además presentan consecuencias sobre artrópodos que pudieran resultar de inestimable valor agro ecosistémico (himenópteros- polinizadores) (Blettler et al., 2020).

Los pesticidas son inherentemente tóxicos y se ha demostrado que tienen el potencial de afectar a los insectos polinizadores que no son objetivo. Y según Ollerton et al (2011), la polinización por insectos es importante para aproximadamente el 87,5 % de las plantas con flores silvestres del mundo. Estos polinizadores son considerados los "arquitectos del ecosistema" que juegan un papel aún mayor, comparable al de los grandes mamíferos de la sabana africana.

Los servicios de polinización de las abejas melíferas por su parte son de gran importancia agrícola y económica (Vandame & Palacio, 2010). A pesar de esto, las abejas melíferas y otros polinizadores enfrentan peligros continuos, incluida la disminución de la población debido a una variedad de factores ambientales estresantes (Sponsler et al., 2019). Los Fungicidas pueden ser factores estresantes particularmente insidiosos para los polinizadores debido a su propagación ambiental y su aprobación en la aplicación durante la floración de ciertos cultivos. Los pesticidas constituyen una amenaza particularmente perjudicial debido a su propagación y la aglomeración de efectos subletales de la exposición (Fisher et al., 2017).

Ahora bien, según (EASAC, 2015) pesticidas como los neonicotinoides (Tabla 2) son muy tóxicos para polinizadores como las abejas melíferas, ya que les disminuye el éxito de búsqueda de alimento y la tasa de supervivencia.

2.7.1 Incidencia de neonicotinoides en la población de abejas

Los insecticidas neonicotinoides fueron recientemente implicados por apicultores que informaron que las colmenas colocadas cerca de plantas cultivadas,

originadas a partir de semillas tratadas con insecticida, mostraron altos niveles de daño debido a una disminución progresiva de las poblaciones de colmenas (Tabla 2) hasta la pérdida total de las colonias (Decourtye & Devillers, 2007).

Tabla 2. Toxicidad oral aguda y por contacto (48h) de los insecticidas neonicotinoides para *Apis mellíferas*

Insecticida	Oral DL50 (g/abeja)	Contacto DL50 (g/abeja)
Acetamiprid	14.53 (European commission)	8.09 (European commission) 7.0720
Clothianidin	0.003 (European commission)	0,044 (comisión europea) 0,02220
Dinotefuran	Unknown	0.023 (Footprint) 0.07520
Imidacloprid	0.004-0.04121 0.0817 0.005719 0.00519 0.00322	0.03023 0.01820 0.081-0.23 Two ascending parts of the dose-effect curve: 0.007 and 0.02412 0.043-0.10417
Olefin (imidacloprid metabolite)	0.02819 0.00322	0.0411
5-OH-imidacloprid (imidacloprid metabolite)	0.25819 0.15322	
Nitenpyram	Unknown	0.13820
Thiacloprid	17.32 (European commission)	38.82 (European commission) 14.620
Thiamethoxam	0.005 (European commission)	0.024 (European commission) 0.0320

Fuente: (Decourtye & Devillers , Ecotoxicity of Neonicotinoid Insecticides to Bees, 2010)

2.8. Impacto ambiental y estrategias de conservación

Idrogo & Álvarez (2019) mencionan que existe impacto ambiental cuando una acción o actividad produce una alteración favorable o desfavorable en el entorno natural o con alguno de los elementos físicos del medio. Este fenómeno se puede producir por un proyecto de ingeniería, un plan, una ley o una disposición administrativa o gubernamental que tenga una implicación ambiental. Conesa Fernández (2010) lo define como una alteración neta positiva o negativa en la

calidad de vida del entorno que puede ser apreciada en un período determinado de tiempo. Además, cabe destacar que existen numerosos modelos y procedimientos para la evaluación de impactos sobre el Medio Ambiente o sobre alguno de sus factores, sean generales o específicos para situaciones o aspectos concretos.

Uno de los graves problemas detectados en diversos estudios referidos a impactos ambientales se deriva de no considerar la dinámica de deterioro a la que están sometidos los ecosistemas de los países en estudio (Vera & Romero, 1994). La producción agropecuaria global es responsable de buena parte del impacto ambiental que las actividades antropogénicas tienen sobre los ecosistemas por sus contribuciones a la emisión de gases de efecto invernadero, por la pérdida de biodiversidad, por la contaminación con agroquímicos, por el uso del agua de ríos, lagos y acuíferos para riego, por la degradación de los suelos, por el incremento del nitrógeno reactivo en la biósfera y por los aportes al flujo de fósforo y de otros nutrientes a aguas superficiales y a los océanos (Andrade, 2016).

En el caso de la práctica agrícola, las medidas de protección tienen la orientación, dirigida a la prevención de los efectos contaminantes y gestión racional de los recursos ante problemas de sobreexplotación del recurso (Andrade, 2017).

2.9. Marco Legal

2.9.1. Constitución de la República del Ecuador

Las leyes ecuatorianas sobre polinizadores y biodiversidad son fundamentales para garantizar la protección y conservación de estos importantes elementos de nuestro ecosistema. Estas leyes se basan en principios de sostenibilidad y equilibrio ambiental, promoviendo la preservación de la diversidad biológica y el rol vital que desempeñan los polinizadores en la reproducción de las plantas.

Estas leyes establecen regulaciones para la protección de hábitats naturales clave para los polinizadores, como bosques, páramos, manglares y selvas, así como para la implementación de estrategias de conservación y educación. También se

promueve el uso responsable de productos agroquímicos y la promoción de prácticas agrícolas sostenibles que reduzcan el impacto negativo en los polinizadores y la biodiversidad en general.

Además, estas leyes fomentan la investigación científica y el monitoreo constante de las poblaciones de polinizadores, con el objetivo de obtener datos precisos sobre su estado y tomar medidas adecuadas para su protección. Se establecen sanciones para aquellos que violen estas leyes, incentivando así el cumplimiento de las normas establecidas.

En la Constitución de la República del Ecuador (2008), enmarcado en el Título II de Derechos, Capítulo primero y en el Título VII, el Art. 15 y el Art. 413 hacen hincapié en la promoción del uso de tecnologías ambientalmente limpias y de energías alternativas no contaminantes y de bajo impacto, lo cual implica la prohibición de la aplicación de contaminantes persistentes altamente tóxicos, agroquímicos internacionalmente prohibidos o de organismos genéticamente modificados que sean perjudiciales.

Por otra parte, dentro del Título II, también encontramos en el capítulo séptimo el Art. 73 que el Estado está obligado a aplicar medidas de precaución y restricción sobre aquellas actividades que dirijan a la extinción de especies o la destrucción de ecosistemas.

Finalmente, cabe destacar el Título VII, en su capítulo segundo, Art. 395 la Constitución reconoce al Estado como el gestor que garantizará la aplicación de un modelo sustentable de desarrollo, que respete la diversidad cultural y que conserve nuestra biodiversidad para satisfacer las necesidades de cada individuo (Constitución de la República del Ecuador, 2008).

En resumen, las leyes ecuatorianas sobre polinizadores y biodiversidad reflejan el compromiso del país con la conservación del medio ambiente y la valoración de la importancia de los polinizadores para la salud de nuestros

ecosistemas; a través de regulaciones claras y medidas de protección eficientes, se busca asegurar un equilibrio sustentable entre el desarrollo humano y la preservación de la diversidad biológica en Ecuador (Constitución de la República del Ecuador, 2008).

2.9.2. Convenios Internacionales

Los convenios internacionales avalan el bienestar del ambiente mediante compromisos estrictos para salvaguardar la biodiversidad de las especies; así, por ejemplo, tenemos el convenio de Estocolmo y el convenio de Rotterdam que pretenden promover responsabilidad compartida y esfuerzos conjuntos con respecto al comercio de ciertos productos dañinos.

Rotterdam

Promueve la responsabilidad compartida y los esfuerzos conjuntos de las Partes en la esfera del comercio internacional de ciertos productos químicos peligrosos a fin de proteger la salud humana y el medio ambiente frente a posibles daños. El convenio establece un procedimiento de consentimiento previo informado (CPI) para la importación de productos químicos peligrosos (Comisión Económica para América Latina y el Caribe, 2004)

Estocolmo

Buscar proteger la salud humana y el medio ambiente de Contaminantes Orgánicos Persistentes, en donde las Partes deben tomar medidas para eliminar o reducir la producción, utilización, importación, exportación y emisión de estos contaminantes al medio ambiente (CEPAL, 2004).

2.9.3. Código Orgánico del Ambiente

El CODA, destaca en sus reglamentos más afines al presente trabajo la implementación de un sistema de monitoreo con el fin de medir, evaluar y analizar los cambios que se generan de manera natural o por medio de intervenciones antropogénicas en las especies de vida silvestre del territorio ecuatoriano.

En el Título I de la vida silvestre, Capítulo II, Art. 96, señala que la implementación de sistemas de monitoreo, evaluación y análisis de los cambios que

se generan de manera natural o a través de intervenciones humanas en las especies de vida silvestre son necesarias. Además, en el Libro Segundo, Título I de la conservación de la Biodiversidad, hace mención de que es de vital importancia proteger, conservar, regular e impulsar la utilización sustentable de nuestros recursos, así como también, la recuperación de especies amenazadas ya que, la biodiversidad constituye la base del capital natural de nuestro territorio.

Las leyes ecuatorianas sobre polinizadores y biodiversidad se encuentran establecidas en diferentes normativas, entre las cuales destacan la Constitución de la República del Ecuador y el Código Orgánico del Ambiente (CODA). En la Constitución, específicamente en el artículo 71, se reconoce el derecho a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, así como la obligación del Estado y de la sociedad de garantizar la conservación de la biodiversidad. Por su parte, el CODA, en su artículo 25, establece la protección integral de los seres vivos y sus ecosistemas, reconociendo la importancia de los polinizadores para la reproducción de las plantas y promoviendo su conservación. Asimismo, el artículo 27 del CODA regula la prohibición del uso indiscriminado o inadecuado de productos agroquímicos que puedan dañar a los polinizadores y afectar la biodiversidad. Estas normativas son solo algunas de las bases legales que respaldan la protección de los polinizadores y la biodiversidad en Ecuador, demostrando el compromiso del país con la preservación de estos elementos fundamentales para la vida en nuestro planeta.

CAPITULO III

Metodología

3.1 Área de Estudio

El cantón Otavalo está situado en la zona norte del Ecuador y al sur oriente de la provincia de Imbabura, como se indica en la Figura 9 y se encuentra limitado al norte con los cantones Cotacachi, Antonio Ante e Ibarra; al sur limita con el cantón Quito (Pichincha); al este con los cantones Ibarra y Cayambe (Pichincha) y al oeste con los cantones Quito y Cotacachi. Tiene una superficie de 579 km² donde la ciudad de Otavalo, se localiza al norte del callejón interandino a 1110 kilómetros de la capital Quito y a 20 kilómetros de la ciudad de Ibarra, encontrándose a una altura de 2 565 m s.n.m (Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del Cantón Otavalo, 2022).

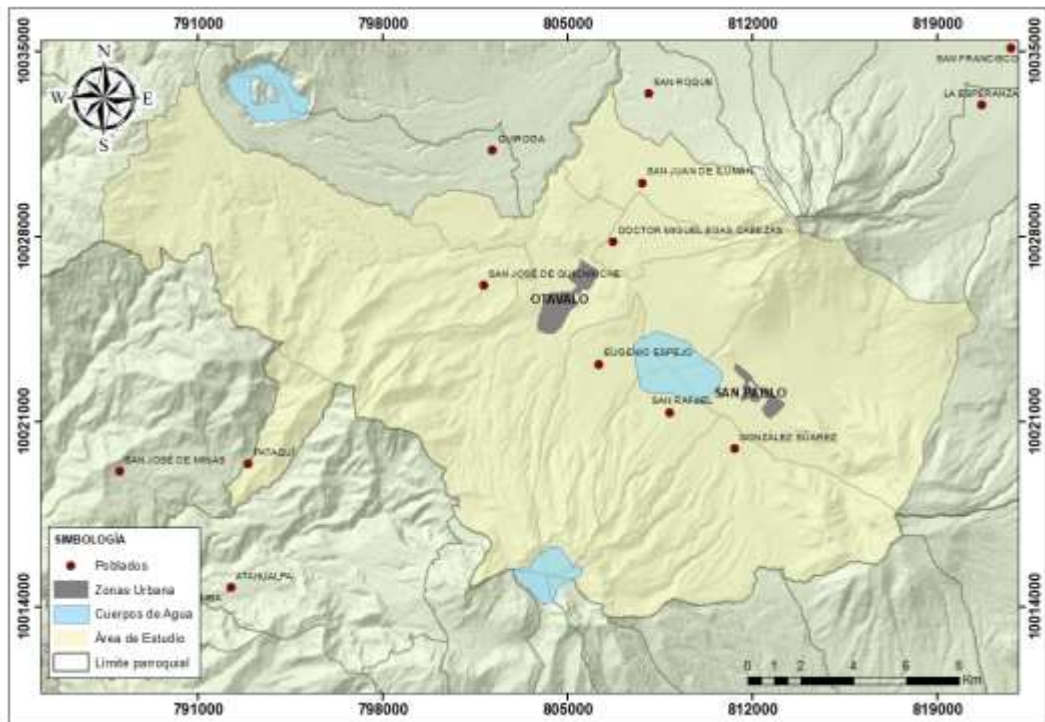


Figura 9. Ubicación del área de estudio

3.1.1 Altitud y Clima

El cantón Otavalo cuenta con diferencias altitudinales (Tabla 3) que varían desde los 1 100 m s.n.m en la zona de Selva Alegre, hasta los 4 700 m.s.n.m., en el cerro Imbabura con relieves planos, ondulados, montañosos, muy montañoso y

escarpados. La temperatura promedio es de 14 °C, la precipitación media anual varía desde los 800mm, en época seca de las parroquias que deslindan con la costa ecuatoriana hasta los 1800 mm de precipitación en época lluviosa.

En el mismo sentido, dentro del cantón se encuentran una clasificación de bioclimas siendo los más representativos el Húmedo Subtemperado, Per-Húmedo Subtemperado, Sub-Húmedo Templado, Húmedo Semicálido, Húmedo Templado, Per-Húmedo Frío (Morales, 2013).

Tabla 3. Factores climáticos de las cinco parroquias de la zona de estudio

Parroquias	Clima	Altitud (m s.n.m)	Precipitación (mm)	Temperatura (°C)
Miguel Egas Cabezas	Ecuatorial mesotérmico semihúmedo y ecuatorial de alta montaña	2641	800 - 1200	19°C
Eugenio Espejo	Ecuatorial mesotérmico semihúmedo y ecuatorial de alta montaña	3003	1200 - 1400	18°C
González Suárez	Ecuatorial mesotérmico semihúmedo y ecuatorial de alta montaña	3182	1200 - 1400	16.5 °C
Ilumán	Ecuatorial mesotérmico semihúmedo y ecuatorial de alta montaña	3041	800 - 1200	15.8°C
Quichinche	Ecuatorial mesotérmico semihúmedo y ecuatorial de alta montaña	3557	800 - 1200	16.5°C
San Pablo	Ecuatorial mesotérmico semihúmedo y ecuatorial de alta montaña	2650	1200 - 1600	18°C
San Rafael	Ecuatorial mesotérmico semihúmedo y ecuatorial de alta montaña	3019	1200 - 1400	17°C

Fuente: (Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del Cantón Otavalo, 2023)

3.1.2. Zona de vida y Cobertura Vegetal

Según un estudio realizado por Morales (2013) la cobertura vegetal del cantón estaba distribuida en área intervenida, Bosque Natural, Páramo, Cuerpo de Agua, Zonas de matorral, áreas erosionadas y humedales. Este tipo de cobertura da paso a que se desarrollen zonas de vida identificadas en Bosque muy húmedo Montano - Bosque húmedo Montano Bajo, Bosque húmedo Montano Bajo, Bosque húmedo Montano Bajo - Bosque húmedo Premontano, Bosque muy húmedo Montano, Bosque húmedo Montano - Bosque seco Montano Bajo, Páramo Subalpino - Bosque húmedo Montano, Bosque húmedo Premontano, Páramo pluvial Subalpino - Bosque muy húmedo Montano, Bosque húmedo Montano, esta variedad de zonas de vida, es dada la ubicación del cantón ya que, está ubicado entre la Costa y Sierra Ecuatoriana.

3.1.3. Tipo de Suelo

Dentro del área de estudio, el suelo no solo es visto como un recurso natural, sino también es considerado como una fuente significativa de producción y de gran importancia ancestral para la población, ya que de este depende una de sus principales fuentes de trabajo como es la agricultura.

Los tipos de suelo que se han descrito dentro del cantón son suelos del orden Inceptisoles, es decir, son suelos muy comunes para todo tipo de climas y los del orden Mollisoles, que son suelos de color negro, muy comunes en zonas con climas secos, húmedos, cálidos y templados, siendo considerados aptos para cultivar (Morales, 2013).

3.1.4. Clases agrológicas (Uso de Suelo)

Según el levantamiento de información realizada por Morales S, (2013) se han encontrado las VII clases agrológicas donde se ha evaluado el grado de explotación agrícola, ganadera y forestal dentro del territorio, esto de acuerdo con la capacidad productiva y los tipos de suelo encontrados en el área de estudio.

Por lo tanto, la variabilidad altitudinal, cobertura vegetal, tipos de suelo, zonas de vida y bioclimas en el cantón Otavalo, el uso actual del suelo se ha visto

comprometido netamente para actividades comerciales que surgen de realizar cultivos de ciclo corto, cultivos perennes, bosque plantado para la producción de madera y zonas que dan paso a la minería.

3.1.5. Zonas Agrícolas

El cantón Otavalo, presenta gran variabilidad de cultivos ocupando diferentes extensiones de acuerdo con la necesidad y el sustento diario de la población, siendo los cultivos más representativos los de: frejol, maíz, papa, haba, chocho, fresa, rosas, mora, eucalipto, avena forrajera, caña de azúcar, trigo, cebada, quinua, totora, pino entre otros (De la Torre, 2019). De acuerdo con Guil (2015) en el Ecuador existen aproximadamente 350 variedades nativas que, en su mayoría, son labradas por pequeños agricultores que realizan labores agrícolas productivas en superficies asentadas sobre los 3000m de altura en relación con el nivel del mar.

3.1.6. Zonas Apícolas

Según el Ministerio de Agricultura y Ganadería (2023) el cantón Otavalo, provincia de Imbabura cuenta con un registro oficial hasta 2021 de 86 apicultores distribuidos a lo largo del territorio, en las parroquias principales de San Pablo del lago, Gonzáles Suárez, San Rafael, Eugenio Espejo, Quichinche, Miguel Egas Cabezas, San Luis.

Los apiarios en el cantón Otavalo, son operados por hombres y mujeres que realizan este trabajo, como una actividad anexa a sus actividades comerciales cotidianas (agricultura, ganadería, venta de animales, etc.), ya que el tiempo, desconocimiento, estigmas sociales y la falta de apoyo gubernamental, no les permite realizar y aprovechar esta actividad al 100%.

3.2. Métodos

3.2.1. Impacto causado por el uso de insecticidas

Para el desarrollo del primer objetivo y, por ende, la identificación de la incidencia de los insecticidas más representativos en los apiarios, se procedió a

identificar el manejo de los cultivos más cercanos a las zonas apícolas visitadas en el cantón Otavalo.

3.2.1.1. Obtención de la información secundaria

En esta sección de la investigación, se procedió a examinar registros de los apicultores, con información actualizada hasta el año 2022. Dicha información, fue obtenida de un funcionario en el MAGAP quién ayudó a identificar puntos de cada apiario, número de apiarios, número de colmenas, productividad registrada en el cantón, y, además, brindó una guía adecuada de cómo tratar a los apicultores.

A partir de la información obtenida y actualizada del MAGAP, se localizaron un total de 43 apicultores dentro del área de estudio contenidos en las parroquias de San Pablo del Lago, Gonzáles Suárez, San Rafael, Eugenio Espejo, Quichinche, Miguel Egas Cabezas, San Luis como se indica en la (Tabla 4).

Tabla 4. Apicultores registrados en el Cantón Otavalo

Parroquias	Apicultores
San Pablo	14
Gonzáles Suárez	11
San Rafael	5
Eugenio Espejo	3
Quichinche	6
Miguel Egas Cabezas	3
San Luis	1

3.2.1.2. Encuestas

En los meses de agosto-septiembre del 2022, se realizaron visitas a los apicultores localizados en cinco de las parroquias (Tabla 5) del cantón Otavalo, se procedió a guiar 22 encuestas de carácter presencial-analítico, donde, se pretendió a describir y explicar los problemas para encontrar una solución a las perturbaciones apícolas (QuestionPro, 2023). Así pues, se expusieron los beneficios que se obtienen de realizar actividades apícolas, se trataron preguntas abiertas y cerradas con temas que consistían en detallar fenómenos negativos, como la mortalidad de las abejas o disminución de su población y finalmente, dado que la muestra de la

población encuestada no tiene un número superior a 100, no se realiza ningún cálculo matemático referente al tamaño de la muestra cómo se menciona en (Suárez, 2011).

Tabla 5. Parroquias encuestadas en el cantón Otavalo

Parroquias	Apicultores
San Pablo	9
Gonzáles Suárez	3
San Rafael	2
Eugenio Espejo	5
Iluman	2
Quichinche	1

3.2.1.3. Entrevistas

La entrevista tiene un enorme potencial para permitirnos acceder a la parte mental de las personas, pero también a su parte vital a través de la cual descubrimos su cotidianidad y las relaciones sociales, que se logran mantener a través de este instrumento de investigación, ya que, es suficiente para la realización del proceso investigativo (López & Deslauriers, 2011). Es así como, se visitaron cinco casas de agro servicio (Tabla 6), mismas que brindaron información relevante sobre los productos, que generalmente usan los agricultores dentro de sus cultivos para prevenir o erradicar plagas de insectos.

Tabla 6. Casas de agro servicio visitadas en la zona de estudio

Código	Agro servicio
Ag 1	Agrícola San Blas
Ag2	Agro-Otavalo
Ag3	Servicios agropecuarios
Ag4	Agrolandia
Ag5	La chagra - almacén agropecuario

3.2.1.4. Evaluación de los Impactos Ambientales – Matriz de Conesa Fernández

La Matriz de Conesa Fernández es una evaluación cuantitativa, pero con valores dados de forma cualitativa de los impactos ambientales, analizando y comparando las causalidades de una acción, proyecto o actividad y los efectos que

pueden producirse sobre el ambiente (Coy & Gómez, 2017). De acuerdo con Conesa Fernández-Vítora (1993), los valores se muestran representados bajo criterios y parámetros establecidos en una serie de atributos dispuestos en una matriz y una ecuación donde el resultado numérico muestra la importancia del impacto en un rango de 0-100.

En esta parte de la investigación, se seleccionaron cinco cultivos influyentes (*Vicia faba*, *Zea mayz*, *Solanum tuberosum*, *Fragaria x ananassa* y *Lupinus mutabilis*) en el proceso de cultivo tanto por su extensión, como por el manejo agroquímico que se le da al cultivo para sacar una buena producción, esto de acuerdo con Agrícola San Blass (2022) y otras casas de agro servicio, que facilitan este tipo de producto y este tipo de información, respaldados por (Buenas Prácticas Agropecuarias - Ecuador, 2023).

A continuación, se especifica la ecuación adoptada para la identificación de perturbaciones en los cultivos circundantes a las zonas donde se han registrado apiarios en el cantón Otavalo.

Ecuación para el Cálculo de la Importancia (I) de un impacto ambiental (Conesa, 1997):

$$I = N [3i + 2EX + MO + PE + RV + SI + AC + EF + PR + MC]$$

Dónde:

N = Naturaleza del impacto.

I = Importancia del impacto.

i = Intensidad o grado probable de destrucción.

EX = Extensión o área de influencia del impacto.

MO = Momento o tiempo entre la acción y la aparición del impacto.

PE = Persistencia o permanencia del efecto provocado por el impacto.

RV = Reversibilidad.

SI = Sinergia o reforzamiento de dos o más efectos simples.

AC = Acumulación o efecto de incremento progresivo.

EF = Efecto (tipo directo o indirecto).

PR = Periodicidad

MC = Recuperabilidad o grado posible de reconstrucción por medios humanos

El desarrollo de la ecuación de (I) es llevado a cabo mediante el modelo propuesto y descrito en la (Tabla 7).

Tabla 7. Matriz de importancia de Conesa Fernández

NATURALEZA (N)	Valor	INTENSIDAD (I)	Valor
- Impacto beneficioso	+	(Grado de Destrucción)	
- Impacto perjudicial	-	- Baja	1
		- Media	2
		- Alta	4
		- Muy alta	8
		- Total	12
EXTENSION (EX)		MOMENTO (MO)	
(Área de Influencia)		(Plazo de manifestación)	
- Puntual	1	- Largo plazo	1
- Parcial	2	- Mediano plazo	2
- Extenso	4	- Inmediato	3
- Total	8	- Crítico	(+4)
- Crítica	(+4)		
PERSISTENCIA (PE)		REVERSIBILIDAD (RV)	
(Permanencia del Efecto)		- Corto plazo	1
- Fugaz	1	- Medio plazo	2
- Temporal	2	- Irreversible	4
- Permanente	4		
SINERGIA (SI)		ACUMULACIÓN (AC)	
(Potenciación de la Manifestación)		(Incremento Progresivo)	
- Sin sinergismo (simple)	1	- Simple	1
- Sinérgico	2	- Acumulativo	4
- Muy sinérgico	4		
EFECTO (EF)		PERIODICIDAD (PR)	
(Relación causa-efecto)		(Regularidad de la Manifestación)	
- Indirecto (secundario)	1	- Irregular o aperiódico o discontinuo	1
- Directo	4	- Periódico	2
		- Continuo	4
RECUPERABILIDAD (MC)			
-Recup. Inmediato	1		
-Recuperable	2		
-Mitigable	4		
-Irrecuperable	8		

Posterior a la identificación y calificación de los impactos ambientales por cultivo (Tabla 8), se ponderan los calores de acuerdo con el siguiente rango:

Tabla 8. Rango de colores para la identificación de Impactos Ambientales

Rango de Importancia	Impacto
I	Irrelevante
II	Moderado
III	Severo
IV	Crítico

3.2.2. Condiciones óptimas para el desarrollo de la familia Apidae

Mediante las encuestas realizadas en la zona de estudio, se identificaron los cultivos de mayor incidencia dando lugar a la evaluación y clasificación de los insecticidas más usados por los agricultores. Con dicha información y con la ayuda de las entrevistas a las casas de Agro servicio en Otavalo, se realizó una exhaustiva investigación bibliográfica con la finalidad de conocer el efecto específico que tienen sobre la población de abejas (*Apis mellifera*) luego de su aplicación en cada uno de los cultivos.

3.2.2.1 Modelos de Distribución potencial para *Apis mellifera*

Para poder identificar las zonas o lugares idóneos en las que se desarrollará los ejemplares provenientes de la familia Apidae, es necesario tomar en cuenta variables bioclimáticas, cobertura vegetal, realizar el índice diferencial de vegetación normalizado, identificar la producción de miel, incidencia de los insecticidas en cada cultivo y georreferenciar toda esa información en mapas que ayudarán a determinar las condiciones óptimas para que se puedan desarrollar estos ejemplares.

3.2.2.2 Puntos de presencia de *Apis mellifera*

Se compiló datos de información georreferenciada en el cantón Otavalo, mediante una base de datos obtenida del Ministerio de Agricultura y Ganadería (2023) con registros del período 2010-2021. Una vez revisada la información, se procedió a depurar y por ende actualizar dicha información con los datos obtenidos mediante la visita a los apiarios dentro del cantón, obteniendo un total de 22 datos representativos (Figura 10) repartidos heterogéneamente en las parroquias de San Pablo del lago, Gonzáles Suárez, San Rafael, Eugenio Espejo, Quichinche e Iluman.

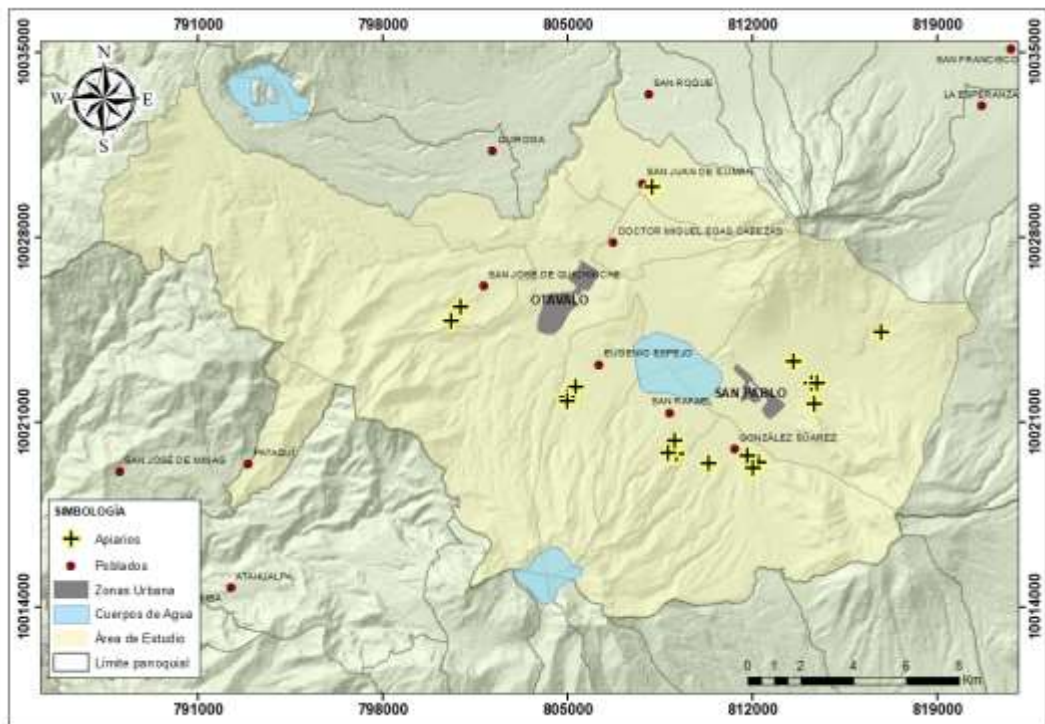


Figura 10. Presencia de *Apis mellifera*

3.2.2.3 Obtención de Variables Ambientales

Para determinar la distribución de la abeja (*Apis mellifera*), se utilizaron variables climáticas (Tabla 9) mensuales de temperatura, precipitación, radiación solar, velocidad del viento y elevación, mismas que fueron descargadas del portal web *WorldClim* (<https://www.worldclim.org/>) en su versión 2.1 lanzada en enero de 2020, los datos están disponibles en las cuatro resoluciones espaciales entre 30 segundos (1 km²) y 10 minutos (340 km²), cada descarga es un archivo “zip” que contiene 12 archivos GeoTiff (.tif), uno para cada mes del año (Fick & Hijmans, 2017). Además, variables ambientales de la producción de miel, NDVI (índice diferencial de vegetación normalizado), cobertura vegetal y toxicidad de insecticidas usados por agricultores en el lugar (Corrales & Lobato, 2023).

Tabla 9. Variables bioclimáticas

Variabes	Descripción
BIO1	Temperatura media anual
BIO2	Rango de temperaturas diurnas
BIO3	Isotermalidad (BIO2/BIO7) (*100)
BIO4	Estacionalidad en la temperatura (desviación estándar * 100)
BIO5	Temperatura máxima del mes más cálido
BIO6	Temperatura mínima del mes más frío
BIO7	Rango anual de temperatura (BIO5-BIO6)
BIO8	Temperatura media del trimestre más lluvioso
BIO9	Temperatura media del trimestre más seco
BIO10	Temperatura media del trimestre más cálido
BIO11	Temperatura media del trimestre más frío
BIO12	Precipitación anual
BIO13	Precipitación del mes más lluvioso
BIO14	Precipitación del mes más seco
BIO15	Estacionalidad en la precipitación (coeficiente de variación)
BIO16	Precipitación del trimestre más lluvioso
BIO17	Precipitación del trimestre más seco
BIO18	Precipitación del trimestre más cálido
BIO19	Precipitación del trimestre más frío

3.2.2.4 Preparación de las variables ambientales

Para determinar las variables climáticas más significativas para el modelo de distribución de *Apis mellifera*, se utilizó el software Arc GIS versión 10.8, en el cual se introdujeron los archivos raster previamente descargados del portal web WorldClim para ser proyectados en el sistema de coordenadas asignadas para Ecuador (WGS_1984_UTM_Zone_17S), mediante el uso de la herramienta *Project raster*, se realizó el corte de todas las variables proyectadas con el área de estudio mediante el uso de la herramienta *Extract by mask*. Es necesario que todas las

variables tengan una misma resolución espacial, por lo cual se procedió a utilizar la herramienta *Kriging*, determinando un valor de celda de 25m. Finalmente, las variables fueron acopladas en formato ASCII, mediante el uso de la herramienta *Raster to ascii*, este último formato es esencial para trabajar con el software Maxent (Phillips et al.,2004)

3.2.2.5 Análisis estadístico de las variables bioclimáticas

La selección de las variables bioclimáticas se realizó mediante el análisis de correlación de las 19 variables, tomando en cuenta solo aquellas que hayan obtenido un valor de $|r| < 0.7$ dando prioridad a las variables que no presentan colinealidad entre sí (Dodd & Pepe, 2003). De forma que, sea posible determinar de manera cuantitativa la relación que existe entre dos variables, tomando en cuenta que mientras el coeficiente sea más cercano a 1 entre dichas variables, la correlación será mayor (Elith et al., 2011).

Para la obtención de estos datos estadísticos, se procedió a realizar un corte en el software ArcGIS, en el cual se introdujeron las 19 variables bioclimáticas anteriormente descritas, con el área de estudio con el fin de mantener el mismo número de columnas y filas para evitar errores al momento de ejecutar en Maxent, luego, se utilizó la herramienta *Create random to points* y también la herramienta *Extract multi values*, mismas que ayudaron a obtener los valores de cada una de las celdas en un cuadro que fueron trasladados a Excel, para eliminar los valores que presenten inconsistencias o que estén fuera de lugar, como aquellos que tengan un valor anormal.

Una vez ordenados los valores, se utilizó la extensión XLSTAT, de Excel, para realizar el análisis de multicolinealidad en el cual, se determinaron las variables que tengan menor correlación entre sí, es decir, aquellas variables que hayan obtenido un valor de <0.7 . Los mismos datos fueron trabajados en el software RStudio (Figura 11) con la finalidad, de realizar una gráfica con los valores absolutos de la correlación y visualizar de mejor manera la relación entre cada variable.

Como resultado se obtuvieron ocho variables bioclimáticas seleccionadas en este proceso de correlación, las variables que cumplieron los lineamientos requeridos fueron: Bio 2 (Rango diurno medio (Media mensual (temperatura

máxima-temperatura mínima)), Bio 3 (Isotermalidad), Bio 4 (Temporalidad de la temperatura), Bio 7 (Rango anual de temperatura), Bio 12 (Precipitación anual), Bio 17 (Precipitación del trimestre más seco), Bio 18 (Precipitación del trimestre más cálido), y Bio 19 (Precipitación del trimestre más frío).

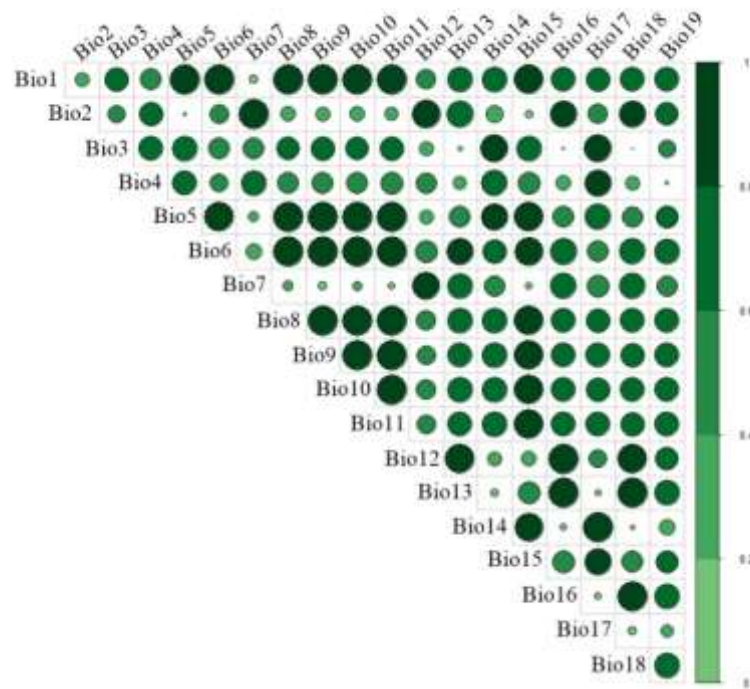


Figura 11. Gráfica de la prueba de correlación con valores absolutos de las variables bioclimáticas

3.2.2.6. Obtención y preparación de variables biofísicas

Las variables biofísicas, son elementos primordiales para la comprensión de los procesos fenológicos de los ecosistemas del cantón en el marco del cambio climático, para lo cual, se desarrollaron las siguientes variables en archivos de tipo ráster en base a la información proporcionada por el portal web SNI (<https://sni.gob.ec/>) y EarthExplorer (<https://earthexplorer.usgs.gov/>), respectivamente para la cobertura vegetal y NDVI, se obtuvieron mediante el recorte con la herramienta *Clip* en *Imagen Analyst*, de una imagen satelital Landsat 8 con el área de estudio, mientras que la producción de miel y toxicidad de agroquímicos fueron variables obtenidas mediante datos levantados en campo y la revisión bibliográfica correspondiente, a las fichas técnicas de cada insecticida aplicado en las zonas de cultivo del cantón.

3.2.2.7. Índice diferencial de vegetación normalizado.

El índice diferencial de vegetación normalizado (NDVI), nos permite generar una imagen donde se muestra la biomasa relativa (Revelo et al., 2020). Se obtuvo el NDVI realizando descarga de una imagen satelital Landsat 8 del año 2020, se procedió a ingresarla en el software ArcGIS 10.8 agregando las bandas 4 y 5, con lo que se calculó el NDVI mediante la herramienta “*raster calculator*” tomando en cuenta la siguiente fórmula:

$$NDVI = \frac{IR - R}{IR + R}$$

Donde:

IR = infrarrojo cercano (B5)

R = Rojo (B4)

El resultado de este procedimiento se lo puede observar en el Anexo*.

3.2.2.8. Cobertura vegetal

La clasificación supervisada es un proceso de análisis de imágenes que permite asignar cada celda en el área de estudio a una clase conocida (ESRI, 2022). En este proceso, se parte de un conjunto de clases conocido a priori, que deben caracterizarse en función del conjunto de variables (Sarría, 2014). La clasificación supervisada se realiza en dos pasos principales: selección de muestras y la clasificación.

Para la obtención de la imagen satelital clasificada se utilizó el software ArcGIS10.8 con la imagen satelital Landsat 8, luego se ajustó la combinación de bandas en RGB 6, 5 y 2, posteriormente, se generó áreas de entrenamiento de los con las siguientes categorías: (1) agua, área poblada, infraestructura; (2) mosaico agropecuario, otras tierras; (3) páramo; (4) pastizal, plantación forestal; (5) cultivo, vegetación arbustiva; (6) bosque nativo, estas muestras fueron almacenadas en formato (.gsg) para posteriormente realizar la interpolación de superficies mediante el uso de la herramienta “*spatial analyst*” y obtener la imagen de clasificación supervisada de los suelos en el área de estudio (Anexo 2).

3.2.2.9. Modelamiento del nicho ecológico en Maxent

El modelamiento para determinar la distribución geográfica de la especie *Apis mellifera* en cantón Otavalo, se basó en la metodología propuesta por dicha metodología se basa en estimar la semejanza de las condiciones en cualquier área con las condiciones de los lugares de ocurrencia conocida de un factor. Una aplicación común de este método es predecir los rangos de especies con datos climáticos como predictores (Hijmans & Elith, 2013). Para ello, se utilizó MaxEnt (Phillips et al., 2006; Amaro et al., 2023), el algoritmo SDM más utilizado, el algoritmo estima la probabilidad de distribución potencial de cada especie, teniendo en cuenta que la mejor predicción se obtiene al maximizar la entropía de dicha distribución bajo ciertos contextos ambientales. Este software, supera a otros SDM en términos de precisión predictiva y tolerancia de tamaño de muestra pequeño (Merow et al., 2013), p. 1058).

La posible presencia de la especie se representa en un rango de 0 a 1, donde 0, equivale a la probabilidad más baja y 1, equivale a la probabilidad más alta. En el modelamiento de la distribución biogeográfica de la especie se realizó, una compilación de datos de la ubicación de presencia de la especie y las variables bioclimáticas previamente seleccionadas (Bio2, Bio3, Bio4, Bio7, Bio12, Bio17, Bio18, Bio19), se transformó la información en formato ASCII en el software ArcGIS, ya que, este formato es primordial en la ejecución de Maxent, y finalmente, se configuraron las opciones de prueba aleatoria con un valor de 20 y se introdujo un valor de 5000 como valor máximo de iteraciones, se omitió las opciones *Extrapolate* y *Do Clamping*. Las demás opciones no fueron modificadas y quedaron establecidas por defecto.

Una vez obtenido el modelo, este se evaluó empleando el valor AUC (Phillips et al., 2006; Manel et al., 2002) calculado a partir de la Característica Operativa del Receptor (ROC) (Hanley & McNeil, 1983). Según los valores de AUC (Tabla 10) se diferencian cinco niveles de rendimiento y el área bajo de la curva ROC (AUC) indica, para un punto de presencia y un aleatorio seleccionado al azar, la probabilidad de que el valor de idoneidad previsto por el modelo para el

punto de presencia sea mayor que el previsto para el punto aleatorio; esto constituye una buena medida de la capacidad de predicción del modelo (Manel et al., 2002; Araújo et al., 2007; Phillips et al., 2006). La principal ventaja de este método es su independencia del umbral y la objetividad de sus resultados (Jiménez, 2012).

Por otra parte, la prueba de Jackknife y las curvas de respuesta son herramientas utilizadas en el modelo de distribución de especies para evaluar la importancia de las variables ambientales y comprender cómo afectan la predicción del modelo (Plasencia-Vázquez et al., 2014). Estas técnicas se aplican en conjunción con el modelo de distribución de máxima entropía (MaxEnt), que es un enfoque ampliamente utilizado para predecir la distribución geográfica potencial de las especies; la distribución real de las especies se refiere a las áreas donde se ha verificado su presencia, mientras que la distribución potencial se refiere a las áreas con condiciones ambientales similares a las de los sitios de presencia verificada (Rivera et al., 2021).

Las curvas de respuesta muestran cómo cada variable ambiental afecta la predicción del modelo de MaxEnt y la prueba de Jackknife evalúa la importancia de las variables, considerando el área bajo la curva (AUC) con los datos de entrenamiento (Plasencia-Vázquez et al., 2014; Rivera et al., 2021).

Con respecto a la validación del modelo, el método True Skill Statistics (TSS) se utiliza para evaluar la precisión de los modelos de distribución de especies. TSS es una medida de precisión dependiente del umbral que se aplica fácilmente para predicciones de presencia-ausencia (Allouche et al., 2006). Se considera, un método más realista y práctico en comparación con otros métodos de precisión como el AUC, la especificidad y la sensibilidad (Tabla 10) (Shabani et al., 2018). TSS es un tema central en el modelado de distribución de especies (SDM) y el modelado predictivo debido a que el valor esperado de TSS, se calcula en función de la tasa de verdaderos positivos (TPR) y la tasa de verdaderos negativos (TNR), que se calculan en función de la presencia y la ausencia, respectivamente (Somodi et al., 2017). La TSS se compara con la TSS del SDM original, para evaluar la

precisión de los modelos de distribución de especies ajustados, ya que TSS es una de las tres medidas utilizadas para determinar la precisión del modelo, junto con los valores Kappa y AUC (Gavish et al., 2016; Zhang et al., 2015).

Tabla 10. Rango de valores de AUC

Descripción	Rango
Excelente	0.9 – 1
Bueno	0.8 – 0.9
Aceptable	0.7 – 0.8
Malo	0.6 – 0.7
Inválido	<0.5 – 0.6

El principal objetivo de los modelos de estimación de distribución de especies es el desarrollo de un mapa que permita indicar de manera muy clara la idoneidad del hábitat de la especie dentro de un área de estudio.

3.2.2.10 Desarrollo de modelos de proyección futura para *Apis mellifera*

En un rango de tiempo entre el año 2022-2040, 2041-2060, 2061-2080 y con el escenario pesimista SSP587 se realizó un modelo predictivo de distribución potencial, tomando en cuenta las características bioclimáticas previamente seleccionadas por el análisis estadístico, siendo estas las Bio 2, Bio 3, Bio 4, Bio 7, Bio12, Bio 17, Bio 18, Bio 19. Para este punto se utilizó el modelo ACCESS-CM2 que fue descargado del portal web WorldClim (worldclim.com) con resolución de 30 segundos, para una mejor visualización; este modelo, fue escogido bajo la premisa bibliográfica de que varios estudios respaldan la objetividad del modelo y la seguridad de sus datos, ya que, el modelo tiene una resolución horizontal de 250 km para aerosoles y atmósfera y se utiliza para estudiar los flujos de humedad atmosférica y las proyecciones futuras de precipitaciones (Chang et al., 2022).

3.3. Diseño de estrategias para la implementación de apiarios basados en buenas prácticas ambientales

Las estrategias desarrolladas en el tercer objetivo brindan una guía y solución actual ante los problemas identificados en los apiarios del cantón Otavalo

de acuerdo con la investigación realizada para la posterior obtención de buenas prácticas apícolas.

3.3.3.1. Problemas identificados en los apiarios del cantón Otavalo

A partir de las salidas de campo y visitas a los distintos apicultores a lo largo y ancho del cantón, se logró identificar una serie de 13 problemas relevantes y repetitivos a los que se enfrentan diariamente las personas que realizan esta actividad. Una vez detallada esta información se adjuntó revisión bibliográfica, como una guía de apoyo secundaria.

3.3.3.2. Identificación de los elementos clave en la realización de la Matriz de Vester

Los 13 problemas antes mencionados, dispuestos y calificados en filas y columnas ayudaron a establecer un grado de causalidad y casualidad entre ellos (Corredor et al., 2020). El proceso técnico sistemático a seguir se detalla a continuación en la Tabla 11.

Tabla 11. Proceso sistemático para realizar la matriz de Vester

Proceso	Detalle
1	Generación del listado de problemas
2	Análisis de la relación entre problemas
3	Elaboración de la matriz y disposición de problemas
4	Suma y calificación de filas y columnas
5	Clasificación de los problemas de acuerdo al grado causal
6	Calificación
7	Ubicación de los problemas en el plano cartesiano

Para poder calificar los problemas, se establece un rango de identificación donde 0 corresponde a la causa inexistente de un problema con otro, 1 representa una causa leve entre problemas, 2 Causa mediana y 3 finalmente representa una causa fuerte entre problemas.

3.3.3.3. Gráfica de relación a los problemas descritos

Una vez ubicados los problemas en una hoja de Excel y calificados de acuerdo con el grado causal, se procederá a disponer la suma de activos y pasivos totales en un plano cartesiano, donde el eje Y representa a los pasivos y el eje X representa a los activos, convirtiéndose en un proceso simple de identificación de cada grupo, donde la zona de los problemas críticos (Figura 12), serán considerados problemas de alta urgencia a tratar y mitigar (Beard, 2015).

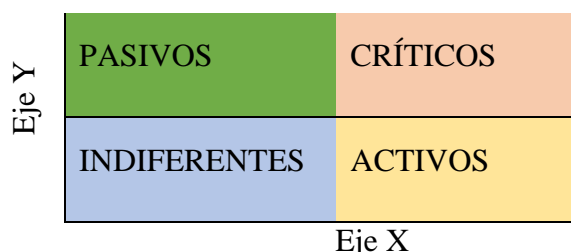


Figura 12. Identificación de los cuadrantes de la Matriz de Vester

Fuente: Beard, 2015

3.3.3.4. Planificación y gestión del árbol de problemas

Esta herramienta fue utilizada para encontrar de manera conjunta el foco o problema central, las causas y los posibles efectos que trae consigo el desplazamiento y disminución de la población de *Apis mellifera* en el Cantón Otavalo (Martelo et al., 2017). Su representación ayudó posteriormente al planteamiento de programas, subprogramas o estrategias que fomenten la resolución de problemas a corto, mediano o largo plazo esto según lo palpado en las salidas de campo dentro del área de estudio e identificado al realizar la matriz de Vester y el árbol de problemas (CONEVAL, 2013).

3.4. Materiales

A continuación, en la (Tabla 12) se detallan los equipos y materiales a utilizar durante la investigación.

Tabla 12. Equipos, materiales y softwares para la investigación

Materiales	Equipos	Softwares
Fase de campo		
Encuestas	Cámara de fotos	-
Mascarillas	Vehículo	-
Gel antiséptico	-	-
Libretas	-	-
Esferos	-	-
Fase de oficina		
Laptop HP y Laptop ACER	-	Excel
-	-	ArcGis
-	-	MaxEnt

CAPITULO IV

Resultados y Discusión

4.1 Caracterización de apiarios visitados en el cantón Otavalo

Se han establecido códigos específicos para diferenciar cada una de las parroquias visitadas en el cantón Otavalo (Tabla 13), de acuerdo con dicha codificación se procedió a identificar los siguientes resultados encontrados en las salidas de campo dentro de la zona de estudio.

Tabla 13. Código por parroquia

Parroquias	Código
San Pablo	SP
Gonzáles Suárez	GS
San Rafael	SR
Eugenio Espejo	EE
Iluman	IL
Quichinche	QUI

4.1.1. Cantidad de colmenas registradas en el Cantón Otavalo

De acuerdo con lo registrado en campo, la cantidad de colmenas con las que inicio cada apicultor entrevistado era más elevada que la cantidad de colmenas que poseen actualmente como se observa en la Figura 14. El lugar que mayor cantidad de colmenas registraba, hasta antes del censo realizado en el periodo agosto-septiembre 2022, variaba entre las parroquias de González Suárez y Eugenio Espejo; sin embargo, luego de haber realizado dicho censo, no solo en estas parroquias ha disminuido la población de abejas, sino que en su gran mayoría los apicultores de las otras parroquias visitadas también se han visto afectados por la disminución de estos ejemplares y por ende de los productos derivados de realizar dicha actividad.

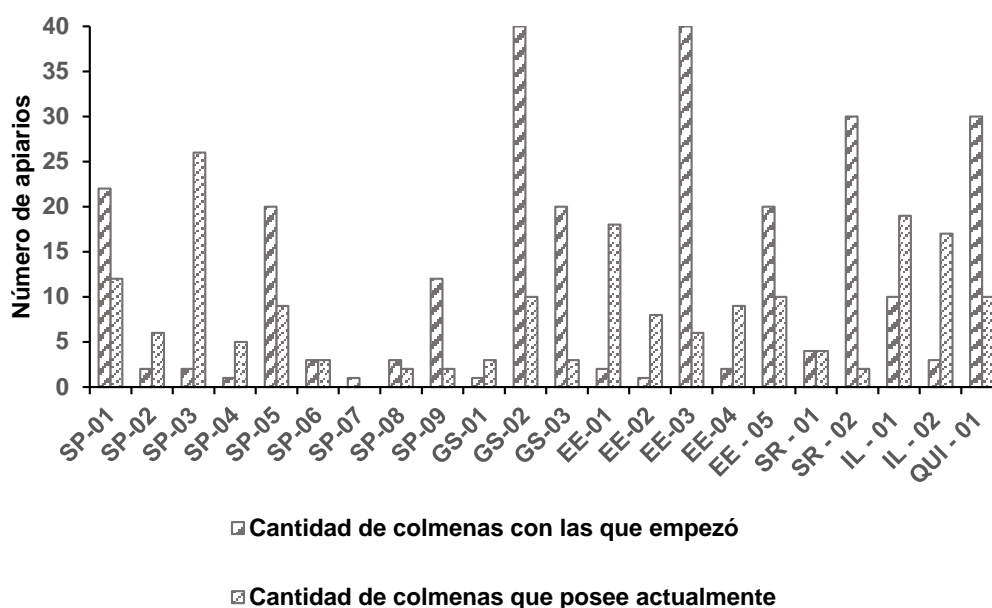


Figura 14. Número de colmenas registradas en el cantón Otavalo.

4.1.2. Abejas y Productividad

Las abejas melíferas son el tipo de ejemplares que predominan y representan el 64% de la especie más usada por los apicultores en el cantón Otavalo. Aguirre (2016) señala que, este tipo de abejas son poco enjambradoras, sin embargo, es una especie bastante elogiada por el buen instinto para la construcción, cubre la miel con opérculos de un blanco brillante y ninguna otra abeja produce miel de excelente calidad cómo esta. A pesar de que la especie antes mencionada ocupa el mayor porcentaje, se encontró también a las abejas africanizadas, que a pesar de tener un 36% de preponderancia en el cantón (Figura 15), es un valor bastante significativo ya que, de acuerdo con la literatura de Magem (2016) se puede afirmar que “*En algunas condiciones ellas son más productivas, pero en la mayoría de las investigaciones en condiciones iguales, la abeja africana produce menos miel, aunque la producción de cría sea alta y por esto su expansión como raza sea mayor, al igual que la recolección de polen.*”

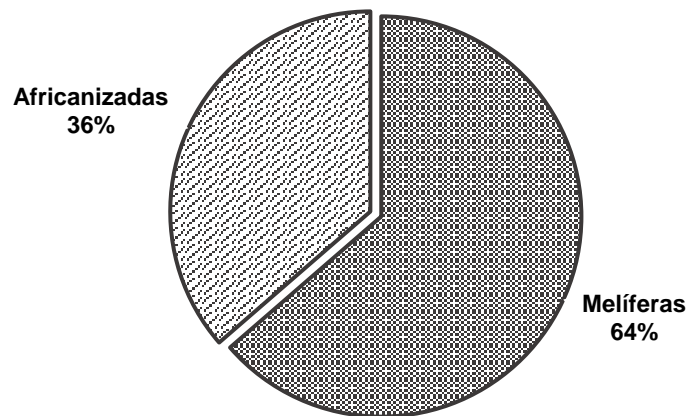


Figura 135. Abejas encontradas en el Cantón Otavalo.

4.1.3 Productos obtenidos de la apicultura y su producción de miel anual

De entre todos los productos que las abejas producen se destaca la miel por sus propiedades nutritivas y su abundancia dentro del apiario, presentando así un 47% de predominancia entre los productos recolectados en apiarios de la zona de estudio, seguido del propóleo con un 21%, polen con un 15%, cera con un 13% y finalmente la jalea real y las reinas con un 2% cada una (Figura 16).

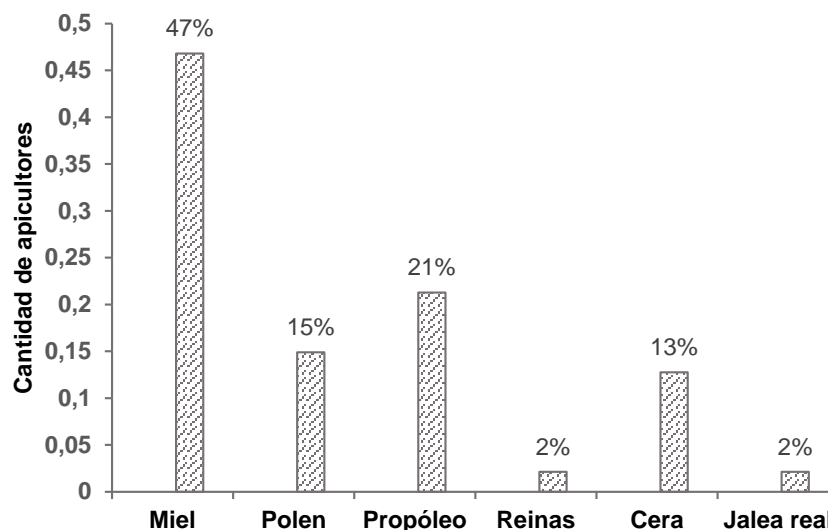
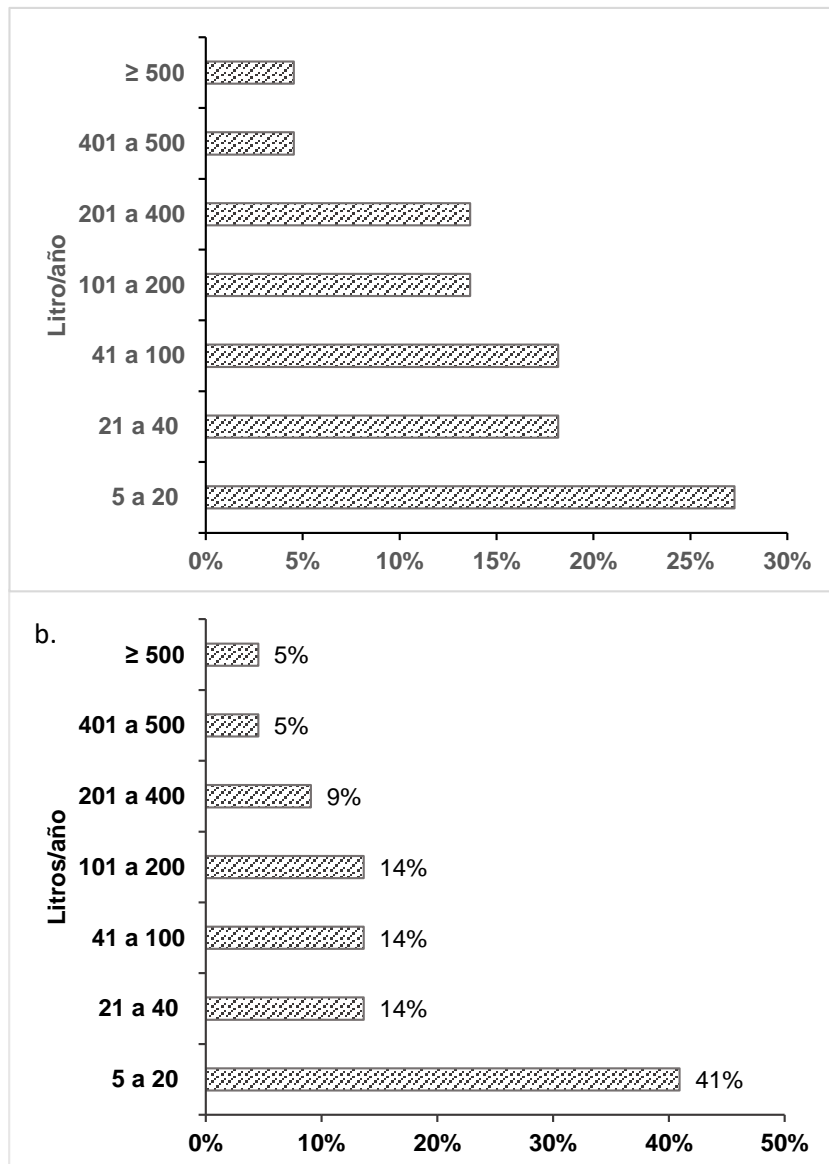


Figura 146. Productos comerciales provenientes de la apicultura

Sin embargo, de toda la cantidad de miel que se produce en los apiarios, la gran mayoría no es cosechada. En la (Figura 16a) observamos los valores de producción anual de miel en el cantón Otavalo, que al ser comparada con la (Figura

16b), presenta una notable disminución en cuanto a la producción de miel dentro del territorio. Con el tiempo, la miel almacenada en las colmenas puede deteriorarse debido a la exposición a la luz, el calor y la humedad. Esto puede hacer que la miel sea menos atractiva para su consumo o venta, así como también puede atraer a insectos y otros animales, lo que aumenta el riesgo de propagación de enfermedades y parásitos en el apiario.



La cantidad de abejas influye significativamente en la producción de miel, siendo las abejas obreras las responsables de recolectar el néctar de las flores y convertirlo en miel a través de un proceso de regurgitación y evaporación; una abeja

obrero puede producir alrededor de 4 ml de miel en su vida, lo cual equivale a una cucharadita de café (Daners & Tellería, 1998). Para reunir 1 kg de miel se necesitan aproximadamente 2.500 abejas, la producción de miel de una colmena completa y fuerte puede variar según su salud, territorio, floración y clima. En la figura 16b se observa la disminución porcentual de producción de miel por apicultores dentro del cantón. En su gran mayoría la producción anual en litros ha reducido en un 9%, 14% y 41% según los datos recolectados en campo. Sin embargo, a pesar de los datos antes mencionados, existe una minoría del 10% de los apicultores que han aumentado su producción anual con valores superiores a los 500 litros en los últimos años. Esta cantidad fluctúa en función de aspectos como la floración en el radio de la colmena, la cantidad de abejas del enjambre o la fuerza de este.

El análisis de medias de producción de miel en los apiarios registrados, determino que la distribución de los productos obtenidos de la apicultura, son destinados en un 20% a la ciudad de Quito, 18% a la cabecera cantonal, un 10% en Ibarra y en San Pablo de Lago. Anexa a esta información, los apicultores también consumen y distribuyen sus productos dentro de sus comunidades, por lo general son productores que obtienen pocos beneficios de esta actividad, motivo por el que se registran datos porcentuales que varían entre el 3 y 5% (Figura 17). Un estudio realizado por Campos et al, (2018), indica que la devaluación del comercio de miel parece ser un problema en algunos países debido a la importación de miel de otros países a precios más bajos; esto ha provocado una disminución en la demanda de miel local, lo que ha provocado el almacenamiento de la producción nacional.

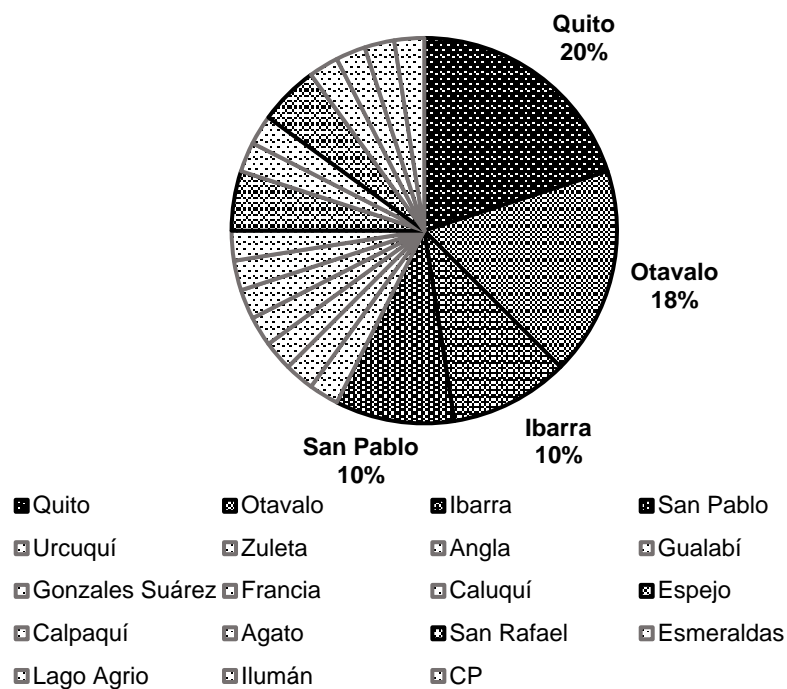


Figura 15. Distribución de productos derivados de la apicultura en el cantón Otavalo.

4.1.4. Descenso de población en el cantón Otavalo

La principal causa de muerte de las abejas es el envenenamiento por productos químicos agrícolas. No está claro si se trata de una combinación de malas prácticas, dosis excesivas en aplicaciones agrícolas, productos ilegales o no, ya que no ha habido una investigación detallada sobre este asunto en el país. Además del primer factor que afecta a la salud de las abejas, también hay que mencionar la deforestación, el cambio climático, los virus y enfermedades, así como la mala gestión de las colonias de abejas.

La mortalidad de las abejas según los datos colectados en campo ha aumentado de manera considerable en algunos casos. Es así como el 10% de los apicultores encuestados, indican que han perdido de entre 11 a 15 y 21 a 30 colmenas. Así mismo, el 19% de los apicultores han perdido de entre 16 a 20 colmenas. El 27% de ellos afirman haber perdido de entre 6 a 10 colmenas siendo este y finalmente el 37% de los apicultores ha perdido una cantidad de colmenas que varían en un rango de entre 0 a 5, como se observa en la Figura 18. El número de abejas y otros polinizadores está disminuyendo en muchas partes del mundo, en

gran parte debido a las prácticas agrícolas intensivas, los monocultivos, el uso excesivo de productos químicos agrícolas y las temperaturas más altas asociadas con el cambio climático. De acuerdo con un informe emitido por la FAO en el 2019, las abejas están bajo la gran amenaza de los efectos combinados del cambio climático, la agricultura intensiva, el uso de pesticidas, la pérdida de biodiversidad y la contaminación; si esta tendencia continúa, cada vez con más frecuencias los cultivos nutritivos serán sustituidos por monocultivos nocivos.

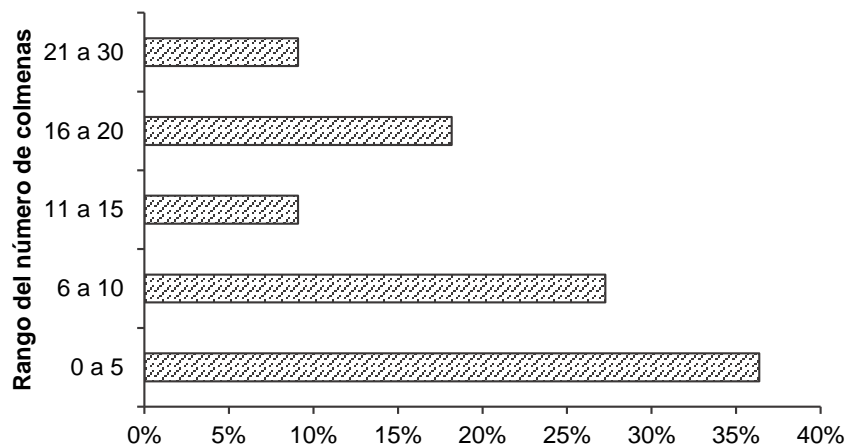


Figura 16. Pérdida de colmenas en los últimos años en el cantón Otavalo.

4.1.5 Afectación del cambio climático en la población de abejas

Los apicultores encuestados en el cantón Otavalo mencionan que solo el 14% de la producción de abejas ha aumentado en los últimos años gracias a las medidas adoptadas tales como realizar controles culturales, como la eliminación de paneles viejos y la limpieza de la colmena, para reducir la presencia de enfermedades, así como asegurarse de que las abejas tengan una alimentación adecuada y suficiente, ya que una nutrición deficiente puede debilitar la salud de las abejas y reducir la producción de miel, sin embargo, un notable 86% indican que su producción se ha visto afectada dada la variación climática de los últimos años, ya que, influye directamente con el trabajo diario que realizan estos ejemplares, es decir, el hecho de salir a buscar flores de su interés para poder elaborar sus productos (Figura 19).

Los impactos potenciales del cambio climático en la producción de miel son un problema complejo que involucra, la falta de condiciones climáticas que impulsen altos rendimientos y mejoren la productividad, de modo que los apicultores están sujetos a un riesgo económico que deriva en que vulnera la rentabilidad de los apiarios (Al-Ghamdi et al., 2014) donde la aplicación de medicamentos, la alimentación artificial y la movilización de colmenas principalmente, como estrategias de adaptación para la producción, representan costos variables en continuo incremento y que deben ser recuperados por la venta de la miel en el mercado, restringiendo la capacidad de generar utilidades que mantengan la rentabilidad de la actividad apícola (Magaña & Leyva, 2011)

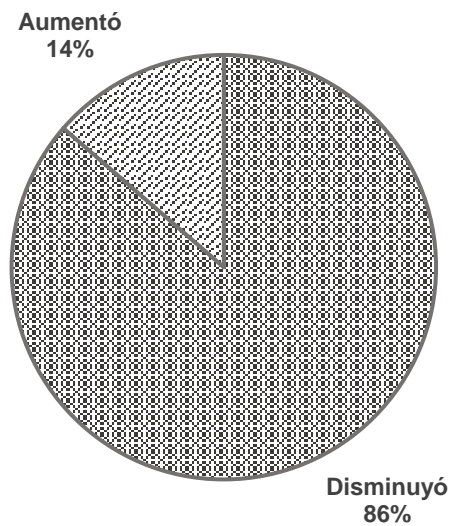


Figura 17. Afectación en la productividad de las abejas por el cambio climático

Los factores determinantes según la información levantada en campo afirman que un 38% del descenso de la población de abejas, se debe primordialmente a los cambios climáticos y ambientales que golpean fuertemente al cantón, el 30% se debe a la poca floración en áreas colindantes a la ubicación de las colmenas, un bajo pero significativo 28% de los apicultores mencionan que otra de las causas es debido al uso frecuente de agroquímicos en la zona (Figura 20) y finalmente, el 4% de ellos ha sufrido pérdidas de colmenas debido a las enfermedades que puedan darse dentro de las colmenas por ácaros parasitarios como la Varroa ya que afecta a las abejas obreras, reinas y zánganos, disminuyendo

la rentabilidad de las explotaciones y la calidad de los productos de la colmena. Una colonia infestada llega a producir hasta 65% menos miel en comparación con una colmena sana (Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, 2011).

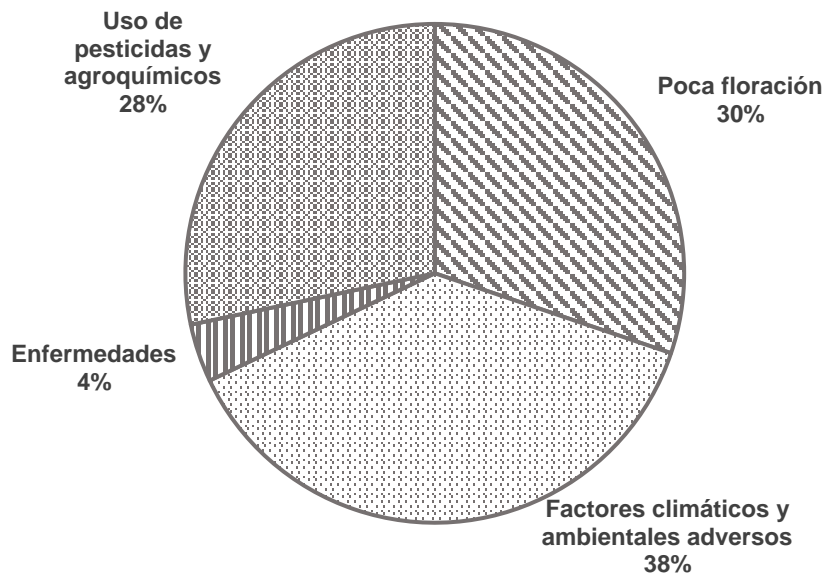


Figura 18. Descenso de la población de abejas en el Cantón Otavalo

La clasificación de los diferentes agroquímicos utilizados en los cultivos cercanos a los apiarios en el cantón Otavalo se detallan en la (Figura 21). El 59% de los apicultores no usa ningún tipo de agroquímico, mientras que el 41% restante si utiliza; siendo el insecticida el que mayor porcentaje representa.

La agricultura moderna depende cada vez más de los polinizadores, sin embargo, el número de colonias de la abeja domesticada de la miel (*Apis mellífera*) está creciendo a un ritmo más lento que su demanda, mientras que los polinizadores silvestres disminuyen en todo el mundo. Lebuhn & Vargas (2021) señalan que la pérdida de polinizadores está relacionada con diferentes tipos de impacto antrópico, en particular la sustitución de hábitats naturales por tierras de cultivo y el uso generalizado de pesticidas, que han causado disminuciones en la abundancia y/o diversidad de polinizadores a escala local, regional y global. Como consecuencia,

la gran mayoría de los cultivos dependientes de polinizadores presentan limitada su producción debido a una incorrecta polinización (Ghio & García, 2022).

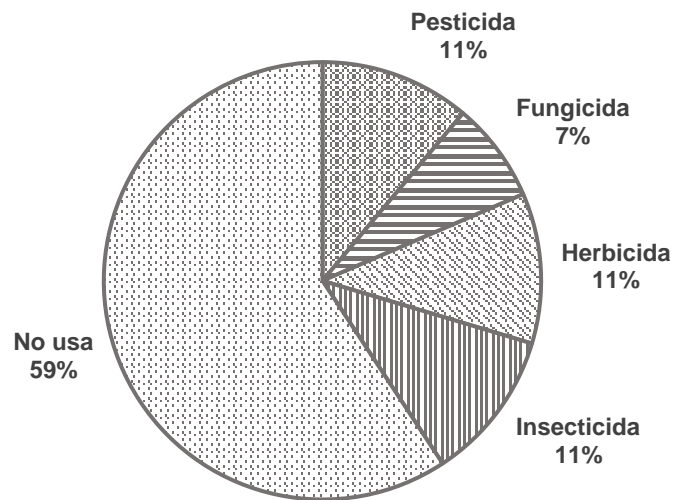


Figura 19. Agroquímicos más frecuentes usados por agricultores en el cantón Otavalo.

Reyes et al., (2013) señala en su investigación que: los efectos subletales observados para dosis bajas de insecticidas en las abejas son varios y diversos. Se pueden clasificar en: a) Efectos fisiológicos; b) Alteración del patrón de pecoreo; c) Interferencias en el comportamiento alimentario; d) Impacto de los plaguicidas neurotóxicos en los procesos de aprendizaje. El 27% de los agricultores aplican los agroquímicos antes mencionados en dosis diluidas en cantidades no especificadas o calculadas, esto debido a que se lo hace de manera empírica (Figura 22).

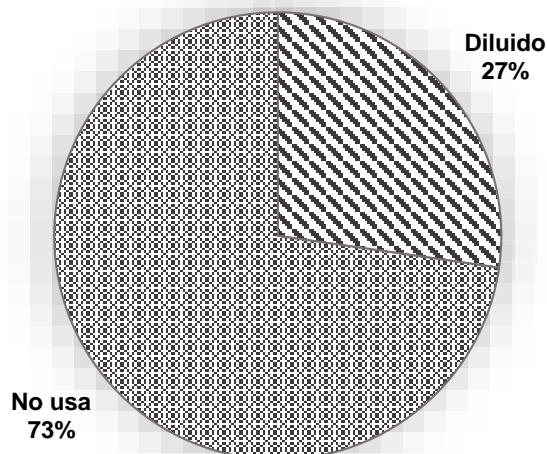


Figura 20. Dosis de agroquímicos usadas mayormente por agricultores en el cantón Otavalo.

La mayoría de los agroquímicos (Tabla 12) empleados por los agricultores es aplicada por el método de aspersion terrestre alcanzado un 27% del total (Figura 23). De acuerdo con Botías & Sánchez (2018) los polinizadores pueden exponerse a los plaguicidas a través de diversas rutas: (i) por contacto directo con aerosoles y partículas suspendidas en el aire o en superficies de plantas tratadas, (ii) por la ingestión de polen, néctar y agua contaminada con estos compuestos, (iii) o por inhalación de plaguicidas volátiles, siendo ésta última una forma de exposición menor. La ruta y forma de exposición dependerán en gran medida del método de aplicación del plaguicida, de sus propiedades fisicoquímicas y persistencia, de las condiciones climatológicas y también del comportamiento y las preferencias de forrajeo de los distintos polinizadores (Brown et al., 2013).

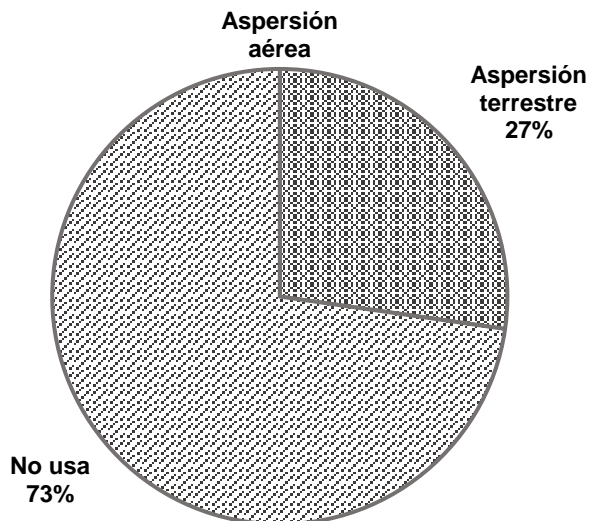


Figura 21. Aplicación del agroquímico en los cultivos identificados en el cantón Otavalo.

La frecuencia diaria de aplicación está representada en un 4% en las zonas de cultivo, el 9% de los agricultores aplica semanalmente sus productos químicos, el 4% aplica mensualmente, 9% trimestralmente y en su mayoría dentro del cantón se registró que el 74% de los agricultores no aplica agroquímicos (Figura 24).

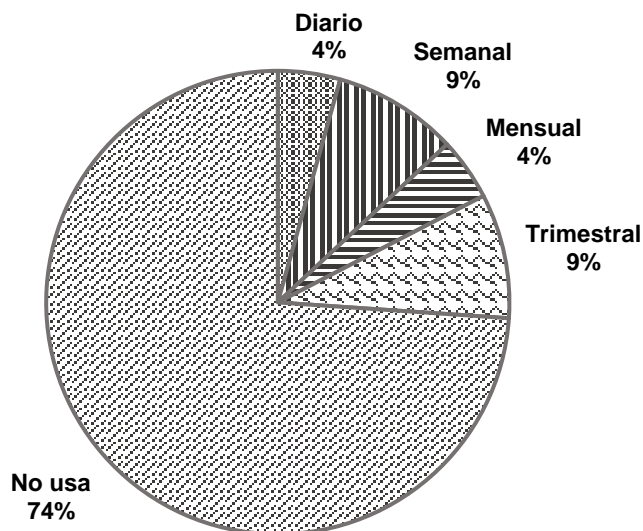


Figura 22. Frecuencia de Aplicación de los agroquímicos en las zonas de cultivo de Otavalo

4.1.6 Alimentación complementaria y trashumancia

La alimentación complementaria en apiarios es importante para asegurar que las abejas tengan suficientes nutrientes para sobrevivir y producir miel. Algunos de los tipos de alimentos que consumen las abejas incluyen agua, néctar, polen, miel, propóleos y minerales, esta alternativa se realiza cuando las fuentes naturales de alimento son insuficientes, como en épocas de sequía o de fuertes lluvias, ya que dificultan la supervivencia de la especie, por lo cual, El 71% de los apicultores alimenta a sus colmenas con azúcar de caña y el 21% con harina de soja, el porcentaje restante de apicultores señala que no proporciona ningún tipo de alimentación complementario, esto se debe a la falta de conocimiento sobre estas técnicas y el escaso acceso a suplementos (Figura 25).

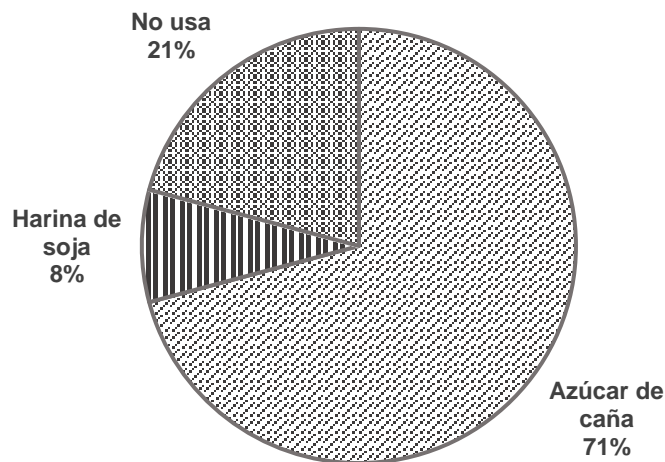


Figura 23. Alimentación suplementaria usada por los apicultores

Por tal motivo, solo el 5% de los apicultores realiza el proceso de trashumancia como se detalla en la (Figura 26). Este proceso consiste en transportar colmenas estacionalmente a diferentes lugares después de la floración de diferentes cultivos (Martínez et al., 2022).

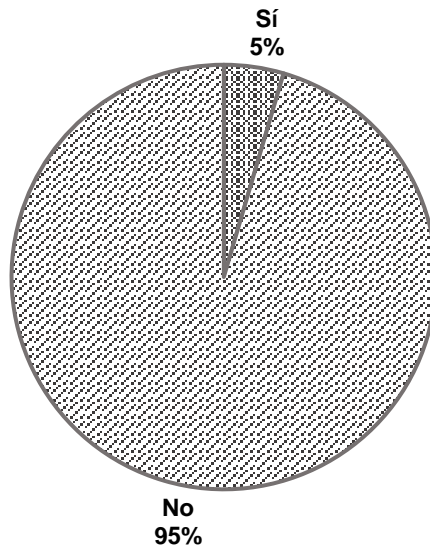


Figura 24. Proceso de trashumancia registrada en el cantón Otavalo

Tabla 14. Insecticidas utilizados en los cultivos circundantes a los apiarios identificados en el cantón Otavalo

Cultivo	Producto	Ingrediente Activo	Aplicación	Estado físico	Clasificación Toxicológica	Período de aplicación
Haba	Dethomil	Methomyl	Aspersión	Polvo	Altamente peligroso	1 vez cada 15 días
	Keeper	Bencarofuran	Aspersión	Líquido	Moderadamente peligroso	1 vez cada 15 días
	Lainco	Acephato	Aspersión	Polvo	Poco peligroso	1 vez cada 15 días
Maíz	Parathion	Metil Paration	Aspersión	Líquido	Poco peligroso	4 veces cada mes
	Curacrom	500 Profenofos	Aspersión	Líquido	Altamente Tóxico	4 veces cada mes
	Kañon	Chlorpyrifos 50% + Cypermethrin 5%	Aspersión	Líquido	Moderadamente peligroso	4 veces cada mes
Fresa	Floramite	Bifenazate+ Aditivos c.s.p.	Aspersión	Polvo	Ligeramente peligroso	1 vez cada 8 días
	Estruendo	Miclobutanil 240	Aspersión	Polvo	Ligeramente peligroso	1 vez cada 8 días
	Avermectinas	Abamectina	Aspersión	Líquido	Altamente Tóxico	1 vez cada 8 días
Chocho	Kliunch	Abamectina	Aspersión	Líquido	Altamente Tóxico	1 vez cada 15 días
	Nakar	Benfuracarb	Aspersión	Líquido	Moderadamente peligroso	1 vez cada 15 días
Papa	Actara 25	Tiametoxam	Aspersión	Polvo	Altamente Tóxico	1 vez cada 15 días
	Dethomil	Methomyl	Aspersión	Polvo	Altamente peligroso	1 vez cada 15 días
	Avermectinas	Abamectina	Aspersión	Líquido	Altamente Tóxico	1 vez cada 15 días
	Kañon	Chlorpyrifos+Cypermethrin	Aspersión	Líquido	Moderadamente peligroso	1 vez cada 15 días
	Imidacloprid 350 SC-DVA	Imidacloprid	Aspersión	Polvo	Extrema toxicidad	1 vez cada 15 días
	Selecron 500	Profenofos	Aspersión	Líquido	Moderadamente peligroso	1 vez cada 15 días
	Lainco	Acephato	Aspersión	Polvo	Poco peligroso	1 vez cada 15 días
	Permethrin	Permethrina	Aspersión	Líquido	Extrema toxicidad	1 vez cada 15 días
	Aficar	Carbosulfan	Aspersión	Polvo	Altamente Tóxico	1 vez cada 15 días
	Belation	Malathion	Aspersión	Polvo	Altamente Tóxico	1 vez cada 15 días
Trigard 750WP	Ciromazina	Aspersión	Polvo	Ligeramente peligroso	1 vez cada 15 días	
Starbus	Flubendiamida	Aspersión	Líquido	Toxicidad aguda	1 vez cada 15 días	
Tedion V	Tetradifon	Aspersión	Líquido	Ligeramente peligroso	1 vez cada 15 días	
Basudin	Diazinon	Aspersión	Polvo	Extrema toxicidad	1 vez cada 15 días	

Fuente: Manual de Plaguicidas de Centroamérica, 2023

4.2 Evaluación de Impactos Ambientales

4.2.1 *Proceso productivo del cultivo de Haba (Vicia faba)*

El cantón Otavalo cuenta con un total de 3 ha de cultivo de haba debidamente identificadas y distribuidas en la zona de estudio que si bien, no es un cultivo de amplia extensión, se le ha considerado significativo para el presente estudio debido a las condiciones en las que este cultivo es manejado por los agricultores de las parroquias de San Pablo, Gonzáles Suárez, San Rafael, Eugenio Espejo, Ilumán y Quichinche.

A continuación, se presenta la Tabla 15 en la que se identifican las entradas y salidas del proceso productivo del cultivo, donde se logró identificar paso a paso la preparación del suelo, siembra, riego y el primer caldo integrado de agroquímicos que ayudará a la posterior identificación de aspectos e impactos ambientales.

La intensidad con la que se usan los agroquímicos especialmente insecticidas dentro del cultivo de haba, dio a conocer la necesidad productiva de comercializar este producto en las comunidades y en la cabecera cantonal ya que, al ser considerado como un alimento tradicional, su producción aumenta. En el proceso de deshierbado, control de maleza y cosecha, los recursos naturales más afectados, alterados y deteriorados involucran al suelo, agua, aire, dadas las micropartículas, ruido y vibraciones que son emitidas por los equipos durante las 11 aplicaciones cada 15 días que se hacen en el manejo del cultivo.

Tabla 15. Proceso productivo de *Vicia faba*

Entrada	Proceso	Salida
Maquinaria-Insecticida-Fungicida-Combustibles	Preparación del suelo	GEI, Agua Residual, Envases plásticos
Semilla-Insecticida-Fungicida	Siembra	Micropartículas de agroquímicos, Agua Residual y Envases plásticos
Agua	Riego	Agua Residual Micropartículas de
Agua con Insecticida	Plantación/ 1° Caldo integrado	agroquímicos, Agua

		Residual y Envases plásticos
Mano de Obra	Deshierbado	Residuo Orgánico
Agua con herbicida	Control de maleza	Envases Plásticos
Maquinaria	Cosecha	GEL, Ruido y vibraciones

4.2.2 Evaluación del impacto ambiental en el cultivo de Haba (*Vicia faba*)

De acuerdo con la especificación y caracterización en la metodología de impactos ambientales dictaminados por la Matriz de Conesa Fernández, se ha logrado identificar 25 impactos ambientales causados por el uso de insecticidas en el cultivo de *Vicia faba*, dentro de los cuales se identificó el 68% como impactos moderados, 24% severos, 8% irrelevantes y se identificó un 0% para impactos ambientales considerados críticos, como se muestra en la (Figura 27) dentro de la zona de estudio.

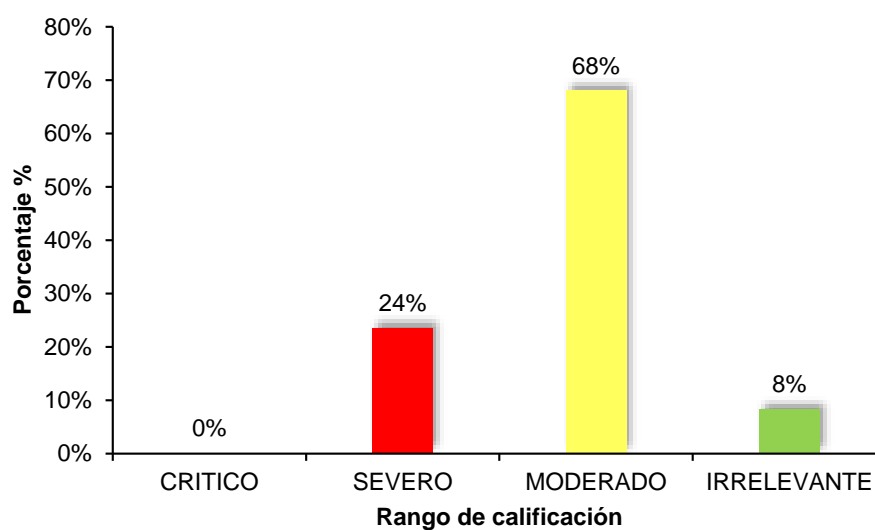


Figura 25. Impacto ambiental en *Apis mellifera* por el uso de insecticidas en el cultivo de *Vicia faba*

El 24% identificado como impacto ambiental severo se debe al agotamiento de los recursos naturales generados por el uso de maquinaria en la preparación del suelo, así como el agotamiento del ecosistema en el proceso de siembra y finalmente la alteración morfológica y fisiológica de la abeja dado el uso de neonicotinoides

como *Tiametoxam/ Imidacloprid*, que aunque se encuentre en bajas dosis, llega a perjudicar las capacidades motoras, de aprendizaje y memoria de las abejas adultas que estén emergiendo, disminuyendo así el porcentaje de la población (Papach et al., 2017; Li et al., 2021).

Por otro lado, el 68% identificado como impacto moderado según Guilin et al., (2022) se debe al uso de *abamectina* en los procesos de cultivo, y a pesar de la toxicidad del compuesto, los efectos adversos para *Apis mellifera* no son tan graves o críticos como para otras poblaciones de abejas.

En ese mismo sentido, estudios realizados en Perú por Iannacone Oliver (2015) indican que productos denominados como *clorpirifos* otro de los insecticidas registrados en campo y que hace parte del mismo porcentaje, presenta daño constante neuronal en la población melífera. Este insecticida registra daños abdominales disminuyendo la probabilidad de que los ejemplares salgan con vida al tratar de eliminar el tóxico por sí solo, acumulándose en el cuerpo a pesar de tener un registro de dosis letal media, llega afectar la funcionalidad del ejemplar expuesto (Bailey et al., 2005).

4.2.3 *Proceso productivo del cultivo de maíz (Zea mays)*

El cultivo de maíz en el cantón Otavalo ocupa 921 ha distribuidas a lo largo de la zona de estudio. El cultivo de maíz (Figura 28) ha sido seleccionado dada su extensión y recurrencia en las parroquias de San Pablo, Gonzáles Suárez, San Rafael, Eugenio espejo, Ilumán y Quichinche.

El propósito de analizar el proceso productivo de *Zea mays*, es ubicar proceso, causas y efectos que puedan producirse en el desarrollo de este cultivo para así, tomar en cuenta las problemáticas que surgen a raíz de su cosecha prolongada en Otavalo.

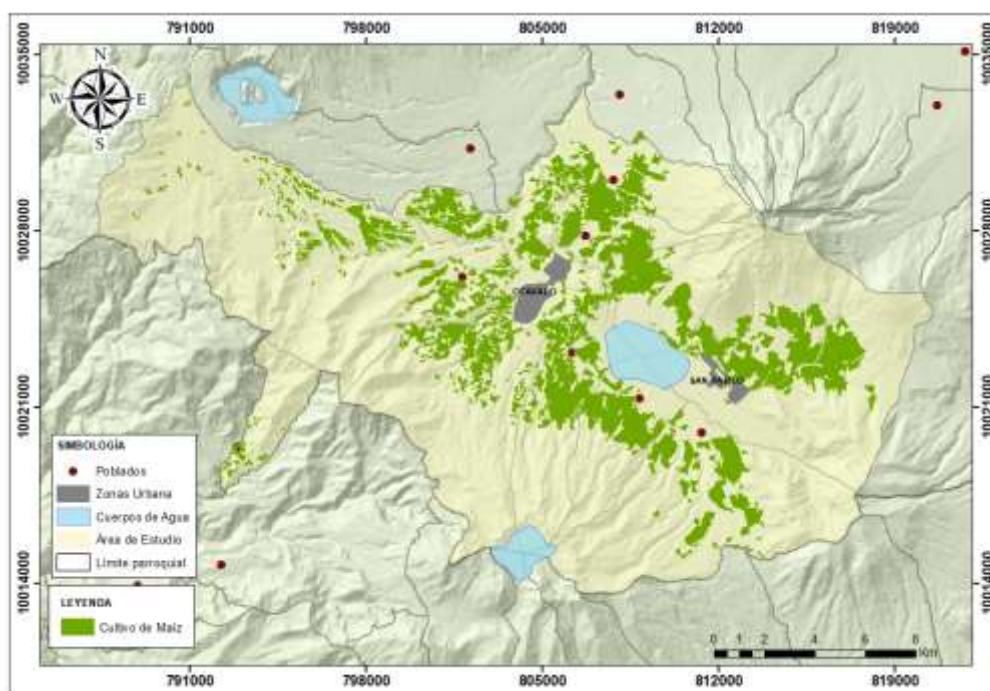


Figura 26. Extensión del cultivo de maíz (*Zea mays*) en el Cantón Otavalo

A continuación, en la Tabla 16 se analiza el proceso de cultivo de maíz para posterior identificación de aspectos e impactos ambientales determinados por la matriz de Conesa Fernández.

En este sentido, para sacar a flote el producto se aumentan las dosis de agroquímicos y son necesarias cuatro aplicaciones cada mes o mes y medio, en un total de cinco meses, ya que, las alteraciones que más destacan, involucran el desgaste directo e indirecto de los recursos agua y suelo, de tal forma que, no se registra de manera adecuada los insecticidas en el proceso de siembra, plantación y cosecha.

Tabla 16. Proceso productivo de *Zea mays*

Entrada	Proceso	Salida
Maquinaria, Insecticida-Fungicida, Combustibles	Preparación del suelo	GEI, Agua Residual, Envases plásticos
Semilla-Insecticida-Fungicida	Siembra	Micropartículas de agroquímicos, Agua Residual y Envases plásticos

Agua	Riego	Agua Residual
Agua con Insecticida	Plantación	Micropartículas de agroquímicos, Agua Residual y Envases plásticos
Maquinaria	Cosecha	GEI, Ruido

4.2.4 Evaluación del impacto ambiental en el cultivo de Maíz (*Zea Mays*)

La evaluación del impacto ambiental en el cultivo de *Zea mays* determinado por la matriz de Conesa Fernández ha identificado un total de 20 impactos dentro de los cuales, se ha obtenido como único resultado, Impactos moderados en un porcentaje de 100% (Figura 29) del total de lo evaluado para este tipo de cultivos, según los insecticidas que se aplican en el mismo.

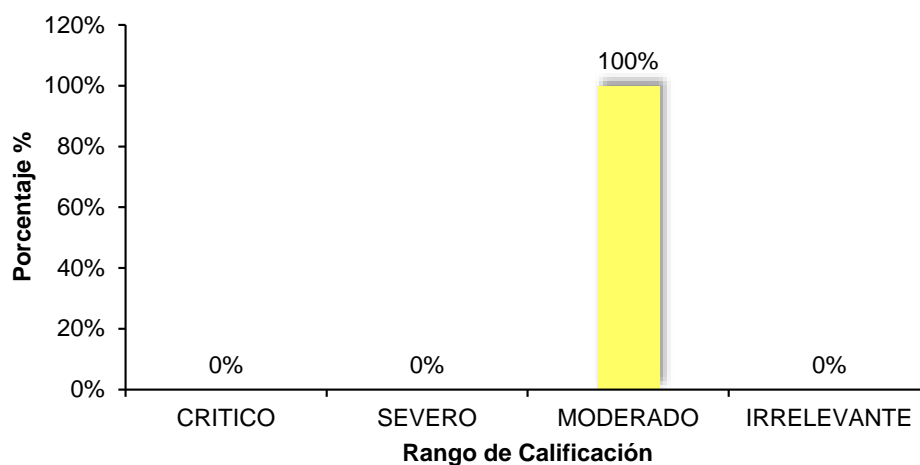


Figura 27. Impacto ambiental en *Apis mellifera* por el uso de insecticidas en el cultivo de *Zea mays*.

Dado que todos los impactos ambientales identificados han resultado moderados, su significancia y calificación se debe a que no se usa insecticidas netamente tóxicos (*neonicotinoides*) dentro del proceso de cultivo para la población de abejas y se describen impactos a largo plazo, donde el agotamiento, modificación y alteración a los recursos naturales van a ser evidentes (Schreinemachers & Tipraqsa, 2012).

En muchos lugares del mundo, el cultivo del maíz es considerado uno de los cultivos de producción básica para la supervivencia de la población, es así que, para mejorar la producción, se enfocan miles de hectáreas en su reproducción y solo en Ecuador hasta 2021 se ocupó 355 has, siendo el cultivo transitorio de mayor extensión en el país (Zambrano & Caviedes, 2022).

Sí bien, este cultivo no representa un riesgo actual para la población melífera, bajo condiciones de campo los efectos adversos de productos como *Deltametrina* en contacto con abejas melíferas, no tiene consecuencias desfavorables duraderas a pesar de ser una sustancia aplicada al menos dos veces en el sistema agrícola del cultivo (Organización Mundial de la Salud para el Programa Internacional de Seguridad de las Sustancias Químicas, 1993).

4.2.5 *Proceso productivo del cultivo de Papa (Solanum tuberosum)*

Solanum tuberosum ocupa una extensión de 110 ha (Figura 30) distribuidas en el cantón Otavalo y al ser la papa un producto de alta demanda en la sierra ecuatoriana ha sido un cultivo considerado tanto por extensión como por la frecuencia con la que se aplican una serie de agroquímicos tóxicos en su proceso productivo.

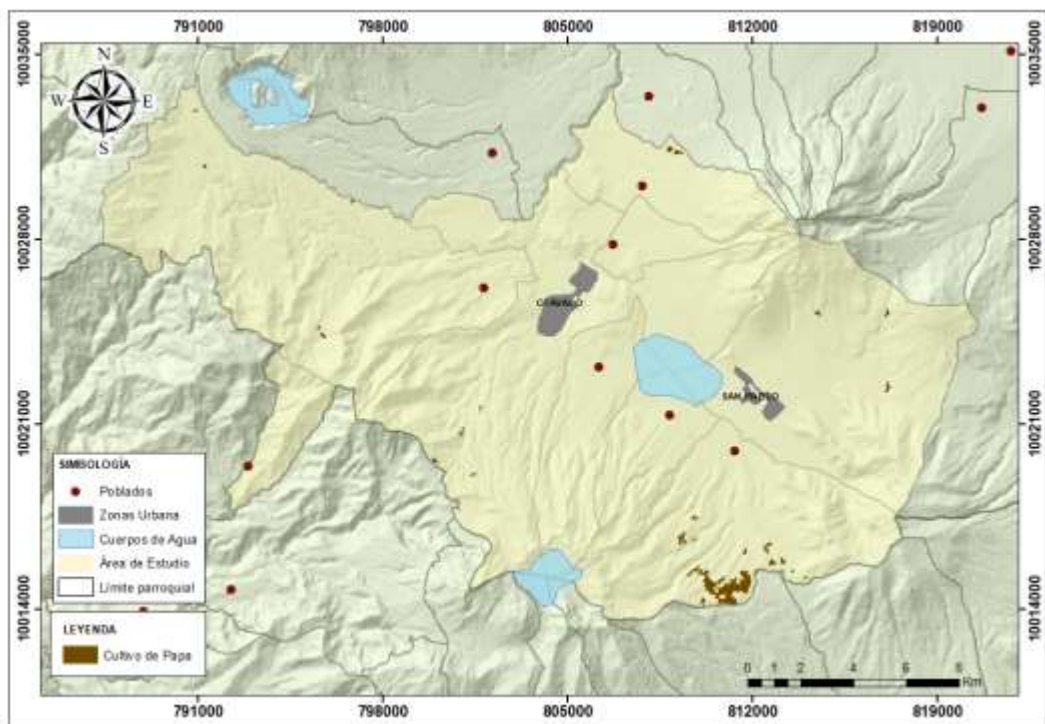


Figura 28. Extensión del cultivo de papa (*Solanum tuberosum*) en el Cantón-Otavalo

En vista de que la papa es un producto de alta demanda, consumo y comercialización, su producción se basa en un proceso de fertilización extremo con la finalidad de obtener una buena producción en el menor tiempo posible, por lo que se busca suelos profundos y bien drenados.

A continuación (Tabla 17) se describe el proceso de cultivo de la papa, donde se realiza la preparación del suelo, la siembra como tal, y dentro de la plantación en este cultivo se usa una mezcla de insecticidas en lo que se denomina como caldo integrado, mismo que es aplicado con una frecuencia de 15 días, durante seis meses.

Dada la demanda activa de este producto, produce desgaste y agotamiento no solo de los recursos naturales como el agua, aire y suelo que van desde la preparación del suelo hasta la cosecha, sino la exposición y las alteraciones en la salud ocupacional del personal que se dedica a esta actividad, pues existe ruido, vibraciones y muchas micropartículas pueden llegar afectarlos negativamente en los procesos de siembra, plantación, control de maleza.

Tabla 17. Proceso productivo de *Solanum tuberosum*

Entrada	Proceso	Salida
Maquinaria-Insecticida-Fungicida-Combustibles	Preparación del suelo	GEI, Agua Residual, Envases plásticos tóxicos
Semilla-Insecticida-Fungicida	Siembra	Micropartículas de agroquímicos, Agua Residual y Envases plásticos tóxicos
Agua	Riego	Agua Residual
Agua con Insecticida	Plantación/Caldos integrado	Micropartículas de agroquímicos, Agua Residual y Envases plásticos
Mano de Obra	Deshierbado	Residuo Orgánico

Agua con herbicida	Control de maleza	Envases Plásticos
Maquinaria, Mano de Obra	Cosecha	GEI, Ruido y vibraciones, desecho plástico

4.2.6 Evaluación de impactos ambientales del cultivo de papa (*Solanum tuberosum*)

La matriz de Conesa Fernández permitió identificar 20 impactos ambientales (Figura 31) importantes dentro de los cuales los porcentajes se han distribuido en 0% impactos críticos, 12% impactos irrelevantes, 38% se han catalogado como severos y en su mayoría, el 51% de los impactos son Moderados.

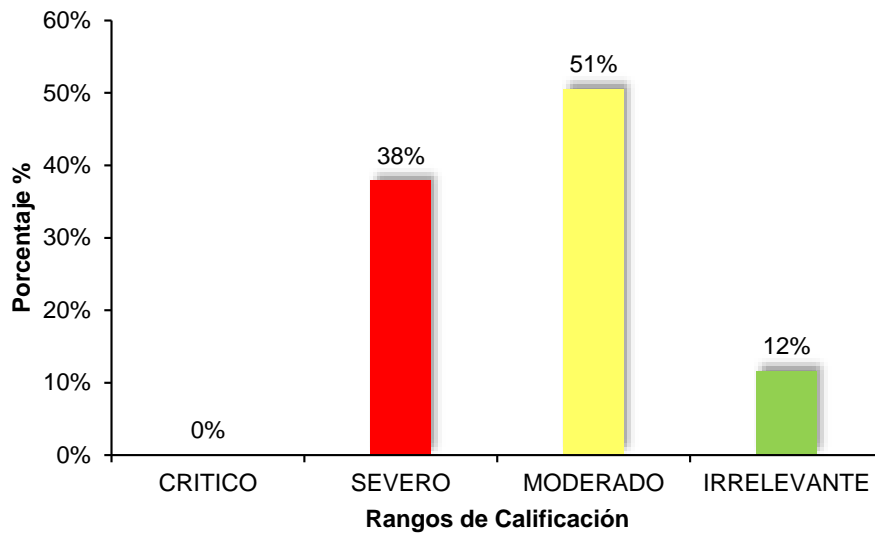


Figura 29. Impacto ambiental en *Apis mellifera* por el uso de insecticidas en el cultivo del *Solanum tuberosum*

Los impactos ambientales identificados como moderados se deben al uso de insecticidas que no causan daño significativo a la población de abejas, pero que se bioacumulan en los productos que se obtiene de la apicultura (Choudhary & Sharma, 2008). Productos fitosanitarios como la *abamectina* y *metomil*, son químicos que generan agotamiento de los recursos naturales y también presentan una leve bioacumulación y persistencia en el ecosistema al que están expuestos (Manual de plaguicidas de Centroamérica, 2023).

En cuanto a los impactos ambientales determinados como severos, se reconoce recurrentemente el agotamiento del recurso suelo, dado el proceso largo en el cultivo de *Solanum tuberosum* y la gran cantidad de agroquímicos que aquí se usan, entre ellos ciertos insecticidas que afectan al ecosistema y las funciones de las abejas. Las alteraciones morfológicas y fisiológicas en estos ejemplares son evidente y tomando en cuenta que aproximadamente la mitad (52/115) de los principales productos alimenticios mundiales dependen de la polinización de las abejas, el cultivo de la papa no es la excepción, ya que se ha notado rápida pérdida de colonias por el uso y sinergia de dichos químicos que no solo inhiben las funciones de las abejas, sino que las hacen susceptibles a enfermedades (Manjon et al., 2018).

En Ecuador, la papa es consumida internamente en el país y aproximadamente el 81% se comercializa como producto fresco, mientras que el resto es distribuido para otras actividades (Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias, 2014). La papa, al ser un producto que se siembra y cosecha por todo el año, está expuesto a uso indiscriminado de insecticidas como *Acetamiprid*, *Glifosato*, *clorpirifos*, entre otros, que no solo cumplen con la función de proteger al cultivo de plagas, sino que también afectan indirectamente a poblaciones benéficas de insectos como *Apis mellifera* (Fisher et al., 2014; CONICET, 2009).

La consecuencia directa de usar estos insecticidas indiscriminadamente trae consigo hipersensibilidad en melíferas, aumentando la tasa de mortalidad desde la etapa larval, reduciendo la funcionalidad de sistema nervioso del ejemplar y, sobre todo, afectan su ciclo reproductivo (Martin-Culma & Arenas-Suárez, 2017)

4.2.7 *Proceso productivo del cultivo de fresa (Fragaria x ananassa)*

El cultivo de fresa cuenta con 13 ha repartidas en el territorio del Cantón Otavalo (Figura 32) y dada su elevada demanda productiva y al ser uno de los cultivos frutales de básico consumo en Ecuador, ha sido considerado un cultivo relevante tanto por la frecuencia con la que se usan agroquímicos, como por su extensión en el territorio.

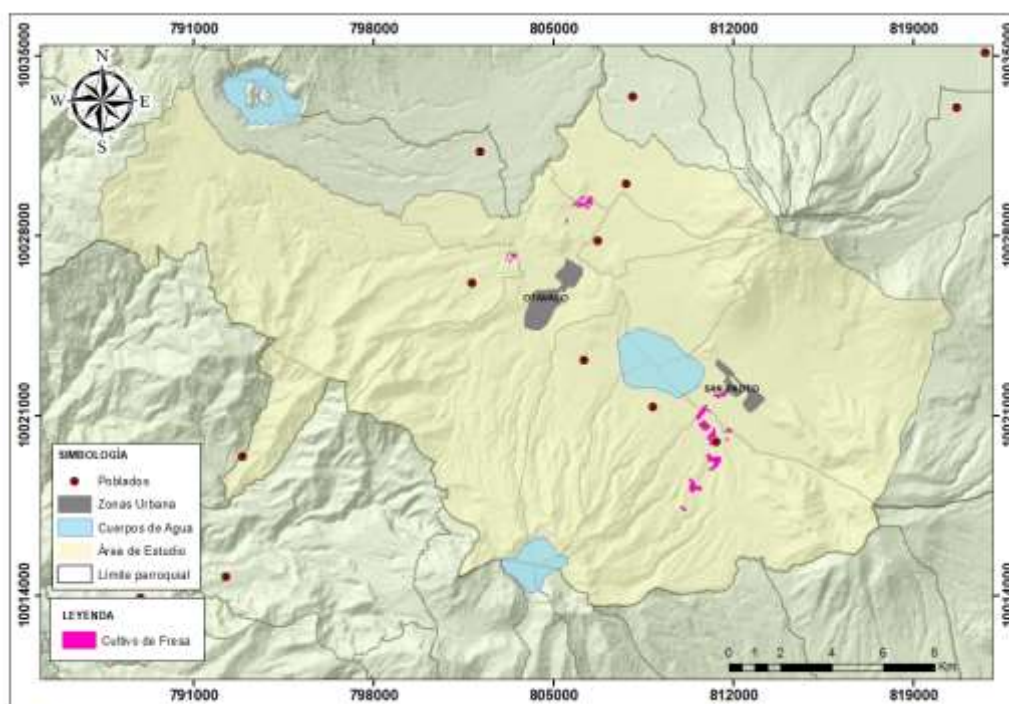


Figura 30. Extensión del cultivo de fresa (*Fragaria x ananassa*) en el cantón Otavalo

La fresa al ser una planta herbácea, perenne y de hábito rastrero, la frecuencia y duración del riego depende de las condiciones climáticas, físicas del suelo y necesidades de la plántula, con una planificación específica para el proceso de plantación y preparación del suelo (InfoAgro, 2023).

A continuación (Tabla 18) se presenta la descripción de su proceso productivo, dado que este tipo de cultivo presenta aplicaciones de agroquímicos de 10 a 15 días, según la necesidad del agricultor por sacar la producción a flote.

Conforme a ello, el agua residual obtenida de la mezcla en los procesos de aplicación, envases plásticos tóxicos y micropartículas desprendidas desde la preparación hasta la cosecha, indicaron compactación, agotamiento particular en el suelo, acumulación de rastros de sustancias en agua, según la información de las casas de agro servicio del cantón.

Tabla 18. Proceso productivo de *Fragaria x ananassa*

Entrada	Proceso	Salida
---------	---------	--------

Maquinaria- Insecticida-Fungicida- Combustibles	Preparación del suelo	GEI, Agua Residual, Envases plásticos tóxicos
Semilla-Insecticida- Fungicida	Siembra	Micropartículas de agroquímicos, Agua Residual y Envases plásticos tóxicos
Agua	Riego	Agua Residual
Agua con Insecticida	Plantación/Caldo integrado	Micropartículas de agroquímicos, Agua Residual y Envases plásticos tóxicos
Mano de Obra	Deshierbado	Residuo Orgánico
Agua con herbicida	Control de maleza	Envases Plásticos tóxicos, Agua residual
Maquinaria	Cosecha	GEI, Residuos plásticos tóxicos

4.2.8 Evaluación de los impactos ambientales del cultivo de fresa (*Fragaria x ananassa*)

Los impactos ambientales identificados por la Matriz de Conesa Fernández para el cultivo de fresa son 19, dentro de los cuales se ha obtenido como resultado la inexistencia de impactos críticos con un total de 0%, seguido de 12% en cuanto a impactos irrelevantes, 21% de severos y un 67% catalogados como impactos moderados (Figura 33).

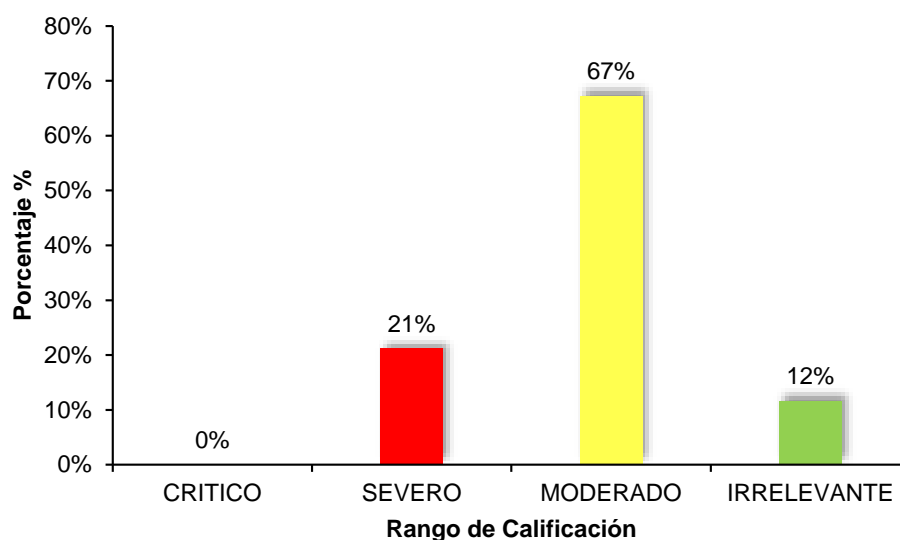


Figura 31. Impacto ambiental en *Apis mellifera* por el uso de insecticidas en el cultivo de *Fragaria x ananassa*

Los impactos severos y moderados están catalogados con porcentajes significativos, ya que los insecticidas que se utilizan son mezclados por los trabajadores para obtener una producción más rápida, por lo que, la aplicación en este tipo de cultivo la hacen semanal o quincenal, donde, intervienen insecticidas como *abamectina*, *imidacloprid*, *acetamiprid* que si bien, ayudan a obtener una producción más rápida, el desgaste a los recursos naturales como el deterioro y cambio de nutrientes en el suelo, la compactación, el cambio de cobertura vegetal, sugiere un problema a corto, mediano y largo plazo (Viracucha, 2017). A todo esto, se le suma la pérdida en la población de abejas que en las localidades visitadas del cantón Otavalo ha sido notable (Fernández, 2022).

Por otra parte, estos insecticidas no solo disminuyen la población, sino que inciden en la edad de las abejas, antagonizando el comportamiento entre las hembras vecinas de las colmenas, esto según Stuligross et al., (2023) ya que se ven aturdidas e identifican erróneamente sus colmenas, llevándolas a disputas por el alimento y disminuyendo así la actividad de forrajeo.

En este sentido, al estar en contacto con flores contaminadas por *imidacloprid*, o derivados, las abejas se ven desorientadas afectando directamente el aprendizaje, memoria, navegación y funciones cognitivas necesarias para que desarrollen sus actividades polinizadoras diarias, impidiendo también, que puedan regresar a la colmena. (Klein et al., 2017).

4.2.9 *Proceso productivo del chocho (Lupinus mutabilis)*

Dentro del Cantón Otavalo, Provincia de Imbabura el cultivo del chocho tiene una extensión representativa de 3 ha, repartidas a lo largo de la zona de estudio. En vista que este tipo de cultivo es de alta calidad nutritiva, se le ha tomado en cuenta para el presente estudio, no por su extensión sino más bien por la recurrencia cercana a los apiarios.

El proceso productivo del cultivo de chocho se presenta en la Tabla 19 indicando los pasos pertinentes desde la preparación del suelo, donde se usan ciertos

agroquímicos, hasta después de la primera planta emergente donde el cultivo es sometido a un caldo integrado de las mismas sustancias, en un período de aplicación de entre 20 a 30 días.

Durante este lapso de tiempo hasta la cosecha, ocurre un proceso previo a la comercialización donde se compromete el recurso agua por la gran cantidad que se usa para obtener el producto. Además, de acuerdo con los agricultores del cantón, los envases plásticos son puestos bajo tierra o desechados a orillas del río donde ocurre el desagüe, generando consigo una bioacumulación desde el proceso de plantación en adelante.

Tabla 19. Proceso productivo de *Lupinus mutabilis*

Entrada	Proceso	Salida
Maquinaria, Herramientas, Insecticida, Fungicida, Combustibles	Preparación del suelo	GEI, Agua Residual, Envases plásticos tóxicos
Semilla, Insecticida, Fungicida	Siembra	Micropartículas de agroquímicos, Agua Residual y Envases plásticos tóxicos
Herramientas, Materiales, Mano de Obra	Fumigación	Residuos y Desechos comunes
Agua	Riego	Agua Residual
Agua con Insecticida	Plantación/Caldo integrado	Micropartículas de agroquímicos, Agua Residual y Envases plásticos tóxicos
Mano de Obra	Deshierbado	Residuo Orgánico
Agua con herbicida	Control de maleza	Envases Plásticos tóxicos, Agua residual
Herramientas, Maquinarias	Cosecha – Desagüe	GEI, Residuos plásticos tóxicos y Agua Residual

4.2.10 Evaluación de los impactos ambientales del cultivo de chocho (*Lupinus mutabilis*)

A partir de la matriz de Conesa Fernández se han dictaminado 21 impactos ambientales, dentro de los cuales como se observa en la Figura 34, se encuentra 0%

en impactos críticos, 10% les corresponde a impactos irrelevantes, 21% se han identificado como impactos severos y 69% son los impactos moderados que se han logrado detallar en el cultivo de *Lupinus mutabilis*.

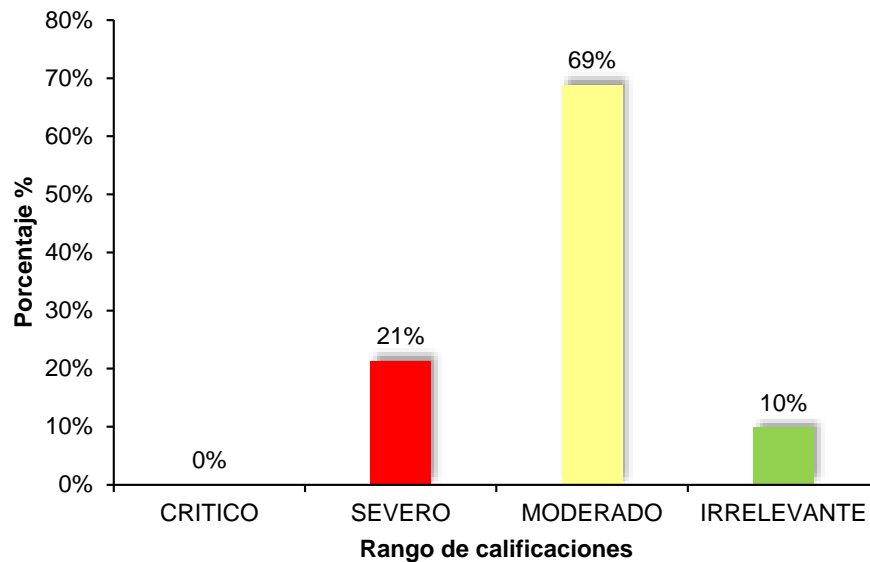


Figura 32. Impacto ambiental en *Apis mellifera* por el uso de insecticidas en el cultivo de *Lupinus mutabilis*

Se han catalogado impactos severos y moderados como los más representativos en este cultivo, dado que los agroquímicos que aquí se usan, específicamente los insecticidas no presentan dosis letales altas, ni dosis letales medias para el ciclo de vida de las abejas, sin embargo, si se han encontrado impactos relevantes como el agotamiento a los recursos naturales, las modificaciones en el aire también son problemáticas que de manera moderada afectan tanto al ecosistema como a la salud principalmente de los trabajadores, ya que se ha evidenciado poca o nula protección cuando realizan los procesos de control en el cultivo (Peralta, 2022).

El cultivo de chocho es uno de los cultivos menos exigentes en nutrientes, pero de gran importancia para la economía, alimentación y fertilidad de los suelos, gracias a fijación de nitrógeno que provee al suelo (INIAP, 2014). Al no ser un cultivo que requiera de especial atención, los insecticidas que se usan aquí no son extremadamente tóxicos para la población melífera, sin embargo, los productos derivados de la apicultura pueden verse comprometidos ya que se han registrado,

restos de insecticidas *organofosforado*, *clorpirifos*, *cipermetrina*, *acefatos* en productos y subproductos alimenticios provenientes de la miel, propóleo, cera, en bajas, medianas y altas cantidades (Johnson et al., 2010).

4.3. Modelamiento de nicho ecológico

4.3.1 Grado de importancia de las variables empleadas en el modelo de distribución de *Apis mellifera*

Las variables climáticas son importantes en el modelado de distribución de especies porque pueden influir en la distribución geográfica de las especies. Los modelos de distribución de especies se crean utilizando datos de presencia o ausencia de especies y variables ambientales, como variables bioclimáticas, a menudo generadas a partir de la interpolación de datos de estaciones. Además, en un estudio de modelado de la distribución de especies arbóreas en México, se utilizaron dos tipos de capas climáticas y tres tipos de datos biológicos de colecta para el modelado (Gutiérrez & Trejo, 2023). En la construcción del modelo, es importante considerar la contribución de cada variable (Figura 35) y cómo afecta cada variable a la distribución de la especie.

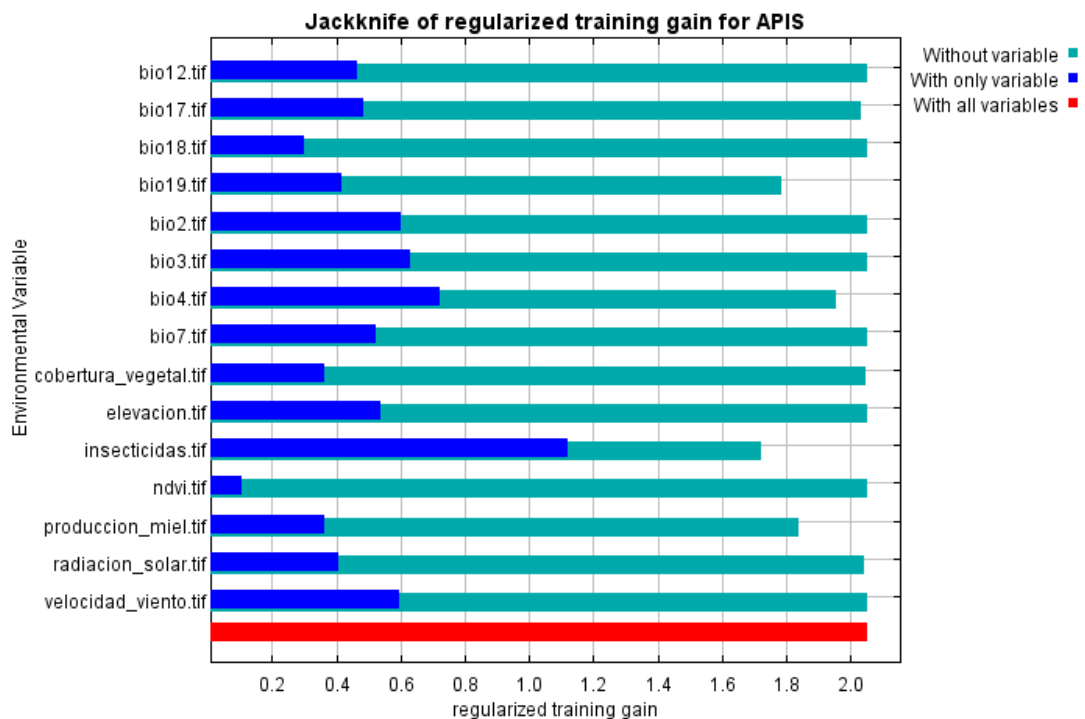


Figura 33. Resultado de la prueba de Jackknife para la especie *Apis mellifera*

Las variables bioclimáticas que más contribuyen al modelo de distribución de *Apis mellifera* son: la precipitación del trimestre más frío (17.7%) (Figura 36 a) ya que según Medellín (2012) el frío puede afectar a las abejas, llegando a morir a partir de los 6-7 grados. Durante el invierno, las abejas se amontonan en la zona central de los panales, formando un "racimo" que las protege del frío, debido a que, cuando la temperatura aumenta, las abejas se van separando poco a poco, y ocurre lo contrario cuando aumenta el frío. En general, el clima frío y la falta de recursos de néctar y polen pueden hacer que las abejas melíferas se enfrenten a un periodo difícil del año. Es importante que las colonias lleguen al invierno con un mínimo de unas 25.000 abejas para una agrupación eficiente durante el tiempo frío y para el movimiento de la agrupación a los almacenes de miel (Téllez, 2022).

Por otra parte, la Isotermalidad (Figura 36 b) se refiere a la variación de temperatura que ocurre en un lugar durante todo el año y contribuye en un 9.9% al modelo, esto se debe a que las abejas son muy sensibles a los cambios de temperatura y humedad, y estos cambios pueden afectar su comportamiento y su capacidad para recolectar alimento (Álvarez et al., 2017). Algunos estudios han demostrado que el aumento de la temperatura puede reducir la cantidad y calidad del néctar y el polen, lo que afecta la disponibilidad de alimento para las abejas (Medellín, 2012). Además, la temperatura y la humedad en la colmena juegan un papel importante en la comunicación entre las abejas y en su comportamiento higiénico (Tapia-González et al., 2021).

En cuanto a la estacionalidad de la temperatura (Figura 36 c), representa un aporte del 3.6% al modelo se refiere a los cambios en la temperatura que ocurren durante diferentes épocas del año, es este caso para el Ecuador, la época lluviosa y la época seca. En relación con las abejas, la estacionalidad de la temperatura puede afectar su comportamiento y supervivencia; según el IICA (2020), señala que la actividad polinizadora de las abejas es esencial para la producción de muchos cultivos agrícolas. La estacionalidad de la temperatura puede afectar la floración de las plantas y, por lo tanto, la disponibilidad de alimento para las abejas. Por ejemplo, en regiones donde los inviernos son largos y fríos, las abejas pueden tener menos

acceso a fuentes de alimento durante los meses de invierno, lo que puede afectar su salud y supervivencia.

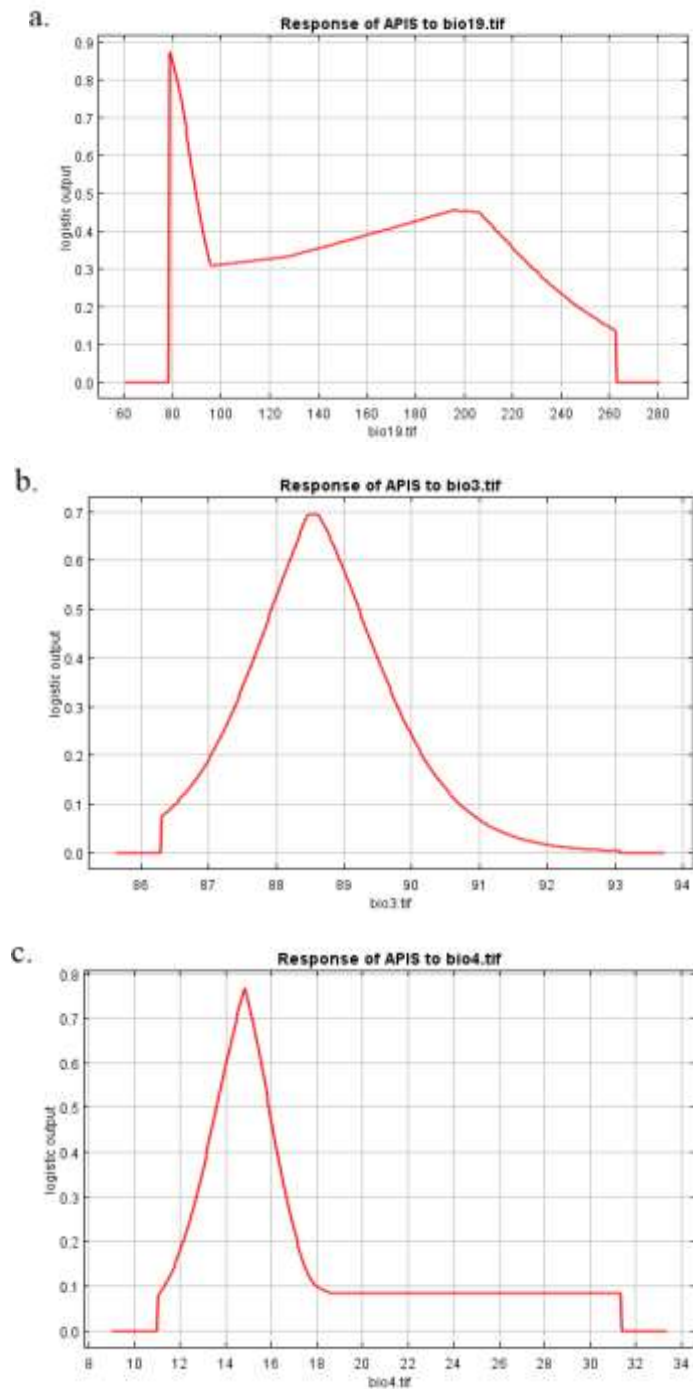


Figura 34. Curvas de respuesta de las variables bioclimáticas. a. bio19: Precipitación del trimestre más frío; b. bio3: Isothermalidad; c. bio4: estacionalidad en la temperatura

Las variables bioclimáticas aportan a la comprensión del nicho ecológico de las abejas, ya que representan tendencias anuales, estacionalidad y factores

ambientales extremos o limitantes para las especies; en particular, las variables ambientales bioclimáticas, como la temperatura y la precipitación mensual, pueden ser utilizadas para generar variables más significativas que permitan describir y caracterizar los nichos ecológicos de las abejas.

Anexo a las variables bioclimáticas, las variables biofísicas desarrolladas para el cantón Otavalo (Figura 37) surgen de la necesidad de comprender el nicho ecológico de la especie, siendo las más significantes: insecticidas (56.3%), producción de miel (7.8%) y cobertura vegetal (0.4%).

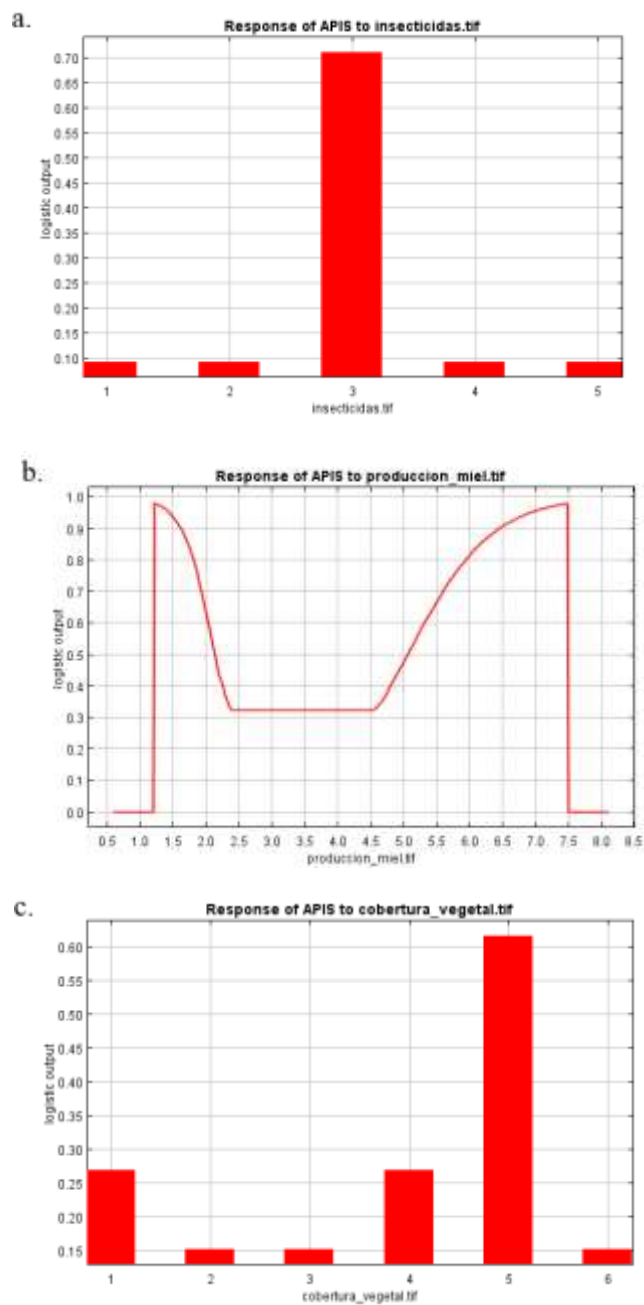


Figura 35. Curvas de respuesta de las variables bioclimáticas. a. Insecticidas; b. Producción de miel; c. Cobertura vegetal

La curva de respuesta de los insecticidas (Figura 37 a) muestra que la presencia de abejas aumenta de manera significativa en los cultivos de maíz y desciende en los cultivos de papa y fresa ya que estos últimos son altamente tóxicos para las poblaciones de abejas debido al mal manejo agropecuario de los mismos. La exposición a pesticidas de uso agrícola puede causar daño colateral en abejas y disminuir su población (Martin-Culma & Arenas-Suárez, 2018). Los pesticidas como los neonicotinoides, son dañinos para las abejas y otros polinizadores; además, las pruebas de calidad para evaluar si un producto impacta la biodiversidad no considera muchos de los daños cognitivos producidos por este tipo de productos químicos (González et al., 2021).

Los neonicotinoides son una familia de insecticidas que se utilizan para tratar y prevenir las plagas de insectos en los cultivos. Estos pesticidas son sistémicos, lo que significa que pueden ser absorbidos y distribuidos por las plantas, incluyendo el néctar y el polen que las abejas recolectan (NRDC, 2022). Los neonicotinoides pueden afectar a las abejas de varias maneras, incluyendo: alteración del olfato, la memoria y la locomoción; inhibición de la alimentación; y la disminución de la fertilidad. (González, 2018).

Esto ha provocado que muchas de las abejas salvajes tengan que adaptarse a apiarios domésticos. La cobertura vegetal (Figura 37 c) influye en la distribución de las abejas de varias maneras, según datos de la Unidad Científica de GreenPeace (2022), la fragmentación del espacio puede reducir la diversidad floral disponible para las abejas a expansión de los monocultivos y la falta de diversidad también pueden contribuir a la pérdida de hábitat. Esto se debe principalmente a que los apiarios están ubicados en zonas rurales donde las actividades antropogénicas perturban el correcto funcionamiento de los apiarios y los desplazan a zonas donde existan mejores condiciones de vida para que los apicultores puedan desarrollar su función.

La producción de miel (Figura 37 b) ha sido incluida como una variable significativa para el modelo en vista de que muchas comunidades, como parte de mejorar sus recursos monetarios, optan como otro empleo la producción de miel, magnificando la presencia de *Apis mellifera*. De acuerdo con la FAO (2022), la apicultura es una actividad agropecuaria que se ha desarrollado a la par del surgimiento de las civilizaciones, y garantiza una excelente ventaja adicional a la cosecha porque solamente las abejas son capaces de recoger el néctar y el polen, sin entrar en competencia con otros animales; además, la producción de miel y otros productos derivados de las abejas puede generar bienes que fortalecen la economía local y mejoran el sistema de vida y desarrollo de las comunidades.

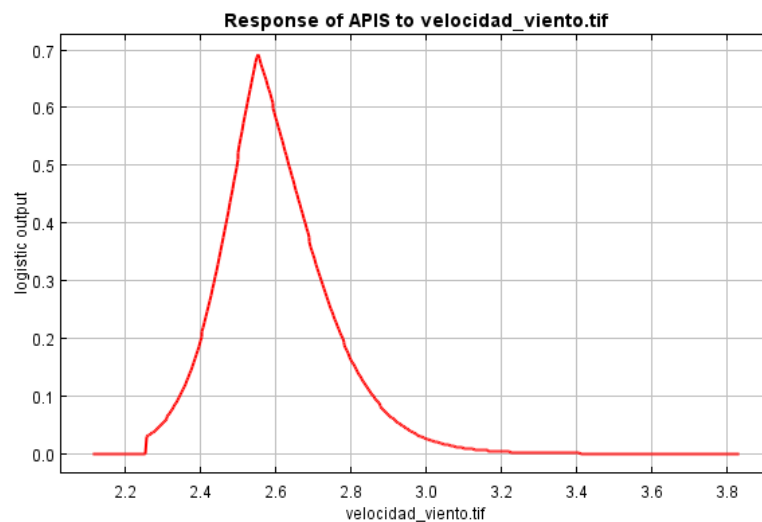


Figura 36. Curvas de respuesta de la velocidad del viento

La velocidad del viento (Figura 38) es un factor importante que considerar al aplicar agroquímicos. En la aplicación aérea de insecticidas, la dirección y velocidad del viento influirán en la altura del vuelo y la extensión que éste cubrirá. Una velocidad de entre 2.5 y 2.6 m/s es ideal para que la probabilidad de presencia de abejas melíferas sea alta, esto debido a que una velocidad baja contribuye a que los insecticidas no sean dispersados fácilmente. Otra revisión de estudios científicos encontró que las abejas son hipersensibles a la mayoría de los pesticidas, especialmente a los insecticidas, y padecen diferentes alteraciones fisiológicas a nivel del sistema nervioso, respecto a su ciclo reproductivo e inmunosupresión. Además, se concluyó que existe evidencia respecto a los efectos tóxicos de los

pesticidas que alteran colateralmente las cosechas, específicamente en el proceso de polinización mediada por abejas (Martin-Culma & Arenas-Suárez, 2018).

El valor obtenido por el modelo para AUC fue de 0.972 en promedio (Figura 39), correspondiente a un modelo bueno, que supera el umbral de 0.75 sugerido por la literatura científica (Elith et al. 2009). Cabe destacar que la máxima capacidad de predicción es 1 (Phillips and Dudík 2008), mientras que 0.5, equivale a tener un resultado similar al que ocurriría al azar, por lo que abajo de este punto, el modelo no es válido.

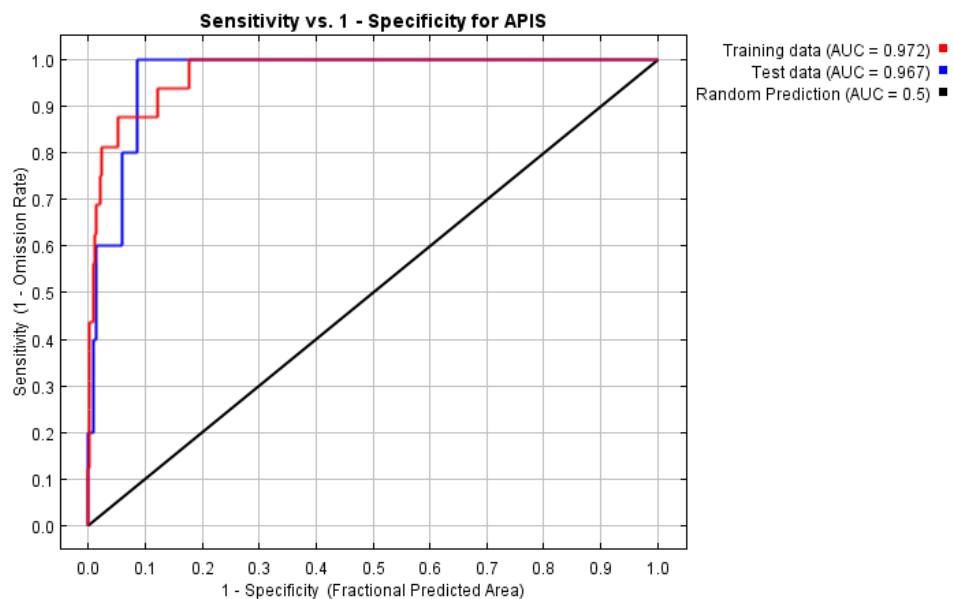


Figura 37. AUC del modelo de distribución de *Apis mellifera*

Para corroborar la veracidad del modelo se realizaron dos validaciones correspondientes al AUC y el TSS

La calidad de los modelos de distribución de especies apenas ha sido evaluada teniendo en cuenta la relación estadística que se da entre la distribución real conocida y el conjunto de variables que se usan como indicadores. Por lo tanto, es importante realizar una validación adecuada de estos modelos para garantizar su confiabilidad y utilidad en diferentes aplicaciones; en este caso se realizó las pruebas de AUC y TSS, mismas que arrojaron valores de 0.972 y 0.9 respectivamente, rango que se encuentran dentro del umbral.

4.3.2 Distribución potencial de *Apis mellifera* bajo condiciones actuales

El modelo de distribución potencial actual que se muestra a continuación, ha sido desarrollado únicamente con variables bioclimáticas donde podemos observar que las áreas dominantes tienen una probabilidad promedio de ser encontradas, especialmente en las parroquias de San Pablo y Gonzáles Suárez.

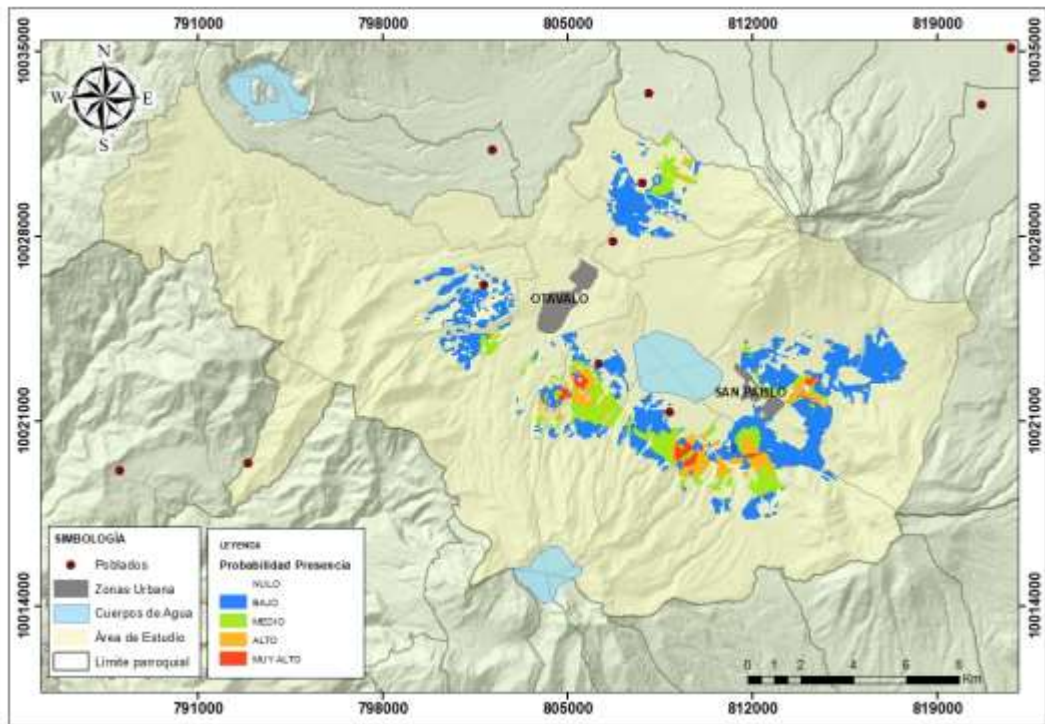


Figura 38. Modelo de distribución potencial bajo condiciones actuales

Los insecticidas clasificados como moderadamente peligrosos corresponden al cultivo de maíz, esto debido a que a lo largo del cantón Otavalo ocupa una extensión de 921 ha y es fumigado mensualmente, existe suficiente evidencia científica y de campo sobre el impacto que los insecticidas, particularmente los clasificados como "neonicotinoides", tienen sobre la salud de la especie *Apis mellifera*. Sin embargo, dentro del proceso de fumigación los insecticidas utilizados son aquellos que menos daño producen a las abejas, siendo el cultivo donde más presencia de los ejemplares encontramos.

Las abejas necesitan un hábitat adecuado para sobrevivir, y la cobertura vegetal es esencial para proporcionarles un lugar para anidar y recolectar alimento; la pérdida de hábitat debido a la deforestación, la urbanización y la agricultura intensiva es una de las principales amenazas para las poblaciones de abejas en Otavalo. Por ende, la cobertura vegetal, en el modelo influye de manera directa ya que existe más presencia de la especie *Apis mellifera* en la categoría correspondiente a zonas de cultivo, vegetación arbustiva y herbácea; esto se debe a que, para proporcionar hábitats idóneos para el desarrollo y reproducción de abejas, es necesario brindar una gran variedad de alimentos, así como también conservar la diversidad vegetal.

4.3.3 *Modelo de distribución potencial futura para Apis mellifera*

El resultado obtenido de la proyección futura para los periodos de tiempo 2021-2040, 2041-2060 y 2061-2080 indican que varias zonas de presencia actual serán reducidas de manera significativa, para lo cual se utilizó el escenario climático SSP585 porque supone las pésimas condiciones en las que la especie estará presente. Sin embargo, se encontraron algunos estudios que hacen proyecciones climáticas para diferentes regiones y períodos de tiempo. Por ejemplo, un estudio realizado en Colombia indica que la precipitación en una zona específica del sur del país aumentará en promedio cinco mms/año, y se presentará déficit respecto al comportamiento histórico en el mes (Rivera et.al., 2021). Otro estudio menciona que la mayoría de los estudios estiman una disminución del 30% de la precipitación anual para finales del siglo en el peor de los escenarios (Díaz, 2015).

Los escenarios de condiciones ambientales futuros, pesimista y optimista, presentan condiciones divergentes, que, se adjudica a los cambios originados por la variación climática de la zona, el escenario optimista presenta baja disminución en las condiciones ambientales requeridas por la especie en las zonas de Quichinche, Eugenio Espejo y González Suárez y una mínima porción en San Juan de Ilumán, con pérdida de algunos vitales ecosistemas potencialmente habitables sin afectar su distribución (Figura 41).

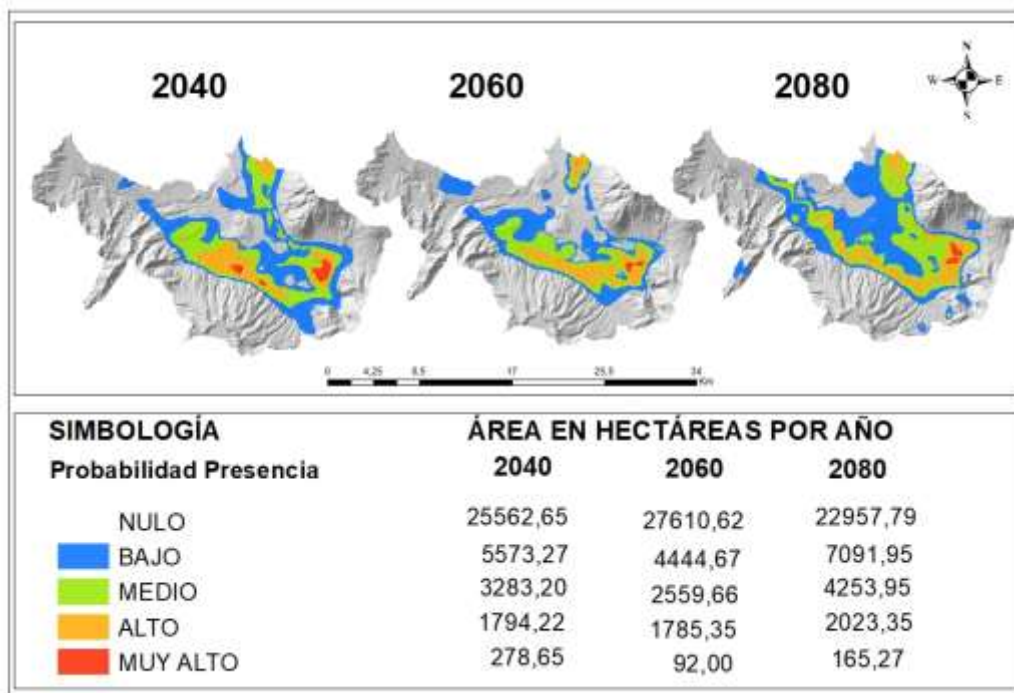


Figura 39. Modelo de distribución potencial futura de *Apis mellifera* escenario SSP585

Analizando el modelo de cambio climático actual frente al futuro, los cambios en las regiones muestran que en la zona de expansión, en el cantón Otavalo, actualmente un 53% de su territorio no cuenta con las condiciones adecuadas ambientales que la especie requiere, condición que podría cambiar en el futuro, lo que propiciaría que en esta misma zona no pudieran hallarse las condiciones ambientales idóneas para el desarrollo positivo de la especie al reducirse la zona en un 48% para el año 2040, 16% para el año 2060 y 29% para el año 2080.

Las abejas son insectos exotérmicos o de sangre fría, que no pueden producir su propio calor, por lo que una semana de bajas temperaturas y humedad constantes puede matarlas por la incapacidad de movilizarse para buscar alimento. Las elevadas temperaturas y la sequedad tampoco son condiciones ideales para su supervivencia (Nates-Parra, 2021; Téllez, 2022).

El cambio climático ha provocado una merma del 40% de las abejas, lo que obliga a los apicultores a dividir las abejas para repoblar, reduciendo la producción de miel de enjambres muy masificados que pueden llegar a tener alrededor de sesenta mil

abejas cada uno. La subida de las temperaturas también afecta la floración, lo que puede disminuir la cantidad de polen y néctar disponibles para las abejas (Cabello C., 2022). En el contexto del cambio climático, las abejas demuestran una excelente resiliencia, una gran resistencia y una suficiente variabilidad genética. Probablemente muchas especies se estén trasladando a otros lugares con climas más favorables para ellas. Los eventos de invasión impulsados por el cambio climático pondrán en contacto entre sí a especies previamente aisladas, lo que desencadenará una nueva competencia y alterará la composición específica del ecosistema.

4.4. Estrategias ambientales basadas en buenas prácticas apícolas

4.4.1 Problemas influyentes detallados en el cantón Otavalo

A partir de las salidas de campo realizadas en el cantón, se detallaron 13 problemas directamente influyentes en la disminución de la población melífera, y a la que los productores apícolas se enfrentan diariamente, provocando que los productos que obtienen de esta actividad en ciertas temporadas sean escasos. A continuación, se los describe en la tabla 20.

Tabla 20. Lista de problemas

Listado de Problemas	
1	Disminución de la población de abejas
2	Zonas con poca floración
3	Factores climáticos y ambientales adversos
4	Uso indiscriminado de insecticidas "Neonicotinoides"
5	Enfermedades invasivas "Varroa"
6	Quema y envenenamiento de abejas
7	Baja producción apícola
8	Déficit de alimentación suplementaria
9	Desconocimiento en el manejo de abejas
10	Aumento en la mortalidad de abejas
11	Escaso apoyo gubernamental
12	Desplazamiento de la población de abejas
13	Robo de colmenas

4.4.2 Análisis de activos y pasivos ambientales

Se lograron determinar los pasivos y activos influyentes dado los problemas previamente identificados, los activos más representativos y con una alta calificación son los problemas P1, P7, P9 y P12, representando a la disminución de

la población de abejas, baja producción apícola, desconocimiento en el manejo de abejas y finalmente el desplazamiento de su población (Tabla 21).

Tabla 21. Matriz de Vester - Especificación de problemas y calificación

Listado de Problemas		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	ACTIVOS	
1	Disminución de la población de abejas	P.1	0	3	3	3	1	2	3	2	1	1	0	3	1	19
2	Zonas con poca floración	P.2	3	0	2	0	0	0	3	1	0	0	0	3	0	9
3	Factores climáticos y ambientales adversos	P.3	3	3	0	0	3	0	2	1	0	3	0	3	0	15
4	Uso indiscriminado de insecticidas "Neonicotinoides"	P.4	3	0	1	0	0	3	2	0	1	3	3	2	0	16
5	Enfermedades invasivas "Varroa"	P.5	2	0	2	0	0	0	1	0	1	1	0	1	0	7
6	Quema y envenenamiento de abejas	P.6	1	0	0	3	1	0	2	0	2	3	2	2	1	14
7	Baja producción apícola	P.7	3	3	3	2	1	2	0	2	1	0	1	3	2	18
8	Déficit de alimentación suplementaria	P.8	2	3	1	0	0	0	3	0	1	2	0	2	0	12
9	Desconocimiento en el manejo de abejas	P.9	2	0	0	3	2	3	3	3	0	2	3	2	3	21
10	Aumento en la mortalidad de abejas	P.10	3	1	2	3	2	2	2	0	1	0	1	2	1	17
11	Escaso apoyo gubernamental	P.11	0	1	0	3	0	2	0	0	2	1	0	0	1	9
12	Desplazamiento de la población de abejas	P.12	3	3	3	2	1	2	3	1	2	2	1	0	2	23
13	Robo de colmenas	P.13	2	0	0	0	0	0	2	0	2	1	1	1	0	8
PASIVOS			22	14	14	17	10	14	21	9	10	16	10	24	11	

Los pasivos ambientales más incidentes y con un alto grado de calificación según los problemas son los P1, P4, P7 Y P12 mismos que representan a la disminución de la población, uso indiscriminado de insecticidas, baja producción apícola y el desplazamiento de la población.

4.4.3 Interpretación y asignación de valores numéricos en la matriz de Vester

Luego de ser identificados los problemas a los que se enfrentan los apicultores en el cantón Otavalo, se procedió a ubicarlos en un plano para poder clasificarlos, según el grado causal ambiental, social y económico (Gráfica 42).

Pasivos: El principal efecto identificado en esta parte de la gráfica hace referencia a la poca floración que existe en el cantón Otavalo, esto de acuerdo a la escasa flora nativa en el lugar según los datos obtenidos en campo.

Críticos: De acuerdo con la ponderación en los problemas identificados dentro del cantón Otavalo, los más altos, crítico y de atención urgente son: (12) Desplazamiento de la población, (1) Disminución de la población de abejas, (7) Baja producción apícola, seguido de (4) Uso indiscriminado de insecticidas "Neonicotinoides", (10) Aumento en la mortalidad de abejas, (6) Quema y envenenamiento de abejas y (3) Factores climáticos y ambientales adversos.

Indiferentes: Los problemas que presentan baja ponderación son: (13) Robo de colmenas, (5) Enfermedades invasivas "Varroa", (11) Escaso apoyo gubernamental y (8) Déficit de alimentación suplementaria.

Activos: La causa principal de acuerdo con la calificación y ubicación de los problemas centrales se basa en (9) el desconocimiento en el manejo de abejas. Esto debido al poco apoyo que tienen los nuevos apicultores dentro del cantón.

4.4.4 Relación entre los problemas críticos identificado

Los problemas identificados en el área de estudio sugieren la creación de estrategias ambientales que ayuden directa e indirectamente a aumentar la población de *Apis mellifera*, tomando en cuenta las necesidades del apicultor y de los ejemplares, viabilidad en el medio natural y valoraciones socioeconómicas que se podría obtener de realizar adecuadamente esta actividad (Klein et al., 2008a).

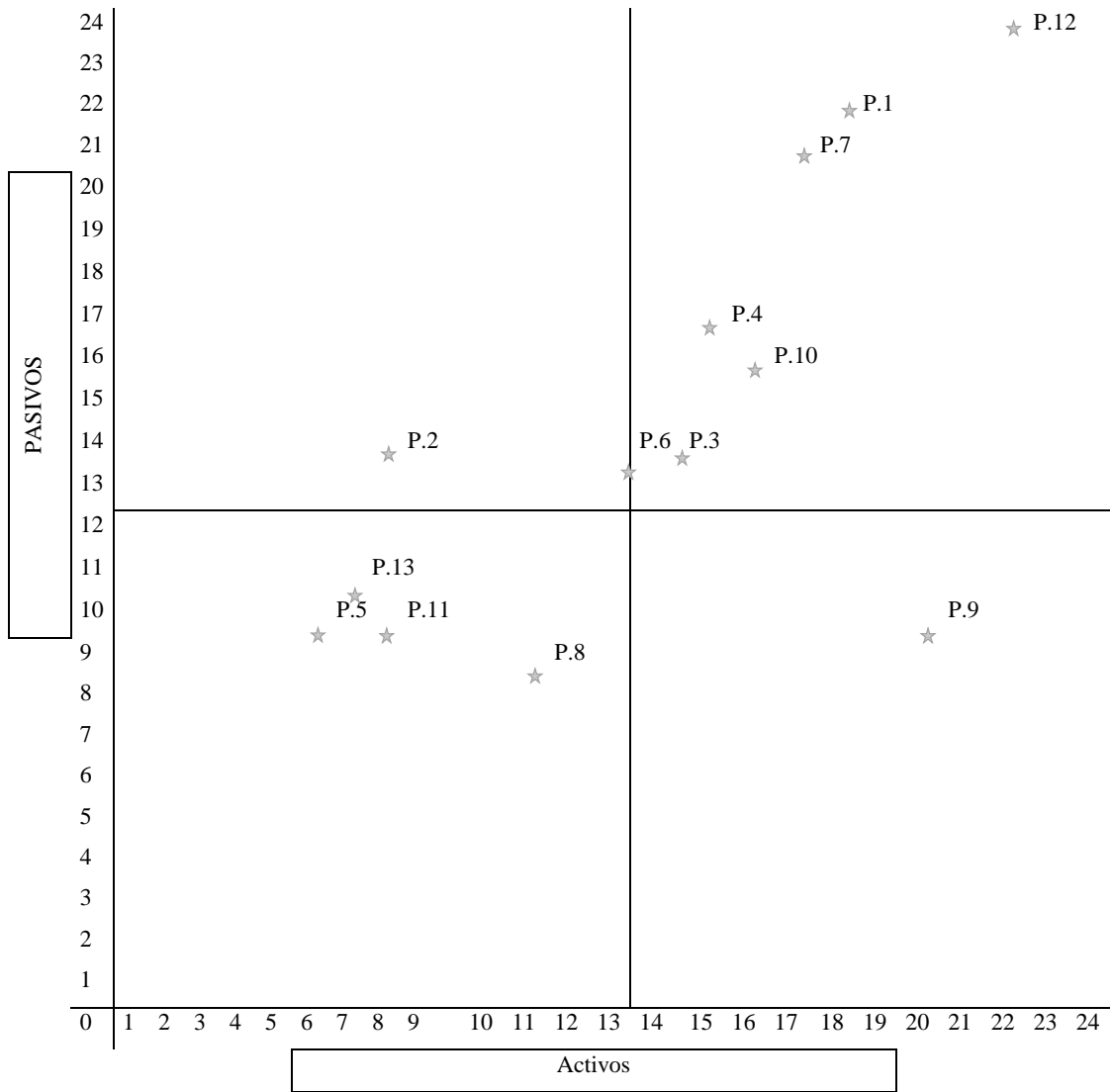


Figura 40. Representación gráfica de la Matriz de Vester

La realización de la matriz de Vester dio a conocer los problemas críticos y de urgente atención que afectan a los apicultores del cantón Otavalo y mediante la elaboración conjunta del árbol de problemas se presenta a continuación en la Figura 42, de manera específica las causas y efectos que trae consigo la pérdida de la población de abejas para un apicultor y el medio ambiente.

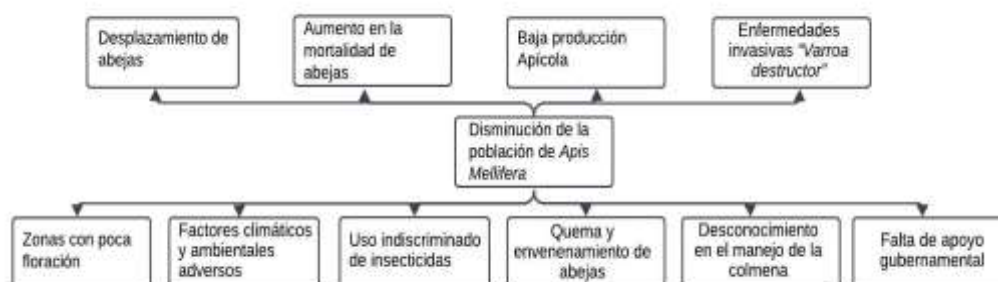


Figura 41. Árbol de problemas

A continuación, se detallan los efectos, soluciones y metas a cumplir donde se toma en cuenta el bienestar ambiental, social y económico de todos los involucrados en la realización de esta actividad comercial Tabla 22.

Tabla 22. Efectos, soluciones y metas para desarrollar buenas prácticas ambientales apícolas

	Problemas	Efectos	Soluciones	Meta
Disminución de la población de <i>Apis mellifera</i>	Desconocimiento en el manejo de colmenas	Enfermedades Invasivas Pérdidas Económicas	-Proyectos de control biológico parasitario -Capacitación sobre el cuidado y bienestar de abejas y los agroecosistemas -Programa de BPM dentro de apiario -Socialización de la distancia prudente a la que se debe instaurar un apiario en la comunidad	Ayudar al crecimiento apícola individual y comunitario, mediante programas de educación ambiental donde se socialice y sensibilice a la población adquirir una comprensión mínima de la funcionalidad de estos polinizadores con su entorno, sobre todo tomando en cuenta enfermedades causantes de plagas que supongan una amenaza a la producción apícola.
	Zonas con poca Floración	Baja producción apícola	-Capacitación sobre la flora apícola nativa -Análisis de la topografía del terreno antes de la instalación de un apiario -Preservación de zonas verdes -Restauración de ecosistemas frágiles -Implementación de viveros comunitarios para la propagación de especies nativas	Adquirir diversos conocimientos y destrezas con la finalidad de promover y preservar las zonas verdes para el aumento de la productividad apícola, mediante el uso e implementación de viveros comunitarios con especies nativas del Ecuador.
	Factores climáticos y ambientales adversos	Desplazamiento de abejas nativas	-Proyecciones apícolas con datos meteorológicos históricos para adecuar las zonas de ubicación de colmenas. -Selección de zonas con precipitación media, que ayude a mantener una floración continua.	Ubicar los apiarios en zonas de bajo riesgo social, pero con alta probabilidad de supervivencia para estos polinizadores, con la finalidad de obtener una buena producción.

			<ul style="list-style-type: none"> -Separación de apiarios de zonas con precipitaciones superiores a 1000mm. - Separación de apiarios de zonas con Temperaturas que excedan los 28 a 30°C. -Creación de zonas estratégicas con barreras vivas, como mecanismo de protección contra factores ambientales que provoquen la migración de la especie -Capacitación para transporte de colmenas en épocas de poca o escasa floración
Uso indiscriminado de insecticidas "Neonicotinoides"	Aumento en la mortalidad de abejas		<ul style="list-style-type: none"> -Socialización en la comunidad sobre distribución de cultivos a un aproximado de 30-40km de distancia de los apiarios. -Campañas de educación ambiental con alternativas en el uso de insecticidas orgánicos sobre el uso de químicos convencionales -Taller práctico participativo para la creación de repelentes orgánicos en la comunidad de San Pablo. <p>Promover la participación activa de los agricultores de la zona e invitarlos a que desarrollen su sentido de responsabilidad, ante el uso indiscriminado de insecticidas que indirectamente también perjudican su producción.</p>
Quema y Envenenamiento de abejas	Falta de apoyo gubernamental		<ul style="list-style-type: none"> -Promover la conciencia sobre los efectos nocivos de los neonicotinoides en las abejas, mediante charlas, folletos, talleres, conferencias y capacitaciones en la comunidad, escuelas y colegios, para fomentar un cambio en la forma en que se utilizan los insecticidas en el Cantón Otavalo. -Promover políticas públicas que beneficien el cuidado y preservación de polinizadores (<i>Apis mellifera</i>) <p>Incentivar e Invitar a la comunidad y autoridades a sensibilizarse ante los problemas que ocasiona el desconocimiento sobre este tipo de polinizadores ecosistémicos de gran importancia.</p>

De acuerdo con la información recabada en campo y el respaldo bibliográfico revisado, en Ecuador existe un bajo nivel tecnológico en cuanto a la ubicación y manejo de un apiario. Si bien, con el pasar de los años estas técnicas han ido mejorando, el esfuerzo de los apicultores por mantener, sobrellevar su población de abejas y sobre todo aumentar su productividad no ha sido tan satisfactoria. Una de las principales causas es la escasa capacitación y asistencia

técnica que se les brinda a las personas que están iniciando e incursionando en esta actividad, motivo por el que desconocen todos los factores que llegan a influir de manera negativa, provocando no solo pérdidas económicas significativas, sino que también, se produce pérdidas importantes de individuos de la especie que enferman, se desplazan o simplemente mueren.

Es así que, para dar solución a los problemas, causas y efectos mencionados en este capítulo, se procederá a formular estrategias viables donde se ayude a apicultores en la crianza de sus abejas y a las abejas a mantener sus funciones ecosistémicas, todo esto con la influencia importante de actores sociales que se detallaran próximamente en el planteamiento de los programas a desarrollar.

4.4.5 Estrategia 1. Diagnóstico y tratamiento de enfermedades invasivas

Este plan estratégico (Tabla 23) está enfocado en cuidar la vida y salud de la colmena, de enfermedades causadas por agentes parasitarios que reducen paulatinamente la producción de miel y la población melífera. En el cantón Otavalo, uno de los mayores problemas a los que se enfrentaban los apicultores, es a la pérdida de ejemplares por la invasión de *Varroa destructor*, que es un ácaro parasitario que afecta poco a poco el desempeño de la abeja dentro de la colmena, reduciendo y terminando completamente con la misma.

A esto se le suma, las pérdidas económicas que trae consigo, dar de baja la colmena y el esfuerzo poco reconocido que tienen los apicultores que realizan la actividad, mayormente de forma empírica. Además, el trasladar la colmena deshabitada a otro punto para buscar de nuevo una producción, se considera una problemática que pocas veces es reemplazada y recuperada.

Objetivo

Implementar proyectos que promuevan el cuidado y bienestar dentro de la colmena para asegurar el adecuado desempeño de *Apis mellifera*.

Objetivos Específicos

- Realizar una adecuada gestión ambiental con control biológico u orgánico en colmenas afectadas

- Implementar un programa de buenas prácticas de manufactura dentro del apiario
- Capacitar sobre la importancia ecológica de *Apis mellifera*.

Existen más de 20 de virus conocidos que afectan a la población melífera disminuyéndola considerablemente, la invasión por *Varroa* puede durar de 1 a 4 años si no se trata a tiempo y según las condiciones climáticas en épocas de frío y escasa vegetación esto empeora (Manual Terrestre de la OIE, 2021). Ahora bien, una vez identificado y resuelto esta problemática con talleres y capacitaciones acorde a las necesidades, lo propio es garantizar una buena producción apícola y en condiciones sanitarias responsables, motivo por el que también se debe priorizar la siguiente estrategia.

Tabla 23. Plan estratégico para prevenir enfermedades invasivas en la población melífera

Proyecto	Actividades	Tipo de medida	Lugar de aplicación y Alcance	Actores responsables
Aumento de la población melífera	-Taller participativo con los apicultores registrados en las comunidades sobre la importancia floral. -Taller “ <i>Flores y abejas</i> ” Importancia de las flores con las abejas. -Taller “ <i>Crece Abejita</i> ” Introducción a apicultura moderna en escuelas y colegios de la comunidad “San Pablo”.	22 Prevención - Corrección y compensación de colmenas	- 22 apiarios registrados en el Cantón Otavalo. -Escuelas y Colegios de la comunidad San Pablo. -Desde septiembre a febrero.	Presidentes de las juntas parroquiales -Ministerio de Agricultura y Ganadería -Ingenieros en Recursos Naturales. -ONG” Manos unidas”
Control de Invasión parasitaria dentro de la colmena	-Distribuir información a cada apicultor sobre el listado de enfermedades a las que son vulnerables las abejas melíferas. -Exposición técnica guiada con causas, efectos y soluciones alternativas, para el control de enfermedades.	22 Prevención-Mitigación y Corrección de colmenas	-5 Comunidades del Cantón Otavalo -Fortalecimiento de las colmenas de septiembre a noviembre	-Técnicos del Ministerio de Agricultura y Ganadería -Participación de Entomólogos de la Universidad Central del Ecuador -Colegio de Biólogos -Técnicos docentes de la Carrera de Agropecuaria - UTN
Cuidado, bienestar de abejas y ecosistemas	-Capacitar sobre la flora apícola nativa. -Taller de reforestación con árboles o arbustos frutales (<i>Anona cherimola-Solanum quitoense</i>) en espacios sin cobertura vegetal -Taller sobre especies exóticas invasoras, que podrían desplazar <i>Apis mellifera</i>	22 Prevención-Mitigación y Corrección de ecosistemas	-Cantón Otavalo -22 Apiarios individuales	Juntas parroquiales-GAD cantonal-GPI - Ministerio de Agricultura y Ganadería -Sociedad Entomológica Ecuatoriana - SEE -Ingenieros en Recursos Naturales. -Organizaciones Lool Jabin y Tumben Ilaj Kab -Técnicos docentes de la carrea de Forestal- UTN

4.4.6 Estrategia 2. Distribución adecuada de apiarios y disminución de agroquímicos tóxicos en zonas de cultivos del cantón Otavalo

Apis mellifera no solo se enfrenta a enfermedades invasivas o cambios climáticos que vuelven vulnerable su presencia, sino que, también se vuelven víctimas de actividades humanas que comprometen significativamente su ciclo de vida y las actividades ambientales (como continuidad del hábitat y diversidad biológica) y sociales para las que han sido destinadas.

En el cantón Otavalo, el uso indiscriminado de insecticidas en los cultivos cercanos a los apiarios, ha traído consigo un descenso considerable de la población ya que, en 3 de los 5 cultivos evaluados en el presente estudio, usan plaguicidas neonicotinoides con registro tóxico para las abejas. Anexo a esto, muchos de los apiarios se encontraban en el centro de las comunidades visitadas, generando un problema para la población que no está acostumbrada a tratar con estos ejemplares, por lo que había descontento y miedo por parte de los habitantes de las comunidades.

De ahí, la necesidad de ubicarlos adecuadamente, para fortalecer el ciclo de vida de estos polinizadores y a la vez, garantizar la seguridad de la comunidad, motivo por el que se han desarrollado los siguientes proyectos estratégicos (Tabla 24).

Objetivo General

Promover el cuidado del apiario de forma que se aumente la cantidad de ejemplares y la producción proveniente de estos polinizadores sea la adecuada, libre de contaminación

Objetivos específicos

- Analizar las zonas de vida adecuadas para la instalación de un apiario
- Disminuir el uso de agroquímicos convencionales por el uso de bio-productos agrícolas de origen orgánico.

La distribución de los cultivos y apiarios no son los adecuados dentro del cantón. Su ubicación compromete la vida, productividad y beneficios ecosistémicos de las abejas debido a las actividades agrícolas desarrolladas. La agricultura en el cantón es invasiva dados los productos químicos que se usan y la cercana ubicación con los apiarios no ayuda a la conservación de la especie, además el poco apoyo y educación que reciben los apicultores que inician esta actividad no es la adecuada por lo que a continuación se describe la última estrategia, enfocándose primordialmente en educación ambiental (Rodríguez I. , 2020).

Tabla 24. Plan estratégico adecuado para la distribución de un apiario en el cantón Otavalo, libre de contaminación

Proyecto	Actividades	Tipo de medida	Lugar de aplicación y Alcance	Actores responsables
Transporte de colmenas	<ul style="list-style-type: none"> -Implementar viveros comunitarios con especies nativas, para épocas con poca floración. -Taller sobre la crianza adecuada de abejas. -Socializar datos meteorológicos de las zonas aptas para instaurar un apiario mediante charlas técnica. -Crear zonas estratégicas con barreras vivas, para protección contra factores ambientales que provocan la migración de abejas. 	Prevenir, corregir y compensar la producción apícola	<ul style="list-style-type: none"> - 5 Comunidades del cantón Otavalo -Fortalecimiento y aumento de la población melífera en época de floración, septiembre-febrero 	<ul style="list-style-type: none"> -Ministerio de Agricultura y Ganadería - Juntas parroquiales -Ingenieros en Recursos Naturales. -ONG “Eco colmena”
Distribución de cultivos en la comunidad	<ul style="list-style-type: none"> -Socializar mediante una charla técnica la distribución prudente a la que debe estar instalado el apiario (entre 40 a 50 km alejada de un cultivo). -Talleres prácticos para la creación de repelentes orgánicos. -Salida de campo donde se fomente alternativas en el uso de insecticidas orgánicos sobre el uso de químicos convencionales. 	Prevenir, corregir y compensar la producción apícola	-5 Comunidades del cantón Otavalo	<ul style="list-style-type: none"> -Ministerio de Agricultura y Ganadería -Ministerio de Ambiente, Agua y Transición Ecológica -Juntas parroquiales
Protocolo manejo de apiarios	<ul style="list-style-type: none"> -Charla técnica sobre los posibles conflictos generados por apiarios mal ubicados en la zona. -Prevención y control de depredadores mediante una actividad lúdica al aire libre con el apoyo de una colmena artificial. -Convivencia entre apicultores y la comunidad para la prevención de accidentes mediante un juego didáctico (Nudo Humano). -Taller de normas apícolas sobre la correcta ubicación de apiarios e inducción a la apicultura. 	Prevenir, corregir y compensar la producción apícola	<ul style="list-style-type: none"> -5 comunidades del cantón Otavalo -Reforzar el conocimiento de la comunidad sobre el adecuado manejo de apiarios con el fin de prevenir inconvenientes con la población y las autoridades -Vigorizar el número de apiarios existentes en la zona 	<ul style="list-style-type: none"> -Ministerio de Agricultura y Ganadería - Ministerio de Ambiente, Agua y Transición Ecológica -Juntas parroquiales

4.4.7 Estrategia 3. Educación Ambiental para la comunidad apícola del cantón Otavalo

Las medidas implementadas en esta sección pretenden garantizar la adecuada gestión del apicultor dentro de la colmena en vista de las alteraciones que han tenido por el uso indiscriminado de insecticidas en los cultivos circundantes a los apiarios. En ese mismo sentido, el modelo aporta información relevante que indica que los insecticidas se relacionan con la extensión de los cultivos, siendo moderadamente peligroso, perjudicando la producción de la colmena.

Además, dentro del área de estudio, se ha evidenciado falta de apoyo gubernamental y políticas que regulen el hacerse cargo de una población así, por lo que ha traído consigo quema, envenenamiento y desplazamiento de estos ejemplares, ya que, al no haber un apoyo técnico significativo para las personas que realizan esta actividad, el desconocimiento en el manejo de la colmena y la población melífera se vuelve un problema dentro de la zona en la que se encuentran.

Por estos motivos, se procura motivar a la comunidad a generar beneficios económicos y sobre todo incentivar a la tenencia y conservación de estos polinizadores.

Objetivo General

Concienciar a los agricultores y apicultores de la amenaza que produce el uso de insecticidas neonicotinoides en la población de *Apis mellifera*

Objetivos Específicos

- Desarrollar talleres prácticos para sensibilizar a la comunidad de las amenazas que aquejan a los polinizadores en la región.
- Incentivar a la comunidad a realizar prácticas de conservación en polinizadores
- Generar capacitaciones responsables sobre el manejo de *Apis mellifera*

Tabla 25. Plan de Educación Ambiental

Proyecto	Actividades	Tipo de medida	Lugar de aplicación Alcance	Actores responsables
Educación Ambiental Apícola	-Participar en programas de educación ambiental sobre la importancia de las abejas -Talleres participativos en las escuelas de la región sobre tipos de abejas, beneficios. -Capacitaciones a los agricultores sobre el efecto tóxico de los productos químicos que utilizan. - Taller práctico para la creación de repelentes orgánicos -Promover los productos obtenidos de la apicultura en escuelas, colegios y entidades públicas del cantón.	Prevenir, corregir y compensar la producción apícola	Comunidades del Cantón Otavalo Fortalecimiento y aumento de la población melífera	-Ministerio de Educación -Ministerio de Agricultura y Ganadería - Ministerio de Ambiente, Agua y Transición Ecológica -GPI-GAD municipal -ONG “Manos Unidas” -Asociación Balam -ONG “Eco colmena”
Explorando el mundo de las abejas	-Taller participativo: Sopa de letras y crucigramas sobre el beneficio de las abejas. -I Feria apícola Temática “ <i>Soy una abeja</i> ” premiación al mejor disfraz. -I Casa abierta temática. Posters, afiches y cortos cinematográficos sobre las abejas en el campo - I Feria apícola productiva “ <i>Beneficios de consumir miel</i> ”: incentivo monetario a la miel con mejores características -II Feria Productiva “ <i>Las abejas son vida</i> ” capacitación sobre técnicas de vanguardia a los apicultores	Prevenir, corregir y compensar la producción apícola	Participación de Últimos niveles de las escuelas en las 5 comunidades visitadas Participación de los productores apícolas con o sin registro en el ministerio De febrero a mayo.	-Ministerio de Educación -Ministerio de Agricultura y Ganadería -Ministerio de Ambiente, Agua y Transición Ecológica -GPI-GAD municipal -ONG “Manos Unidas” -Asociación Balam -ONG “Eco colmena”
Las abejas desaparecen	-Talleres encaminados a sensibilizar sobre los riesgos que atraviesa esta especie. -I campaña de sensibilización puerta a puerta, en las comunidades con mayor número de colmenas -I salida de campo “ <i>Visitemos a las abejas</i> ” últimos niveles de las escuelas de comunidades con mayor número de colmenas. -Taller guiado sobre las “ <i>Consecuencias de perder abejas en el mundo</i> ”.	Prevenir, corregir y compensar la producción apícola	Participación de Últimos niveles de las escuelas en las 5 comunidades visitadas	-Ministerio de Educación -Ministerio de Agricultura y Ganadería - Ministerio de Ambiente, Agua y Transición Ecológica -GPI-GAD municipal -ONG “Manos Unidas” -Asociación Balam -ONG “Eco colmena”

CAPÍTULO V

Conclusiones y Recomendaciones

5.1 Conclusiones

En el área de estudio se distinguieron impactos de niveles “crítico” y “severo”, directamente vinculados a los procesos de manejo de plagas en los cultivos. De manera particular, en los cultivos de papa y fresa se emplea *Acetamiprid* e *Imidacloprid*, catalogados como insecticidas moderadamente tóxico y altamente tóxico, respectivamente, el cual ocasiona que la clasificación por categorías de impactos sea crítica, mientras que en los cultivos de chocho, haba y maíz se aplican insecticidas Piretroides que son productos moderadamente tóxicos, pero que al no ser aplicados con frecuencia, llegan a alterar el funcionamiento de vital de las abejas en niveles considerables; por ende, existe una correlación directa entre la cantidad de pesticidas utilizados en las zonas agrícolas cercanas a los apiarios y el impacto ambiental en la población de *Apis mellifera*.

Las variables bioclimáticas como la temperatura, la precipitación y el tipo de vegetación son determinantes en la distribución biogeográfica de la especie *Apis mellifera*, siendo la precipitación del trimestre más frío (Bio19), la estacionalidad en la temperatura (Bio4) y la Isotermalidad (Bio3) aquellas que más aporte significativo al modelo poseen, esta información nos indica que para el correcto desarrollo de las abejas melíferas es imprescindible que las temperaturas cálidas oscilen entre 12 a 17°C. Así mismo, la precipitación adecuada para la presencia de la especie oscila entre 80 a 100 mm de precipitación, ya que en niveles superiores se tiene un descenso de poblaciones debido a la estrecha relación con el desenvolvimiento ecológico de las abejas, especialmente en las actividades de recolección de alimentos, pecoreo y polinización.

Dentro del modelo de distribución potencial de *Apis mellifera* se distinguieron diferentes sitios con las características adecuadas para el correcto desarrollo de la especie ubicados en las parroquias de Eugenio Espejo, González Suárez y San Pablo debido a que son zonas con temperaturas de entre 12 y 20°C, una temperatura óptima para que las abejas realicen sus actividades con normalidad.

Los resultados del estudio determinan ciertas zonas del cantón Otavalo como potencialmente adecuadas para la ubicación de apiarios, esto se debe a que en las proyecciones a futuro se observa que la presencia de las abejas melíferas se agrupa en estas áreas debido a las condiciones que presentan, sin embargo, resulta particularmente peligroso debido a que la expansión poblacional puede generar conflictos entre los ecosistemas y las zonas pobladas; por ende, los modelos de distribución biogeográfica pueden ser utilizados como herramientas predictivas para identificar las áreas óptimas para la ubicación de apiarios y promover la conservación de la especie.

Las estrategias planteadas en el presente estudio fueron desarrolladas en base a los problemas identificados con anterioridad, siendo el principal problema el uso indiscriminado de agroquímicos, mismo que desencadena inconvenientes en todas las etapas de la apicultura; de esta forma, el objetivo fundamental de estas estrategias es mitigar el índice de mortalidad de abejas por el uso de insecticidas a través de proyectos de educación ambiental que fortalezcan los lazos entre la comunidad y los apicultores.

La implementación de prácticas agrícolas sostenibles, como el uso de cultivos de cobertura y la rotación de cultivos, puede contribuir a la conservación de la especie *Apis mellifera* al proporcionar un entorno más favorable para las abejas, también se determinó que las buenas prácticas apícolas, como la revisión regular de las colmenas, el control integral de enfermedades y plagas, y el uso responsable de medicamentos veterinarios, son fundamentales para mantener la salud de las colonias de abejas.

5.2 Recomendaciones

Aumentar el número de investigaciones sobre las alteraciones que llegan a producir los ingredientes de productos fitosanitarios “neonicotinoides” en insectos polinizadores. Además, sería pertinente, evaluar los productos obtenidos de la apicultura y generar estudios de caso, sobre la posibilidad de que existan residuos de insecticidas en productos derivados de la apicultura.

Emplear con mayor frecuencia estudios sobre modelos de distribución potencial y proyección futura de especies, que, como *Apis mellifera*, puedan llegar

a garantizar expansión florar, agrícola y sobre todo garantizar beneficios ecosistémicos como con estos ejemplares, para obtener beneficios sociales, económicos y nutricionales.

Desarrollar recursos necesarios para garantizar sustentabilidad en el manejo de la colmena y productos obtenidos de la apicultura, que, a pesar de frenar y cuidar a la población de *Apis mellifera* del actual cambio ambiental, los problemas para mejorar la producción continúan.

BIBLIOGRAFÍA

- ACCESS National Research Infrastructure. (19 de 06 de 2023). *ACCESS*. access-nri.org.au: <https://www.access-nri.org.au/models/earth-system-models/coupled-model-cm/>
- Agrícola San Blass. (Septiembre de 2022). Análisis del impacto ambiental por el uso de agroquímicos y distribución biogeográfica de Melíferas (Hymenoptera:Apidae). (M. Cisneros , & P. Cortez , Entrevistadores)
- Aguirre , J. (2016). Determinación del comportamiento higiénico en colonias de abejas *Apis mellifera* en el criadero de reinas las maravillas, Santa Lucía Cotzumalguapa, Escuintla. <https://core.ac.uk/download/pdf/35294207.pdf>
- Aguirre, J. (2016). Determinación del comportamiento higiénico en colonias de abejas *Apis mellifera* en el criadero de reinas las maravillas, Santa Cotzumalguapa, Escuintla. <https://core.ac.uk/download/pdf/35294207.pdf>
- Aizen , M., & Harder, L. (2009). The Global Stock of Domesticated Honey Bees Is Growing Slower Than Agricultural Demand for Pollination. *Current Biology*, 19(11), 915-918.
- Aizen, M., & Lawrence, D. (2009). Geographic variation in the growth of domesticated honey-bee stocks. *Communicative & Integrative Biology*, 2(6), 464-466. <https://doi.org/https://doi.org/10.4161/cib.2.6.9258>
- Al Naggar, Y., Sayes , C., Collom, C., Ayorinde, T., Qi, S., El-Seedi, H., Paxton , R., & Wang, K. (2023). Chronic Exposure to Polystyrene Microplastic Fragments Has No Effect on Honey Bee Survival, but Reduces Feeding Rate and Body Weight. *Toxics*, 11(2). <https://doi.org/10.3390/toxics11020100>
- Al Toufalia, H., Alves, D., Bená , D., Bento, J., Iwanicki, N., & Cline , A. (2017). First record of small hive beetle, *Aethina tumida* Murray, in South America. *Journal of Apicultural Research*, 56(1), 76- 80. <https://doi.org/10.1080/00218839.2017.1284476>
- Al-Ghamdi, A. A. (2014). New approach for determination of an optimum honeybee colonies carrying capacity based on productivity and nectar secretion potential of bee forages species. *Saudi Journal of Biological Sciences*.
- Allouche, O., Tsoar, A., & Kadmon, R. (2006). Assessing the accuracy of species distribution models: prevalence, kappa and the true skill statistic (TSS). *Journal of*

- Applied Ecology*, 43(6), 1223-1232. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2006.01214.x>
- Álvarez, A., Jiménez, L., Ortiz, E., Ruiz, I., & Orozco, R. (2017). Influencia de las condiciones ambientales en la presentación de Ascosferosis (*Ascospaera apis*) o cría de cal en *Apis mellifera* (abeja). *SciELO*, 7(3). <https://doi.org/doi.org/10.21929/abavet2017.73.4>
- Amaro, J., Gomes, E., Siqueira, R., & Marchioro, A. (2023). Effect of study area extent on the potential distribution of Species: A case study with models for *Raoiella indica* Hirst (Acari: Tenuipalpidae). *Ecological Modelling*, 483. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2023.110454>
- Amat-García, G., & Fernández, F. (2011). LA DIVERSIDAD DE INSECTOS (ARTHROPODA: HEXAPODA) EN COLOMBIA I. ENTOGNATHA A. POLYNEOPTERA. *Acta Biológica Colombiana*, 16(2), 205-219. <https://doi.org/https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=319028008016>
- Anderson, R., & Matínez-Meyer, E. (2004). Modelling Species' Geographic Distributions for Conservation Assessments: An Implementation with the Spiny Pocket Mice (*Heteromys*) of Ecuador. *Biological Conservation*, 116, 167-179. [https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/S0006-3207\(03\)00187-3](https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/S0006-3207(03)00187-3)
- Andrade, F. (2017). *Los desafíos de la agricultura argentina, satisfacer las futuras demandas y reducir el impacto ambiental*. Ediciones INTA. https://repositorio.inta.gob.ar/bitstream/handle/20.500.12123/2149/INTA_CRBs_AsSur_EEABalcarce_Andrade_FH_Desafios_agricultura_argentina.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Andrade, F. (2016). *Los desafíos de la agricultura*. INTA, FCA UNMP, CONICET, IPNI. Ediciones International Plant Nutrition Institute.
- Araújo, M., & Luoto, M. (2007). The importance of biotic interactions for modelling species distributions under climate change. *Global Ecological and Biogeography*, 16, 743-753.
- Arévalo, C., Jácome, G., Ortega, S., Rosales, O., & Rodríguez, J. (2023). Evaluación del cambio del paisaje boscoso y su impacto en la distribución de *Dipsas elegans* en el norte de Ecuador. *Investigaciones Geográficas(79)*, 231-250. <https://doi.org/10.14198/INGEO.23541>
- Arias-Muñoz, P., Jácome, G., & Paulina, V. (2022). Analysis of vulnerability to climate change in small cities using livelihood approach. A case of study of Cotacachi, Ecuador. *Acta Geographica Universitatis Comenianae*, 66(1), 63-79.
- Arista, M., Talavera, M., Berjano, R., & Ortiz, P. (2013). Abiotic factors may explain the geographical distribution of flower colour morphs and the maintenance of colour polymorphism in the scarlet pimpernel. *Journal of Ecology*, 101, 1613-1622.
- Armbruster, W., Di Stilio, V., Tuxill, J., Flores, T., & Velásquez-Runk, J. (1999). Covariance and decoupling of floral and vegetative traits in nine Neotropical plants: a re-evaluation of Berg's correlation-pleiades concept. *American Journal of Botany*, 86, 39-55.
- Ashman, T.-L., Knight, T., Steets, J., Amarasekare, P., Burd, M., Campbell, D., Dudash, M., Johnston, M., Mazer, S., Mitchell, R., Morgan, M., & Wilson, W. (2004). POLLEN LIMITATION OF PLANT REPRODUCTION: ECOLOGICAL AND

- EVOLUTIONARY CAUSES AND CONSEQUENCES. *Ecological Society of America*, 85(9), 2408-2421. <https://doi.org/https://doi.org/10.1890/03-8024>
- ASU. (2023). *Ask a Biologist*. Abeja Bonanza, la historia de las abejas melíferas: <https://askabiologist.asu.edu/anatom%C3%ADa-de-abejas-mel%C3%ADferas>
- Baena-Díaz, F., Chévez, E., Ruiz de la Merced, F., & Porter-Bolland, L. (2022). *Apis mellifera* en México: producción de miel, flore melífera aspectos de polinización. Revisión. *Revista Mexicana Ciencias Pecuarias*, 13(2), 525-548. <https://doi.org/https://doi.org/10.22319/rmcp.v13i2.5960>
- Baéz, V., Medina, R., Medina, S., & Quezada, J. (2020). Intranidal temperature and body size of Africanized honey bees under heatwaves (Hymenoptera: Apidae). *Apidologie*, 51, 382-390. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s13592-019-00725-5>
- Bailey, J., Scott-Dupree, C., Harris, R., Tolman, J., & Harris, B. (2005). Contact and oral to honey bees (*Apis mellifera*) of agents registered for use for sweet corn insect control in Ontario, Canada. *Apidologie*, 36, 623-633.
- Barrios, C., Morales, Y., Cugnata, N., De Piano, F., Fuselli, S., Maggi, M., Melo, H., & Principal, J. (2012). La apicultura como estrategia de gestión ambiental en la cuenca del embalse Guaremal, municipio Peña, estado Yaracuy, Venezuela. *SciELO-Zootecnia Tropical*, 30(3).
- Barve, N., Barve, V., Jiménez-Valverde, A., Lira-Noriega, A., Maher, S., & Peterson, A. (2011). The crucial role of accessible area in ecological niche modeling and species distribution modeling. *Ecological Modelling*, 222, 1810-1819.
- Batomeus, I., Stevert, J., Ward, D., & Aguado, O. (2018). Historical collections as a tool for assessing the global pollination crisis. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*. <https://doi.org/https://doi.org/10.1098/rstb.2017.0389>
- Beard, S. (2015). *Matriz de Vester. Formulario de evaluación y desempeño*. https://prezi.com/jj4wg_s2y8dk/matriz-de-vester/
- Bletter, D., Fagúndez, G., & Chemez, D. (2020). Relevamiento y asignación taxonómica de himenópteros potencialmente polinizadores en un cultivo de soja. *Revista de Investigaciones Agropecuarias*, 46(1).
- Botías, C., & Sánchez, F. (2018). Papel de los plaguicidas en la pérdida de polinizadores. *Revista Científica de Ecología y Medio Ambiente*, 27(2), 34-41. <https://doi.org/10.7818/ECOS.1314>
- Breeze, T., Gallai, N., Garibaldi, L., & Li, X. (2016). Economic Measures of Pollination Services: Shortcomings and Future Directions. *Trends in Ecology & Evolution*, 31, 927-939. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2016.09.002>
- Briggs, D. (2003). The role of GIS: coping with space (and time) in air pollution exposure assessment. *Journal of Toxicology and Environmental Health*, 68, 1243-1261.
- Briggs, D. (2005). The role of GIS: coping with space (and time) in air pollution exposure assessment. *Journal of Toxicology and Environmental Health*, 68, 1243-1261.
- Brown, T., Kegley, S., & Archer, S. (2013). Gardeners Beware : Bee-toxic Pesticides Found in «Bee-Friendly» Plants Sold at Garden Centers Nationwide. *Friends of the Earth*, 33.
- Buenas Prácticas Agropecuarias - Ecuador. (2023). *Agencia de Regulación y control Fito y Zoonosanitario*. Agrocalidad: <https://www.agrocalidad.gob.ec/BPA/>

- Cabello, C. (20 de mayo de 2022). *La apicultura se ha adaptado al cambio climático con el uso de colmenas inteligentes*. RTVE: <https://www.rtve.es/noticias/20220520/apicultura-adaptado-cambio-climatico-uso-colmenas-inteligentes/2350561.shtml>
- Cabello, T. (2007). *Apicultura*.
- Cabrera , J. (2020). *La Apicultura en el Ecuador*. Antecedentes históricos: https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/63406438/La_apicultura_en_Ecuador_antecedentes_historicos20200523-79811-8cxg6g-libre.pdf?1590263234=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DLa_Apicultura_en_el_Ecuador.pdf&Expires=1695075254&Signature=eKJHL
- Caldwell, P., Sun, G., McNulty, S., Moore-Myers, J., Cohen, E., Herring, R., & Martínez, E. (2019). WaSSI – Un Modelo de los Servicios ecosistémicos. *USDA*, 91.
- Cane, J., & Love, B. (2016). Floral Guilds of Bees in Sagebrush Steppe: Comparing Bee Usage of Wildflowers Available for Postfire Restoration. *Natural Areas Journal*, 36(4), 377-391. <https://doi.org/10.3375/043.036.0405>
- Caña, J., & Tepedino, V. (2016). Gauging the Effect of Honey Bee Pollen Collection on Native Bee Communities. *Society for conservation Biology*, 10(2), 205-210. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/conl.12263>
- Cao, Y., DeWalt, R., Robinson, L., Tweddale, T., Hinz, L., & Pessino, M. (2013). Using Maxent to model the historic distributions of stonefly species in Illinois streams: The effects of regularization and threshold selections. *Ecological Modelling*, 259, 30-39.
- Cartaya, S., Anchundia, C., & Mantuano, R. (2017). POTENTIAL GEOGRAPHICAL DISTRIBUTION OF THE SPECIES *Cuniculus Paca* IN WESTERN ECUADOR. *Revista de Ciencias de la Vida*, 24(2), 134-149. <https://doi.org/https://doi.org/http://dx.doi.org/11.10.17163/lgr.n24.2016.11>
- Center for Climate and Resilience Research . (15 de marzo de 2021). *CR2: simulaciones climáticas globales*. cr2cl: <https://www.cr2.cl/simulaciones-climaticas-globales/>
- Chang , Y., Hsu, M., & Hsueh, H. (2014). Biomarker selection for medical diagnosis using the partial area under the ROC curve. *BMC Res Notes*. <https://doi.org/10.1186/1756-0500-7-25>
- Chang, Y. H. (2014). Biomarker selection for medical diagnosis using the partial area under the ROC curve. *BMC Res Notes*. <https://doi.org/10.1186/1756-0500-7-25>
- Channel , B. (11 de Abril de 2013). Los Secretos de la Naturaleza . *Abejas*. <https://youtu.be/dXszkcmYDn8>
- Channel, B. (11 de Abril de 2013). Los Secretos de la Naturaleza - (12) - Abejas. <https://youtu.be/dXszkcmYDn8>
- Choudhary, A., & Sharma, D. (2008). Pesticide Residues in Honey Samples from Himachal Pradesh (India). *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 80, 417-422. <https://doi.org/doi.org/10.1007/s00128-008-9426-5>
- Cockerell, T. (1914). Bees from Ecuador and Peru. *J. of the New York Entomological Society*, 22, 306-328.
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe. (2004). *Observatorio de principio 10 en América Latina y el Caribe*. Convenio de Rotterdam: <https://observatoriop10.cepal.org/es/tratado/convenio-rotterdam-la-aplicacion->

- <https://doi.org/http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/9420/2/03%20AGN%20056%20TRABAJO%20GRADO.pdf>
- De Pierre, J. (2007). *Apicultura: Conocimiento de la Abeja. Manejo de la Colmena*. Mundi-Prensa Libros S.A. <https://doi.org/84-8476-204-1>
- De Souza, R., & De Marco, P. (2014). The use of species distribution models to predict the spatial distribution of deforestation in the western Brazilian Amazon. *Ecological Modelling*, 291, 250-259.
- Decourtye, A., & Devillers, J. (2010). Ecotoxicity of Neonicotinoid Insecticides to Bees. En *Insect Nicotinic Acetylcholine Receptors* (págs. 85-95). Steeve Hervé Thany.
- Decourtye, A., Desneux, N., & Delpuech, J. (2007). The Sublethal Effects of Pesticides on Beneficial Arthropods. *Journal Entomology*, 52, 81-106. <https://doi.org/https://doi.org/10.1146/annurev.ento.52.110405.091440>
- Devine, G., Eza, D., Ogusuku, E., & Furlong, M. (2008). Uso de insecticidas: contexto y consecuencias ecológicas. *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública*, 25(1), 74-100.
- Díaz, D. (2015). Experiencias de análisis del clima futuro 2040 al 2060 en algunas regiones del sur del país. *Grupo Semillas Colombia*.
- Dodd, L., & Pepe, M. (2003). Partial AUC estimation and regression. *Biometrics*, 59, 614-623.
- Dong, L., Silva, D., De Marco Júnior, P., Pimienta, M., & Caldas, M. (2020). Model approaches to estimate spatial distribution of bee species richness and soybean production in the Brazilian Cerrado during 2000 to 2015. *Science of The Total Environment*, 737. <https://doi.org/doi:https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139674>
- EASAC. (2015). Ecosystem services, agriculture and neonicotinoids. European Academies Science Advisory Council.
- Easterling, D., Meehl, G., Parmesan, C., Changnon, S., Karl, T., & Mearns, L. (2000). Climate extremes: observations, modeling, and impacts. *Science*, 289, 2068-2074.
- Elith, J., & Leathwick, J. (2009). Species distribution models; ecological explanation and prediction across space and time. *Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics*, 40, 677-697.
- Elith, J., Phillips, S., Hastie, T., Dudik, M., Chee, Y., & Yates, C. (2011). A statistical explanation of MaxEnt for ecologists. *Diversity and Distributions*, 17, 43-57.
- ESRI. (2022). Conceptos del conjunto de herramientas de Multivariante. *ArcGIS Pro 3.0*. <https://pro.arcgis.com/es/pro-app/3.0/tool-reference/spatial-analyst/performing-the-classification.htm>
- Estrada, C., & Fernández, F. (1999). Diversidad de hormigas (Hymenoptera: Formicidae) en un gradiente sucesional del bosque nublado (Nariño, Colombia). *Revista de Biología Tropical*, 41(1), 189-201.
- Evans, L., Jesson, L., Read, S., Jochym, M., Cutting, B., Gayrard, T., & Howlett, B. (2021). Factors influencing forager distribution across macadamia orchards differ among species of managed bees. *Basic and Applied Ecology- Elsevier*, 53, 74-85. <https://doi.org/doi:https://doi.org/10.1016/j.baae.2021.03.001>
- Fabian, Y., Sandau, N., Bruggisser, O., Aebi, A., Keherli, P., Rohr, R., Naisbit, R., & Bersier, L. (2014). Plant diversity in a nutshell: testing for small-scale effects on

- trap nesting wild bees and wasps. *Ecosphere*, 5(2), 1-18. <https://doi.org/doi.org/10.1890/ES13-00375.1>
- Fernández Rodríguez, L. (2004). Las abejas y la apicultura. *Dpto. BOS. Universidad de Oviedo*, 124.
- Fernández, R. (2022). Análisis del Impacto Ambiental por el Uso de Agroquímicos y Distribución Biogeográfica de Mellíferas (Hymenoptera: Apide) en el Cantón Otavalo . *UTN*.
- Fick, S. E., & Hijmans, R. J. (2017). WorldClim 2: New 1-km spatial resolution climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology*, 37(12), 4302-4315. <https://doi.org/4302-4315>. <https://doi.org/10.1002/joc.5086>
- Finke, V., Baracchi, D., Giurfa, M., Scheiner, R., & Avargues-Weber, A. (2021). Evidence of cognitive specialization in an insect: proficiency is maintained across elemental and higher-order visual learning but not between sensory modalities in honey bees. *Journal of Experimental Biology*, 224(24). <https://doi.org/10.1242/jeb.242470>
- Fischer, J., Müller, T., Spatz, A.-K., Greggers, U., Grünewald, B., & Menzel, R. (2014). Neonicotinoids Interfere with Specific Components of Navigation in Honeybees. *PLOS ONE*, 9(3), 1-10. <https://doi.org/https://doi.org/10.1371/journal.pone.0091364>
- Fisher, A., Coleman, C., Hoffmann, C., Fritz, B., & Rangel, J. (2017). The Synergistic Effects of Almond Protection Fungicides on Honey Bee (Hymenoptera: Apidae) Forager Survival. *Journal of Economic Entomology*, 110(3), 802-808. <https://doi.org/https://doi.org/10.1093/jee/tox031>
- Fisher, J., Müller, T., Spatz, A.-K., Greggers, U., & Grünewald, B. (2014). Neonicotinoids Interfere with Specific Components of Navigation in Honeybees. *PLOS-one*, 9(3). <https://doi.org/https://doi.org/10.1371/journal.pone.0091364>
- Freitas, B., Imperatriz-Fonseca, V., Medina, L., Atrid de Matos, P., Galetto, L., Nates-Parra, G., & Quezada-Euán, J. (2009). Diversity, threats and conservation of native bees in the Neotropics. *Apidologie*, 40, 332-346. <https://doi.org/https://doi.org/10.1051/apido/2009012>
- Gaines, H., & Gratton, C. (2016). Crop yield is correlated with honey bee hive density but not in high-woodland landscapes. *Agriculture Ecosystems & Environment*, 218, 53-57. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2015.11.001>
- Gallien, L., Douzet, R., Pratte, S., Zimmermann, N., & Thuiller, W. (2012). Invasive species distribution models – how violating the equilibrium assumption can create new insights. *Global Ecology and Biogeography*, 21(11), 1126-1136. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/j.1466-8238.2012.00768.x>
- Garibaldi, L., Requier, F., Rollin, O., & Andersson, G. (2017). Towards an integrated species and habitat management of crop pollination. *Curr Opin Insect Sci*, 21(1), 105-114.
- Gavish, Y., Marsh, C., Kuemmerlen, M., Stoll, S., Haase, P., & Kunin, W. (2016). Accounting for biotic interactions through alpha-diversity constraints in stacked species distribution models. *Methods in Ecology and Evolution*, 8(9). <https://doi.org/10.1111/2041-210X.12731>
- Gayubo, S., & Pujade, J. (2015). Orden Hymenoptera (Vol. 2). *Departamento de Biología animal*.

- Ghazoul, J. (2005). Buzziness as usual? Questioning the global pollination crisis. *trends in Ecology and Evolution*, 20(7), 367-373.
- Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del Cantón Otavalo. (2022). Alcaldía de Otavalo: <http://www.otavalo.gob.ec/otavalo/situacion-geografica.html>
- Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del Cantón Otavalo. (2023). *Datos Generales del Cantón*. Información General: <http://www.otavalo.gob.ec/web/datos-generales/>
- Gómez, J. (2002). Generalizations in the interactions between plants and pollinators. *Revista chilena de historia natural*, 75. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.4067/S0716-078X2002000100010>
- Gómez, J., & Zamora, R. (2006). Ecological factors than promote the evolution of generalization in pollination systems. Waser, N.M. (ed.), *Plant-pollinator interactions: from specialization to generalization*, 145-166.
- Gonzales , V., Cobos , M., Jaramillo , J., & Ospina , R. (2021). Climate change will reduce the potential distribution ranges of Colombia's most valuable pollinators. *Perspectives in Ecology and Conservation*, 19, 195-205. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.pecon.2021.02.010>
- Gonzales, D., & Hernández, C. (2006). Riqueza de Hymenoptera. *Biodiversidad*.
- Gonzalez, J., & DeNisi, A. (2009). Cross-level effects of demography and diversity climate on organizational attachment and firm effectiveness. *Journal of Organizational Behavior*, 30(1), 21-40.
- González, P. (2018). Efectos de los Neonicotinoides en las Abejas y Regulaciones de la Unión Europea, Estados Unidos de Norteamérica, Canadá y Chile. *Biblioteca del Congreso Nacional de Chile*, 1-6.
- GreenPeace. (20 de Abril de 2022). *Cinco amenazas que ponen en riesgo al medio ambiente*. <https://www.greenpeace.org/colombia/noticia/issues/climayenergia/cinco-amenazas-que-ponen-en-riesgo-al-medio-ambiente-segun-greenpeace/#:~:text=La%20deforestaci%C3%B3n%2C%20el%20consumo%20irresponsable,principal%20amenaza%20para%20nuestro%20planeta.>
- Guil. (2015). *La bio diversidad de los alimentos ecuatorianos*. Ecuador es Calidad.
- Gutiérrez, E., & Trejo, I. (2023). Aplicación de diferentes tipos de datos en el modelado de la distribución de especies arbóreas en México. *SciELO: Colombia Forestal*, 26(1). <https://doi.org/https://doi.org/10.14483/2256201x.19392>
- Hanley, J., & McNeil, B. (1983). Method of comparing the areas under receiver operating characteristic curves derived from the same cases. *Radiology*, 148(43), 839.
- Hijmans, R., & Elith, J. (2013). Species Distribution Modeling with R. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384719-5.00318-X>
- Hoorn, C., Wesselingh, F., Ter Steege, H., Bermudez, M., Mora, A., Sevink, J., Sanmartín , I., Sanchez , A., Anderson , C., Figueiredo, J., Jaramillo, C., Riff, D., Negri, F., Hooghiemstra, H., Lundberg, J., Stadler, T., Sarkinen, T., & Antonelli, A. (2011). Origins of Biodiversity—Response. *Science*, 331(6016), 399-400. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1126/science.331.6016.399>
- Huera Ipial, J. D., & López Gomez, A. L. (2022). *Análisis de la distribución biogeográfica de himenópteros: Apidae en el cantón Ibarra, provincia de Imbabura*.

- Iannacone Oliver, J. A. (2015). *IMPACTO DE PLAGUICIDAS EN LA ABEJA MELÍFERA Apis mellifera (HYM:APIDAE)*.
- Idrogo, M., & Álvarez, D. (2019). *Comparación de dos metodologías de estudio de impacto ambiental en el mejoramiento y aplicación del sistema de Agua Potable y Desagüe del caserío Luceropata, Distrito de Longar. Chachapoyas, Perú.* <https://repositorio.untrm.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14077/1776/Idrogo%20Guevara%20Mois%20a9s%20Otoniel%20-%20Alvarez%20Burgos%20Demetrio%20Martin.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- IICA. (2020). La apicultura y el café, una combinación estratégica para reducir los efectos del cambio climático en la región. *Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura*.
- InfoAgro. (2023). *El cultivo de la Fresa*. Técnicas de cultivo: https://www.infoagro.com/documentos/el_cultivo_fresa.asp
- Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias. (2014). *Lupinus mutabilis Sweet - Chocho*. <http://tecnologia.iniap.gob.ec/index.php/explore-2/mgranos/rchocho>
- Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias. (2014). *Solanum Tumorosum - Papa*. <http://tecnologia.iniap.gob.ec/index.php/explore-2/mraiz/rpapa>
- Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y pecuarias. (2011). *Prevención de Varrooasis y Suplementación*. <https://doi.org/978-607-425-555-3>
- Jácome, G., Vilela, P., & ChangKyoo, Y. (2019). Social-ecological modelling of the spatial distribution of dengue fever and its temporal dynamics in Guayaquil, Ecuador for climate change adaptation. *Ecological Informatics*, 49, 1-12.
- Jaffe , R., Dietmann, V., Allsopp, M., Costa, C., Crewe, R., Dall'olio, R., de la Rua , P., & Moritz , R. (2010). Estimating the Density of Honeybee Colonies across Their Natural Range to Fill the Gap in Pollinator Decline Censuses. *Conservation Biology*, 24(2), 583-593.
- Jarret, M., Arain, A., Kanaroglou, P., Beckerman , B., Potoglou, D., & Sahuvaroglu, T. (2005). A review and evaluation of intraurban air pollution exposure models. *Journal of Exposure Science and Environmental Epidemiology*, 15, 185-204.
- Jiménez, V. (2012). Insights into the area under the receiver operating characteristic curve (AUC) as a discrimination measure in species distribution modelling. *Global Ecology and Biogeography*, 21(4), 498-507. <https://doi.org/doi.org/10.1111/j.1466-8238.2011.00683.x>
- Johnson , R., Ellis, M., Mullin , C., & Maryann, F. (2010). Pesticides and honey bee toxicity. *Apidologie*, 41, 312-331. <https://doi.org/doi.org/10.1051/apido/2010018>
- Jordán , R. (2016). *Universidad Técnica de Machala*. Apicultura en el Ecuador: https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/45633920/apicultura-libre.pdf?1463283063=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DUNIVERSIDAD_TECNICA_DE_MACHALA_UNIDAD_AC.pdf&Expires=1695073783&Signature=G6fy5Oip8gUb-no0YraLwn4Q4L0ZXzbyNFDR0ke4j7zJ~1DnnRo
- Kahl, M. (2015). Principales características de los insecticidas utilizados en el cultivo de soja. *Serie Extensión Digital. Segundo Trimestre. EEA Paraná. INTA*, 31-50.
- Klein , A., Cunningham, S., Bos, M., & I. Steffan-Dewenter. (2008a). Advances in pollination ecology from tropical plantation crops. *Ecology*, 89, 935-943.

- Klein , A., Vaissiere, B., Cane, J., Steffan-Dewenter, Cunningham , S., Kremen , C., & Tschardtke, T. (2007). Importance of pollinators in changing landscapes for world crops. *Biological Sciences*, 274(1608), 303-313.
- Klein, A., Vaissière, B., Cane, J., Dewenter, I., Cunningham, S., Kremen, C., & Tschardtke, T. (2006). Importance of pollinators in changing landscapes for world crops. *The Royal Society* 2006, 274, 303-313. <https://doi.org/doi:10.1098/rspb.2006.3721>
- Klein, S., Cabirol, A., Devaud, J.-M., Barron, A., & Lihoreau, M. (2017). Why Bees Are So Vulnerable to Environmental Stressors. *Trends in Ecology & Evolution*, 32, 268-278. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.tree.2016.12.009>
- Knowlton, J., Crafford, R., Tinoco , B., Padrón , P., & Wilson Rankin, E. (2022). High Foraging Fidelity and Plant-Pollinator Network Dominance of Non-native Honeybees (*Apis mellifera*) in the Ecuadorian Andes. *Neotropical Entomology*, 51(5), 795 - 800. <https://doi.org/10.1007/s13744-022-00967-6>
- Kumar, S., Graham, A., West, M., & Evangelista, P. (2014). Using district-level occurrences in Maxent for predicting the invasion potential of an exotic insect pest in India. *Computers and Electronics in Agriculture*, 103, 55-62.
- Lebuhn, G., & Vargas, J. (2021). Pollinator decline: what do we know about the drivers of solitary bee declines? *Current Opinion in Insect Science*, 46, 106-111. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.cois.2021.05.004>
- Li, H., Liu, S., Chen, L., Luo, J., Zeng, D., & Li, X. (2021). Juvenile hormone and transcriptional changes in honey bee worker larvae when exposed to sublethal concentrations of thiamethoxam. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 225. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2021.112744>
- Lindao, V., García, J., Espinoza, A., & Carrera, E. (2020). Impact of Bees (*Apis mellifera* L.) As Pollinating Agents on Yield of Pea (*Pisum sativum* L.). Var. Television in the Canton Riobamba, Chimborazo Province. *Dominio de las Ciencias*, 6(2), 836-860. <https://doi.org/doi:http://dx.doi.org/10.23857/dc.v6i3.1252>
- Llorente, J. (2023). *Fundación Amigos de las abejas*. Anatomía Externa de la Abeja: <https://abejas.org/anatomia-externa-de-las-abejas/>
- López, R., & Deslauriers, J.-P. (2011). La entrevista cualitativa como técnica para la investigación en Trabajo Social. *margen*(61), 1-19.
- Magaña, M., & Leyva, M. (2011). Costos y rentabilidad del proceso de producción apícola en México. *Contaduría y Administración*, 235, 99-119.
- Magem, J. (2016). Tecnologías Apropriados para la apicultura. *Ingeniería Sin Fronteras*. <https://esf-cat.org/wp-content/uploads/2017/04/Manual-Tecnolog%C3%ADa-para-la-Apicultura.pdf>
- Manel, S. B. (2002). Detecting wildlife poachin: identifying the origin of individuals using Bayesian tests and multi-locus genotypes. *Consery Biol*, 16, 650-659.
- Manel, S., Berthier, P., & Luikart, G. (2002). Detecting wildlife poaching: identifying the origin of individuals using Bayesian assignment tests and multi-locus genotypes. *Conservation Biology*, 16, 650-659.
- Manual de Plaguicidas de Centroamérica. (2023). *Plaguicidas de Centroamérica*. Universidad Nacional de Costa Rica: <http://www.plaguicidasdecentroamerica.una.ac.cr/index.php/base-de-datos-menu/315-hexitiazox>

- Manual Terrestre de la OIE. (2021). Varroosis de las abejas melíferas (Inestación de las abejas melíferas por *Varroa* spp). https://www.woah.org/fileadmin/Home/esp/Health_standards/tahm/3.02.07_Varroosis.pdf
- Martelo , R., Jiménez , I., & Moncaris , L. (2017). Methodological Guide for Improving Software Development through the Application of the Problem Trees Technique. *SciELO Analytics*, 28(3). <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642017000300010>
- Martin-Culma, N., & Arenas-Suárez, N. (2018). Daño colateral en abejas por la exposición a pesticidas de uso agrícola. *Entramado*. <https://doi.org/10.18041/ENTRAMADO.2018V14N1.27113>
- Martin-Culma, Y., & Arenas-Suárez, N. (2017). Daño colateral en abejas por la exposición a pesticidas de uso agrícola. *Entramado*, 14(1), 232-240. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.18041/entramado.2018v14n1.27113>
- Martínez Lopez, V., Ruiz, C., & De la Rúa, P. (2022). Migratory beekeeping and its influence on the prevalence and dispersal of Migratory beekeeping and its influence on the prevalence and dispersal of pathogens to managed and wild bees. *International Journal for Parasitology: Parasites and Wildlife*, 184-193. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ijppaw.2022.05.004>
- Martínez Ortiz, F., & Cobo Ochoa, A. (1988). *Centro de Información y Documentación Agrararia*. <https://doi.org/84-87141-05-6>
- Mateo, R., Felicísimo , A., & Muñoz, J. (2011). Modelos de distribución de especies: Una revisión sintética. *Revista Chilena de Historia Natural*, 84(2), 217-240. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.4067/S0716-078X2011000200008>
- Medellín, R. (2012). Impacto del cambio climático en la apicultura. *Camapaña de Varroosis en Mexico*.
- Merow, C., Smith, M., & Silander, J. (2013). A practical guide to MaxEnt for modeling species' distributions: what it does, and why inputs and settings matter. *Ecography*, 36(10), 1058-1069. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/j.1600-0587.2013.07872.x>
- Michener, C. (2007). *The Bees of the world. 2nd Revised edition*. Baltimore, Estados Unidos: University Press.
- Milioni de Meira, O., & Barbosa, R. (2021). Comparative morphology and evolution of the cranial musculature in bees (Hymenoptera: Apoidea). *Arthropod Structure & Development*, 65. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.asd.2021.101112>
- Ministerio de Agricultura y Ganadería. (2023). *Ecuador tiene potencial para la apicultura*. <https://www.agricultura.gob.ec/ecuador-tiene-potencial-para-la-apicultura/>
- Morales , S. (2013). *Zonificación ecológica-ambiental del cantón Otavalo, provincia de Imbabura*. <https://doi.org/http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/2133>
- Moral-García, F., Rodríguez, B., Arranz , R., De la Cruz, J., & Honorio , G. (2004). Técnicas geoestadísticas aplicadas al análisis de la distribución de capturas de *Helicoverpa armígera* (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae) mediante trampas con feromonas sexuales en una plantación de tomate. *Boletín de Sanidad Vegetal de Plagas*, 30, 733-744.

- Moritz, R., Kraus, F., Kryger, P., & Crewe, R. (2007). The size of wild honeybee populations (*Apis mellifera*) and its implications for the conservation of honeybees. *Journal of Insect Conservation*, 11(4), 391-397.
- Moya, W., Jácome, G., & ChangKyoo, Y. (2017). Past, current, and future trends of red spiny lobster based on PCA with MaxEnt model in Galapagos Islands, Ecuador. *Ecology and Evolution*, 7(13), 4881-4890.
- Myers, N., Mittermeier, C., Da Fonseca, G., & Kent, J. (2000). Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature*, 403, 853-858. <https://doi.org/https://doi.org/10.1038/35002501>
- Naggar, Y., Brinkmann, M., Sayes, C., Al-Kahtani, S., Dar, S., El-Seedi, H., GrÜnewald, B., & Giesy, J. (2021). Are honey bees at risk from microplastics? *Toxics*, 9(5). <https://doi.org/10.3390/TOXICS9050109>
- Nates-Parra, G. (2005). Abejas silvestres y polinización. *Manejo Integral de Plagas (Costa Rica)*, 75, 7-20. <https://repositorio.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/5728/abejas.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Naug, D. (2009). Nutritional stress due to habitat loss may explain recent honeybee colony collapses. *Biology Conservation*, 142, 2369-2372. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.biocon.2009.04.007>
- Navarro, L. (2000). Pollination ecology of *Anthyllis vulneraria* subsp. *vulgaris* (Fabaceae): nectar robbers as pollinators. *American Journal of Botany*, 87, 980-985.
- NRDC. (2022). Neonicotinoides 101: Los efectos en los humanos y las abejas. <https://www.nrdc.org/es/stories/neonicotinoides-101-efectos-humanos-abejas>
- Núñez-Avellaneda, L., & Rojas-Robles, R. (2008). Reproductive biology and pollination ecology of the milpesos palm *Oenocarpus bataua* in the Colombian Andes. *Ecología*, 30(1), 101-125. <http://www.scielo.org.co/pdf/cal/v30n1/v30n1a5.pdf>
- Olalde, O., Peña, L., Fernández de Manuel, B., Méndez, L., Viota, M., & Arregui, A. (2020). Co-creación de conocimiento para la inclusión del enfoque de servicios de los ecosistemas en la ordenación del territorio del País Vasco. *Ecosistemas*, 29(1). <https://doi.org/https://doi.org/10.7818/ECOS.1934>
- Ollerton, J., Winfree, R., & Tarrant, S. (2011). How many flowering plants are pollinated by animals? *Oikos*, 124, 321-326.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2019). *La apicultura ayuda a crear sistemas de vida sostenibles*. <https://www.fao.org/3/y5110s/y5110s02.htm>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2022). *Las abejas son los diligentes polinizadores de las frutas y cultivos*. Las abejas son excelentes polinizadores: <https://www.fao.org/3/y5110s/y5110s03.htm#TopOfPage>
- Organización Mundial de la Salud para el Programa Internacional de Seguridad de las Sustancias Químicas. (1993). *Deltametrina-Guía para la salud y la seguridad*. World Health Organization 1989. <https://doi.org/9241543515>
- Orr, M., Hughes, A., Chesters, D., Pickering, J., Zhu, C., & Ascher, J. (2021). Global Patterns and Drivers of Bee Distribution. *Current Biology*, 31, 451-458. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.cub.2020.10.053>

- Osterman , J., Aizen, M., Biesmeijer, J., Bosch, J., Howlett, B., Inouye, D., Paxton, R., Jung, C., Martins, D., Medel, R., Pauw, A., & Seymour, C. (2021). Global trends in the number and diversity of managed pollinator species. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 322. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.agee.2021.107653>
- Papach, A., Fortini, D., Grateau, S., Aupinel, P., & Richard, F. (2017). Larval exposure to thiamethoxam and American foulbrood: effects on mortality and cognition in the honey bee *Apis mellifera*. *Journal of Apicultura Research*, 56(4).
- Park, Y., & Obryeki, J. (2004). Spatio-temporal distribution of corn leaf Aphids (Homoptera: Aphididae) and lady beetles (Coleoptera: Coccinellidae) in Iowa cornfields. *Biological Control*, 31, 210-217.
- Peralta, M. (2022). Análisis del Impacto Ambiental por el Uso de Agroquímicos y Distribución Biogeográfica de Melíferas (Hymenoptera: Apidae) en el cantón Otavalo . *UTN*.
- Peterson, A., Soberón, J., Pearson, R., & Anderson , R. (2011). Ecological Niches and Geographic Distributions. *Monographs in Population Biology*. <https://doi.org/10.1515/9781400840670>
- Phillips, S., & Dudik, M. (2008). Modeling of species distributions with Maxent: new extensions and a comprehensive evaluation. *Ecography*, 31, 161-175.
- Phillips, S., Anderson, P., & Schapired, R. (2006). Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling*, 190, 231-259].
- Phillips, S., Dudik, M., & Schapire, R. (2004). Maximum Entropy Approach to Species Distribution Modeling. *Proceedings of the 21st International Conference on Machine Learning*.
- Plasencia-Vázquez, A. H., Escalona-Segura, G., & Esparza-Olguin, L. (2014). Modelación de la distribución geográfica potencial de dos especies de psitácidos neotropicales utilizando variables climáticas y topográficas. *Acta Zoológica Mexicana*, 30(3). <https://doi.org/DOI:10.21829/azm.2014.30372>
- Plissock, P., & Fuentes-Catillo, T. (2011). Modelación de la distribución de especies y ecosistemas en el tiempo y en el espacio: una revisión de las nuevas herramientas y enfoques disponibles. *Revista de Geografía Norte Grande*(48), 61-79. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.4067/S0718-34022011000100005>
- Potts, S., Biesmeijer, J., Kremen , C., Neumann, P., Schweiger, O., & Kunin, W. (2010). Global pollinator declines: trends, impacts and drivers. *Trends in Ecology & Evolution*, 25(6), 345-353. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.tree.2010.01.007>
- Potts, S., Imperatriz-Fonseca, V., Ngo, H., Aizen , M., Biesmeijer, J., Breeze, T., Dicks, L., Garibaldi, L., Hill, R., Settle, J., & Vanbergen, A. (2016). Safeguarding pollinators and their values to human well-being. *Nature*, 540, 220-229. <https://doi.org/https://doi.org/10.1038/nature20588>
- Primo, F., Cauia , E., Siceanu, A., & De Clédad, J. (2019). The Development of an Efficient System to Monitor the Honeybee Colonies Depopulations. *Global IoT Summit (GIoTS)*, 1-5. <https://doi.org/10.1109/GIoTS.2019.8766435>
- QuestionPro. (2023). *Tipos de Encuestas*. <https://www.questionpro.com/es/tipos-de-encuestas.html>

- Quilambaqui-Jara, M., Sánchez García, J., Castro-Valladares, L., Merino, N., MAE, & Zabala-Ortiz, G. (2017). Diagnóstico de la producción agroindustrial de la miel de abeja en cuatro localidades rurales del Ecuador. *Global Partnerships for Development and Engineering Education: Proceedings of the 15th LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education and Technology*. Boca Raton, FL, United States. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2017.1.1.370>
- Rasmont, P., Franzen, M., Lecocq, T., Harpke, A., Roberts, S., Biesmeijer, K., Castro, L., Cederberg, B., Dvorak, L., Fitzpatrick, U., Gonseth, Y., Haubruge, E., Mahé, G., Manino, A., Michez, D., Neumayer, J., Ødegaard, F., Paukkunen, J., Pawlikowdki, T., Potts, S., . . . Schweiger, O. (2015). Climatic Risk and Distribution Atlas of European Bumblebees. *BioRisk*, 10.
- Ravazzi, G. (2016). *Las Abejas*. Editorial de Vecchi S.A.U. <https://doi.org/978-1-68325-506-2>
- Raven, P., & Wagner, D. (2021). Agricultural intensification and climate change are rapidly decreasing insect biodiversity. *Proc. Natl. Acad. Sci. Unit. States Am.*, 118. <https://doi.org/https://www.pnas.org/doi/epdf/10.1073/pnas.2002548117>
- Reed, J., Ellis, M., Mullin, C., & Frazier, M. (2010). Pesticides and honey bee toxicity — USA. *Apidologie*, 41, 312-331. <https://doi.org/https://doi.org/10.1051/apido/2010018>
- Reynal, J. (2008). Comparación del Método del Principio de la Máxima Entropía en la Estimación de Parámetros de la Distribución de Valores Extremos Tipo I. *Información Tecnológica*, 19(2), 103-112. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642008000200012>
- Rivera, C. G., Funes-Hernández, K. T., Merino-Villalta, J. F., & Beltrán-Sánchez, A. V. (2021). Guía para el modelo de distribución de especies por Máxima Entropía, estudio de caso de la "lora nuca amarilla" *Amazona auropalliata* en El Salvador. *Revista MInerva*, 4(2), 125-142.
- Rocha, J., & García, F. (2008). Insecticidas clásicos y biopesticidas modernos: avances en el entendimiento de su mecanismo de acción. *BioTecnología*, 12(1), 50-62.
- Rodríguez, D. (2011). Evaluación de la presencia de residuos de plaguicidas en miel de abejas provenientes de los departamentos de Boyacá, Cundinamarca, Magdalena y Santander. Bogotá. *Tesis Maestría en Ciencias Químicas, Universidad Nacional de Colombia*, 124.
- Rodríguez, d., De Ferrer, B., Ferrer, A., & Rodríguez, B. (2004). Characterization of honey produced in Venezuela. *Food Chem*, 84(4), 499-502.
- Rodríguez, I. (2020). *Estrategia didáctica para el cuidado y protección de la abeja Apis Mellífera en la IED Nuestra Señora del Carmen modalidad post primaria*. Bogotá D.C.
- Romo, H., Sanabria, P., & García-Barros, E. (2013). Predicción de los impactos del cambio climático en la distribución sobre las especies de Lepidoptera. El caso del género *Boloria* Moore, 1900 en la Península Ibérica (Lepidoptera: Nymphalidae). *Revista de Lepidopterología*, 41(162), 267-268. <https://www.redalyc.org/pdf/455/45529157007.pdf>

- Rull, V. (2011b). Neotropical biodiversity: timing and potential drivers. *Trends in Ecology & Evolution*, 26, 508-513. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.tree.2011.05.011>
- Ruttner, F. (1988). Biogeography and taxonomy of honeybees. *Springer Verlag*, 284.
- Sammataro, D., Gerson, U., & Needham, G. (2000). Parasitic mites of honey bees: Life history, implications, and impact. *Annual Review of Entomology*, 45, 519-548.
- Sánchez, F., Goulson, D., Pennacchio, F., Nazzid, F., Goka, K., & Desneux, N. (2016). Are bee diseases linked to pesticides? — A brief review. *Environment International*, 89-90, 7-11. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.envint.2016.01.009>
- Sandhi, R., Pickens, V., Bello, E., Elzay, S., Salgado, S., Hauri, K., Ternest, J., Constancio, N., Gula, S., Gearner, O., Anderson, M., & Edeburn, M. (2023). Entomology beyond research and education: 2022 student debates. *Journal of Insect Science*, 23(3). <https://doi.org/10.1093/jisesa/iead036>
- Sarría, F. A. (2014). Sistemas de Información Geográfica. *Universidad de Murcia*, 167-169. <https://www.um.es/geograf/sigmur/sigpdf/temario.pdf>
- Schank, C., Mendoza, M., García Vettoraz, M., Cove, M., Jordan, C., O’Farrill, G., Meyer, N., Lizcano, D., Estrada, N., Poot, C., & Leonardo, R. (2015). Integrating current rangewide occurrence data with species distribution models to map the potential distribution of Baird’s Tapir. *The Newsletter of the IUCN /SSC Tapir Specialist Group*, 24(33), 15-25.
- Scheper, J., Reemer, M., Van Kats, R., Ozinga, W., Vn der Linden, G., Schaminée, J., Siepel, H., & Kleijn, D. (2014). Museum specimens reveal loss of pollen host plants as key factor driving wild bee decline in The Netherlands. *The Proceedings of the National Academy of Sciences (PNAS)*, 111(49), 17552-17557. <https://doi.org/https://doi.org/10.1073/pnas.141297311>
- Schreinemachers, P., & Tipraqsa, P. (2012). Agricultural pesticides and land use intensification in high, middle and low income countries. *Food Policy, Elsevier*, 37(6), 616-626. <https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2012.06.003>
- Secretaría Nacional de Planificación. (2021). Plan de Creación de Oportunidades 2021-2025. 122. https://observatorioplanificacion.cepal.org/sites/default/files/plan/files/Plan-de-Creaci%C3%B3n-de-Oportunidades-2021-2025-Aprobado_compressed.pdf
- Secretaria Nacional de Planificación. (2021-2025). Plan de creación de oportunidades. <https://www.planificacion.gob.ec/wp-content/uploads/2021/09/Plan-deCreacio%CC%81n-de-Oportunidades-2021-2025-Aprobado.pdf>
- Shabani, F., Kumar, L., & Ahmadi, M. (2018). Assessing Accuracy Methods of Species Distribution Models: AUC, Specificity, Sensitivity and the True Skill Statistic. *Global Journal of HUMAN-SOCIAL SCIENCE: Geography, Geo-Sciences, Environmental Science & Disaster Management*, 18(1). <https://doi.org/ISSN:2249-460x>
- Simón-Porcar, V., & Abdelaziz, J. (2018). El papel de los polinizadores en la evolución floral: una perspectiva mediterránea. *Ecosistemas: Revista Científica de ecología y medio Ambiente*, 27(2), 70-80. <https://doi.org/10.7818/ECOS.1433>
- Soberón, J., Osorio, L., & Peterson, T. (2017). Conceptual differences between ecological niche modeling and species distribution modeling. *Revista Mexicana de*

- Somodi, I., Lepesi, N., & Botta-Dukát, Z. (2017). Prevalence dependence in model goodness measures with special emphasis on true skill statistics. *Ecology and Evolution*, 7(3), 863-872. <https://doi.org/10.1002/ece3.2654>
- Sosenki, P., & Domínguez, C. (2018). The value and risks of pollination as an ecosystem service. *Revista mexicana de biodiversidad*, 3, 89. <https://doi.org/10.22201/ib.20078706e.2018.3.2168>
- Sponsler, D., Grozinger, C., Hitaj, C., Rundlöf, M., Botías, C., Code, A., Lonsdorf, E., Melathopoulos, A., Smith, P., Suryanarayanan, S., Thogmartin, W., Williams, N., Zhang, M., & Douglas, M. (2019). Pesticides and pollinators: a socioecological synthesis. *Sci. Total Environ*, 662, 1012-1027.
- Squeo, F., Cepeda Pizarro, J., Olivares, N., & Arroyo, M. (2006). Interacciones ecológicas en la alta montaña del Valle del Elqui. *Ediciones Universidad de La Serena. La Serena. Chile*, 69-103.
- Stephen, W., Bohart, G., & Torchio, P. (1969). *The Biology and External Morphology of Bees*.
- Stuligross, C., Melone, G., Wang, L., & Williams, N. (2023). Sublethal behavioral impacts of resource limitation and insecticide exposure reinforce negative fitness outcomes for a solitary bee. *Science of the Total Environment*, 867, 161392. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.161392>
- Suárez, O. (9 de Diciembre de 2011). Cálculo del tamaño de la muestra. Ibarra, Imbabura, Ecuador.
- Tapia-González, J., León, T., Contreras Escareño, F., Macías, J., Tapia-Rivera, J., & Guzmán-Novoa, E. (2021). Influencias climáticas, regionales y cantidad de cría en el comportamiento higiénico de *Apis mellifera*. *SciELO*, 11. <https://doi.org/https://doi.org/10.21929/abavet2021.20>
- Téllez, F. (abril de 2022). El calentamiento global está matando de calor a las abejas y abejorros en EEUU. *National Geographic Español*. <https://www.ngenespanol.com/animales/las-abejas-estan-muriendo-de-calor-por-el-cambio-climatico/>
- Tolentino, L., Pérez, J., Trejo, L., Sanchez, R., Contreras, O., Hernández, A., & Gómez, F. (2019). Distributional analysis of the stingless bee *Scaptotrigona mexicana* (Apidae: Meliponini) in Mexico: Baseline information for Veracruz. *Agro productividad*, 12(8), 67-72. <https://doi.org/https://doi.org/10.32854/agrop.v0i0.1479>
- Toro, H., Chiappa, E., & Tobar, C. (2003). Biología de Insectos. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=319028008016>. <http://www.bionica.info/biblioteca/Toro2003.pdf>
- Torres, D., & Capote, T. (2004). Agroquímicos un problema ambiental global: uso del análisis químico como herramienta para el monitoreo ambiental. *Revista Científica y Técnica de Ecología y Medio Ambiente*, 3(13), 2-6.
- Van Strien, M. (2008). Best practice species distribution modelling protocol. *Spatial Ecology Group. University of Lausanne*.

- Vandame, R., & Palacio, M. A. (2010). Preserved honey bee health in Latin America: a fragile equilibrium due to low-intensity agriculture and beekeeping? *Apidologie*, 41, 243-255. <https://doi.org/10.1051/apido/2010025>
- Vera, F., & Romero, J. (1994). Impacto Ambiental de la Actividad agraria. *Agricultura y Sociedad*(71).
https://www.mapa.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/revistas/pdf_ays/a071_05.pdf
- Vides, E., Porter-Bolland, L., Ferguson, B., Gasselin, P., Vaca, R., Valle-Mora, J., & Vandame, R. (2019). Polycultures, pastures and monocultures: Effects of land use intensity on wild bee diversity in tropical landscapes of southeastern Mexico. *Biological Conservation*, 236(236), 269-280. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2019.04.025>
- Vílchez, J. (2000). Introducción a los sistemas de información geoespacial. *Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico, Universidad de los Andes, Talleres Gráficos Universitarios*, 203.
- Viracucha, A. (2017). *Efectos Ocasionados al suelo por la utilización de Agroquímicos en el Cultivo de Naranja en la Parroquia Bombón, Cantón el Chaco, 2015*. repositorio.utc.edu.ec:
<https://repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/4216/1/UTC-PC-000101.pdf>
- Waikato Domestic Beekeepers Association . (2022). Honey bee facts: <https://www.waikatobeekeepers.org.nz/bee-information/bee-facts/>
- Ward, L., Hladik, M., Guzman, A., Winsemius, S., Bautista, A., Kremen, C., & Mills, N. (2022). Pesticide exposure of wild bees and honey bees foraging from field border flowers in intensively managed agriculture areas. *Science of the Total Environment*, 831. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.154697>
- Winfree, R., Aguilar, R., Vázquez, D., Lebuhn, G., & Aizen, M. (2009). A meta-analysis of bees' responses to anthropogenic disturbance. *Ecology*, 90(8), 2068-2076.
- Yanga, X., Kushwahab, S., Saranb, S., Jian-chu Xuc, & Royb, P. (2013). Maxent modeling for predicting the potential distribution of medicinal plant, Justicia adhatoda L. in Lesser Himalayan foothills. *Ecological Engineering*, 51, 83-87.
- Yuan, H., Wei, L., & Wang, G. (2015). Maxent modeling for predicting the potential distribution of Sanghuang, an important group of medicinal fungi in China. *Fungal Ecology*, 17, 140-145.
- Yuan, H., Wei, L., & Wang, G. (2015). Maxent modeling for predicting the potential distribution of Sanghuang, an important group of medicinal fungi in China. *Fungal Ecology*, 17, 140-145.
- Z Haider, Q., Kanwal, S., Manzoor, S., Naeem, M., Uddin, J., Liaqat, T., Parveen, A., Khan, A., & Al-Harrasi, A. (2022). Assessment of essential minerals and physico-chemical analysis of floral origins fresh honey produced by *Apis mellifera*. *Brazilian Journal of Biology*, 84. [https://doi.org/ https://doi.org/10.1590/1519-6984.263534](https://doi.org/https://doi.org/10.1590/1519-6984.263534)
- Zambrano, J., & Caviades, M. (2022). *Estado actual de la producción de maíz en Ecuador*. <http://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/5886>

Zhang, L., Liu, S., Sun, P., Wang, T., Wang, G., Zhang, X., & Wang, L. (2015). Consensus Forecasting of Species Distributions: The Effects of Niche Model Performance and Niche Properties. *Plos One*, *10*(3). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0120056>

ANEXOS

Anexo 1. Encuesta realizada a los apicultores y apicultores del cantón Otavalo

Instrucciones: Encuesta destinada agricultores y apicultores localizados en las zonas rurales del cantón Otavalo.

1. **Cantidad de colmenas con las que empezó**

.....
.....

2. **Cantidad de colmenas que posee actualmente**

.....
.....

3. **Especie/s de abeja que maneja (las que están en el anteproyecto)**

- Melífera
- Sin aguijón
- De las orquídeas
- Abejorros

4. **¿Cuál especie brinda una mejor producción de miel?**

- Melífera
- Sin aguijón
- De las orquídeas
- Abejorros

5. **Productos que obtiene de la apicultura**

- Miel
- Polen
- Propóleo
- Reinas
- Cera
- Jalea real

6. **Producción anual promedio en litros**

.....
.....

7. **¿De la cantidad anterior, cuánto cosecha?**

.....
.....

8. **En qué lugar/es distribuye sus productos?**

.....
.....

9. **Considera usted que en los últimos años el número de colmenas**

- Aumentó
- Disminuyó
- Se mantuvo

10. **Si ha sufrido pérdidas de abejas, ¿en cuántas colmenas calcula su pérdida?**

.....
.....

11. **Usted considera que la pérdida de abejas se debe a:**

- Problemas de enfermedades
- Poca floración
- Factores climáticos y ambientales adversos (deforestación, sequía, quema)
- Uso de pesticidas y agroquímicos

12. **¿cree usted que las abejas pueden estar expuestas a residuos de pesticidas usados en áreas/cultivos cercanos al apiario?**

- Sí
- No

13. **¿Cómo calificaría la proporción de colmenas muerta en relación a las temporadas anteriores?**

- Normal
- Se incrementó en los últimos años
- Disminuyó en los últimos años

14. **¿Qué tipo de alimentación artificial utiliza?**

- Jarabe de maíz
- Azúcar de caña
- Glucosa
- Harina de soja
- Levadura de cerveza
- Polen

15. **¿Qué cultivos se encuentran alrededor? (depende de la base de datos del uso del suelo de cada parroquia)**

.....

16. **¿Qué cultivo es el más frecuente?**

.....

17. **¿Qué agroquímico se utiliza con mayor frecuencia?**

- Pesticida
- Fungicida
- Herbicida
- Insecticida

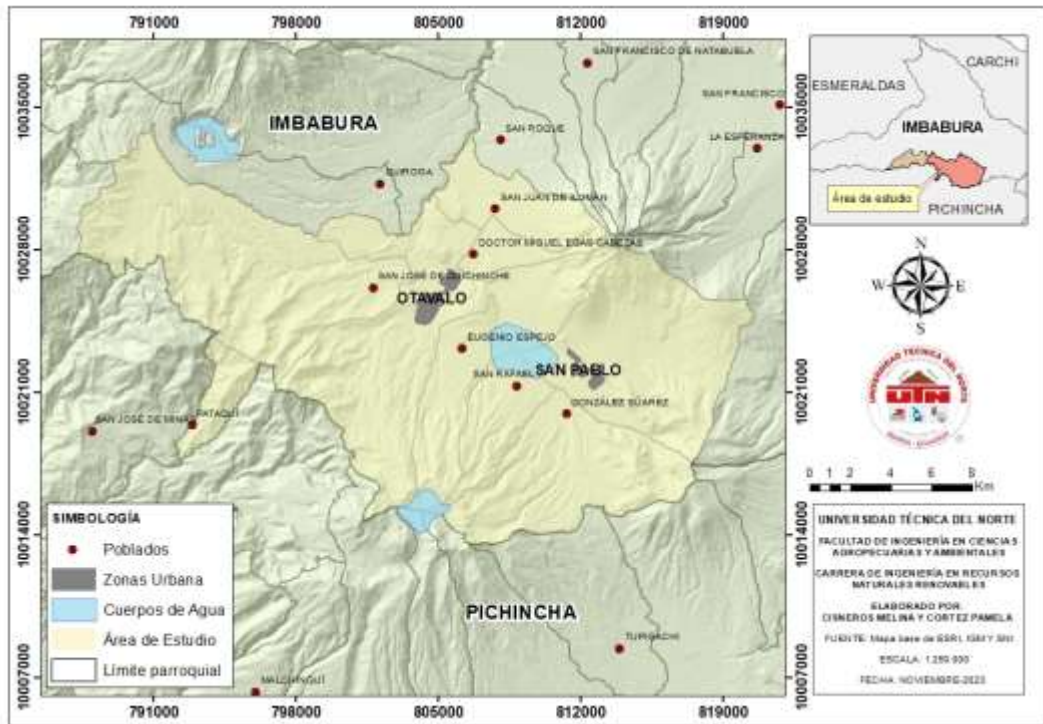
18. **¿Qué dosis aplica?**

- Sólido
- Líquido
- Diluido
- Sin diluir

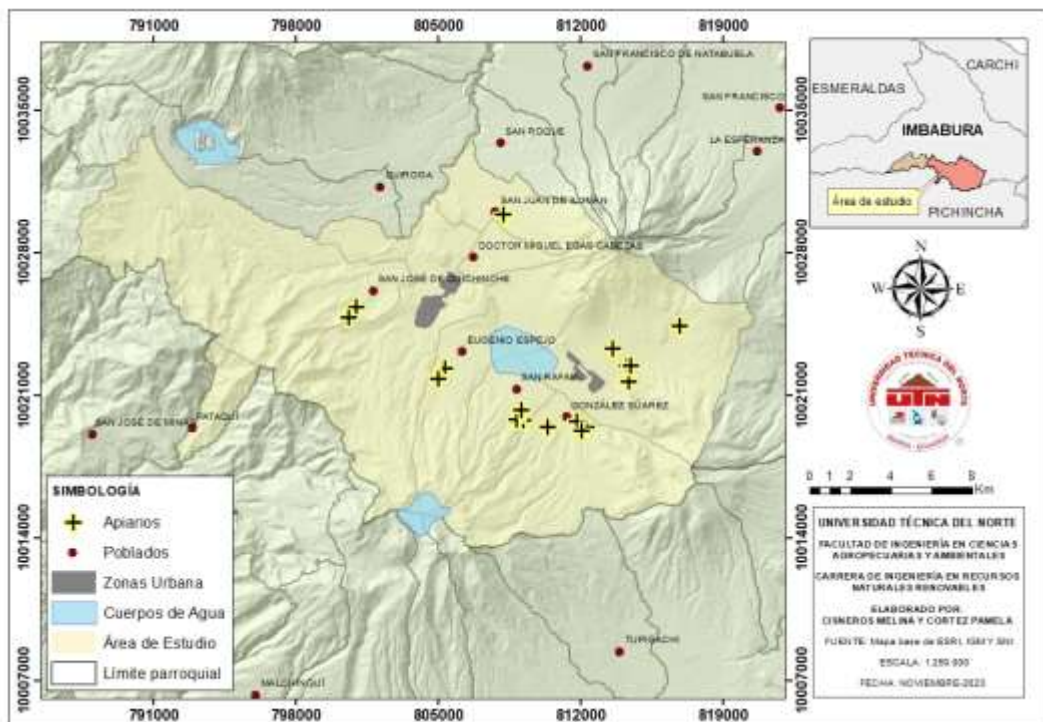
19. **¿Cómo se aplica? Técnica mediante la cual aplica el agroquímico (investigar las técnicas)**

- Aspersión aérea
- Aspersión terrestre

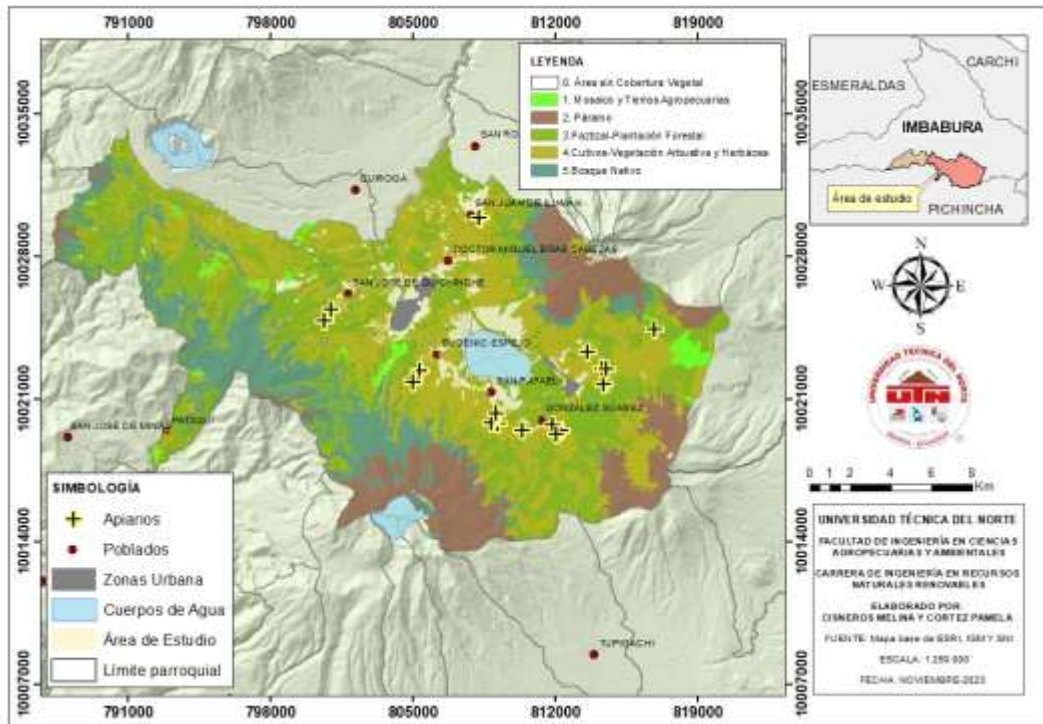
Anexo 2. Ubicación del área de estudio



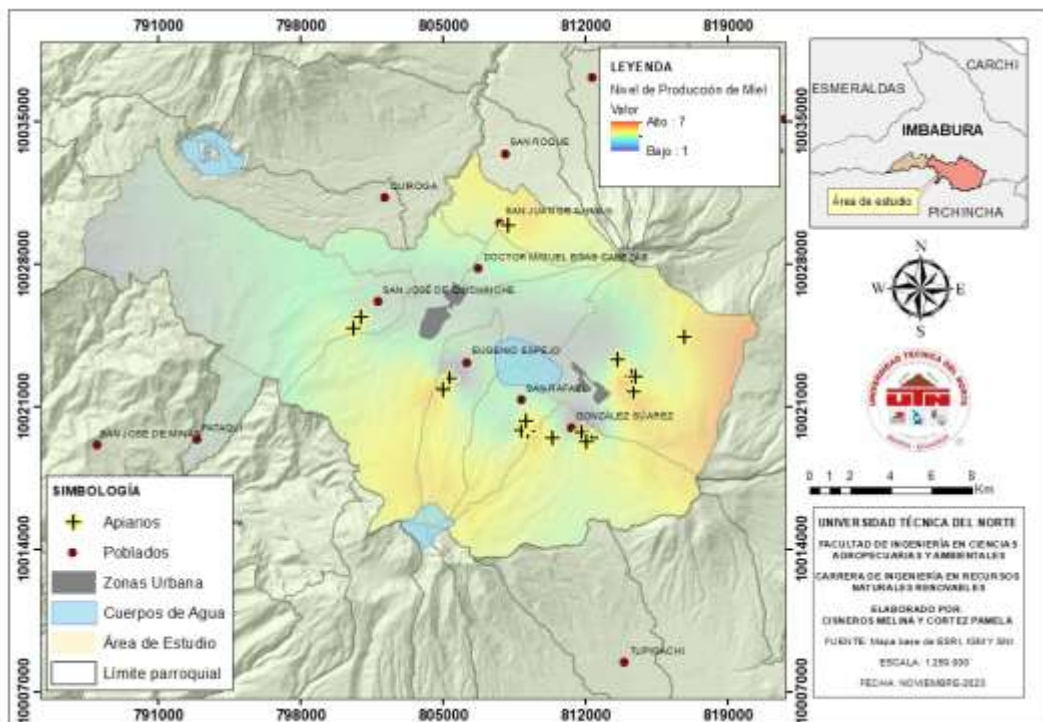
Anexo 3. Ubicación de Apiarios en cantón Otavalo



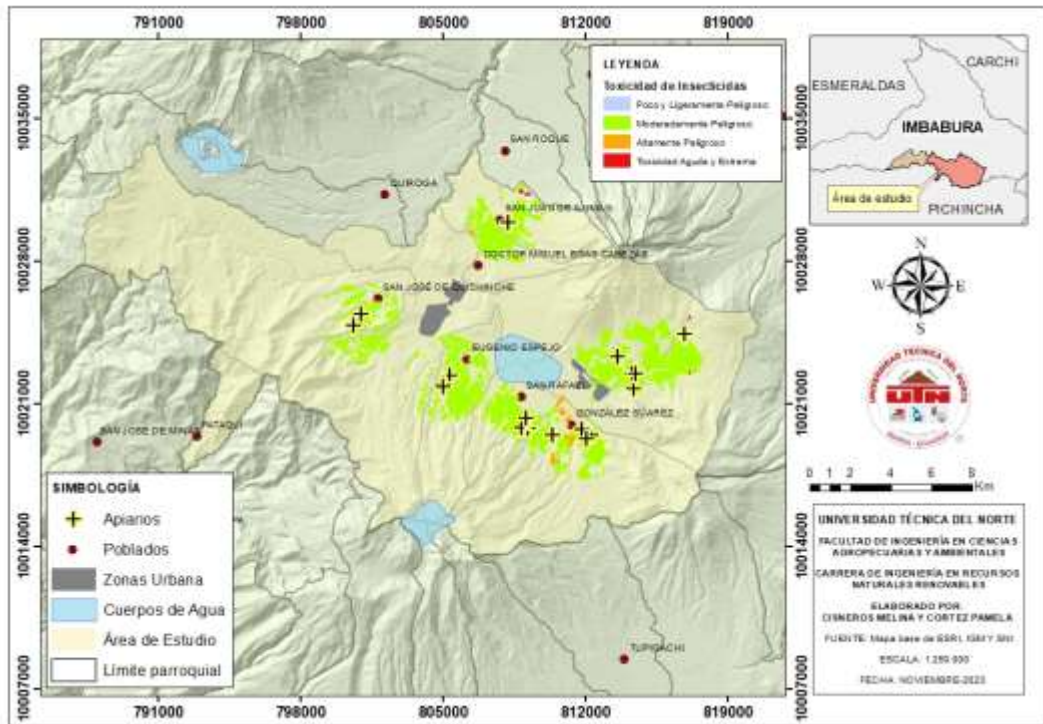
Anexo 4. Cobertura Vegetal



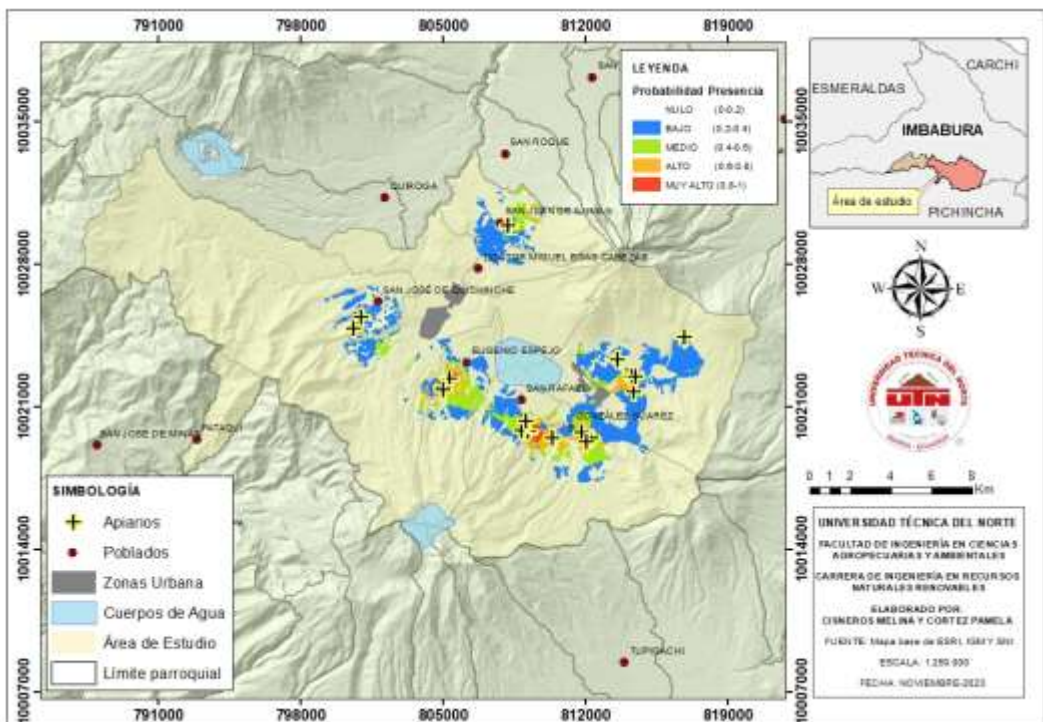
Anexo 5. Producción de miel



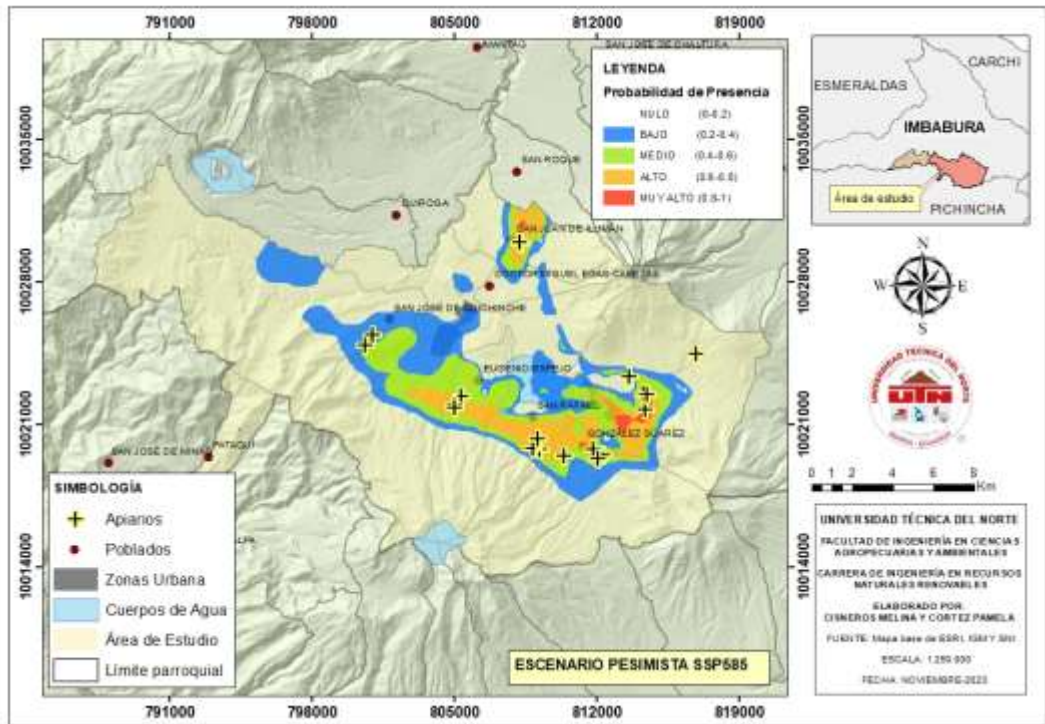
Anexo 6. Toxicidad de Insecticidas



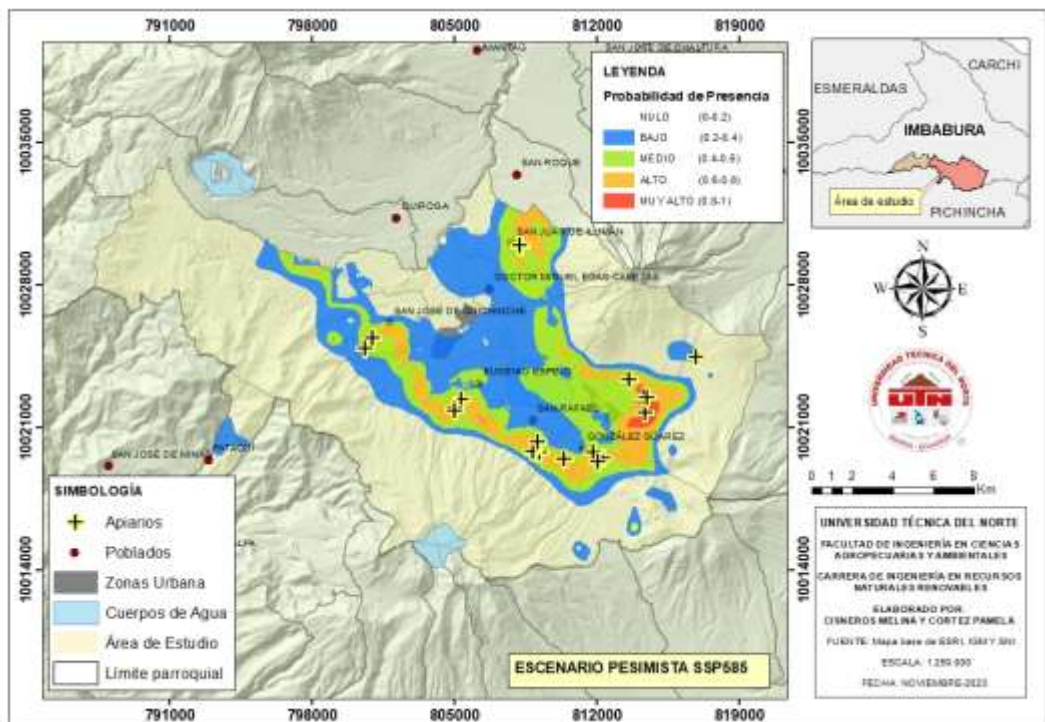
Anexo 7. Modelo de Distribución Potencial Actual



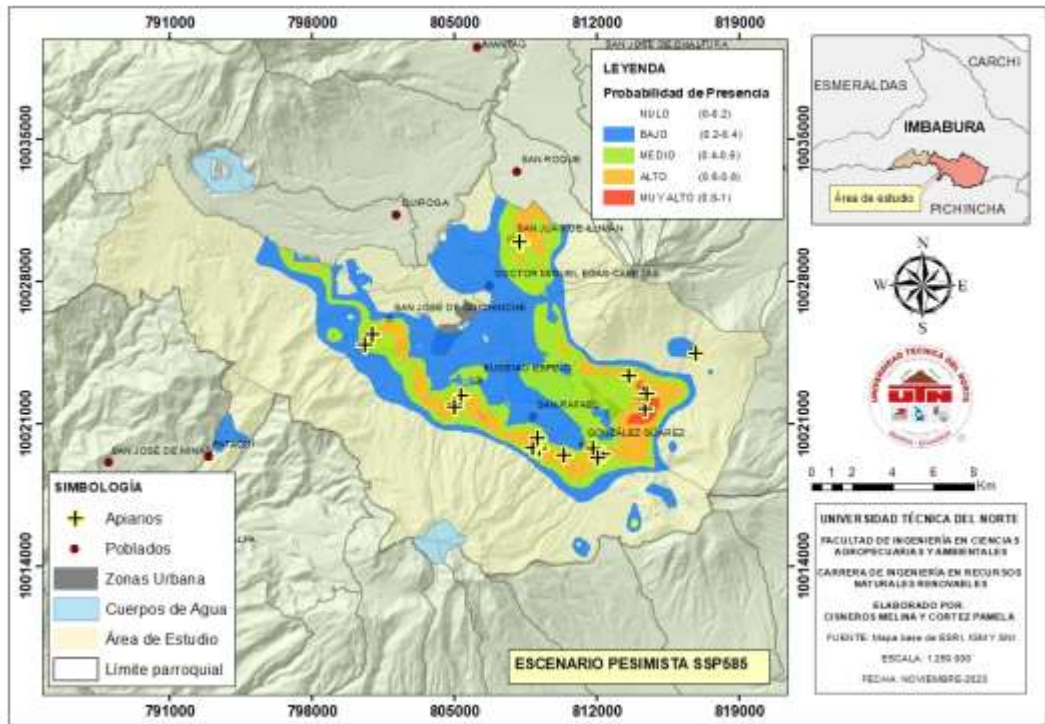
Anexo 8. Escenario SSP585 proyección futura para *Apis mellifera* año 2023-2040



Anexo 9. Escenario SSP585 proyección futura para *Apis mellifera* año 2040-2060



Anexo 10. Escenario SSP585 proyección futura para *Apis mellifera* año 2060-2080



Anexo 11. Visita a la Comunidad de Eugenio Espejo - Otavalo



Anexo 12. Colmenas localizadas en visita a la Comunidad de San Pablo – Otavalo



Anexo 13. Colmenas localizadas en el área poblada de la comunidad de Iluman



Anexo 14. Apicultor localizado en la comunidad de Quichinche – Otavalo

