

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS
ESCUELA PROFESIONAL DE BIOLOGÍA



TESIS

**PATRONES DE DISTRIBUCIÓN POTENCIAL DE DOS
ESPECIES DE MOSCA DE LA FRUTA EN EL
DEPARTAMENTO DEL CUSCO**

PRESENTADA POR:

Br. SVEN ENRIQUE YABAR TAPIA

Br. OMAR OROSCO QUISPE

**PARA OPTAR AL TÍTULO PROFESIONAL
DE BIÓLOGO**

ASESOR:

Dr. ERICK YABAR LANDA

CUSCO-PERÚ

2026



Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco

INFORME DE SIMILITUD

(Aprobado por Resolución Nro.CU-321-2025-UNSAAC)

El que suscribe, el Asesor ERICK YABAR LANDA
..... quien aplica el software de detección de similitud al
trabajo de investigación/tesis titulada: PATRONES DE DISTRIBUCION
POTENCIAL DE DOS ESPECIES DE MOSCA DE LA FRUTA
EN EL DEPARTAMENTO DEL CUSCO

Presentado por: OMAR OROSCO QUISPE DNI N° 40778583;
presentado por: SVEN ENRIQUE YABAR TAPIA DNI N° 40642720
Para optar el título Profesional/Grado Académico de BIOLOGO

Informo que el trabajo de investigación ha sido sometido a revisión por 02 veces, mediante el
Software de Similitud, conforme al Art. 6° del **Reglamento para Uso del Sistema Detección de**
Similitud en la UNSAAC y de la evaluación de originalidad se tiene un porcentaje de 8%.

Evaluación y acciones del reporte de coincidencia para trabajos de investigación conducentes a grado académico o título profesional, tesis

Porcentaje	Evaluación y Acciones	Marque con una (X)
Del 1 al 10%	No sobrepasa el porcentaje aceptado de similitud.	☒
Del 11 al 30 %	Devolver al usuario para las subsanaciones.	☐
Mayor a 31%	El responsable de la revisión del documento emite un informe al inmediato jerárquico, conforme al reglamento, quien a su vez eleva el informe al Vicerrectorado de Investigación para que tome las acciones correspondientes; Sin perjuicio de las sanciones administrativas que correspondan de acuerdo a Ley.	☐

Por tanto, en mi condición de Asesor, firmo el presente informe en señal de conformidad y **adjunto**
las primeras páginas del reporte del Sistema de Detección de Similitud.

Cusco, 20 de AGOSTO de 2026

Erick Yabar Landa
Firma

Post firma Erick Yabar Landa

Nro. de DNI 23554648

ORCID del Asesor 0000-0003-2389-4417

Se adjunta:

- Reporte generado por el Sistema Antiplagio.
- Enlace del Reporte Generado por el Sistema de Detección de Similitud: oid: 27259:615706936

TESIS UNSAAC EMPASTADO 2026.pdf

 Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid:::27259:615706936

Fecha de entrega

20 ago 2026, 9:59 a.m. GMT-5

Fecha de descarga

20 ago 2026, 10:22 a.m. GMT-5

Nombre del archivo

TESIS UNSAAC EMPASTADO 2026.pdf

Tamaño del archivo

4.7 MB

102 páginas

19.307 palabras

114.279 caracteres

8% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- Bibliografía
- Texto citado
- Coincidencias menores (menos de 10 palabras)

Exclusiones

- N.º de coincidencias excluidas

Fuentes principales

- 6%  Fuentes de Internet
- 2%  Publicaciones
- 3%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

No se han detectado manipulaciones de texto sospechosas.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

DEDICATORIA

A Dios dedico este logro con profunda gratitud, porque en cada momento difícil encontré en Él la esperanza para seguir adelante, sosteniéndome en los momentos de cansancio y por permitirme alcanzar una meta que alguna vez soñé.

A toda mi familia, en especial a mi madre Estela Quispe Condo y a mi hermano Elvis Orosco Quispe por ser pilares fundamentales en mi vida, por su apoyo incondicional y por la fortaleza que me han brindado en cada momento, acompañándome en el camino hacia el logro de mis metas académicas y personales.

A la memoria de mi padre, cuyo ejemplo de esfuerzo, valores y enseñanzas siguen guiando cada uno de mis pasos.

Omar Orosco Quispe

DEDICATORIA

A Dios, por brindarme la vida, la fortaleza, la sabiduría y la perseverancia necesarias para superar cada desafío y permitirme alcanzar este importante logro en mi vida profesional.

A mi familia, por ser el pilar fundamental de mi vida, por su amor, confianza, comprensión y apoyo incondicional durante todo este camino.

A mis suegros, por su cariño, confianza y constante apoyo, y por acompañarme siempre en cada etapa de este proceso.

A mi esposa, Ivett, mi compañera de vida, por su amor, paciencia, comprensión y por estar a mi lado en los momentos de esfuerzo y sacrificio. Gracias por creer siempre en mí y motivarme a seguir adelante.

A mis hijos, Diego y Jeremy, quienes son mi mayor inspiración y la razón para seguir creciendo y superándome cada día. Que este logro sea también un ejemplo para ustedes de que, con esfuerzo, perseverancia y dedicación, los sueños pueden hacerse realidad.

Y a todas aquellas personas que, de una u otra manera, me brindaron su apoyo, sus palabras de aliento y su confianza durante este camino.

A todos ustedes, con profundo cariño y gratitud, dedico este logro de graduarme como Biólogo.

Sven Enrique Yabar Tapia

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos de manera especial a nuestro asesor de tesis Dr. Erick Yabar Landa por su orientación, apoyo constante y valiosos aportes académicos, que fueron fundamentales para desarrollar y culminar esta investigación.

A la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco por brindarnos nuestra formación profesional.

También al laboratorio de Entomología de la UNSAAC, por permitirnos acceder a las colecciones entomológicas y tener de esta manera su información biológica.

GRACIAS

Omar y Sven

INDICE DE CONTENIDOS

Contenido

RESUMEN	IX
INTRODUCCIÓN	X
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	XI
JUSTIFICACIÓN	XII
OBJETIVOS	XIII
CAPITULO I	1
MARCO TEORICO.....	1
1.1 Antecedentes	1
1.1.1 Antecedentes Internacionales	1
1.1.2 Antecedentes Nacionales.....	3
1.1.3 Antecedentes Locales.....	4
1.2 Fundamentos Teóricos	5
1.2.1 La mosca de la fruta	5
1.2.2 Taxonomía de mosca de la fruta	5
1.2.3. Estructuras morfológicas.....	6
1.2.3.1 Cabeza	6
1.2.3.2 Torax.....	6
1.2.3.3 Alas	7
1.2.3.4 Patas	8
1.2.3.5 Abdomen	9
1.2.4 Biología de mosca de la fruta	10
1.2.5 Ciclo biológico de mosca de la fruta.....	10
1.2.6 Daños ocasionados por mosca de la fruta	11
1.2.7 Concepto morfológico de especie.....	11
1.2.8 Distribución de la población.....	11
1.2.9 Nicho Ecológico y patrones de distribución	12
CAPITULO II	15
MATERIALES Y MÉTODOS.....	15
2.1 Área De Estudio	15
2.1.1 Departamento del Cusco.....	15
2.2 Materiales	18
2.2.1 Materiales Biológicos	18
2.2.2. Materiales de gabinete	18

2.3 Metodología	18
2.3.1 Tipo de investigación.....	18
2.3.2 Trabajo de laboratorio	18
2.3.2.1 Revisión de especímenes	19
2.3.2.2 Identificación.....	19
2.3.2.3 Elaboración de base de datos	19
2.3.3 Determinación de los Patrones de Distribución Potencial de las especies.....	22
2.3.3.1 Proyección de puntos y determinación del área “M”	22
2.3.3.2 Uso del programa ArcGIS	22
2.3.3.3 Uso de MaxEnt	23
2.3.3.4 WorldClim.....	24
2.3.3.5 Selección de las variables bioclimáticas.....	25
2.3.3.6 Calibración del modelo.....	28
2.3.3.7 Evaluación de modelos.....	29
2.3.3.8 Creación del diagrama BAM.....	30
CAPITULO III	31
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	31
3.1 Identidad taxonómica de las especies	31
3.1.1 <i>Anastrepha fraterculus</i> Wiedemann	31
3.1.2 <i>Rhagoletis psalida</i> Hendel.....	34
3.2 Distribución Potencial de dos especies de mosca de la fruta	37
3.2.1 Modelamiento de nicho de <i>Anastrepha fraterculus</i> con MAXENT	37
3.2.2 Modelamiento de nicho para <i>Rhagoletis psalida</i> con MAXENT	52
DISCUSIÓN.....	69
CONCLUSIONES	72
RECOMENDACIONES	73
BIBLIOGRAFÍA.....	74
ANEXOS	78

LISTA DE TABLAS

Tabla 1	<i>Coordenadas del departamento del Cusco</i>	15
Tabla 2	<i>Prueba inicial para <i>Anastrepha fraterculus</i>, con todas las variables</i>	26
Tabla 3	<i>Prueba inicial para <i>Rhagoletis psalida</i>, con todas las variables</i>	27
Tabla 4	<i>Desempeño del modelo según el valor de AUC</i>	30
Tabla 5	<i>Variables bioclimáticas y su aportación al modelo de <i>Anastrepha fraterculus</i></i>	41
Tabla 6	<i>Variables bioclimáticas y su aportación al modelo de <i>Rhagoletis psalida</i></i>	57
Tabla 7	<i>Ubicación y coordenadas geográficas para <i>A. fraterculus</i></i>	79
Tabla 8	<i>Altitudes según coordenadas para <i>A. fraterculus</i></i>	80
Tabla 9	<i>Precipitaciones según coordenadas para <i>A. fraterculus</i></i>	81
Tabla 10	<i>Temperatura según coordenadas para <i>A. fraterculus</i></i>	82
Tabla 11	<i>Ubicación y coordenadas geográficas para <i>Rhagoletis psalida</i></i>	83
Tabla 12	<i>Altitudes según coordenadas para <i>R. psalida</i></i>	84
Tabla 13	<i>Precipitaciones según coordenadas para <i>R. psalida</i></i>	85
Tabla 14	<i>Temperatura según coordenadas para <i>R. psalida</i></i>	86

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Estructura de la cabeza de Tephritidae	6
Figura 2 Estructura de la cabeza de Tephritidae	7
Figura 3 Estructura alar de Tephritidae	8
Figura 4 Estructura de las patas de Tephritidae	9
Figura 5 Estructura frontal del abdomen de <i>A. obliqua</i>	10
Figura 6 Mapa de ubicación del área de estudio	17
Figura 7 Puntos de ubicación real de ambas especies.....	21
Figura 8 Interfaz principal de MaxEnt diseñada para colocar los puntos de presencia y variables bioclimáticas para <i>Anastrepha fraterculus</i>	28
Figura 9 Interfaz principal de MaxEnt diseñada para la introducción de datos de presencia y variables bioclimáticas para la especie <i>Rhagoletis psalida</i>	29
Figura 10 Macho adulto de <i>Anastrepha fraterculus</i> Wiedemann.....	31
Figura 11 Genitalia masculina de <i>Anastrepha fraterculus</i> Wiedemann	32
Figura 12 Hipandrio de <i>Anastrepha fraterculus</i> Wiedemann	32
Figura 13 Membrana eversible y aculeus de <i>Anastrepha fraterculus</i> Wiedemann	33
Figura 14 Espermateca de <i>Anastrepha fraterculus</i> Wiedemann	33
Figura 15 <i>Rhagoletis psalida</i> Hendel	34
Figura 16 Genitalia de <i>Rhagoletis psalida</i> Hendel	35
Figura 17 Patrón alar de <i>Rhagoletis psalida</i>	36
Figura 18 Modelamiento de nicho para <i>Anastrepha fraterculus</i> en base a los datos analizados.....	37
Figura 19 Área M con puntos de presencia para <i>Anastrepha fraterculus</i>	38
Figura 20 Análisis Jackknife de las variables bioclimáticas para el modelamiento de nicho de <i>Anastrepha fraterculus</i>	39
Figura 21 Omisión y área predicha para la distribución de <i>Anastrepha fraterculus</i>	39
Figura 22 Proporción del conjunto de datos y error estandarizado del área bajo la curva (AUC)	40
Figura 23 Distribución potencial de <i>Anastrepha fraterculus</i> en el departamento del Cusco	42
Figura 24 Distribución altitudinal de <i>Anastrepha fraterculus</i>	43
Figura 25 Gráfico altitudinal de <i>Anastrepha fraterculus</i>	44
Figura 26 Boxplot de análisis altitudinal para <i>A. fraterculus</i>	44
Figura 27 Mapa de distribución térmica de <i>Anastrepha fraterculus</i>	45
Figura 28 Gráfico de distribución térmica <i>A. fraterculus</i>	46
Figura 29 Boxplot de análisis de distribución térmica para <i>Anastrepha fraterculus</i>	47
Figura 30 Mapa de precipitaciones para <i>A. fraterculus</i>	48
Figura 31 Gráfico de fluctuación de precipitación para <i>A. fraterculus</i>	49
Figura 32 Boxplot de precipitación por puntos de presencia de <i>A. fraterculus</i>	49
Figura 33 Mapa de adecuación climática	50
Figura 34 Modelamiento de nicho para <i>Rhagoletis psalida</i>	52
Figura 35 Área M con puntos de presencia para <i>Rhagoletis psalida</i>	53
Figura 36 Análisis Jackknife de las variables climáticas para el modelamiento de nicho de <i>Rhagoletis psalida</i> Hendel.....	54
Figura 37 Omisión y área predicha para la distribución de <i>Rhagoletis psalida</i>	55
Figura 38 Proporción del conjunto de datos y error estandarizado del área bajo la curva (AUC)	56

Figura 39	Distribución potencial de <i>Rhagoletis psalida</i> en el departamento del Cusco ...	58
Figura 40	Mapa de distribución Altitudinal de <i>Ragoletis psalida</i>	59
Figura 41	Grafico altitudinal de <i>R. psalida</i>	60
Figura 42	Boxplot de análisis altitudinal para <i>R. psalida</i>	61
Figura 43	Mapa de temperatura para <i>R. psalida</i>	62
Figura 44	Gráfico de temperaturas <i>R. psalida</i>	63
Figura 45	Boxplot de temperaturas <i>R. psalida</i>	64
Figura 46	Mapa de precipitaciones <i>R. psalida</i>	65
Figura 47	Grafico de Precipitaciones para <i>R. psalida</i>	66
Figura 48	Boxplot de precipitaciones para <i>R. psalida</i>	67
Figura 49	Mapa de Adecuación Climática	68
Figura 50	Registro de ejemplares de <i>Anastrepha fraterculus</i>	87
Figura 51	Ejemplar de <i>Anastrepha fraterculus</i>	88
Figura 52	Registro de ejemplares de <i>Rhagoletis psalida</i>	89
Figura 53	Ejemplar de <i>Rhagoletis psalida</i>	90
Figura 54	Procesamiento y registro de datos de ambas especies	91
Figura 55	Identificación taxonómica de ambas especies	91

RESUMEN

La mosca de la fruta constituye un complejo de especies ampliamente distribuido que alcanza altos niveles de importancia económica en el Perú, debido a los daños que ocasiona en diversos cultivos frutícolas. En el departamento del Cusco, a pesar de su relevancia, no se cuenta con información suficiente sobre los patrones de distribución de estas especies, lo que limita el establecimiento de estrategias adecuadas de manejo y control. En este contexto, la presente investigación tuvo como objetivo analizar los patrones de distribución de dos especies de mosca de la fruta en el departamento del Cusco: *Anastrepha fraterculus* Wiedemann y *Rhagoletis psalida* Hendel. Para abordar este problema, se planteó como objetivo general analizar los patrones de distribución potencial de ambas especies, y como objetivos específicos: a) verificar la identidad taxonómica de las dos especies y b) determinar su distribución potencial. Para ello, se examinó material entomológico depositado en la Colección Entomológica del Laboratorio de Entomología de la UNSAAC. Se elaboró una base de datos con registros de presencia georreferenciados en coordenadas decimales. Las variables bioclimáticas utilizadas fueron obtenidas de la base de datos WorldClim. El análisis de la información se realizó mediante los programas MaxEnt y ArcGIS, los cuales permitieron modelar la distribución potencial de las especies en estudio. Los resultados confirmaron la correcta identificación taxonómica de ambas especies y evidenciaron patrones de distribución que señalan las zonas con mayor probabilidad de presencia, constituyendo información relevante para la toma de decisiones en programas de manejo integrado.

Palabras Clave: Distribución potencial, Mosca de la fruta, *Anastrepha fraterculus* Wiedemann, *Rhagoletis psalida* Hendel.

INTRODUCCIÓN

El estudio de estas especies ha dado lugar a investigaciones extensivas en Sudamérica (Norrbom, 1987). Existe numerosa literatura sobre las especies que forman este complejo. En Perú, se han realizado estudios sobre algunos grupos de importancia, como *Anastrepha* (Korytkowski & Ojeda, 1968) y la familia *Lonchaeidae* (Korytkowski & Ojeda, 1971).

Gran parte de la información existente sobre moscas de la fruta ha sido generada en países como Estados Unidos con material procedente de Sudamérica (Aluja, 1999), aunque también se han realizado investigaciones extensivas en Venezuela (Caraballo, 2001), Estados Unidos (Foote R. H., 1980), Chile (Frías et al., 2006) y entre otros.

La importancia de estas especies ha llevado a la elaboración de diversas guías de identificación y monitoreo (Giraldo, 2007; González, 1999; Guillén, 2004). En Perú, uno de los manuales más conocidos es el preparado por Korytkowski (Koritkowski, 2008).

Asimismo, se han publicado artículos sobre taxonomía de diversas especies (Korytkowski & Ojeda, 1968; Korytkowski & Ojeda, 1971) y se cuenta con una actualización de las especies de mosca de la fruta y sus plantas hospederas (Norrbom et al., 2013). Comparativamente, son pocos los estudios sobre ecología y distribución de estas especies en Perú (Korytkowski & Ojeda, 1969).

En el departamento del Cusco, investigaciones realizadas en la Facultad de Ciencias Biológicas de la UNSAAC documentaron la presencia de *Anastrepha fraterculus* en huertos de durazno, guayaba y mango en los valles de Urubamba y Cusco. Adicionalmente, registros de SENASA reportaron la presencia de *Rhagoletis* sp. en cultivos de manzana y otros frutales, aunque de manera preliminar (SENASA, 2016). Estudios agronómicos que se realizaron en la región Cusco evaluaron la dinámica poblacional de las moscas de la fruta y su relación con cultivos hospederos, generando información útil para la implementación de estrategias de manejo integrado de plagas (Ccorahua Dueñas, 2016).

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En el departamento del Cusco, no se cuenta con estudios sobre patrones de distribución de la mosca de la fruta.

En las últimas décadas, las condiciones ambientales han experimentado cambios significativos debido a fenómenos climáticos globales y locales, como el incremento de la temperatura promedio, estimado en 0,27 °C por década, lo que representaría un aumento aproximado de 0,675 °C en los últimos 25 años (Forster et al., 2025). Estos cambios generan un impacto directo en la distribución geográfica de las especies de mosca de la fruta, provocando que algunas áreas tradicionalmente libres de infestación ahora presenten presencia de estos insectos, mientras que en otras zonas su densidad puede disminuir o alterarse estacionalmente. En el departamento del Cusco, aunque existen registros históricos de presencia de *Anastrepha fraterculus* y reportes preliminares de *Rhagoletis* sp. en diferentes localidades, aún se carece de estudios sistemáticos que relacionen la distribución de estas especies con las condiciones ambientales actuales. Además, el cambio climático y la modificación de los ecosistemas locales, como la expansión de cultivos frutales o la alteración de bosques y valles, podrían estar favoreciendo la dispersión de estas especies a nuevas áreas y aumentando el riesgo para la producción agrícola. Por lo tanto, surge la necesidad de investigar cómo las condiciones ambientales actuales, en comparación con registros históricos, afectan la distribución y abundancia de las especies de mosca de la fruta en el Cusco. Comprender esta relación es fundamental para diseñar estrategias de manejo integrado de plagas, prevenir pérdidas económicas en la producción frutal y conservar los ecosistemas locales.

Ante esta situación, surgen las siguientes interrogantes:

Pregunta General:

¿Cuáles son los patrones de distribución potencial de dos especies de mosca de la fruta en el departamento del Cusco?

Preguntas Específicas:

¿Cuál es la identidad taxonómica de las dos especies de mosca de la fruta existentes en el departamento del Cusco?

¿Cómo se distribuyen potencialmente *Anastrepha fraterculus* y *Rhagoletis psalida* en el departamento del Cusco, en función a las variables bioclimáticas?

JUSTIFICACIÓN

El presente trabajo permite conocer los patrones de distribución de la mosca de la fruta en el departamento del Cusco en base a variables ambientales y mediante el uso de programas de distribución y/o modelamiento. Los patrones de distribución se emplean para diseñar estrategias para el manejo de poblaciones de plagas de importancia económica. Se plantea este estudio para estimar las zonas que presentan la mayor probabilidad de presencia de las especies en estudio.

Esta investigación respondió a un vacío de información sobre las especies de mosca de la fruta. Sin embargo, se limita únicamente a dos especies de las cuales se cuenta con suficiente material para analizar sus patrones de distribución.

Se espera que, con los resultados obtenidos, se obtenga un conocimiento más amplio sobre las especies de mosca de la fruta contempladas como material de investigación y, en forma complementaria, pueda estimularse a los estudiantes de la Facultad de Ciencias Biológicas, a realizar este tipo de proyectos con otras especies de importancia económica y ecológica.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Analizar los patrones de distribución potencial de dos especies de mosca de la fruta en el departamento del Cusco.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- 1: Verificar la identidad taxonómica de dos especies de mosca de la fruta existentes en el departamento del Cusco
- 2: Determinar los patrones de distribución potencial de dos especies de mosca de la fruta: *Anastrepha fraterculus* Wiedemann y *Rhagoletis psalida* Hendel en el departamento del Cusco.

CAPITULO I

MARCO TEORICO

1.1 Antecedentes

1.1.1 Antecedentes Internacionales

Aluja (1994) considera que las moscas de la fruta del género *Anastrepha* son endémicas del nuevo mundo y ambientes tropicales y subtropicales. Se tienen 184 especies descritas del género. Adicionalmente, estima que su rango de distribución cubre parte de Norteamérica, América central, Centro y Sudamérica. Un análisis zoogeográfico está limitado porque la distribución exacta de muchas de las especies aún no ha sido claramente establecida.

Alberti et al. (2008) realizaron un estudio filogeográfico de *Anastrepha fraterculus* de Argentina y Sur de Brasil; observaron la correlación entre la distribución geográfica y la variación genética en poblaciones naturales de esta especie.

Carrejo & González, (1993) estudiaron dos especies de *Anastrepha*: leptozona y serpentina cohabitando en frutos de caimito (*Pouteria caimito*). Sugieren que, en este caso, no ocurrió competencia intra e interespecífica.

Castro Sosa, et al. (2018) modelaron la distribución potencial de *Drosophila suzukii* en México mediante MaxEnt, encontrando que la especie presenta alta idoneidad ambiental en regiones con hospederos alternos, enfatizando la utilidad de los modelos de nicho ecológico para identificar áreas con riesgo de invasión

Devescovi et al. (2014) estudiaron la especiación dentro del complejo de especies crípticas de *Anastrepha fraterculus* y determinaron que, dentro del complejo de especies crípticas de esta especie podían reconocerse siete morfotipos taxonómicamente reconocidos.

Foote (1980) revisó extensivamente las especies de mosca de la fruta al sur de los Estados Unidos. Presentó una clave y ubica los géneros *Anastrepha* y *Rhagoletis* en la subfamilia Trypetinae. Considera que el género *Rhagoletis* es uno de los más importantes económicamente, ampliamente distribuido sobre las regiones Paleártica y Neártica.

González et al. (2011) realizaron un estudio en varias comunidades del municipio de Coroico (Departamento de La Paz, Bolivia). Instalaban trampas McPhail e identificaron y cuantificaron las especies de moscas de la fruta. Colectaron las especies *Anastrepha fraterculus* Wiedeman, *Anastrepha striata* Schiner, *Anastrepha serpentina* (Wiedeman), *Anastrepha* sp, *Ceratitis capitata* (Wiedemann), *Blepharoneura* sp Loew, *Hexaresta* sp

Hering, *Hexachaeta* sp Loew, *Tomoplagia* sp Coquillett, *Tetreuaresta* sp Hendel, siendo la de mayor presencia *Anastrepha fraterculus* (Wiedeman) y *Ceratitis capitata* (Wiedemann). Explican que la temperatura y presencia de especies hospedantes son los factores que determinaron las fluctuaciones observadas.

Hernández Ortiz & Frías L. (1999) revisaron las especies del grupo *Striatella* del género *Rhagoletis* de México, Nicaragua y Costa Rica. Proporcionaron información sobre su distribución, plantas hospederas y relaciones morfológicas entre especies, adicionalmente presentaron una clave para identificar las especies estudiadas.

Huayhua (2013) elaboró una tesis estudiando el potencial productivo de haba y papa en relación con la fluctuación poblacional de mosca de la fruta: *Rhagoletis psalida* Hendel en dos cantones del Municipio de Achacachi (La Paz, Bolivia). Informó que en el área de estudio se tiene una alta prevalencia de *R. psalida* de acuerdo al ciclo fenológico de los cultivos de haba y papa. Encontró correlación significativa entre la producción de haba y papa con la fluctuación poblacional de *R. psalida* Hendel.

Kumar et al. (2020) evaluaron la distribución potencial de *Bactrocera dorsalis* en el sudeste asiático y regiones tropicales mediante modelos de nicho, concluyendo que la variación de temperatura y precipitación son determinantes en la expansión de la especie hacia nuevas zonas agrícolas.

Luna (2018) calculó el nicho ecológico y proyectó la distribución potencial de 8 especies de *Rhagoletis* de importancia económica en México. Se usaron 850 datos de distribución de *Rhagoletis* en el país y se calculó la disponibilidad ambiental utilizando el algoritmo de MaxEnt. La mayor disponibilidad ambiental fue proyectada en áreas de las provincias biogeográficas del Eje Volcánico Transmexicano (centro), Sierra Madre Oriental, al centro-sur del Altiplano Mexicano.

Marín Patiño (2002) estudió 21 muestras de frutas, de los cuales 14 registraron *A. fraterculus* en los departamentos de Tolima, Valle del Cauca, Quindío, además de otras especies de *Anastrepha*.

Martínez & Serna (2005) realizaron cinco nuevos registros de *Anastrepha* para Colombia: *A. alveata* Stone, 1942, *A. antunesi* Lima, 1938, *A. palae* Stone, 1942, *A. parishi* Stone, 1942 y *A. shannoni* Stone, 1942. En Brasil sobre la bioecología y control de *Anastrepha fraterculus* Wiedemann conocida como la mosca de la fruta sudamericana. La considera como una especie básicamente neotropical y se encuentra entre las latitudes 27°N y 35°S. Estima que hay un complejo de especies dentro del complejo *fraterculus*.

Ullah et al. (2023) estimaron la distribución potencial de *Bactrocera zonata* bajo condiciones actuales y escenarios futuros de cambio climático mediante los modelos MaxEnt y CLIMEX; identificaron áreas climáticamente aptas en América, Asia, Europa y África, lo cual permite priorizar zonas de vigilancia fitosanitaria y manejo preventivo de esta plaga.

1.1.2 Antecedentes Nacionales

Couturier et al. (1993) reportaron tres especies de moscas de la fruta en Brasil y cinco en Perú, citan especies de Fabaceae, Sapotaceae, Myrtaceae, Passifloraceae como sus hospederos.

Cuculiza & Torres (1975) presentaron los resultados de un muestreo efectuado en el valle de Huánuco sobre cinco plantas hospederas; mencionan *Anastrepha fraterculus* como la especie más abundante, y se registra conjuntamente con *Ceratitis capitata* en guayaba [*Psidium guayaba* L.), naranja (*Citrus sinensis* L.), y chirimoya (*Anona cherimolia* Mili.).

Ramos & Quispe (2020) identificaron áreas de distribución de la vicuña (*Vicugna vicugna*) en la reserva nacional de Salinas y Aguada Blanca, mediante la modelación con Maxent, de este modo contribuir a futuras investigaciones que planteen estrategias para la conservación de la especie.

Korytkowski & Ojeda (1968) estudiaron las especies del género *Anastrepha* en el noroeste peruano, comprendiendo los departamentos de Tumbes, Piura, Lambayeque, La Libertad, Cajamarca y la provincia de Bagua. Estudiaron 35 especies de las cuales 21 son registros nuevos para Perú y dos especies son nuevas para la ciencia. Entre las especies estudiadas figura *A. fraterculus*.

Nolasco & Iannacone (2008) realizaron un estudio sobre la diversidad, fluctuación poblacional y proporción sexual de moscas de la fruta entre enero y diciembre 2002 en cuatro valles de la costa de Perú: Chíncha, Pisco, Ica y Nazca. Identificaron tres especies en común: *Anastrepha distincta* Greene, 1934, *Anastrepha fraterculus* (Wiedemann, 1830), y *Ceratitis capitata* (Wiedemann, 1824).

Norrbom et al. (2013) presentaron nuevos registros de plantas hospederas y distribución de especies peruanas de Tephritinae. En total, 17 especies de Tephritinae asociadas con plantas Asteraceae.

Obregón (2017) estudió diferentes especies hospedantes y no hospedantes, identificando 19 especies de moscas de la fruta, de las cuales 14 en especies cultivadas. Registró *Anastrepha fraterculus*, *Anastrepha distincta*, *Anastrepha schultzi*, *Anastrepha*

atrox, *Anastrepha serpentina*, *Ceratitis capitata* y *Anastrepha sp.* *Anastrepha fraterculus* fue la especie más abundante en Socco y Amoca representando el 75.77% y *Anastrepha distincta* con 23.46% respectivamente.

1.1.3 Antecedentes Locales

Cahuana Quispe (2023) realizó un estudio en el distrito de Maranura, provincia de La Convención, región Cusco, con la finalidad de identificar las especies de mosca de la fruta presentes en plantaciones de mandarina y mango, determinando la presencia de moscas de fruta del género *Anastrepha* y registrando las especies mediante claves taxonómicas específicas, contribuyendo al conocimiento de la fauna de tefrítidos en zonas productoras del Cusco.

Flores Zenteno (2022) analizó la distribución poblacional de la mosca de la fruta en el distrito de Quellouno, provincia de La Convención, región Cusco, empleando datos oficiales de la red de vigilancia de trampas del SENASA para determinar la variación de índices de moscas por trampa y registrar la presencia de varias especies del género *Anastrepha*, proporcionando información clave sobre la dinámica poblacional en contextos locales.

Ramos (2017) identificó las especies de mosca de la fruta, determinó su fluctuación poblacional y sus hospedantes en el Valle de Abancay – Apurímac. Se identificaron diez especies: *A. fraterculus* (37.38%), *A. distincta* (36.10%), *A. serpentina* (0.22%), *A. schultzi* (1.67%), *Ceratitis capitata* (23.52%). *A. fraterculus*, *A. distincta* y *C. capitata* son las especies dominantes con mayor población, que ocupan el 97.00% del total de moscas capturadas.

SENASA (2024) informa que alrededor de 70 986 productores de varias regiones del país, incluido Cusco, se beneficiaron de campañas de control y erradicación de la mosca de la fruta mediante acciones fitosanitarias orientadas al control integrado, evidenciando una mayor cobertura de intervención y reducción de la plaga en áreas hortofrutícolas bajo vigilancia.

SENASA (2016) a través de informes de monitoreo fitosanitario, registró la presencia de *A. fraterculus* y reportes preliminares de *Rhagoletis sp.* en varias provincias de Cusco. Estos registros incluyeron datos de ubicación geográfica, temporadas de mayor infestación y recomendaciones para el control de la mosca de la fruta, siendo una fuente fundamental para la gestión de plagas en la región.

Valladares (2016) Identificó las especies de mosca de la fruta (Díptera Tephritidae) en el santuario histórico de Machupicchu. Se identificaron 6 géneros con 17 especies de las cuales *A. striata* y *C. capitata* registraron mayor cantidad de captura con 40% y 46% respectivamente. También se tiene 11 nuevos registros para Perú.

1.2 Fundamentos Teóricos

1.2.1 La mosca de la fruta

La mosca de la fruta pertenece a la familia Tephritidae, del orden Diptera. Existen varios géneros, como *Anastrepha* que es originario de Centro y Sudamérica, mientras que el género *Ceratitis*, fue introducido a estas regiones desde África Occidental. Son de contextura delgada, de color amarillo, sus alas se presentan bandas en forma de “C”, “S” y “V” invertida, en la región del tórax puedan presentar manchas o no. En la mayoría de especies, las larvas se alimentan de la pulpa de las frutas, otras se alimentan de las semillas (Volosky, 2010).

1.2.2 Taxonomía de mosca de la fruta

Reino: Animalia - Linnaeus, 1758 - Animales

Phylum: Artropoda - Latreille, 1829 - Artrópodos

Subphylum: Hexapoda

Clase: Insecta- C. Linnaeus, 1758- Insectos

Infraclase: Neoptera

Orden: Díptera- C. Linnaeus, 1758

Suborden: Brachycera

Infraorden: Muscomorpha

Superfamilia: Tephritoidea

Familia: Tephritidae

Género: *Anastrepha*

Especie: *Anastrepha fraterculus* L.

Género: *Rhagoletis*

Especie: *Rhagoletis psalida* H.

Nombre común: "Mosca de la fruta"

(fuente: SENASA 2001)

1.2.3. Estructuras morfológicas

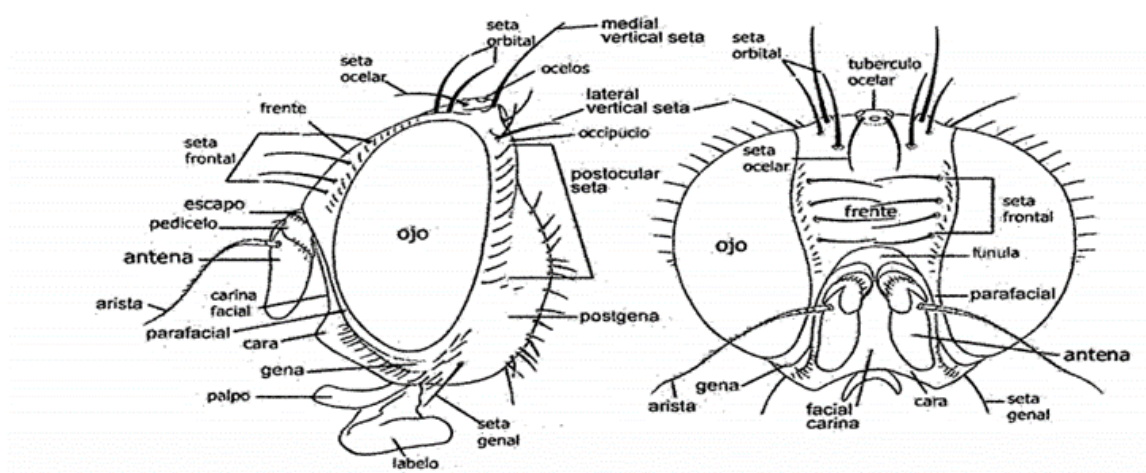
1.2.3.1 Cabeza

Generalmente es de forma hemi-esférica o sub-globosa, con el ángulo facial ampliamente obtuso. Ojos grandes, de color generalmente verde luminoso o violeta; ocelos y cerdas ocelares presentes o ausentes; antenas cortas y presentan aristas que forman tres segmentos (Koritkowski, 2008)

Lateralmente se observan la seta orbital, la seta ocelar, seta genal y la seta frontal, el escapo, el pedicelo, carina facial, gena, palpo, post gena, ojo, occipucio en la parte posterior de la cabeza, en la parte frontal la seta ocelar en la frente y se observa el tubérculo ocelar la lúnula, seta orbital, las antenas (Figura 1).

Figura 1

Estructura de la cabeza de Tephritidae



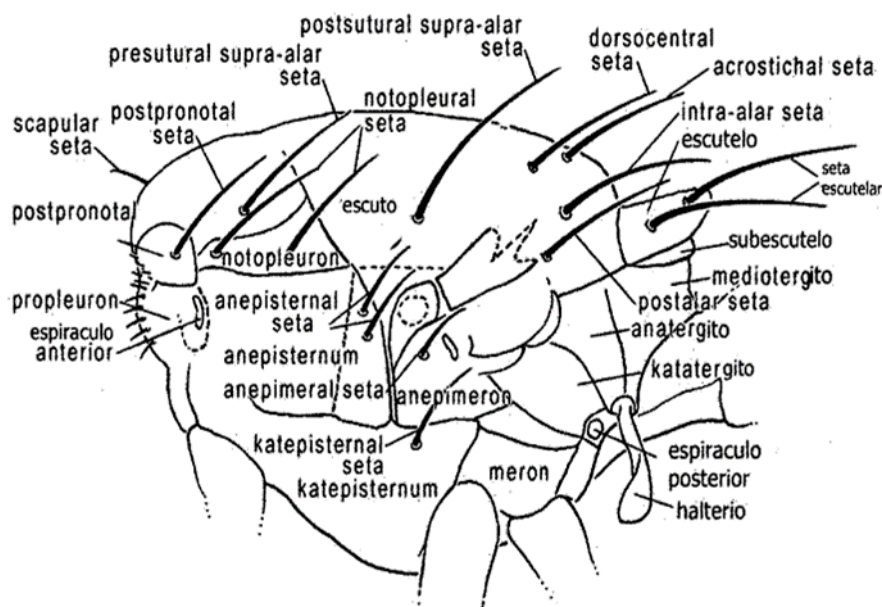
Nota: Adaptado de Norrbom et al. (s.f.), *Anastrepha* y *Toxotrypana*: descripciones, ilustraciones y claves interactivas.

1.2.3.2 Torax

Presenta secciones definidas: scutum, scutellum, subscutellum y metanoto. El scutum se encuentra dividido por una sutura denominada "sutura transversa" y entre el scutum y el scutellum se localiza otra denominada "sutura scuto-scutellar". Las manchas del dorso del tórax son muy importantes para la identificación de algunas especies comunes, estas manchas generalmente tienen que ver con la forma y coloración de las microsetas. La coloración, presencia de manchas, líneas o bandas es variable en toda la familia siendo importantes la forma, tamaño, ubicación y número de estas (Koritkowski, 2008), el tórax es de aspecto oval hasta oval alargado, las suturas y escleritos no ofrecen mayores diferencias entre otros Tephritidae (Figura 2).

Figura 2

Estructura de la cabeza de Tephritidae



Nota: Adaptado de Norrbom et al. (s.f.), *Anastrepha* y *Toxotrypana*: descripciones, ilustraciones y claves interactivas

1.2.3.3 Alas

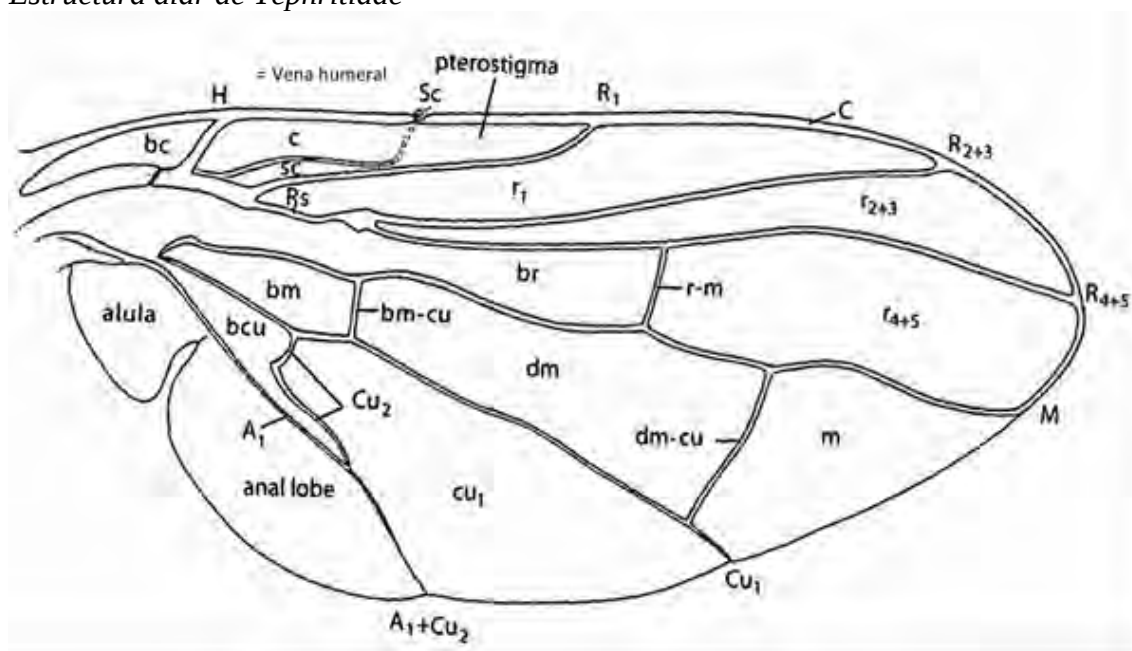
Oval alargadas y muy poco variables en forma, probablemente de mayor importancia taxonómica pudiera ser la proporción largo/ancho, este último medido entre el extremo de la subcosta (Se) y el ápice de la vena CuA+A 1, otro de los caracteres estructurales empleados son la curvatura apical de la vena M, sinuosidad de la vena R2+3 y en menor grado también de la R4+5; probablemente también es de importancia la cantidad y disposición de las setas de las venas radiales (Korytkowski & Ojeda, 1971). Probablemente el carácter más estudiado y utilizado para este grupo corresponde al patrón de coloración de las alas, sin embargo, aunque resulta muy consistente y desde luego confiable para algunas especies, este es un carácter extremadamente variable aún dentro de un mismo ejemplar (ala derecha con patrón de color diferente a la izquierda) o entre sexos.

El patrón de coloración, número de bandas, forma de las bandas es amplio, la tonalidad, conexiones y ausencia de las bandas o parte de ellas en el patrón alar son características de gran utilidad para la identificación de especies; algunas veces el patrón es difuso y cubre prácticamente toda el ala, de modo que las bandas son indefinidas; otras veces las bandas están completamente conectadas (no existe el área hialina costal) pueden ser incompletas o discontinuas. Otra característica de gran importancia son las disposiciones de

las venas y celdas por donde pasaran o se ubicaran las bandas o manchas presentes en el ala (Koritkowski, 2008) (Figura 3).

Figura 3

Estructura alar de Tephritidae



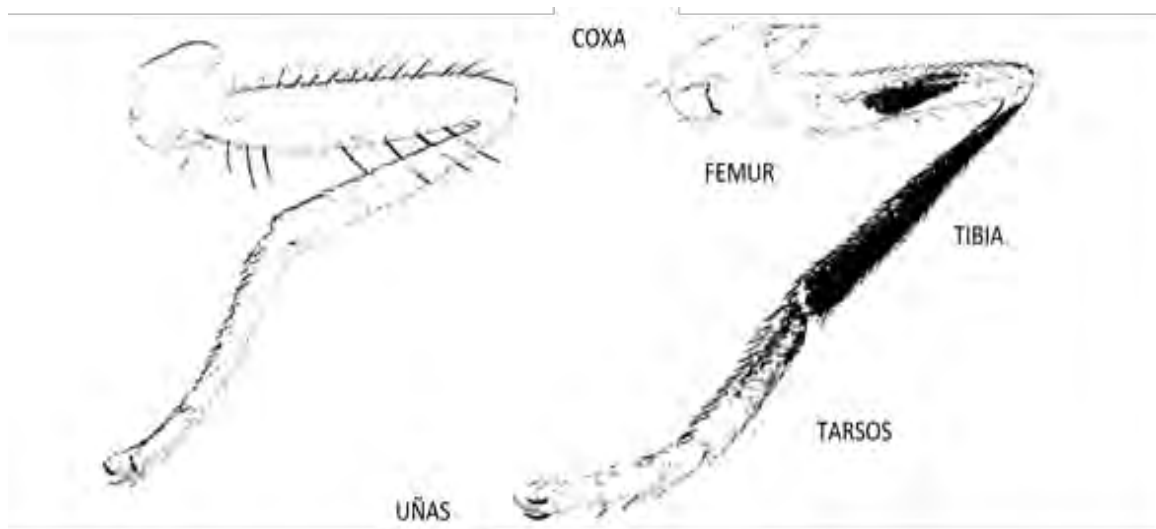
Nota: Adaptado de Norrbom et al. (s.f.), *Anastrepha* y *Toxotrypana*: descripciones, ilustraciones y claves interactivas

1.2.3.4 Patas

Los fémures (fe) de las patas anteriores presentan una hilera ventral de setas alargadas y más o menos uniformemente distribuidas en algo más de la mitad apical y el extremo apical de las tibias (ti) de estas mismas patas presentan aproximadamente 4 series de hileras de setas muy regulares; las (ti) de las patas medias están provistas de espinas largas y gruesas que van decreciendo del margen flexor al extensor y pueden presentar una variación en la densidad en las setas de algunas especies; el extremo apical y dorsal del (fe) de las patas posteriores está provisto de 4-5 setas más fuertes y largas que el resto. Aunque las patas son completamente amarillas o de colores claros, los últimos segmentos del tarso (ta) pueden ser oscuros hasta negros (Koritkowski, 2008) (Figura 4).

Figura 4

Estructura de las patas de Tephritidae



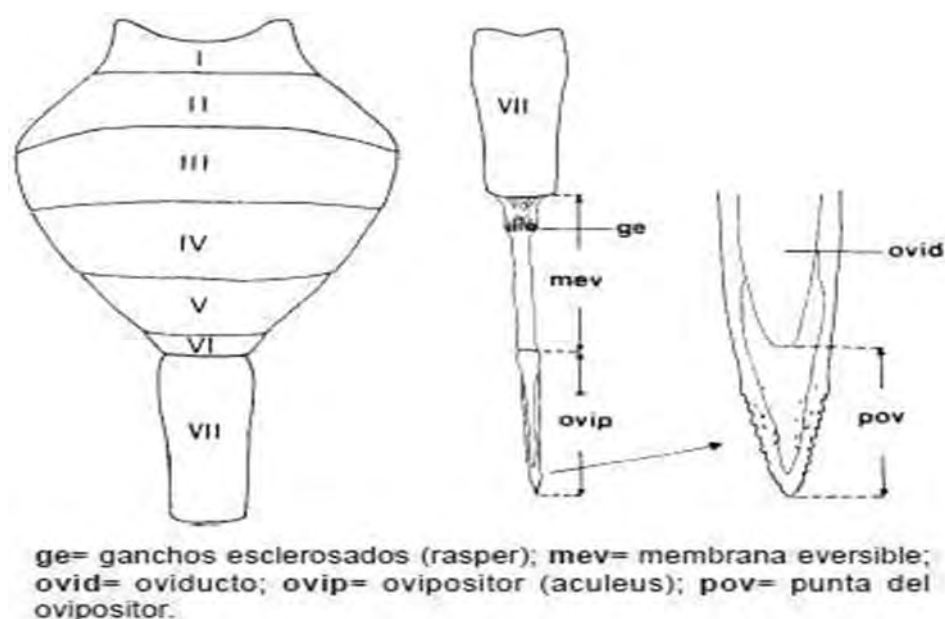
Nota: Adaptado de Norrbom et al. (s.f.), *Anastrepha* y *Toxotrypana*: descripciones, ilustraciones y claves interactivas

1.2.3.5 Abdomen

Generalmente el pre-abdomen presenta un aspecto ovoide en una vista dorsal aunque la base es definidamente estrechada, en algunas especies el abdomen es más alargado y estrecho; la fusión del 1º a y 2º tergitos es completa, constituyendo un primer sintergito ligeramente estrechado a la altura de la obliteración de la membrana, en los machos se puede diferenciar los esternitos 13 y 11, pero en las hembras el 1º es membranoso en tanto que el 2º es bien esclerotizado y definido; a parte de la coloración peculiar de algunas especies, esta región ofrece muy pocas características taxonómicas conocidas hasta la fecha, sin embargo, la quetotaxia y probablemente también la forma o proporciones (largo/ancho), especialmente de los esternitos 4-6 de las hembras y 4-5 de los machos pudieran proveer algunos caracteres dignos de ser considerados en futuros estudios (Koritkowski, 2008) (Figura 5).

Figura 5

Estructura frontal del abdomen de *A. obliqua*



Nota: Hernández-Ortiz, V. (s.f.). El género *Anastrepha* en México. [s.l.: s.n.].

1.2.4 Biología de mosca de la fruta

El paso de adulto a huevo requiere 56 días aproximadamente. Los huevecillos son depositados en paquetes de 1.5 más o menos 0.13 y tardan entre 5 a 6 días en promedio para su eclosión. Se estima que una hembra puede ovipositar durante toda su vida de 500 a 800 huevecillos. Las larvas pasan por 3 estadios larvales, el período larval dura 27 días. Las pupas se encuentran en el suelo debajo de la planta hospedante a una profundidad de 1 a 2.5 cm. La pupa dura aproximadamente 23 días (Bressan Nascimento, 2001).

1.2.5 Ciclo biológico de mosca de la fruta

El ciclo de vida de las moscas de la fruta inicia cuando las hembras adultas opositan bajo el pericarpio, el estado de huevo de las moscas de la fruta tiene una duración que está en función de las condiciones ambientales y varía de 3 a 8 días, al final eclosionan y emergen las larvas, las mismas que comienzan a alimentarse del fruto (Dukas, 2008).

El estado larval de las moscas de la fruta tiene una duración de 6 a 11 días; dependiendo de las condiciones ambientales, la larva madura al abandonar el fruto, se entierra de 2 a 3 centímetros de profundidad del suelo y se transforma progresivamente en pupa (Norrbon, 1987).

En el estado de pupa tiene una duración de 9-15 días, debido a las condiciones ambientales se puede prolongar por meses; durante esta fase ocurre la transformación en adulto al interior del pupario. Una vez alcanzada la madurez fisiológica, el adulto emerge del pupario. El adulto puede llegar a vivir hasta tres meses bajo condiciones favorables (Rogg & Camacho, 2000).

1.2.6 Daños ocasionados por mosca de la fruta

Los daños ocasionados en un principio son casi inobservados; pero luego va apareciendo unas manchas oscuras de aproximadamente 5 mm alrededor de la zona afectada, es cuando los huevos eclosionan y salen las larvas del fruto donde se aprecia el daño al fruto infectado.

Es en su estado larvario que esta se alimenta de la pulpa del fruto formándose galerías siendo así que las zonas aledañas se descomponen y empieza el proceso de pudrición avanzando hasta la zona central del fruto el cual ocasiona la caída del mismo (Souza Filho et al., 2003).

La sub dirección de moscas de la fruta y proyectos fitosanitarios a través de acciones de vigilancia de la plaga, ha establecido la relación de especies muestreables para moscas de la fruta en el Perú, que contiene los productos hortofrutícolas que podrían ser atacados por la plaga.

1.2.7 Concepto morfológico de especie

El concepto morfológico de especie se basa en el reconocimiento de grupos de organismos que comparten un conjunto estable de características morfológicas diagnósticas que los diferencian de otros grupos. Según (Lanteri & Cigliano, 2005), una especie puede ser definida como un conjunto de poblaciones naturales cuyos individuos presentan una combinación particular de caracteres morfológicos consistentes, los cuales permiten su identificación y delimitación taxonómica. En el presente estudio, el concepto morfológico de especie resulta apropiado, ya que la identificación de las especies de mosca de la fruta se basa en la observación y comparación de caracteres morfológicos descritos en claves taxonómicas especializadas.

1.2.8 Distribución de la población

La distribución de la población, conceptualmente, se define por la proporción de habitantes por tipo de región en un país determinado. Los factores que influyen, principalmente, en la distribución de la población son condiciones climáticas y

medioambientales. En términos generales, las zonas más pobladas son las llanuras y los valles, especialmente aptos para la agricultura y las comunicaciones.

1.2.9 Nicho Ecológico y patrones de distribución

El área de distribución de las especies es un concepto importante, sin embargo, se estima que hay casos en los que no se interpreta adecuadamente. Un aspecto importante es que, posiblemente, un término unificado de especie puede ayudar a clarificar el concepto de área de distribución; en este caso, se incorpora la idea de “dimensión espacial” si se considera que las especies son, en esencia, linajes meta-poblacionales que evolucionan en forma independiente. De este modo, el área de distribución puede definirse como la fracción del espacio geográfico donde una especie está presente e interactúa con el ecosistema. La presencia, o ausencia, de cualquier especie está definida por factores biogeográficos, fisiológicos y, en última instancia, ecológicos (Maciel Mata y otros, 2015).

Los modelos de distribución de especies son herramientas numéricas que combinan observaciones de presencia de especies o abundancia con estimadores ambientales. Se emplean para análisis ecológicos y evolutivos, así como para predecir distribuciones a lo largo de áreas geográficas. Las diferencias entre métodos reflejan tanto la movilidad de las especies como el uso establecido (Elith & Leathwick, 2009).

Varias especies fueron muestreadas en varios campos de cultivo y se encontró que las especies de moscas Ulidiidae se encontraban asociadas a campos de maíz (Goyal et al., 2011).

En Chile se publicó un artículo para dar a conocer la diversidad de Coleoptera, rangos de distribución de las especies y las relaciones que podrían existir entre los distintos ecosistemas descritos para la región de Antofagasta (Jerez, 2000).

En Perú se realizó un extenso estudio tomando como base la clasificación ecológica de Tossi (1960) (Original no consultado) sobre 35 especies de *Anastrepha* en una amplia zona del Nor-Oeste peruano. *A. fraterculus* es la especie más abundante encontrándose en poblaciones abundantes en casi todas las zonas ecológicas de la región. *A. distinta* se encuentra en la vertiente occidental hasta los 1300 msnm y en los valles interandinos, solo en lugares ubicados entre 1 500 y 1 700 msnm. *A. extensa* es de gran importancia en las localidades más elevadas, con temperaturas bajas y elevadas precipitaciones (Korytkowski & Ojeda, 1969).

En los últimos años se han desarrollado modelos de distribución de especies que se basan en procedimientos estadísticos y cartográficos que, a partir de datos reales de

presencia, permiten inferir zonas potencialmente idóneas basándose en sus características ambientales (Mateo et al., 2011).

Asociado a los conceptos de distribución de las especies se encuentra el término de “nicho” que incluye una variedad de interpretaciones en relación al comportamiento de especies que viven bajo condiciones ambientales específicas. En términos generales, el “nicho ecológico” describe la forma en que un organismo o población responde a la distribución de recursos y competidores (Khatibi & Sheikholeslami, 2016).

Tal como se entendía hasta hace poco, la biogeografía dispersalista toma en cuenta la dispersión, que se da al azar y, por tanto, cada especie debería tener una historia biogeográfica diferente. A partir de estos conceptos se estima que en la evolución de la distribución espacial se reconocen dos fases: a) los organismos expanden activamente su área de distribución ocupando el mayor espacio geográfico posible, b) en una segunda fase, la distribución se estabiliza (Morrone, 2001).

Así mismo, se considera que la distribución espacial depende de factores de diversa índole que comprenden escalas espaciales y temporales muy distintas (Nogués Bravo, 2003).

De este modo, el “nicho Hutchinsoniano” puede definirse como un hipervolumen definido por las condiciones ambientales bajo las cuales una especie puede existir indefinidamente (Pironon et al., 2018).

En Brasil, se observó que las fluctuaciones poblacionales de *Ceratitis* y *Anastrepha* no dependen enteramente de los factores climáticos analizados. La temperatura media y la humedad relativa pueden ejercer influencia diferenciada sobre las poblaciones de estas especies (Souza, 2004).

Sobre esta base, se han desarrollado diferentes aproximaciones teóricas y metodológicas para explicar y predecir la distribución de los organismos.

El diagrama BAM, propuesto y sistematizado por Soberón y Peterson (2005), representa de manera conceptual los factores que determinan la distribución geográfica de una especie a partir de tres componentes:

- B (Biotic interactions): Interacciones bióticas, como competencia, depredación, parasitismo y mutualismos.
- A (Abiotic conditions): Condiciones abióticas, principalmente variables climáticas y ambientales adecuadas para la supervivencia y reproducción de la especie.
- M (Movement o accesibilidad): Área geográfica a la cual la especie ha tenido acceso histórico, determinada por su capacidad de dispersión y por barreras geográficas.

Dentro de este marco, se reconocen las siguientes regiones e intersecciones

- A (Condiciones abióticas)

Representa el conjunto de áreas con condiciones ambientales adecuadas para la especie. Este espacio corresponde al nicho ecológico fundamental, es decir, donde la especie podría existir en ausencia de limitaciones bióticas y de dispersión.

- $A \cap B$ (Intersección entre condiciones abióticas y bióticas)

Corresponde al nicho ecológico realizado, que incluye las áreas donde coinciden condiciones ambientales favorables y relaciones bióticas adecuadas para la persistencia de la especie.

- $A \cap M$

Representa las áreas ambientalmente adecuadas a las que la especie ha tenido acceso. Esta región se conoce como distribución potencial accesible.

- $B \cap A \cap M$ (G_0)

La intersección de las tres dimensiones define el área donde la especie realmente ocurre, denominada distribución geográfica observada o distribución real (G_0).

- G_1 (G_1)

Corresponde a las áreas dentro de $A \cap M$ donde la especie podría establecerse si las interacciones bióticas fueran favorables, es decir, zonas con idoneidad ambiental y accesibilidad, pero donde la especie aún no ha sido registrada. Esta región se interpreta como distribución potencial.

CAPITULO II

MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Área De Estudio

2.1.1 Departamento del Cusco

Departamento ubicado al suroriente del territorio peruano cuyos puntos extremos son las coordenadas siguientes (Tabla 1)

Tabla 1

Coordenadas del departamento del Cusco

Orientación	Este (m)	Norte (m)	Zona UTM	Lugar
Norte	718 606,59	8 758 736,32	18 S	Confluencia del río Mishagua con el río Urubamba
Este	352 356,56	8 562 469,65	19 S	Punto sobre el río Inambari, próximo al centro poblado Chaspi
Sur	391 586,21	8 303 784,40	19 S	Cerro Acoitauca, cota 4925 m. s. n. m.; limite con Puno y Arequipa
Oeste	612 831,17	8 642 819,90	18 S	Confluencia del río Mantaro con el río Apurímac

Nota: Elaborado en base al Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI, 2018), Compendio Estadístico del departamento de Cusco

Limita al norte con los departamentos de Junín y Ucayali, al este con Madre de Dios, al sur con Puno y Arequipa y al oeste con Apurímac y Ayacucho. Cuenta con una extensión territorial de 71986.50 Km². La altitud del departamento del Cusco esta entre los 277 msnm (Isla Mishahua, distrito de Echarate de la provincia de La Convención) y los 6372 msnm (Nevado Auzangate, distrito de Ocongate de la provincia de Quispicanchi). El departamento del Cusco tiene 13 provincias con 108 distritos (Figura 6).

El área de estudio del presente trabajo se sustenta en el material biológico depositado en el Laboratorio de Entomología de la Facultad de Ciencias Biológicas, Colección Entomológica de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco (CEUC-UNSAAC), esta colección constituye un repositorio científico de referencia regional, ya que resguarda ejemplares entomológicos recolectados en diversos ecosistemas del sur del Perú, particularmente del departamento del Cusco. Dentro de esta colección, la colección especializada de moscas de la fruta (Diptera: Tephritidae) reviste especial importancia

debido a su relevancia ecológica, agrícola y fitosanitaria. Los ejemplares depositados constituyen una base de datos biológica sólida, que incluye información georreferenciada de procedencia, altitud y latitud; elementos clave para el desarrollo de estudios de distribución potencial, modelamiento de nicho ecológico y evaluación de riesgos fitosanitarios. En este contexto, el uso del material depositado en la colección de moscas de la fruta de la CEUC-UNSAAC no solo respalda la validez científica del presente estudio, sino que también pone en valor la función del Laboratorio de Entomología de la UNSAAC como un eje fundamental para la investigación, formación académica y generación de conocimiento aplicado orientado al manejo integrado de plagas y a la conservación de la biodiversidad entomológica regional.

Figura 6
Mapa de ubicación del área de estudio



Nota: Elaboración propia en el programa ArcMap utilizando información del INEI

2.2 Materiales

2.2.1 Materiales Biológicos

- Especímenes adultos de “mosca de la fruta”

2.2.2. Materiales de gabinete

- Laptop.
- Base de datos de individuos de “mosca de la fruta.”
- Cámara fotográfica.
- Libreta de apuntes.
- Programa MaxEnt.
- Programa ArcGIS.
- Estereoscopio.
- Pinzas finas.
- Hidróxido de potasio (KOH).
- Xilol – bálsamo de Canadá.
- Lamina y cubre objetos.
- Microscopio.
- Cámara digital.

2.3 Metodología

2.3.1 Tipo de investigación

Descriptiva-Exploratoria y aplicativa la presente investigación es descriptiva, ya que se orienta a caracterizar los patrones de distribución potencial de las especies de mosca de la fruta en el departamento del Cusco, sin manipulación de variables. Es exploratoria, debido a la limitada información previa sobre la distribución potencial de estas especies en la región, lo que permite analizar la influencia de factores ambientales. Asimismo, es aplicativa, porque los resultados obtenidos generan información útil para la vigilancia fitosanitaria y el manejo integrado de plagas.

2.3.2 Trabajo de laboratorio

Verificar la identidad taxonómica de dos especies de mosca de la fruta existentes en Cusco.

2.3.2.1 Revisión de especímenes

Se revisaron los especímenes adultos colectados de “mosca de la fruta”, del departamento del Cusco, que se encuentran en el laboratorio de Entomología de la UNSAAC.

2.3.2.2 Identificación

Para verificar la identidad del material en estudio se emplearon claves taxonómicas (Aldrich, 1934; Hernández Ortiz & Frías, 1999; Koritkowski, 2008; Korytkowski & Ojeda, 1968; Marín Patiño, 2002).

Para verificar la identidad de las especies en estudio se han preparado las genitalias (Marquez, 2005).

- Separar el abdomen.
- Tratar con Hidróxido de potasio (KOH) en caliente.
- Lavar en agua destilada.
- Tratar con xilol para eliminar la grasa.
- Montar en Bálsamo de Canadá en portaobjetos plano.

En algunos casos se conservó la genitalia en microviales con glicerina.

Las microfotografías fueron tomadas con una cámara montada en un estereoscopio y procesadas con el programa Microsoft.

La terminología empleada es la propuesta por Borror and Delong (Triplehorn & Johnson, 2005).

2.3.2.3 Elaboración de base de datos

Con el material depositado en la Colección Entomológica del Laboratorio de Entomología de la UNSAAC se elaboró una base de datos en formato Excel. Para cada localidad se emplearon las coordenadas decimales, las mismas que fueron transformadas con el programa Microsoft Excel y el programa ArcGis.

Los datos utilizados se obtuvieron de la colección entomológica de la UNSAAC (CEUC), la cual cuenta con datos históricos de ocurrencia de las especies en estudio. Revisando el material depositado en la Colección Entomológica de la UNSAAC (CEUC-UNSAAC) se encontraron datos de presencia de dos especies de mosca de la fruta, las mismas que forman parte de este proyecto.

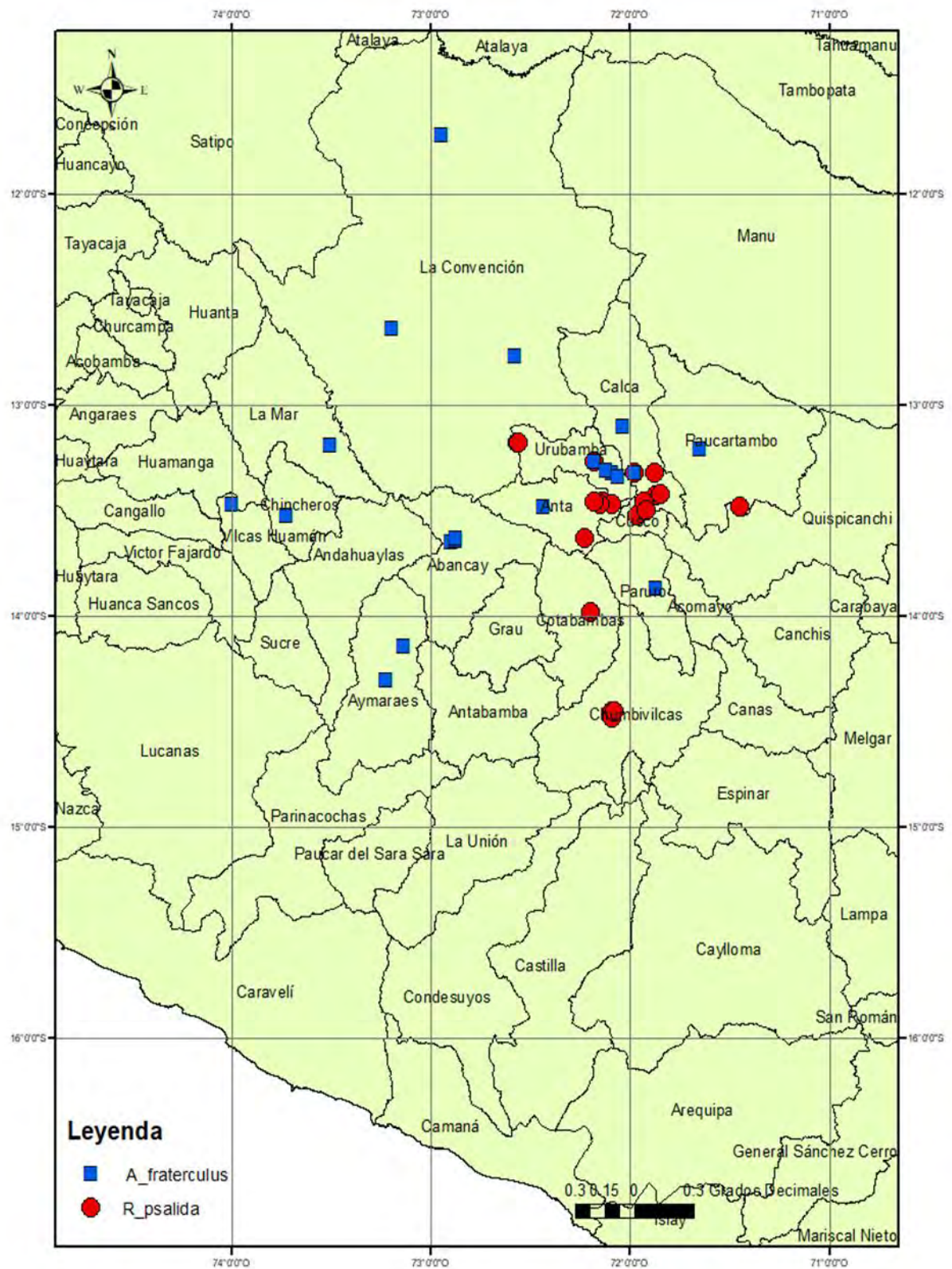
Debido a la disponibilidad del material para estudiar, todos los análisis de distribución se realizaron empleando las dos especies mencionadas. Es necesario anotar que en la Colección se cuenta con numerosas especies de mosca de la fruta, pero en la mayoría

de especies se cuenta con solo una o dos localidades lo que ha impedido estudiar otras especies.

- Todos los datos fueron sistematizados en el programa Microsoft Excel, con sus respectivos datos de nombre científico, lugar (departamento, provincia y distrito), altitud, colector, latitud y longitud (coordenadas decimales) y fecha.
- Se creó un archivo Excel con únicamente tres columnas en el siguiente orden: especie, longitud y latitud.
- Se cambió el formato Excel (xlsx) a uno delimitado por comas (csv), ya que MaxEnt requiere este formato de entrada para modelar la distribución potencial de especies

Las dos especies estudiadas presentan una distribución que comprenden las provincias de Cusco, Ayacucho y Apurímac. En el caso de *A. fraterculus* su distribución comprende las provincias antes mencionadas y, en el caso de *R. psalida*, su distribución se encuentra más concentrada en la provincia de Cusco (Figura 7).

Figura 7
Puntos de ubicación real de ambas especies



Nota: Base de datos CEUC - UNSAAC

2.3.3 Determinación de los Patrones de Distribución Potencial de las especies

La distribución potencial de *Anastrepha fraterculus* Wiedemann y *Rhagoletis psalida* Hendel se determinó mediante el uso del modelo de máxima entropía (MaxEnt), utilizando registros de presencia provenientes de la Colección Entomológica de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco (CEUC-UNSAAC). Previamente, los datos fueron depurados y georreferenciados para su correcto procesamiento.

Los modelos generados en MaxEnt permitieron estimar la idoneidad ambiental de las especies en función de variables ambientales relevantes. Posteriormente, los resultados fueron exportados al software ArcGIS, donde se realizó el análisis espacial y la elaboración de los mapas finales de distribución potencial en el departamento del Cusco.

2.3.3.1 Proyección de puntos y determinación del área “M”

Para la manipulación de datos en el espacio geográfico se utilizó el programa Arcgis 10.5.8, en el cual se colocó los puntos de presencia de cada especie, también se proyectó la capa de ecosistemas y cuencas de nuestro país.

El criterio para determinar el área M fue reducir los ecosistemas y cuencas al área accesible para cada especie, para poder recortar el área M se seleccionaron los ecosistemas y cuencas que coincidan con la ubicación de los sitios de registros, tomando en cuenta la capacidad de dispersión de las especies.

Las 19 variables bioclimáticas y altitud fueron recortadas y ajustadas al área M para ser utilizadas en los análisis de cada especie.

2.3.3.2 Uso del programa ArcGIS

Se recopilamos los registros de presencia de *Anastrepha fraterculus* y *Rhagoletis psalida*, los cuales se organizaron en formato de tabla con coordenadas geográficas (latitud y longitud). Posteriormente, dichos puntos fueron exportados a un archivo shapefile (.shp) para su uso en ArcGIS.

Para la elaboración de mapas de distribución de presencia los puntos fueron representados en ArcGIS 10.5.8 mediante la herramienta Add XY Data, generando un shapefile que permitió visualizar la distribución espacial de ambas especies. Con la extensión Spatial Analyst, se procedió a unir los puntos de presencia y a crear mapas temáticos diferenciados por especie.

En cuanto a la Identificación de la zona M (disponibilidad de hábitat) se emplearon shapefiles de ecosistemas y de cuencas hidrográficas. Mediante herramientas de geoprocésamiento (Clip, Intersect y Dissolve), se recortaron los polígonos para generar el área de estudio que representa las condiciones ambientales disponibles para cada especie.

Posteriormente se extrajeron las variables ambientales con el fin de caracterizar el ambiente en los sitios de presencia de las especies, se utilizaron capas raster de variables climáticas:

- Altitud (modelo digital de elevación – DEM).
- Temperatura promedio.
- Precipitación anual.

Los valores de cada variable fueron extraídos para los puntos de presencia utilizando la herramienta Extract Values to Points de la extensión Spatial Analyst. Esto permitió asociar a cada registro de presencia la información ambiental correspondiente.

Finalmente se hizo la Integración y análisis espacial donde los datos obtenidos se integraron en una base geográfica única dentro de ArcGIS. De este modo, fue posible generar mapas de distribución de presencia, mapas de la zona M y mapas temáticos que muestran la variación espacial de altitud, temperatura y precipitación en relación con la presencia de *A. fraterculus* y *R. psalida*.

2.3.3.3 Uso de MaxEnt

Es un programa basado en la distribución de máxima entropía (cantidad de información contenida por un sistema), para la modelización de la distribución geográfica de las especies. Empieza ajustando los datos a partir de una distribución uniforme, que va modificando hasta una modificación de máxima entropía (distribución más extendida, cercana a uniforme). El modelo se basa en ajustar los parámetros de la distribución final. Para estimar la distribución potencial de las especies se empleó el modelo de máxima entropía (MaxEnt) (Phillips et al., 2006). En primer lugar, los registros de presencia fueron organizados en una base de datos y convertidos a formato CSV, incluyendo coordenadas geográficas (latitud y longitud).

Las variables bioclimáticas utilizadas como predictores ambientales fueron obtenidas de la base de datos WorldClim, en formato raster, y recortadas al área de estudio.

Posteriormente, los archivos CSV y las capas bioclimáticas fueron incorporados al programa MaxEnt, donde se ejecutó el modelamiento bajo los parámetros predeterminados. El desempeño del modelo se evaluó mediante el valor del área bajo la curva (AUC) y el análisis de la contribución de las variables ambientales.

Se realizaron ajustes en el programa, destinando el 80% de los registros de la especie para el entrenamiento del modelo y el 20 % para la validación (Quesada Quiros et al., 2017). Además, se configuró el número de réplicas (10) e interacciones máximas (10000), (Quesada Quiros et al., 2017).

En la aplicación del programa MaxEnt, para los patrones de distribución de la mosca de la fruta, se usaron variables de las bases de datos WorldClim.

2.3.3.4 WorldClim

Es una base de datos meteorológicos y climáticos globales, Los datos son proporcionados para el uso en investigación y actividades relacionadas. Las variables bioclimáticas que se emplearon son las siguientes (Hijmans et al., 2005):

- BIO1 = Temperatura media anual
- BIO2 = Rango medio diurno (media mensual (Temperatura máx. – Temperatura mínima)
- BIO3 = Isotermalidad (BIO2/BIO7) (* 100)
- BIO4 = Temperatura Estacional (desviación estándar *100)
- BIO5 = Temperatura máxima del mes más caliente
- BIO6 = Temperatura mínima del mes más frío
- BIO7 = Rango anual de temperatura (BIO5-BIO6)
- BIO8 = Temperatura media del trimestre más húmedo
- BIO9 = Temperatura media del trimestre más seco
- BIO10 = Temperatura media del trimestre más caliente
- BIO11 = Temperatura media del trimestre más frío
- BIO12 = Precipitación anual
- BIO13 = Precipitación del mes más húmedo
- BIO14 = Precipitación del mes más seco
- BIO15 = Estacionalidad de la precipitación (Coeficiente de variación)
- BIO16 = Precipitación del trimestre más húmedo
- BIO17 = Precipitación del trimestre más seco
- BIO18 = Precipitación del trimestre más caliente
- BIO19 = Precipitación del trimestre más frío
- Elevación

La base de datos contiene información a nivel global (excepto de la Antártida) de 19 variables denominadas “bioclimáticas” y la variable elevación.

- Los datos disponibles están en formato ráster.
- Se descargaron las variables climáticas de 30 X 30 segundos (aproximadamente 1 km²).
- Todos los archivos fueron descomprimidos y guardados en una carpeta accesible.

- La información correspondiente a cada celda de la capa representa los valores ambientales interpolados a partir de datos observados durante 50 años, desde 1950 al 2000.
- las variables ambientales seleccionadas para cada especie fueron transformadas al formato ASCII que es el formato que usa MaxEnt.
- Para la conversión de formato de las capas, se empleó la herramienta de conversión de ArcToolBox (ArcToolBox → Covertion Tools → FromRaster → Fromraster to ASCII) del software Arcgis. Para todos los casos el formato de entrada (input) correspondió al formato *.tif y el de salida (output) a un archivo con el mismo nombre, pero con la extensión *.asc.

2.3.3.5 Selección de las variables bioclimáticas

La cantidad de variables debe ser la mínima para un mejor desempeño del algoritmo de MaxEnt, ya que se ha demostrado que un incremento de estas puede llevar a un sobreajuste en la distribución obtenida.

Para la selección de variables más importantes se utilizó el test de Jackknife generado por MaxEnt al construir un modelo inicial en el cual se introducen todas las variables

Se hicieron pruebas con todas las variables, a la que se denominó prueba inicial, estas pruebas se realizaron tanto para *Anastrepha fraterculus* como para *Rhagoletis psalida* (Tabla 2 y 3).

Tabla 2*Prueba inicial para *Anastrepha fraterculus*, con todas las variables*

Variable	Contribución percentil	Importancia de permutación
Temperatura máxima del mes más caliente. Var 5	32	58
Precipitación del trimestre más caliente. Var 18	25.4	1.8
Rango medio diurno (media mensual (temp. máxima – temperatura mínima) Var. 2	19.9	20.7
Precipitación del trimestre más seco (Var. 17)	11.2	0
Precipitación del mes más seco. Var. 14	6	17.2
Temperatura estacional (desviación estándar*100). Var.4	5.3	0.8
Estacionalidad de la precipitación. Var. 15	0.2	1.5
Precipitación del trimestre más húmedo. Var. 16	0	0
Elevación	0	0
Temperatura media del trimestre más seco. Var. 9	0	0
Temperatura media del trimestre más húmedo. Var, 8	0	0
Rango anual de temperatura (BIO5-BIO6). Var. 7	0	0
Temperatura mínima del mes más frío. Var. 6	0	0
Isotermalidad (BIO2/BIO/7) (*100). Var. 3	0	0
Precipitación del trimestre más frío. Var. 19	0	0
Precipitación del mes más húmedo. Var. 13	0	0
Precipitación anual. Var. 12	0	0
Temperatura media del trimestre más frío. Var. 11	0	0
Temperatura media del trimestre más caliente. Var.10	0	0
Temperatura media anual. Var. 1	0	0

Nota: Elaborado a partir de los resultados del modelo MaxEnt

Tabla 3*Prueba inicial para Rhagoletis psalida, con todas las variables*

Variable	Contribución percentil	Importancia de permutación
Precipitación del trimestre más caliente. Var 18	43.7	21.4
Temperatura máxima del mes más caliente. Var 5	20	0
Precipitación del trimestre más seco (Var. 17)	18.4	0
Estacionalidad de la precipitación. Var. 15	10.4	43.9
Temperatura media del trimestre más húmedo. Var, 8	2.5	0
Temperatura mínima del mes más frío. Var. 6	1.7	0
Elevación	1.6	34.2
Precipitación anual. Var. 12	1.3	0
Precipitación del mes más seco. Var. 14	0.3	0
Rango medio diurno (media mensual (temp. máxima – temperatura mínima) Var. 2	0.1	0.6
Precipitación del trimestre más frío. Var. 19	0	0
Isotermalidad (BIO2/BIO/7) (*100). Var. 3	0	0
Precipitación del trimestre más húmedo. Var. 16	0	0
Temperatura estacional (desviación estándar*100). Var.4	0	0
Rango anual de temperatura (BIO5-BIO6). Var. 7	0	0
Precipitación del mes más húmedo. Var. 13	0	0
Temperatura media del trimestre más seco. Var. 9	0	0
Temperatura media del trimestre más frío. Var. 11	0	0
Temperatura media del trimestre más caliente. Var.10	0	0
Temperatura media anual. Var. 1	0	0

Nota: Elaborado a partir de los resultados del modelo MaxEnt

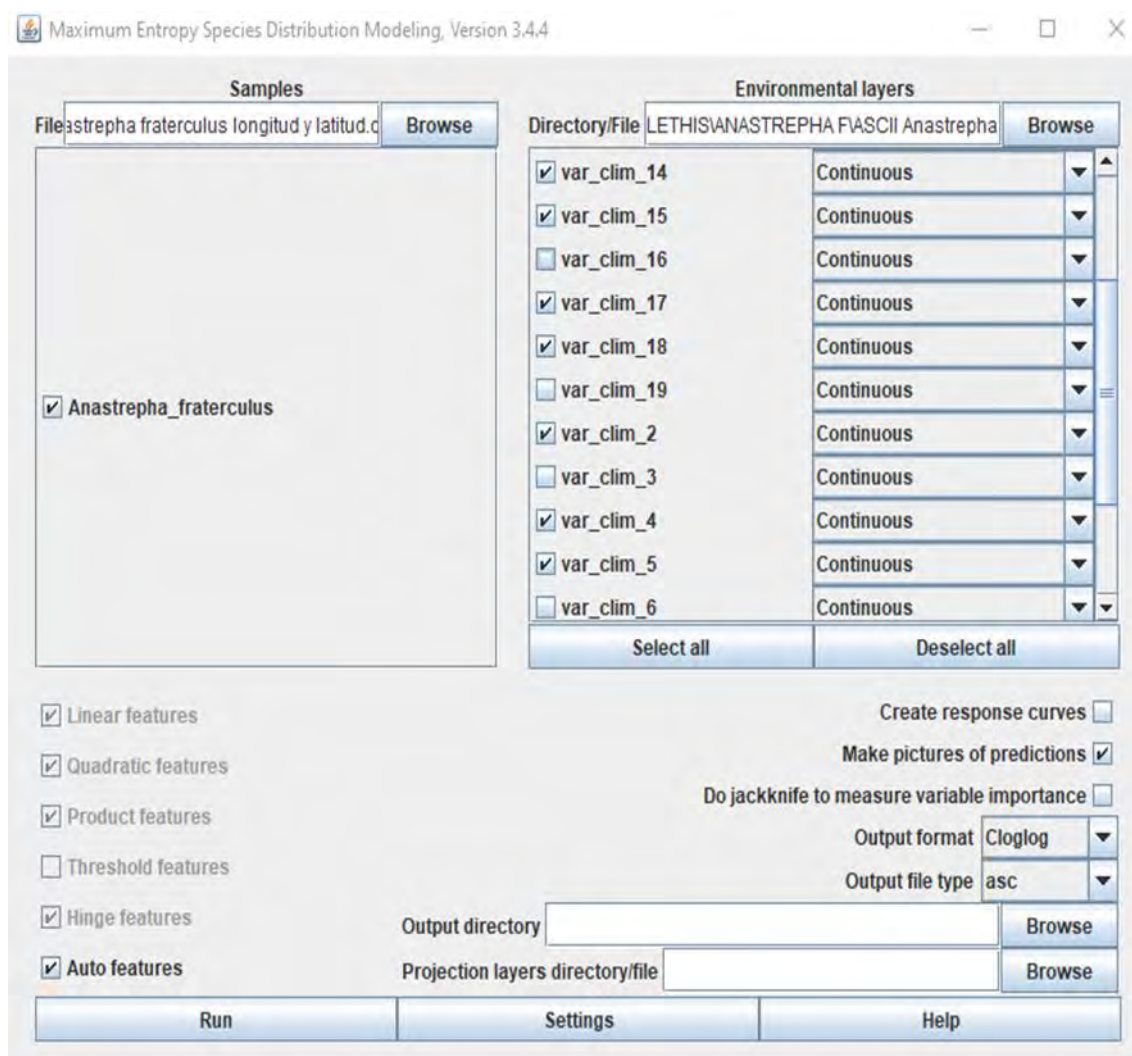
En la información de salida se determina las variables que han aportado mayor porcentaje en la construcción del modelo y son las variables que se utilizarán para la construcción del modelo final, las variables que no tuvieron aporte no serán tomadas en cuenta.

2.3.3.6 Calibración del modelo

Para calibrar el modelo se introdujeron los datos en la interfaz principal del software, como se ve en la figura 8 y 9, en Samples, la base de datos con los puntos de presencia en formato *.csv el cual constó de tres campos (especie, latitud, longitud) y en Environmental layers las variables bioclimáticas, en formato *.asc, únicamente seleccionadas las que mayor porcentaje aportaron al modelo.

Figura 8

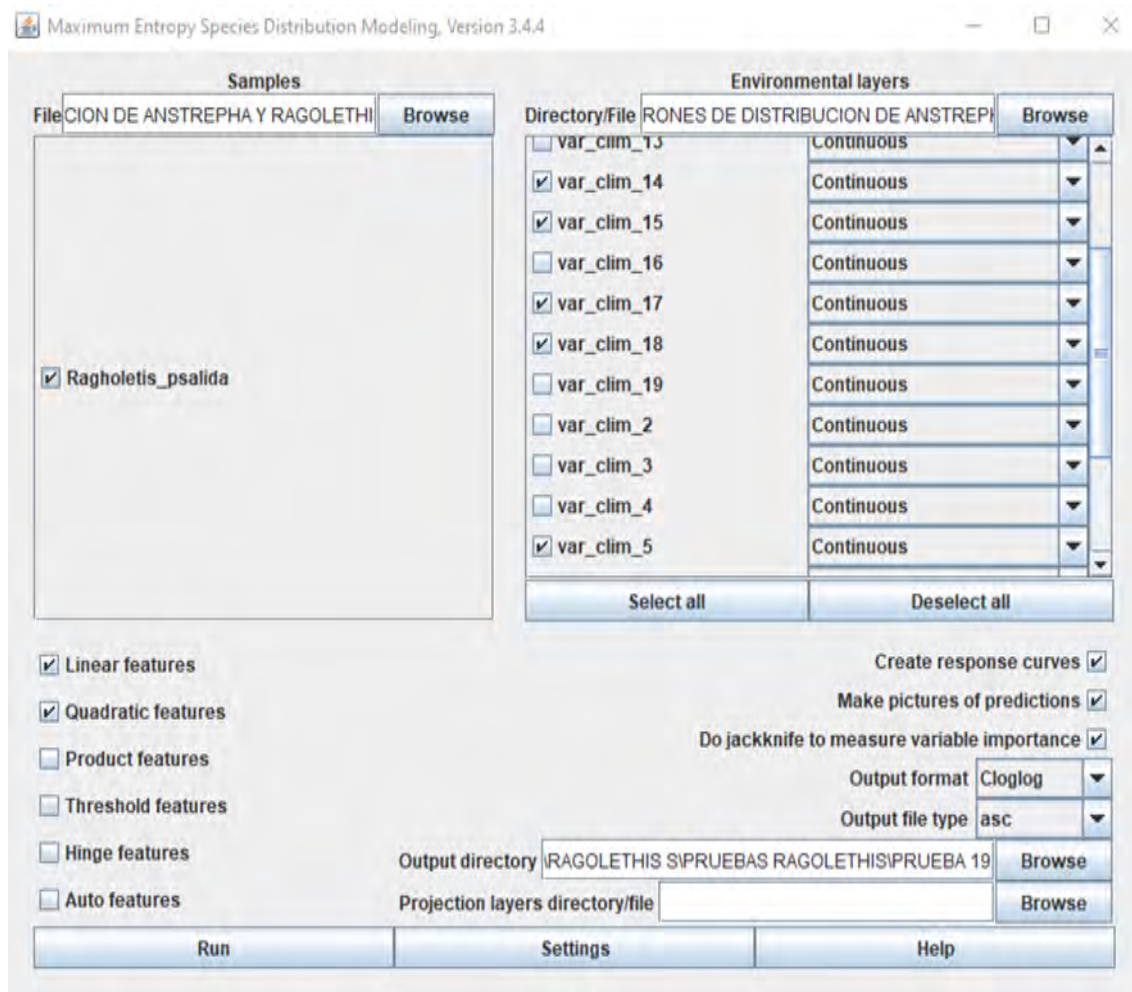
*Interfaz principal de MaxEnt diseñada para colocar los puntos de presencia y variables bioclimáticas para *Anastrepha fraterculus**



*Nota: Captura de pantalla de la interfaz de MaxEnt para *Anastrepha fraterculus*.*

Figura 9

*Interfaz principal de MaxEnt diseñada para la introducción de datos de presencia y variables bioclimáticas para la especie *Rhagoletis psalida**



Nota: Captura de pantalla de la interfaz de MaxEnt para *Rhagoletis psalida*.

Una vez introducidos los datos se deben considerar otros factores que influyen en los resultados. En primer lugar, el formato del modelo que se usa es el Cloglog, que se utilizó por su facilidad para interpretar los resultados. Los valores de los mapas resultantes oscilan entre 0 y 1 y solamente representan una mayor o menor idoneidad.

2.3.3.7 Evaluación de modelos

Los modelos obtenidos fueron evaluados mediante el área bajo la curva (AUC: Area Under the Curve por sus siglas en ingles), el cual varía de 0 a 1. Correia (2019), recomienda la siguiente interpretación del AUC para los modelos generados (Tabla 4)

Tabla 4*Desempeño del modelo según el valor de AUC*

Desempeño del modelo	Valor de AUC
Excelente	$AUC > 0.90$
Buena	$0.80 > AUC < 0.90$
Aceptable	$0.70 > AUC < 0.80$
Mala	$0.60 > AUC < 0.70$
No valida	$0.50 > AUC < 0.60$

Los modelos obtenidos en MaxEnt se reclasificaron en ArcGIS 10.5, para obtener superficies en los diferentes niveles de probabilidad y con ello obtener el perfil bioclimático de cada especie.

2.3.3.8 Creación del diagrama BAM

Para construir un diagrama BAM y un plano de adecuación climática para las especies *Anastrepha fraterculus* y *Rhagoletis psalida*, se usó la superficie de adecuación devuelta por MaxEnt (.asc) y puntos de presencia.

- Se leyó el ráster ESRI ASCII y se limpiaron valores NODATA.
- Se validaron y depuraron las presencias (duplicados y puntos fuera de la extensión).
- Para umbralizar el componente A (ambiente), se empleó el percentil 75 (P75) de la adecuación del ráster, siguiendo prácticas comunes para delimitar áreas climáticamente adecuadas sin imponer un umbral excesivamente estricto.
- Se contabilizaron presencias dentro/fuera del umbral y el número de celdas adecuadas.
- Se generó un diagrama conceptual BAM.

CAPITULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Identidad taxonómica de las especies

Se ha logrado verificar la identidad taxonómica de dos especies de mosca de la fruta: *Anastrepha fraterculus* Wiedemann y *Rhagoletis psalida* Hendel.

3.1.1 *Anastrepha fraterculus* Wiedemann

Diagnosis:

Color amarillo con franjas negras en el tórax y abdomen, primer segmento abdominal alargado y peciolado (parte basal notablemente más angosta que el resto del abdomen); Alas hialinas, con una franja amarilla u oscura a lo largo del margen costal; celda cup con el ángulo postero-apical muy largo; vena R2+3 con curvas abruptas, usualmente provista de venas accesorias transversales. Hembras con el sintergosternito 7 (funda del ovipositor) al menos tan larga como la longitud del cuerpo (Figura 10).

Figura 10

Macho adulto de Anastrepha fraterculus Wiedemann



Epandrio ampliamente redondeado arriba, densamente setoso; urotergito 5 suavemente redondeado; Apodema del edeago ligeramente curvado hacia arriba, apodema

del hipandrio casi paralelo al apodema del edeago, tallo del edeago ampliamente curvado, distiphalo ligeramente ensanchado en el ápice; proctiger ampliamente ensanchado en el ápice con una base paralela; apodema eyaculador digitiforme (Figura 11).

Figura 11

Genitalia masculina de Anastrepha fraterculus Wiedemann

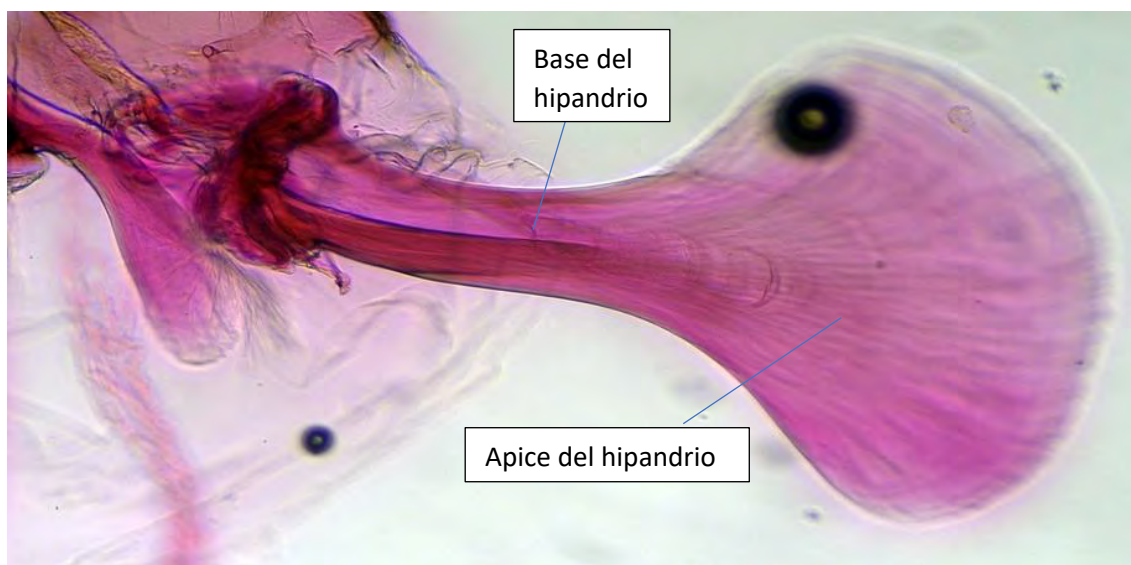


Nota: Elaborado a partir de fotografías de la genitalia

Hipandrio de forma alargada, base angosta con el ápice ensanchado dando la apariencia de una espátula (Figura 12)

Figura 12

Hipandrio de Anastrepha fraterculus Wiedemann

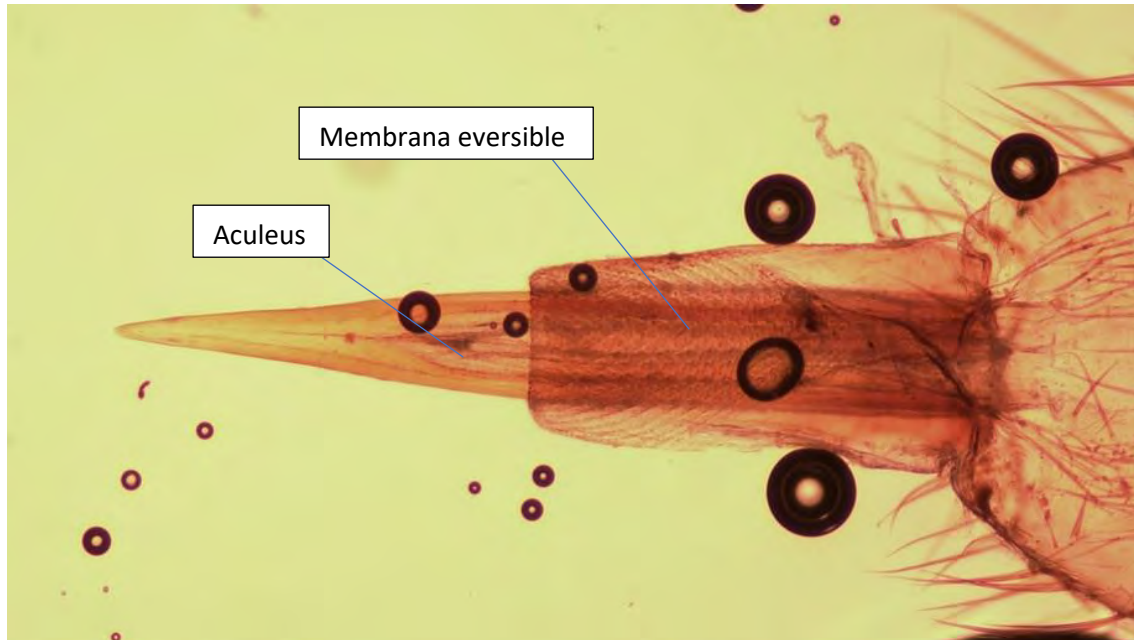


Nota: Elaborado a partir de fotografías de la genitalia

La membrana eversible ocupa casi 1/2 del ovipositor, el aculeus muestra varios dientes a lo largo del tercio apical (Fig. 13).

Figura 13

Membrana eversible y aculeus de Anastrepha fraterculus Wiedemann

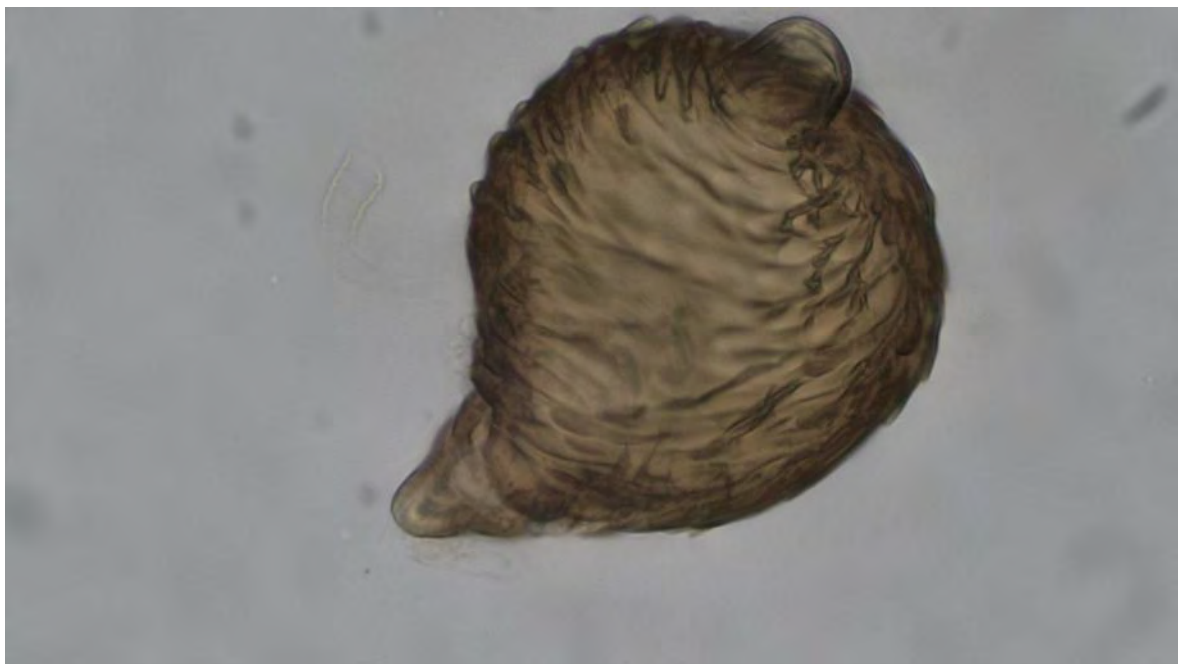


Nota: Elaborado a partir de fotografías de la genitalia

La espermateca es casi piriforme, con la superficie fuertemente cubierta de líneas irregulares (Figura 14).

Figura 14

Espermateca de Anastrepha fraterculus Wiedemann



3.1.2 *Rhagoletis psalida* Hendel

Diagnosis:

Frente de lados paralelos, tan ancha como los ojos, amarillo más oscuro hacia adelante;; cara blanco amarillenta, recta o convexa en vista lateral; tercer segmento antenal apuntado apicalmente; occipucio sin marca pardusca; scutum completamente negro, sin marcas tegumentarias pero con setulas de color dorado a blanco amarillento; escutelo negro brillante, con superficie dorsal uniformemente convexa; fémures casi enteramente negros excepto en los extremos apicales, tibias posteriores oscuras en el centro, el resto de las patas amarillo; banda apical anterior completo, unido a la banda preapical sin estrechamiento apreciable; celda R3 en unión de 2 bandas casi completamente oscura; banda apical posterior relativamente alargado, generalmente alcanzando el margen del ala pero a menudo no conectado al preapical banda; tergites II-IV en macho y II-V en hembra con ancho transversal amarillo a bandas marginales blancas (Figura 15).

Figura 15

Rhagoletis psalida Hendel

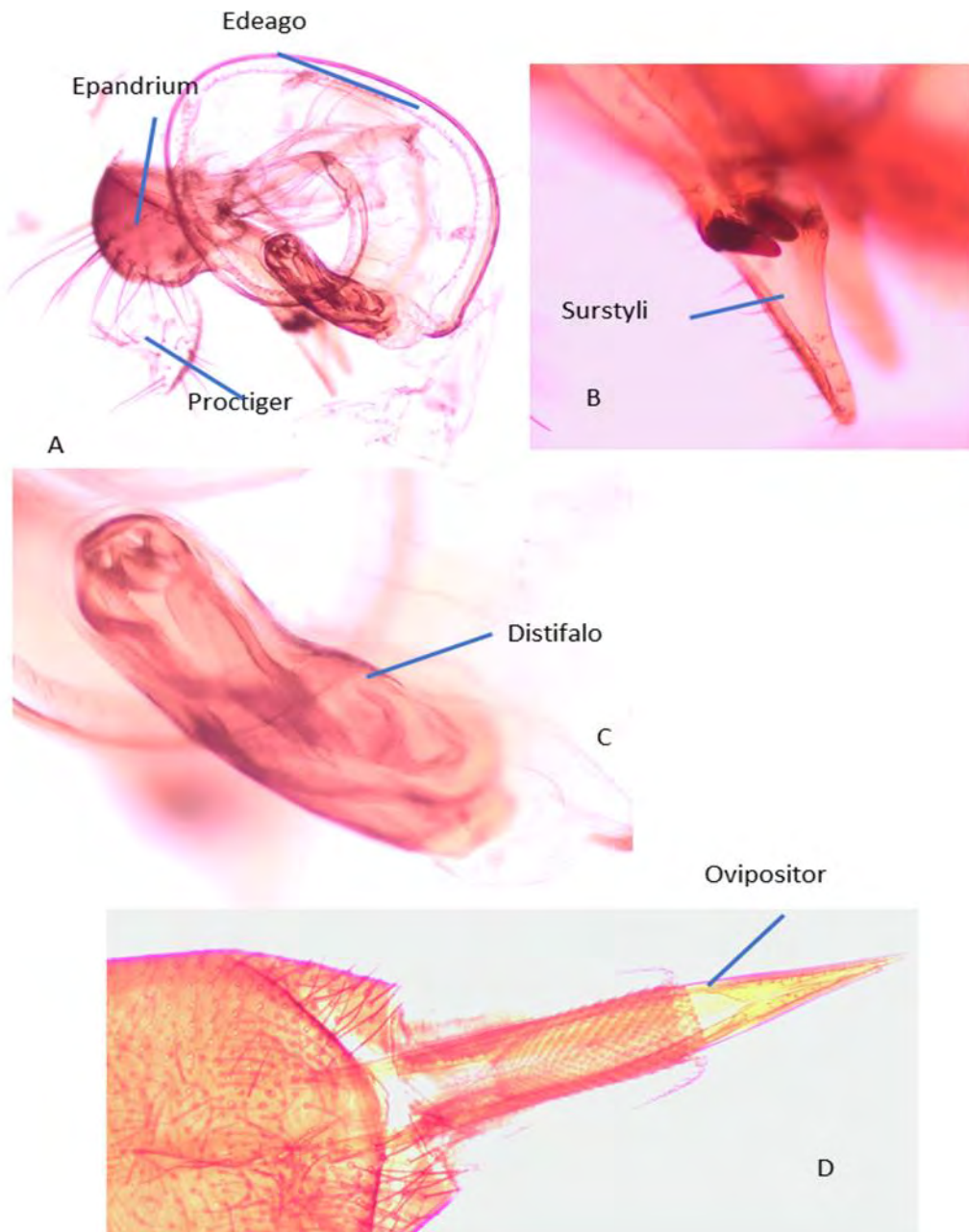


Epandrium apicalmente redondeado, con setas largas en el borde externo (Figura 16 A); proctiger menos desarrollado que el epandrium, con setas apicales más cortas (Figura 16 A), edeago enrollado con el borde inferior festoneado (Figura 16 A). Surstyli lateral con dos prenisetas negras, bien desarrolladas (Figura 16 B).

Distiphalo bien desarrollado, con escleritos negruzcos longitudinales (Figura 16 C), El ovipositor presenta el estuche de superficie irregular, ovipositor sin marcas distintivas, apicalmente agudo (Figura 16 D).

Figura 16

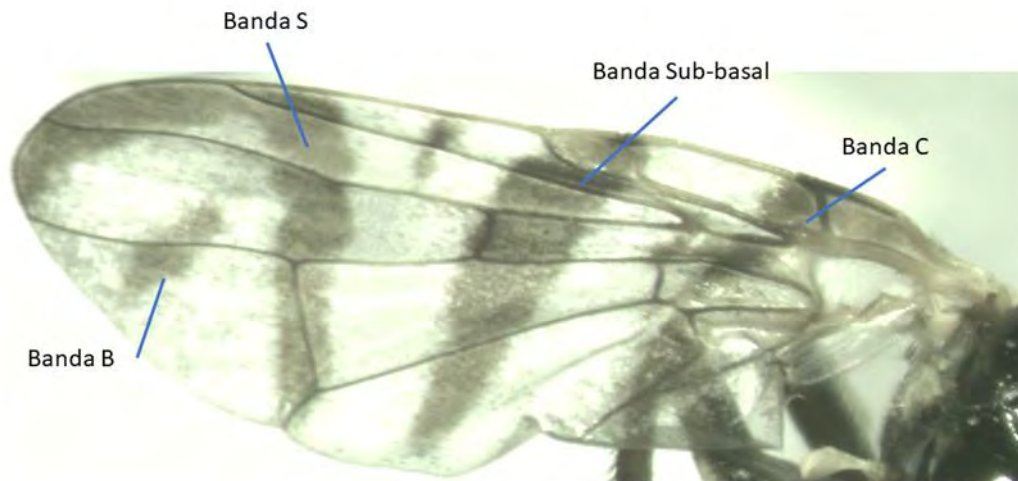
Genitalia de Rhagoletis psalida Hendel



Nota: Elaborado a partir de fotografías de la genitalia

La venación alar es típica de esta especie: la Banda C está separada de la banda Sub-basal por un área hialina, la Banda S no se une a la banda Sub-basal y alcanza el margen alar a la altura de vena M, la Banda S está representada por una pequeña mancha muy débil (Figura 17)

Figura 17
Patrón alar de Rhagoletis psalida



Nota: Elaborado en base a Korytkowski (2008)

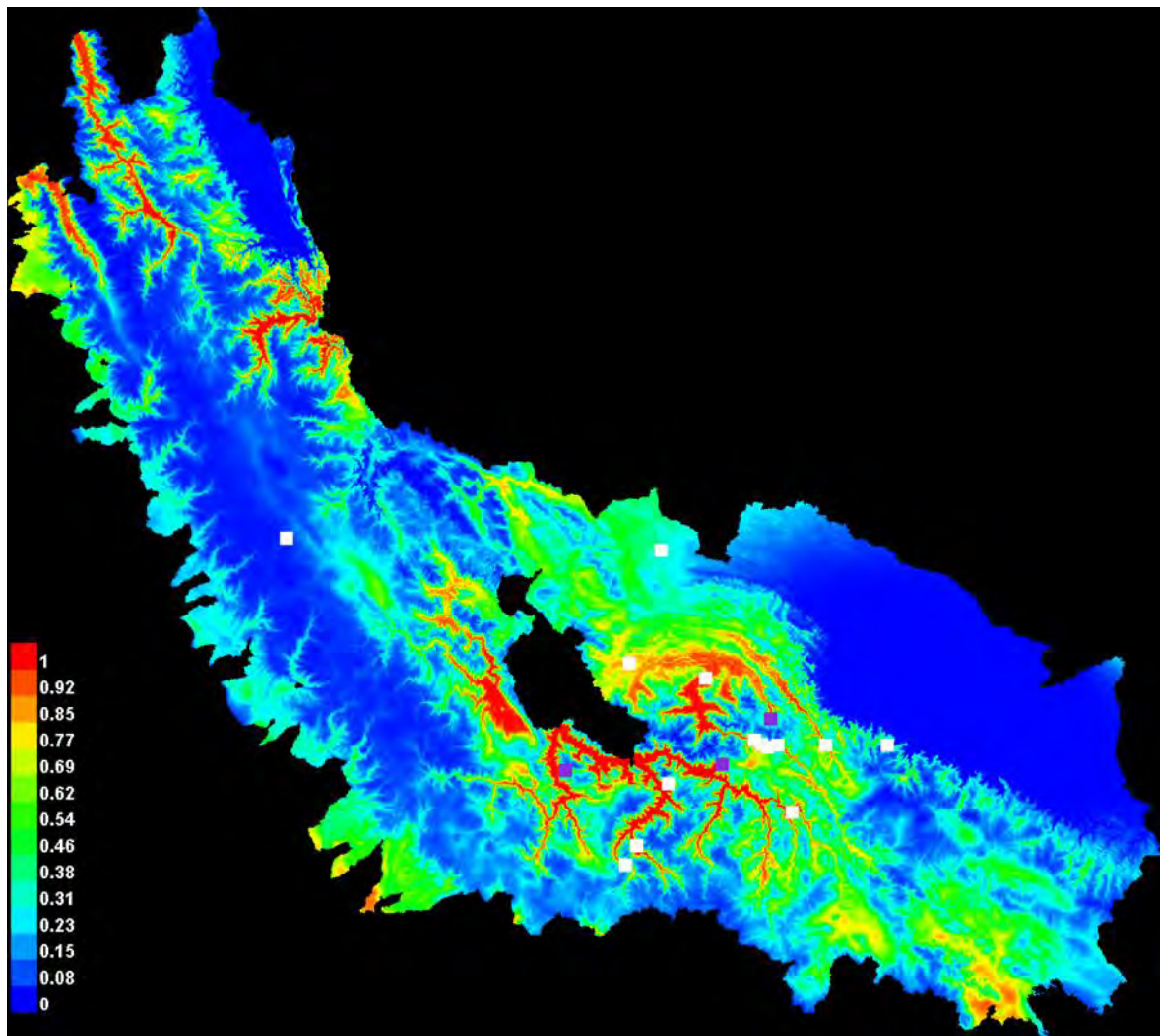
3.2 Distribución Potencial de dos especies de mosca de la fruta

3.2.1 Modelamiento de nicho de *Anastrepha fraterculus* con MAXENT

El modelamiento de nicho ecológico evidenció que *Anastrepha fraterculus* presenta una mayor idoneidad en áreas de valle intermedio y zonas asociadas a la red hidrográfica, con valores de probabilidad superiores a 0.6. Los registros de presencia coincidieron con sectores de idoneidad media y alta, lo que valida la predicción espacial del modelo. (figura 18 y 19).

Figura 18

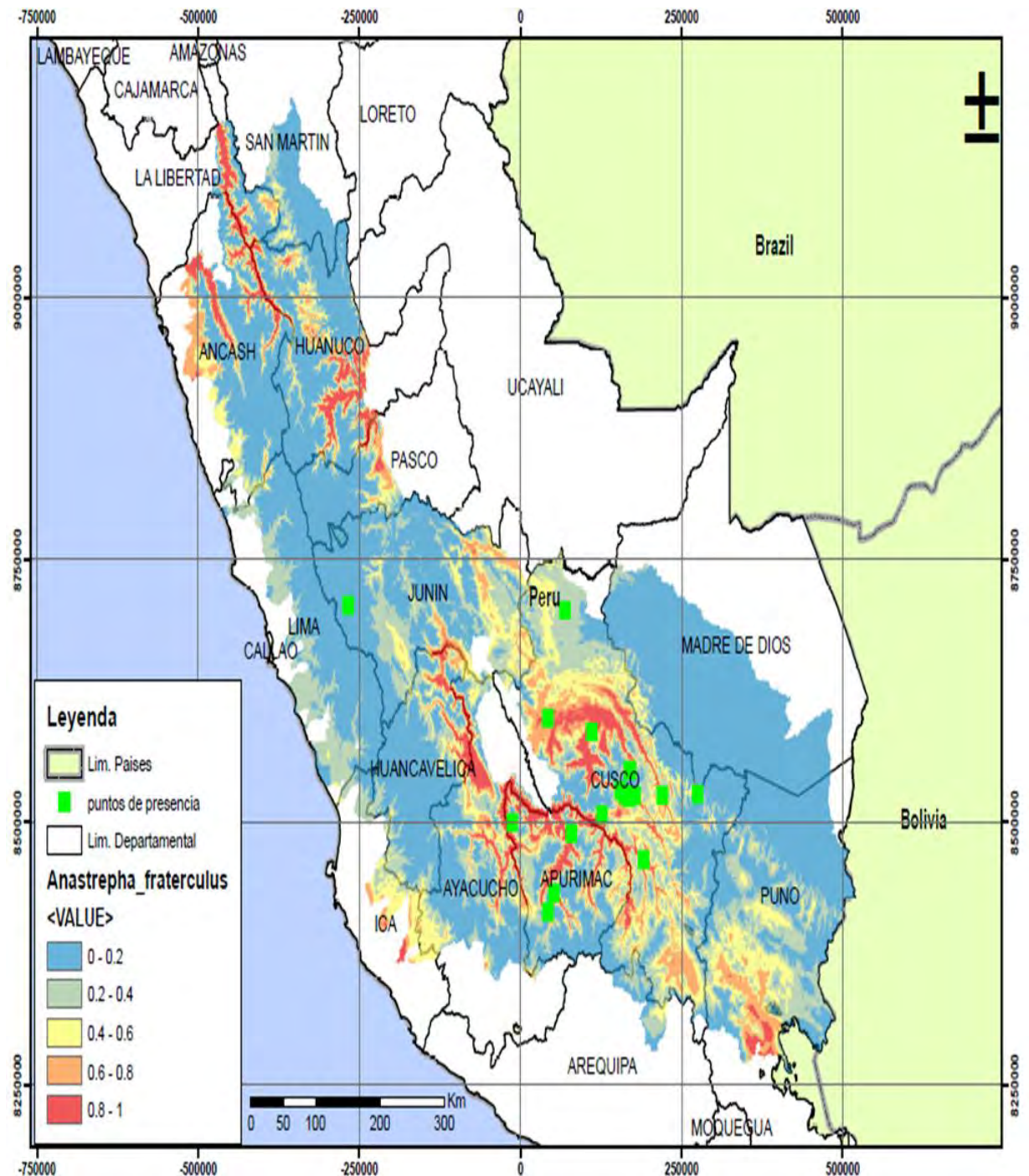
*Modelamiento de nicho para *Anastrepha fraterculus* en base a los datos analizados*



Nota: Elaborado mediante el software MaxEnt

Figura 19

Área M con puntos de presencia para Anastrepha fraterculus

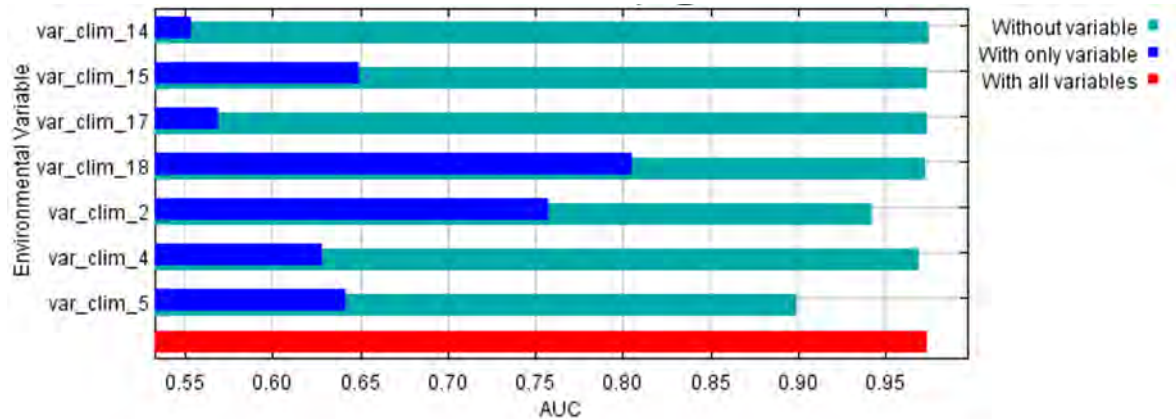


Nota: Elaborado en ArcGIS a partir de los resultados del modelo MaxEnt

El análisis Jackknife muestra que la variable que más aporta al usarse sola, es la variable bioclimática 18: precipitación del trimestre más caliente, explicando de mejor manera la distribución. Por su parte la variable 5 contiene información única y esencial, las variables 2 y 14 son de regular importancia y el resto complementarias. (Figura 20).

Figura 20

*Análisis Jackknife de las variables bioclimáticas para el modelamiento de nicho de *Anastrepha fraterculus**



Without variable: Sin la variable

With only variable: Solo con la variable

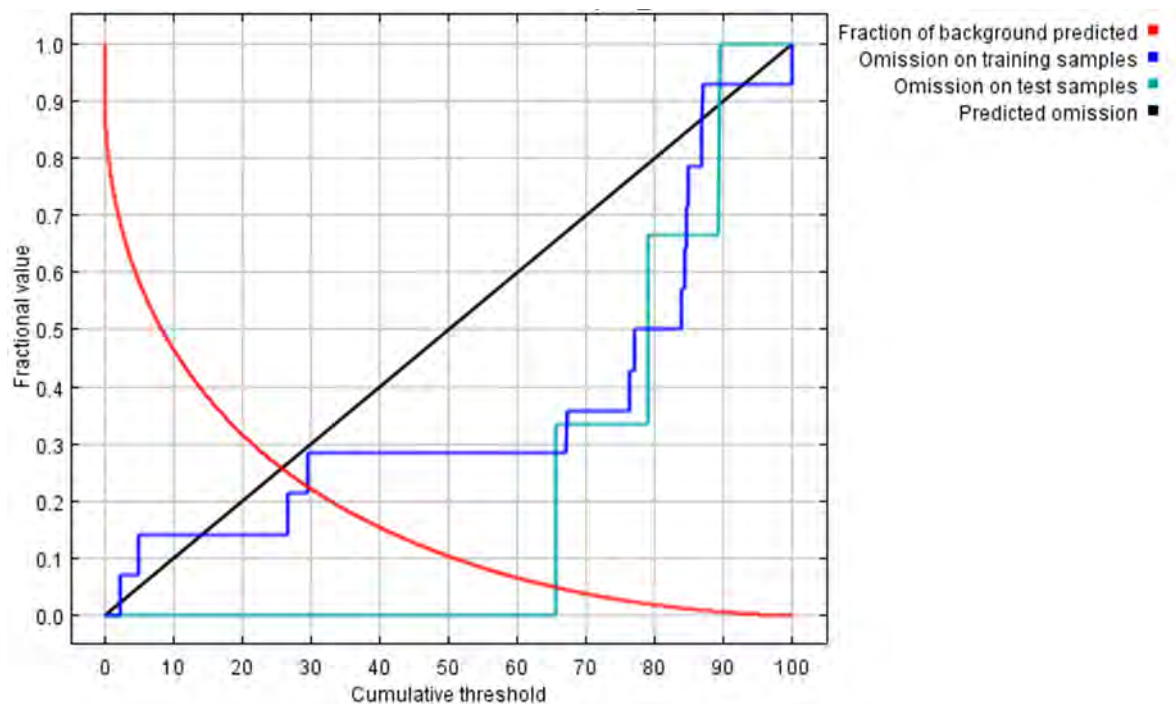
With all variables: Con todas las variables

El modelo tiene muy bajo error de omisión en entrenamiento y prueba, o sea que predice adecuadamente la distribución.

No hay evidencia de sobreajuste porque las pruebas de entrenamiento y prueba se comportan de manera similar. Las curvas cercanas a la línea negra confirman la coherencia del modelo y un comportamiento esperado. (Fig. 21).

Figura 21

*Omisión y área predicha para la distribución de *Anastrepha fraterculus**

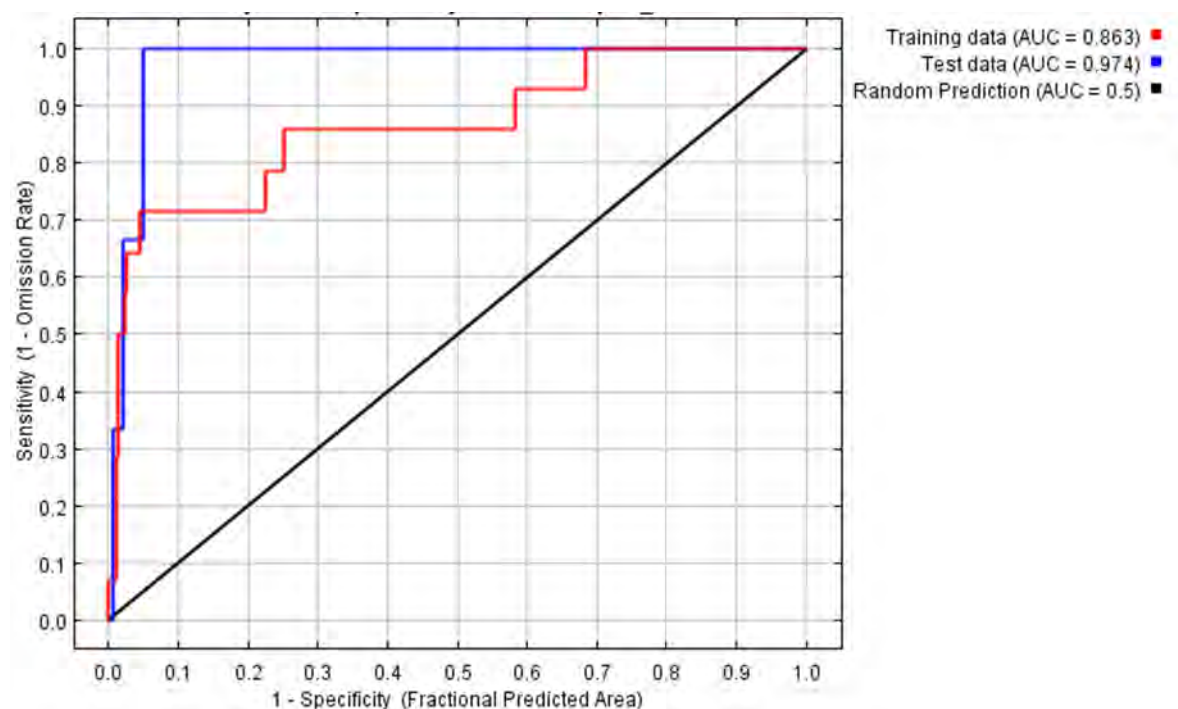


Fraction of background predicted: Fracción del fondo predicho
 Omission on training simples: Omisión en las muestras de entrenamiento
 Omission on test simples: Omisión en las muestras de prueba
 Predicted omission: Omisión predicha

El área bajo la curva (AUC) de entrenamiento = 0.863, indica que el modelo distingue bien entre presencia y fondo en los datos de entrenamiento. El AUC de prueba = 0.974, indica que tiene gran capacidad predictiva en los datos de prueba, por lo tanto, el modelo generaliza bien. Los valores muestran que el modelo es robusto y confiable, a pesar del número reducido de registros que son 14 para entrenamiento y 3 para prueba. (Figura 22)

Figura 22

Proporción del conjunto de datos y error estandarizado del área bajo la curva (AUC)



Sensibilidad vs. 1-especificidad para *Anastrepha fraterculus*

Training data (AUC = 0.863): Datos de entrenamiento (AUC = 0.863)

Test data (AUC = 0.974): Datos de prueba (AUC = 0.974)

Random Prediction (AUC = 0.5): Predicción aleatoria (AUC = 0.5)

De acuerdo al modelado generado por MaxEnt, seis fueron las variables más sensibles y más importantes que limitan la distribución de *Anastrepha fraterculus*: Temperatura máxima del mes más caliente, Precipitación del trimestre más caliente, Precipitación del mes más seco, Rango medio diurno, Temperatura estacional y Precipitación del trimestre más seco. (tabla 5).

Tabla 5*Variables bioclimáticas y su aportación al modelo de *Anastrepha fraterculus**

Variable	Porcentaje de contribución	Importancia de la permutación
Temperatura máxima del mes más caliente. Var. 5	33.1	73.3
Precipitación del trimestre más caliente. Var. 18	21.1	7.5
Precipitación del mes más seco. Var. 14	20.7	0
Rango medio diurno (media mensual (temperatura máxima – temperatura mínima). Var. 2	16.2	15
Temperatura estacional (desviación estándar *100) Var. 4	5.5	0
Precipitación del trimestre más seco. Var. 17	3.1	4.2
Estacionalidad de la precipitación (Coeficiente de variación). Var. 15	0.2	0

Nota: Elaborado a partir de los resultados del modelo MaxEnt

El mapa de modelamiento generado por MaxEnt (figura 23), con probabilidad de presencia de *Anastrepha fraterculus*, muestra diversos rangos de tonalidad, siendo los colores rojos las zonas con mayor probabilidad de presencia, mientras que los colores fríos representan baja o ninguna posibilidad de presencia.

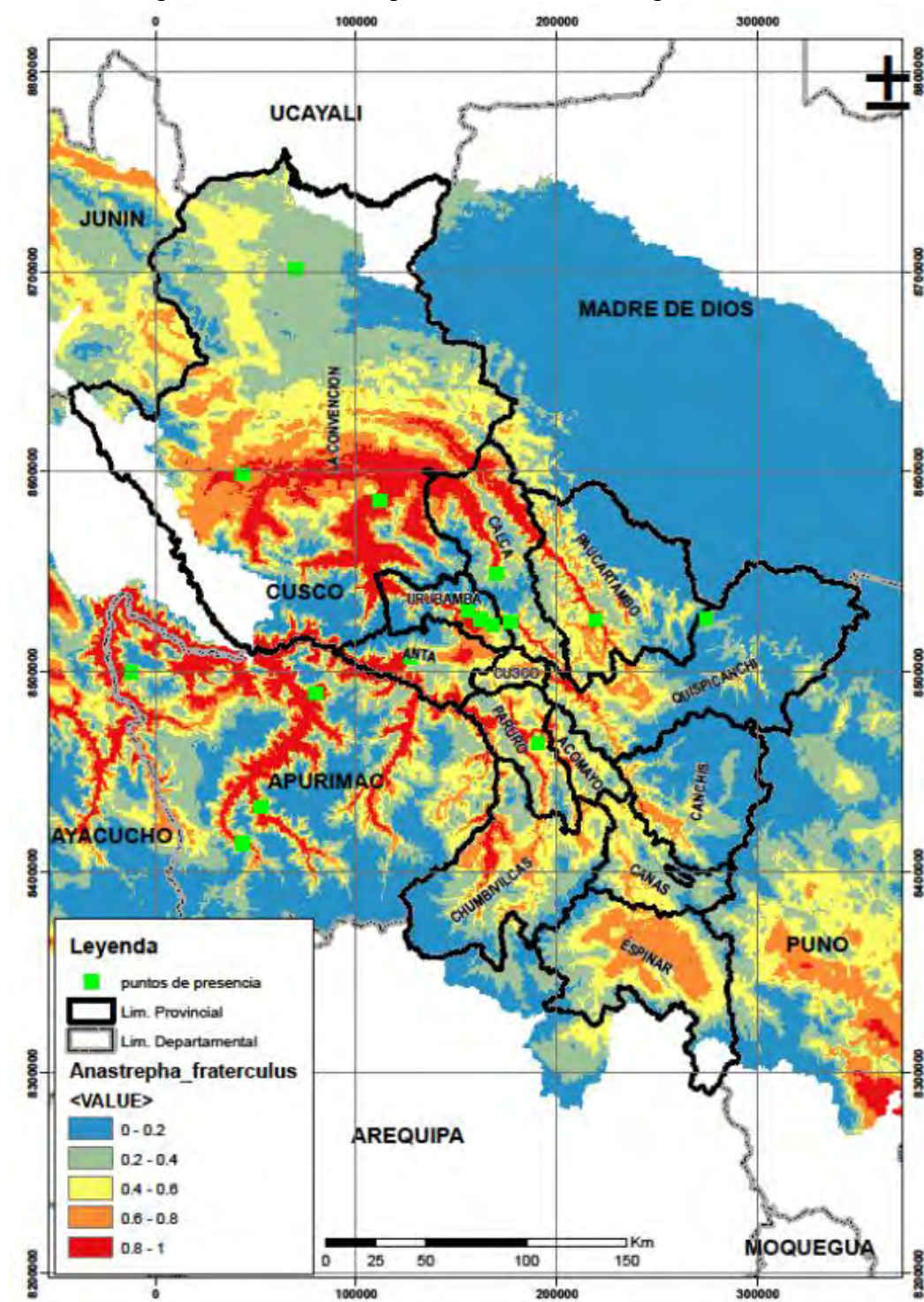
Para *Anastrepha fraterculus* el modelo de disponibilidad ambiental delimitó la predicción de las condiciones adecuadas.

La Convención, presenta amplias áreas con valores altos de (0.6 – 1), sobre todo en la ceja de selva y zonas bajas, siendo la provincia con mayor idoneidad para la presencia de la especie; mientras que las provincias de Calca, Urubamba, Anta y Paruro, en algunas áreas presentan también valores de (0.6 – 1) pero en menor extensión territorial, indicando que serían también lugares idóneos de distribución potencial. En las provincias de Cusco, Acomayo, Quispicanchis, Chumbivilcas, Espinar, Canchis y Paucartambo aparecen zonas

con idoneidad intermedia con valores de (0.4 – 0.8), y áreas que se encuentran valores de (0 – 0.4), indica que no son áreas favorables para la especie.

Figura 23

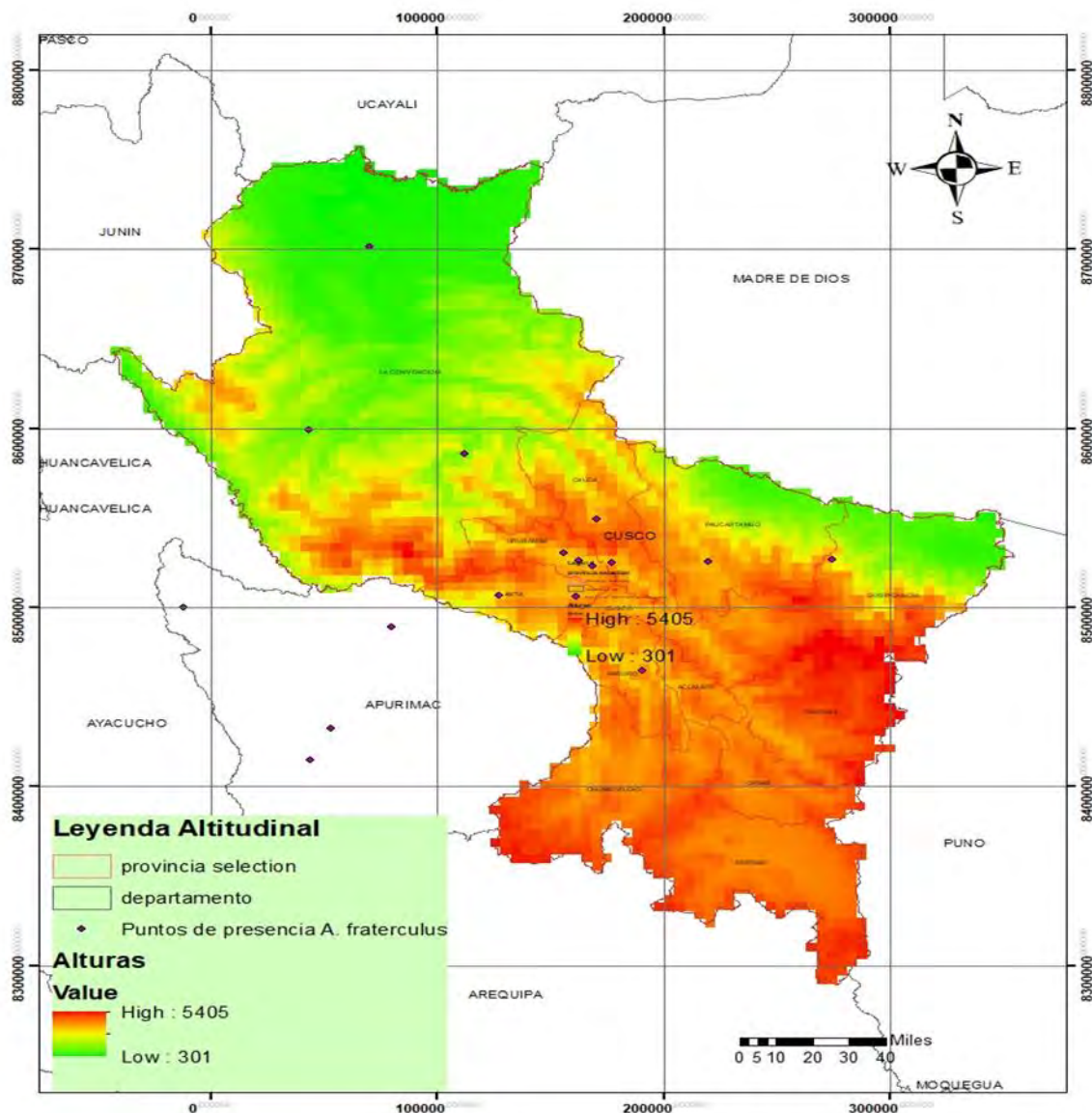
Distribución potencial de *Anastrepha fraterculus* en el departamento del Cusco



Nota: Elaborado en el programa ArcGIS a partir de los resultados del modelo MaxEnt

El mapa evidencia que el departamento del Cusco tiene un rango altitudinal de 301 a 5405 m.s.n.m., con mayor presencia en zonas intermedias del departamento de Cusco. Los puntos de registro se concentran principalmente en áreas agrícolas de valles interandinos, aunque también aparecen en sectores de menor y mayor altitud. Esto confirma su amplia plasticidad ecológica frente al gradiente altitudinal. (figura 24).

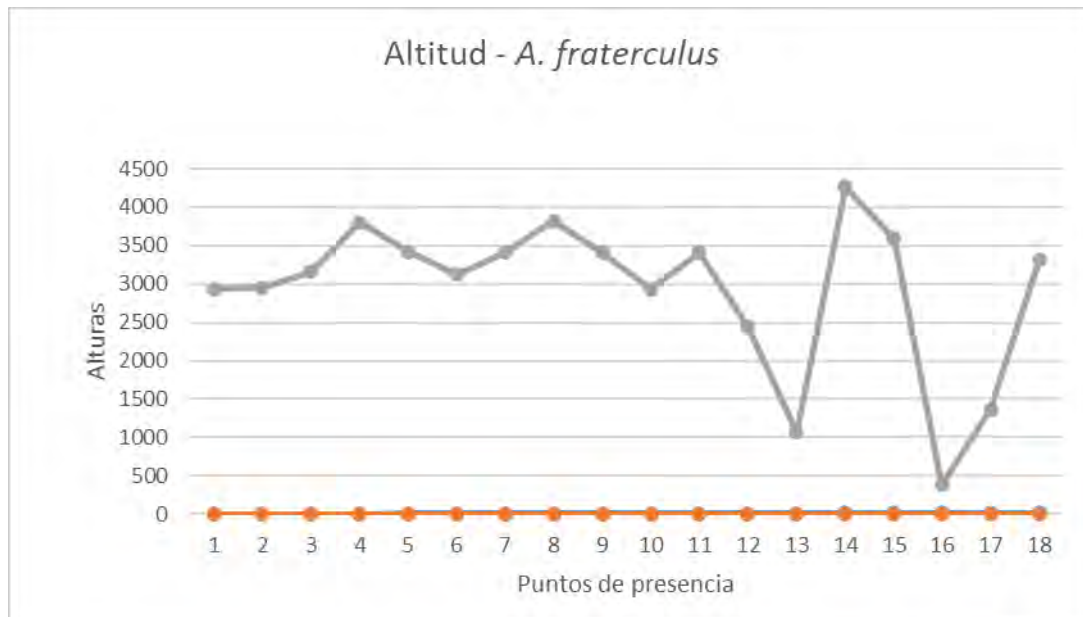
Figura 24
*Distribución altitudinal de *Anastrepha fraterculus**



Se observa que *A. fraterculus* se encuentra en un rango altitudinal amplio, entre los 300 y más de 4000 m.s.n.m., con mayor frecuencia de registros en altitudes intermedias (3000 – 3800 m.s.n.m.). Se observa una marcada variabilidad en los puntos de presencia, lo que evidencia su capacidad de adaptación a diferentes pisos ecológicos. Además, destacan registros aislados en altitudes extremas, cercanas a los 400 y 1000 (Figura 25).

Figura 25

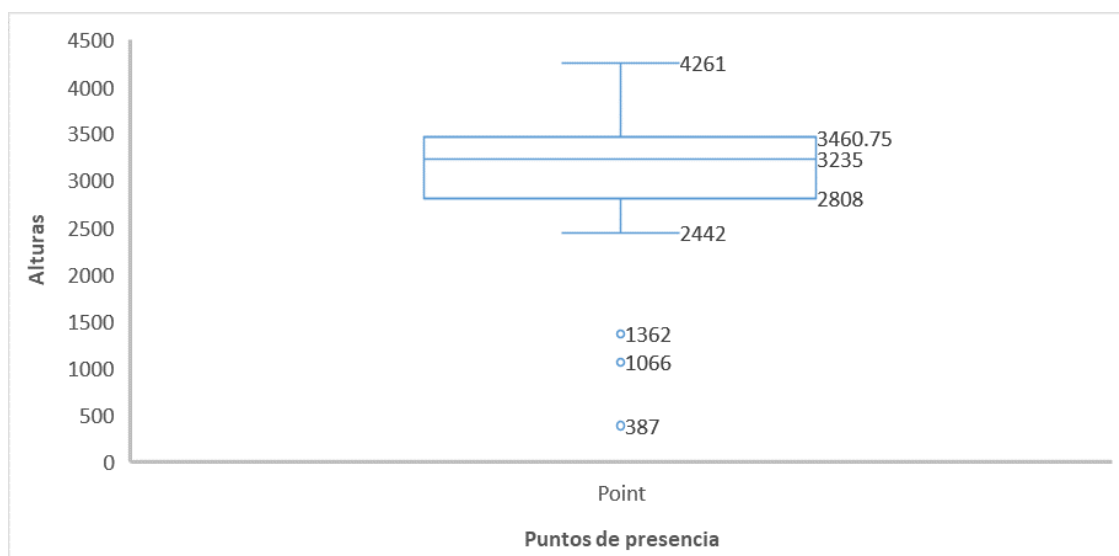
Gráfico altitudinal de Anastrepha fraterculus



El análisis altitudinal de los puntos de presencia en el BoxPlot mostró una distribución concentrada principalmente entre los 2808 y 3460.75 m., con una mediana de 3235 m. (Figura 26). Los valores mínimos y máximos dentro del rango esperado se ubicaron en 2442 m. y 4261 m., respectivamente. Asimismo, se identificaron registros considerados como valores atípicos a 387, 1066 y 1362 m.s.n.m., correspondientes a altitudes significativamente más bajas que el rango central de distribución.

Figura 26

Boxplot de análisis altitudinal para A. fraterculus



Mapa de distribución térmica de *Anastrepha fraterculus*



El análisis de la variable temperatura para *A. fraterculus* mostró fluctuaciones marcadas entre los diferentes puntos evaluados (Figura 28). Los valores oscilaron entre un mínimo de 5.4 °C y un máximo de 25 °C, con una tendencia general de variación entre los 10 y 16 °C en la mayoría de los registros. Sin embargo, se observaron incrementos puntuales que alcanzaron valores superiores a los 20 °C en algunos casos (puntos 13, 16 y 17), lo que indica la existencia de condiciones térmicas heterogéneas en el área de estudio.

Figura 28

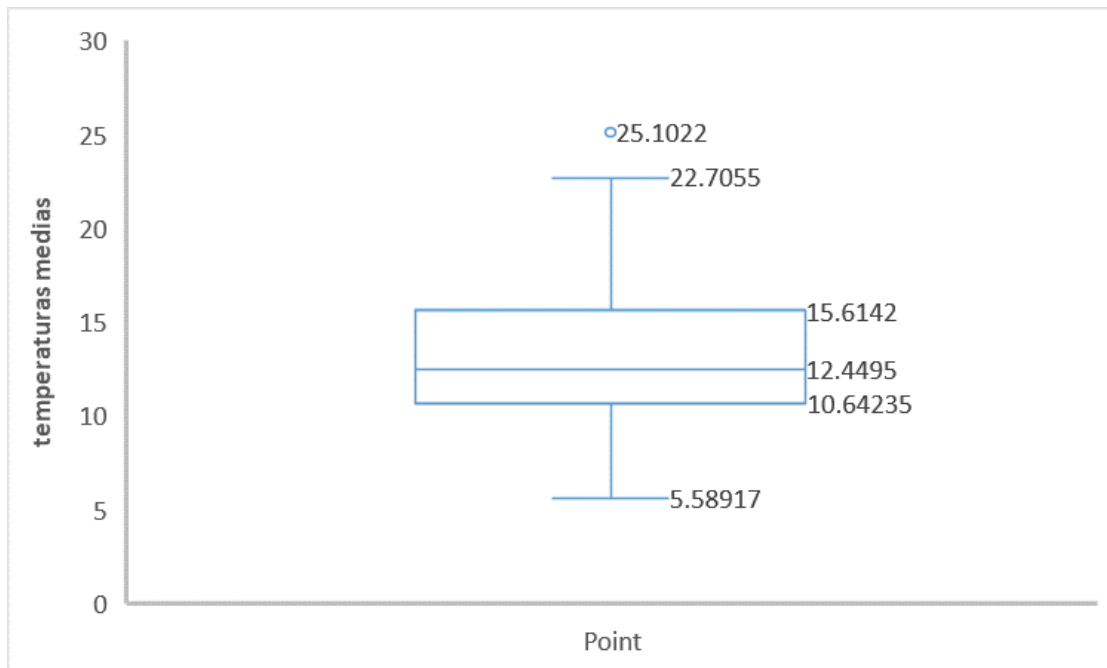
Gráfico de distribución térmica *A. fraterculus*



El análisis de la variable térmica mediante boxplot mostró que la mayoría de las temperaturas medias se concentraron en un rango entre 10.64 °C y 15.61 °C, con una mediana de 12.44 °C (Figura 29). El valor mínimo registrado dentro del rango esperado fue de 5.58 °C, mientras que el máximo alcanzó los 22.70 °C. Asimismo, se identificó un valor atípico correspondiente a 25.10 °C, el cual se encuentra por encima del límite superior del rango intercuartílico.

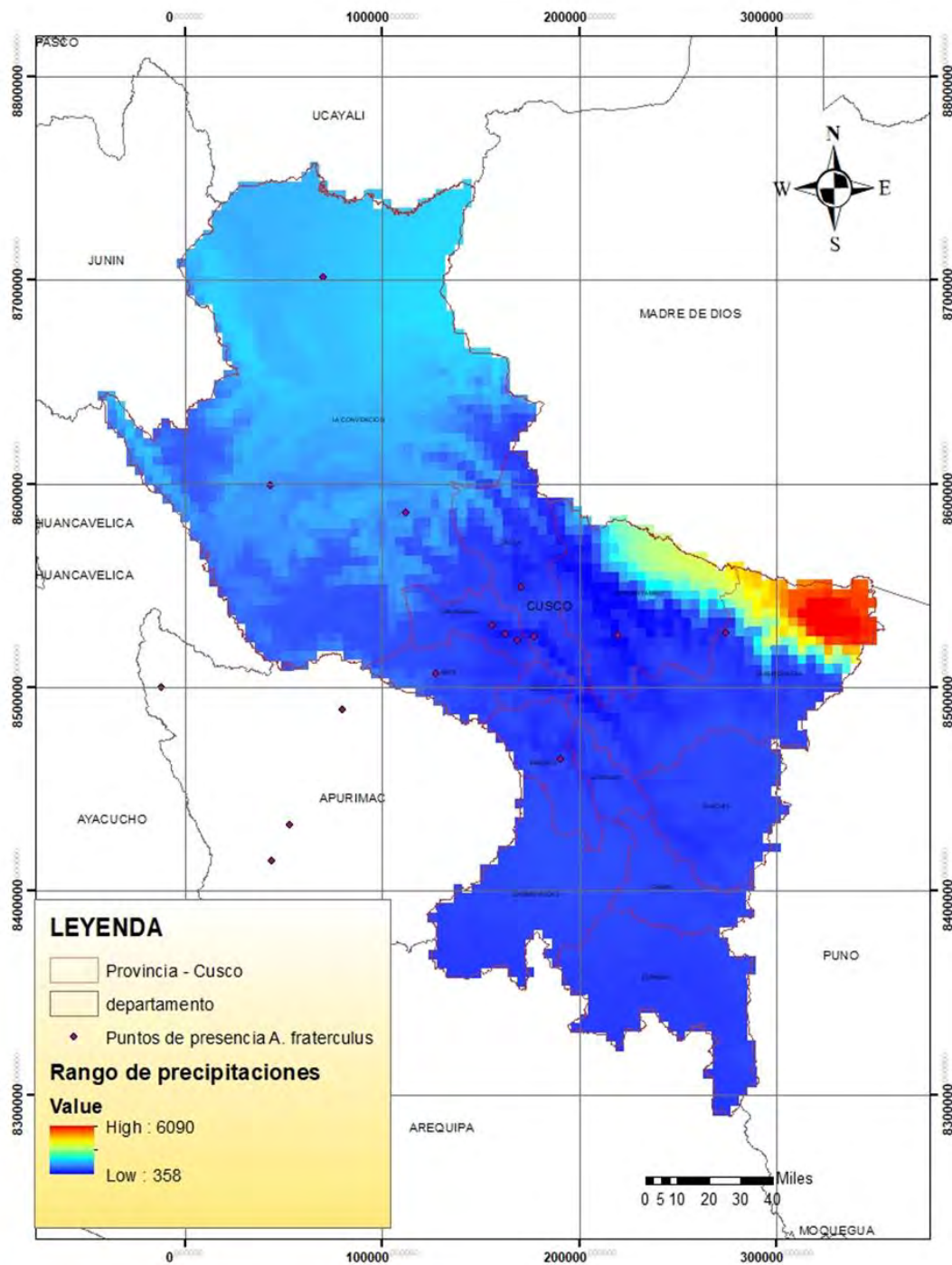
Figura 29

Boxplot de análisis de distribución térmica para Anastrepha fraterculus



El análisis para la variable de precipitaciones muestra que en el departamento del Cusco los valores de precipitación varían de 358 mm a 6090 mm (Figura 30), fluctuando los puntos de presencia entre 632 mm y 1044 mm.

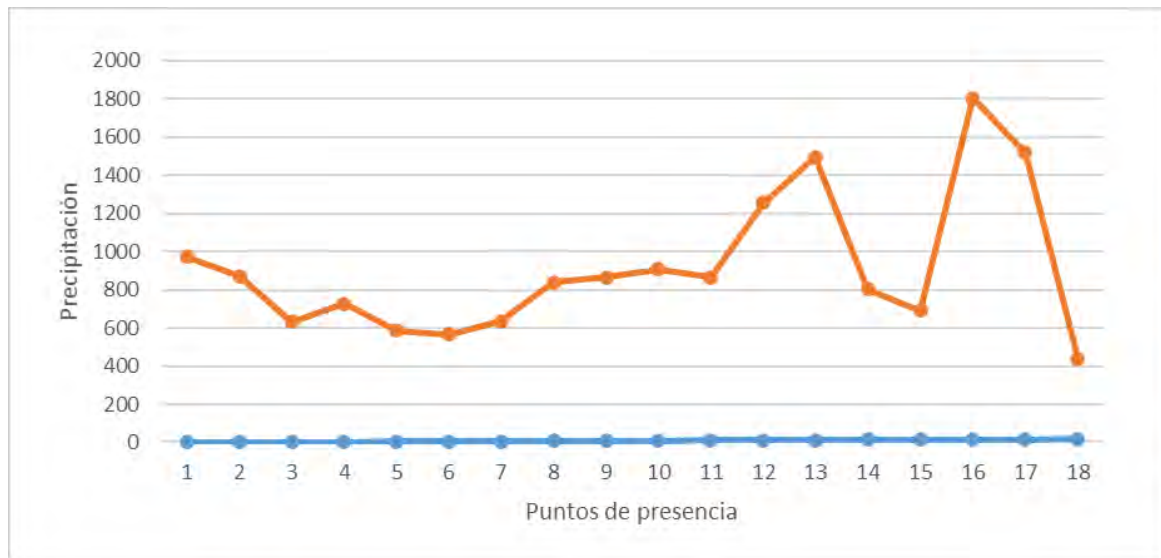
Figura 30
Mapa de precipitaciones para *A. fraterculus*



El análisis de la variable de precipitaciones para *A. fraterculus* mostró fluctuaciones marcadas entre los diferentes puntos evaluados (Figura 31). Los valores oscilaron entre un mínimo de 438 mm y un máximo de 1801 mm, con una tendencia general de variación entre los 850 mm.

Figura 31

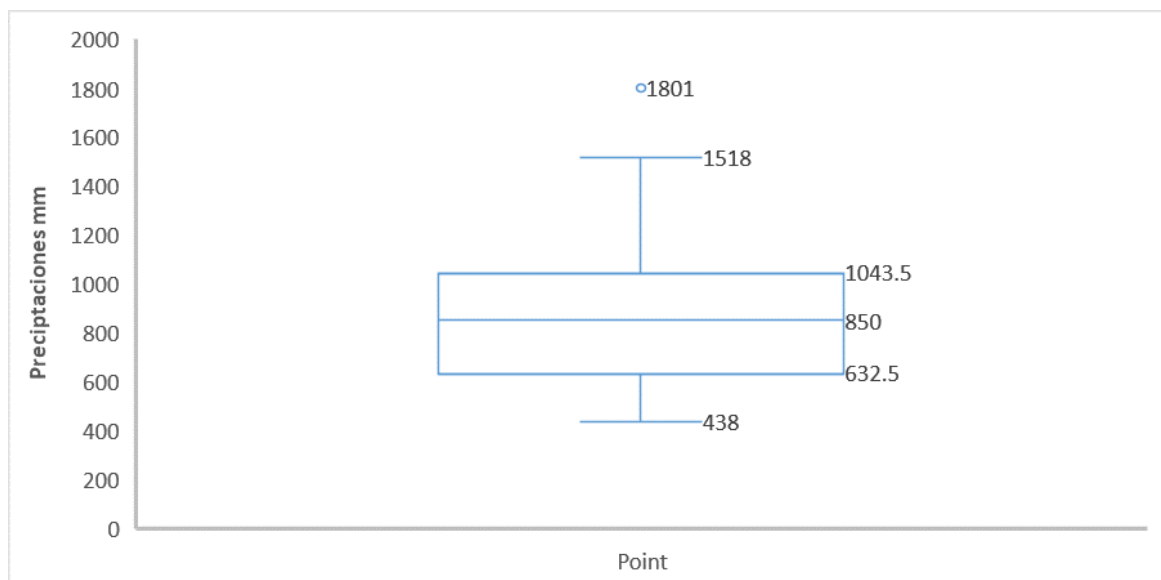
Grafico de fluctuación de precipitación para A. fraterculus



El análisis de la variable Precipitación mediante boxplot mostró que la mayoría de las precipitaciones medias se concentraron en un rango entre 632.5 mm y 1043.5 mm, con una mediana de 850 mm (Figura 32). El valor mínimo registrado dentro del rango esperado fue de 438 mm, mientras que el máximo alcanzó los 1518 mm. Asimismo, se identificó un valor atípico correspondiente a 1801 mm, el cual se encuentra por encima del límite superior del rango intercuartílico.

Figura 32

Boxplot de precipitación por puntos de presencia de A. fraterculus



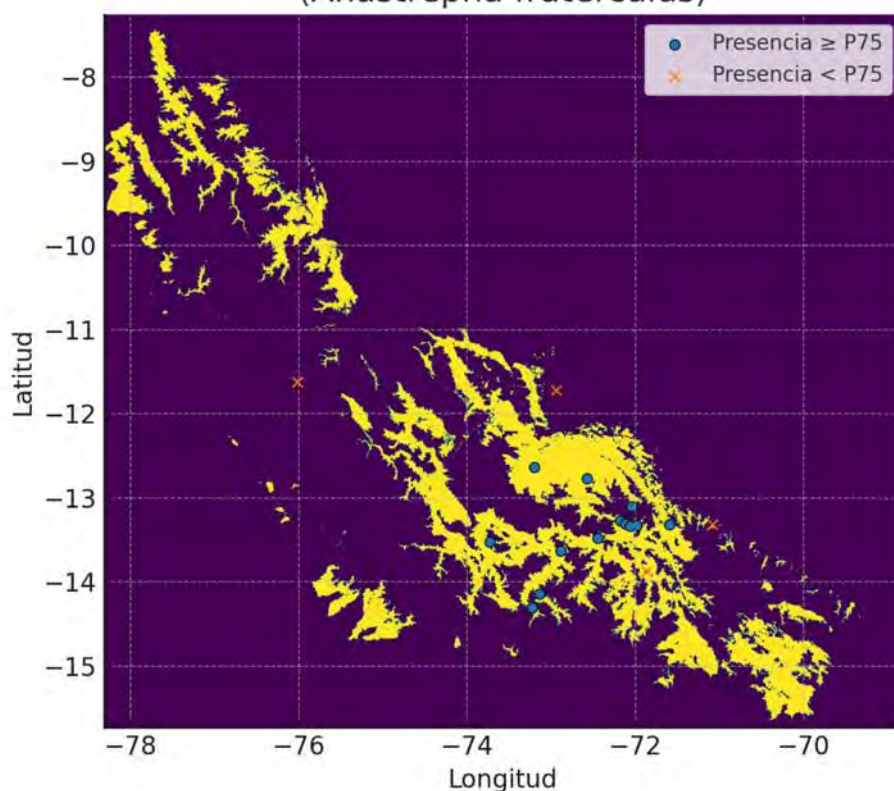
Los resultados obtenidos al hacer el análisis del diagrama BAM y mapa de adecuación climática (MaxEnt) con puntos de presencia (figura 33), muestran:

- Umbral P75 (ráster válido): 0.433588
- Presencias dentro del ráster: 17
- Presencias P75: 13
- Celdas adecuadas (P75): 110933
- Total, celdas válidas: 443729

Figura 33

Mapa de adecuación climática

Área climáticamente adecuada ($\geq P75 = 0.4336$) y presencias (*Anastrepha fraterculus*)



El umbral P75 proporciona un balance entre sensibilidad y especificidad, identificando regiones con alta adecuación relativa sin restringirse únicamente a los máximos. En este caso, 13 de 17 presencias se ubican en celdas P75, lo que indica coherencia entre el modelo de adecuación y los registros. El número de celdas adecuadas (110933) sugiere una distribución potencial concentrada pero continua dentro del área de estudio. El diagrama BAM recuerda que la distribución observada (G) depende de la intersección entre: A (condiciones abióticas adecuadas), B (interacciones bióticas favorables) y M (acceso por

dispersión) (Figura 34) Los modelos de nicho estimaron la idoneidad ambiental de la especie a partir de variables climáticas, representando principalmente el componente A del marco BAM. Por lo tanto, las áreas predichas como adecuadas deben interpretarse como distribución potencial, ya que factores bióticos (B) y restricciones de dispersión (M) no fueron evaluados explícitamente. En consecuencia, la distribución observada de la especie correspondería al subconjunto donde coinciden condiciones ambientales favorables, interacciones bióticas adecuadas y accesibilidad histórica.

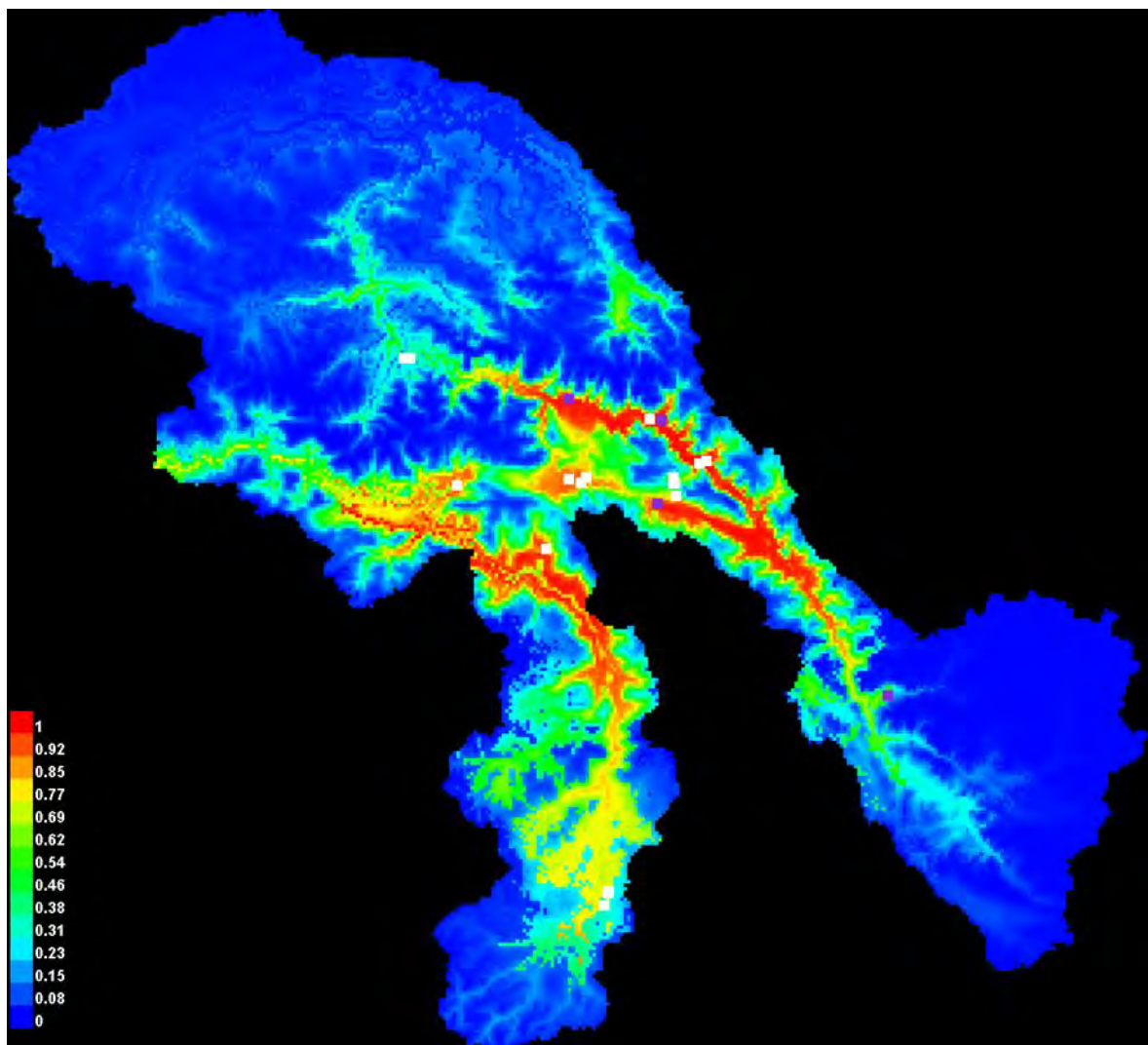
3.2.2 Modelamiento de nicho para *Rhagoletis psalida* con MAXENT

El modelamiento de nicho para *Rhagoletis psalida* muestra que hay zonas con alta probabilidad para la presencia de esta especie principalmente en lugares con mayor altitud en el Departamento del Cusco.

El mapa de modelamiento generado por MaxEnt, con probabilidad de presencia de *Rhagoletis psalida*, muestra diversos rangos de tonalidad, siendo los colores rojos las zonas con mayor probabilidad de presencia, mientras que los colores fríos representan baja o ninguna posibilidad de presencia (figura 34).

Figura 34

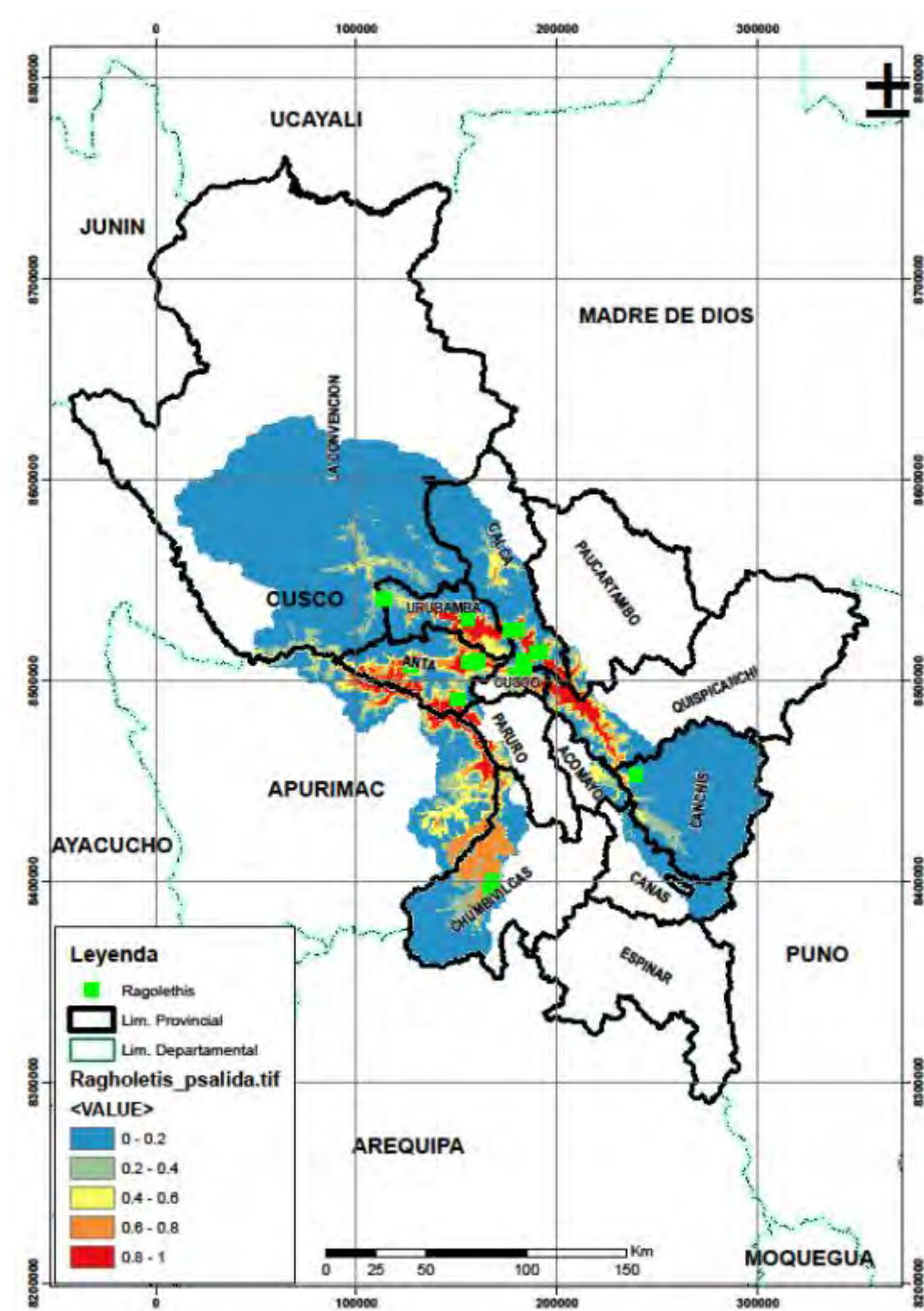
Modelamiento de nicho para Rhagoletis psalida



Nota: Elaborado mediante el software MaxEnt

Figura 35

*Área M con puntos de presencia para *Rhagoletis psalida**

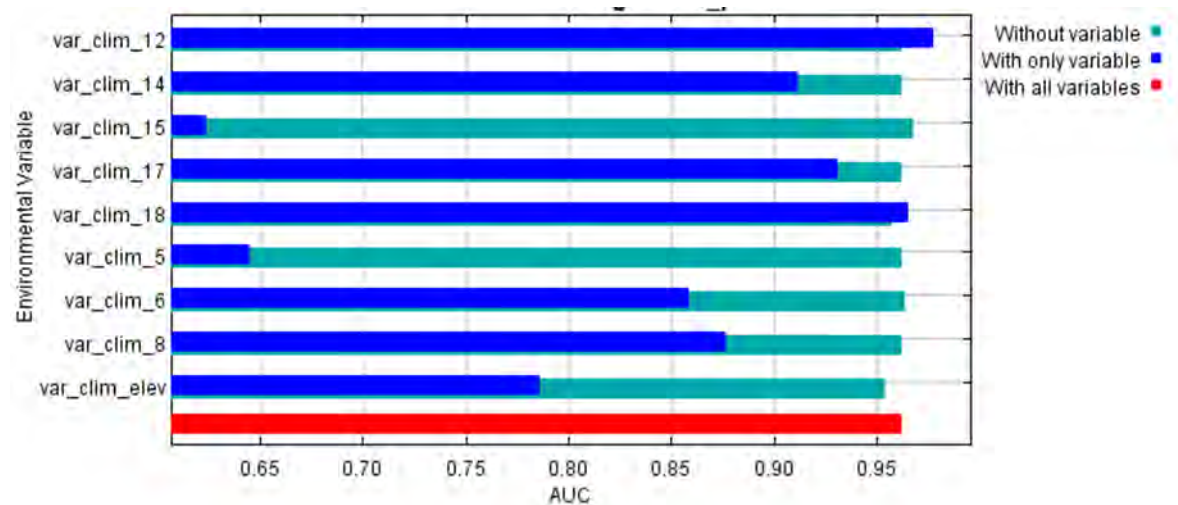


Nota: Elaborado en ArcGIS a partir de los resultados del modelo MaxEnt

El análisis Jackknife muestra que la variable que más aporta al usarse sola es la variable bioclimática 18, que explica bien por si sola la distribución. La variable bioclimática 15 es la que más reduce la ganancia al omitirse, por lo tanto, contiene información única, la elevación también aporta significativamente al excluirla. La variable bioclimática 5 tiene buen desempeño sola aporta señal útil, las demás variables tienen poco aporte al modelo (Figura 36).

Figura 36

*Análisis Jackknife de las variables climáticas para el modelamiento de nicho de *Rhagoletis psalida* Hendel*



Without variable: Sin la variable

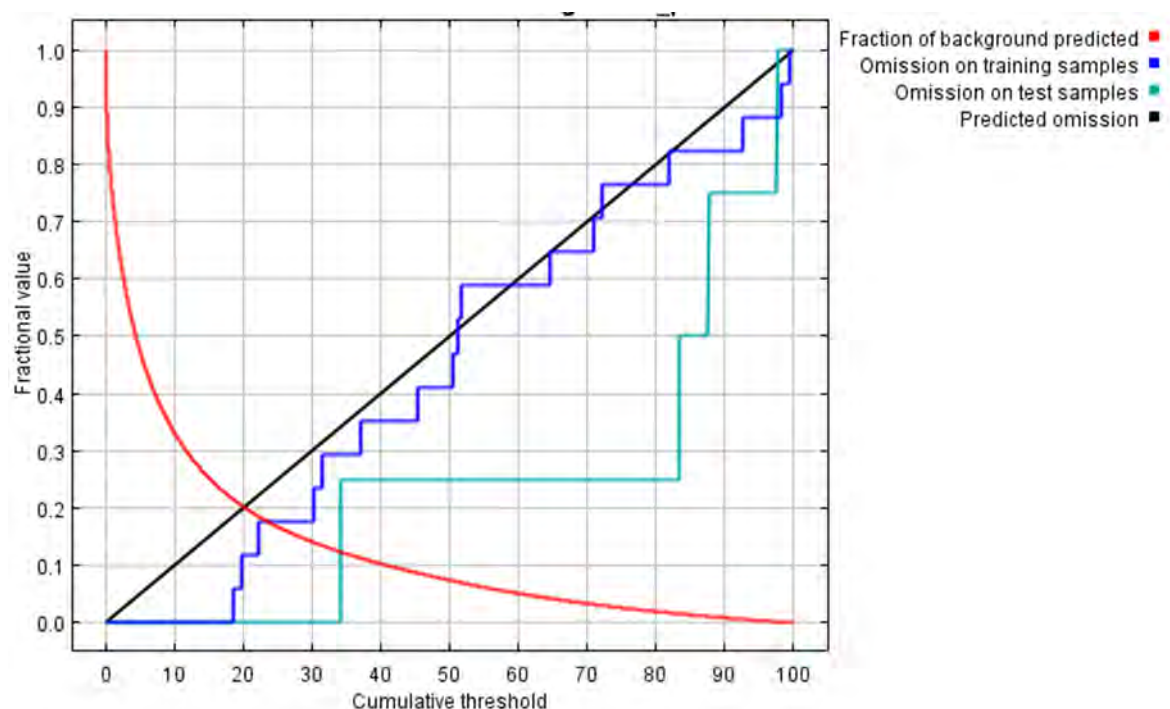
With only variable: Solo con la variable

With all variables: Con todas las variables

El análisis de omisión mostró que el modelo de distribución potencial de *Rhagoletis psalida* presenta una alta capacidad predictiva, con tasas de omisión cercanas o iguales a lo esperado bajo diferentes umbrales acumulativos. Estos resultados confirman que el modelo predice de manera confiable la distribución de la especie y que las variables ambientales seleccionadas describen de forma adecuada su nicho ecológico. (figura 37).

Figura 37

Omisión y área predicha para la distribución de Rhagoletis psalida



Fraction of background predicted: Fracción del fondo predicho

Omission on training samples; Omisión en las muestras de entrenamiento

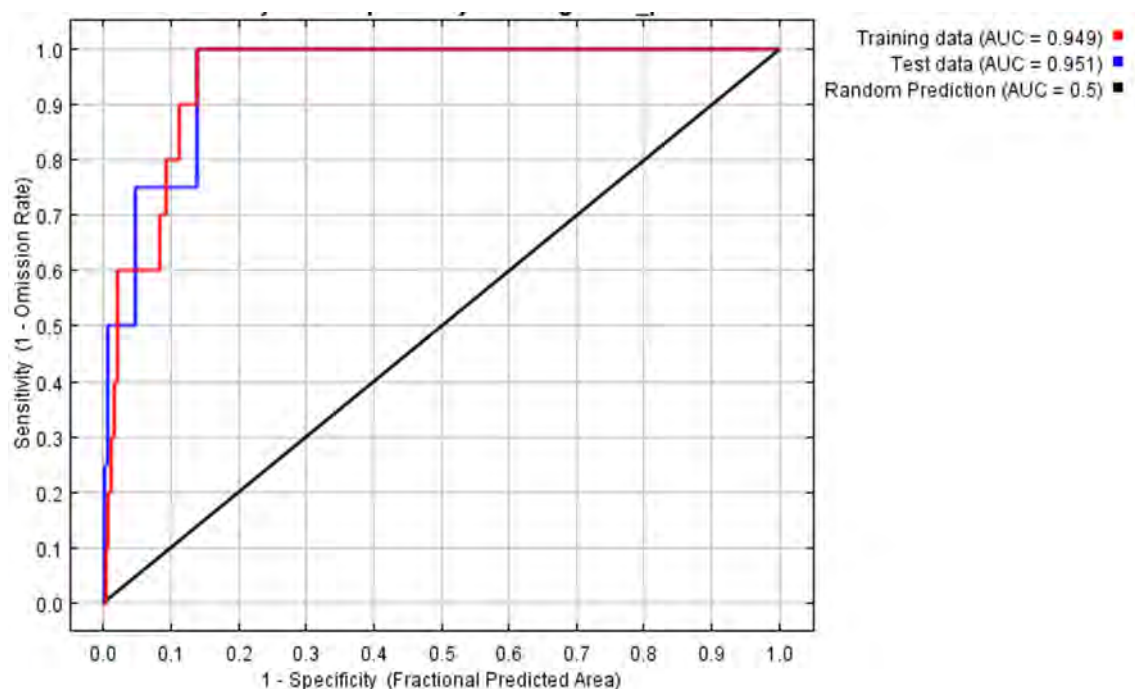
Omission on test samples; Omisión en las muestras de prueba

Predicted omission: Omisión predicha

La curva AUC evidenció que el modelo de distribución potencial de *Rhagoletis psalida* tiene un alto poder de discriminación entre sitios de presencia y de fondo. El valor de AUC obtenido en entrenamiento fue de 0.916, mientras que en datos de prueba fue de 0.962, lo que ubica al modelo en la categoría de desempeño excelente. Estos resultados confirman que las variables ambientales seleccionadas describen de manera precisa el nicho de la especie y que el modelo presenta una adecuada capacidad de generalización. (Figura 38).

Figura 38

Proporción del conjunto de datos y error estandarizado del área bajo la curva (AUC)



Sensibilidad vs. 1-especificidad para *Rhagoletis psalida*

Training data (AUC = 0.863): Datos de entrenamiento (AUC = 0.863)

Test data (AUC = 0.974): Datos de prueba (AUC = 0.974)

Random Prediction (AUC = 0.5): Predicción aleatoria (AUC = 0.5)

De acuerdo al modelo generado por MaxEnt la precipitación del trimestre más cálido con 44.9% fue la variable que más influyó en la construcción del modelo, también la precipitación del mes más húmedo con 20.9% y la precipitación del trimestre más seco (19.2%) tuvieron gran aporte en el modelo, lo que indica que el ciclo de lluvias es un determinante principal de la distribución de la especie. La precipitación del trimestre más húmedo con 7.4 % y la elevación con 4.1% tienen contribución baja al modelo. El resto de variables no aportan información relevante (Tabla 6).

Tabla 6*Variables bioclimáticas y su aportación al modelo de *Rhagoletis psalida**

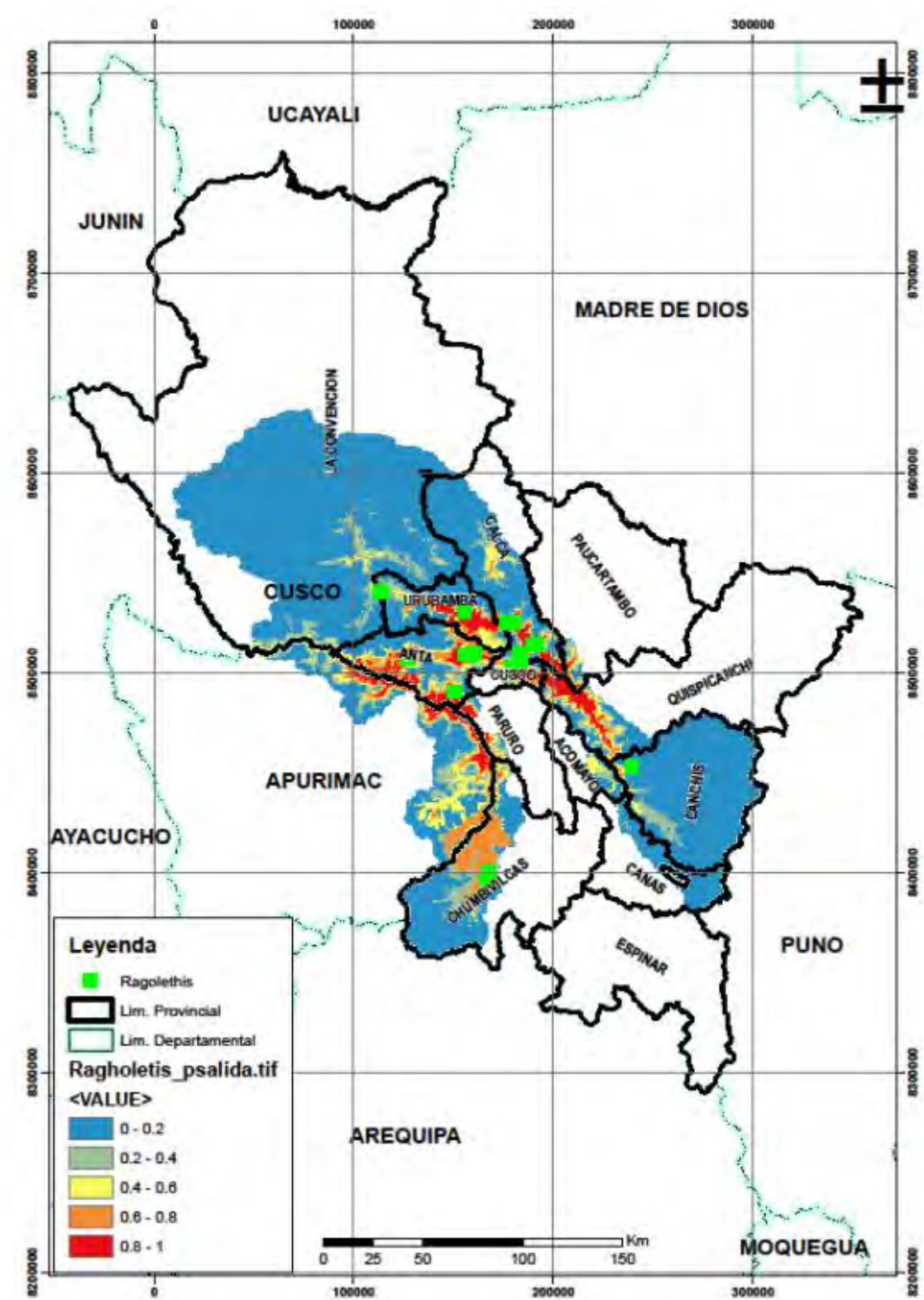
Variable	porcentaje de contribución	Importancia de la permutación
Precipitación del trimestre más caliente Var. 18.	44.9	12.9
Temperatura máxima del mes más caliente. Var. 5	20.9	0
Precipitación del trimestre más seco. Var. 17	19.2	0
Estacionalidad de la precipitación. Var. 15	7.4	39.7
Elevación	4.1	46.6
Temperatura mínima del mes más frío. Var. 6	2.4	0.8
Precipitación del mes más seco. Var. 14	1.1	0
Temperatura media del trimestre más húmedo. Var. 8	0	0
Precipitación anual. Var. 12	0	0

Nota: Elaborado a partir de los resultados del modelo MaxEnt

Para *Rhagoletis psalida* el modelo de disponibilidad ambiental delimitó la predicción de las condiciones adecuadas a gran parte de Urubamba, Calca, Anta, Cusco y Quispicanchis, teniendo valores de (0.6 – 1) en muchas áreas de estas provincias, habiendo mayor idoneidad para la presencia de la especie; habiendo menos probabilidad de presencia en las provincias de, Paruro y Chumbivilcas, con valores de (0.4 – 0.8) en algunas áreas, indicando que esas áreas tienen idoneidad intermedia; y muy poca o ninguna probabilidad de presencia en las provincias de Canchis, Acomayo, Canas y Espinar (0 – 0.4) (figura 39).

Figura 39

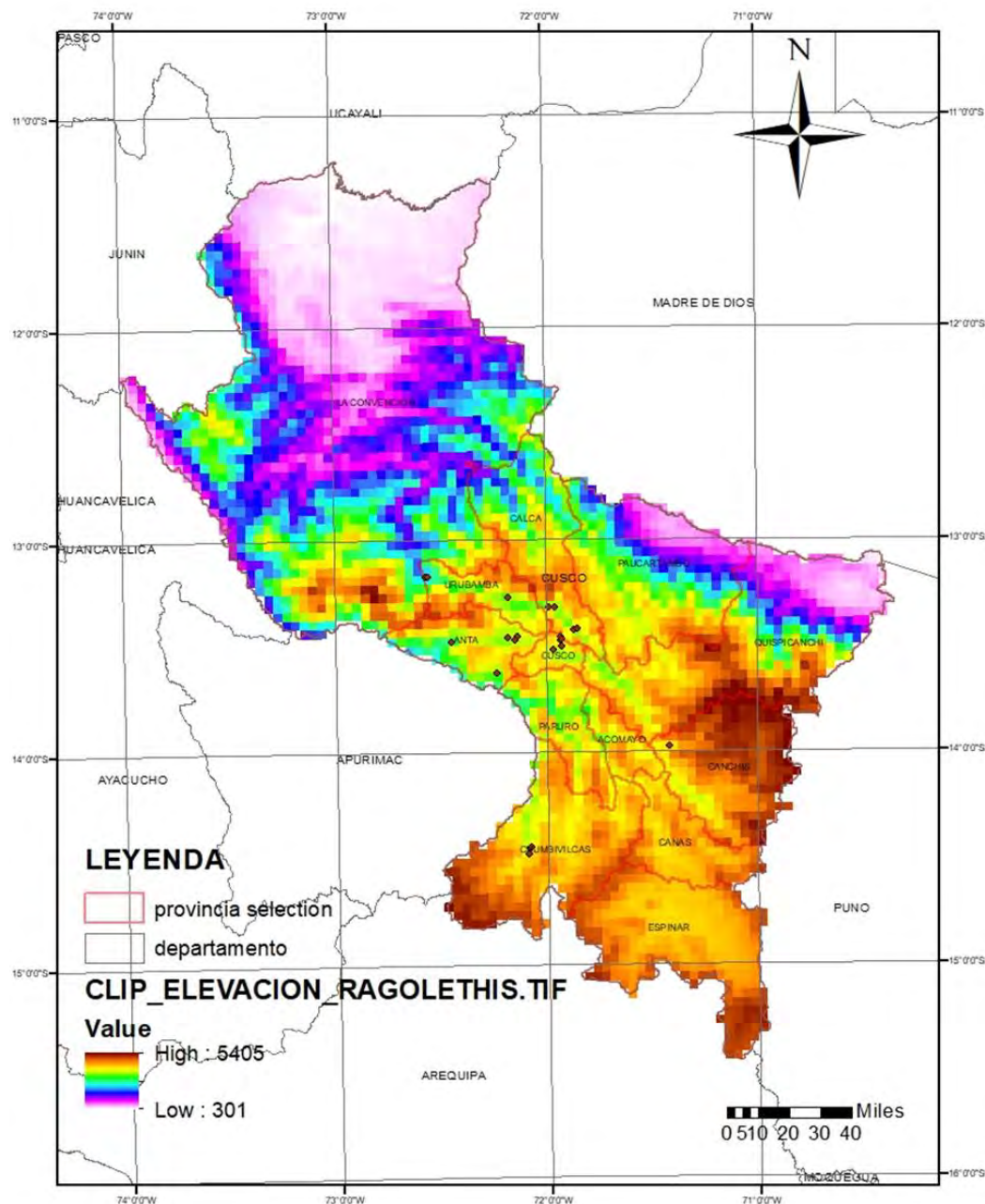
*Distribución potencial de *Rhagoletis psalida* en el departamento del Cusco*



Nota: Elaborado en el programa ArcGIS a partir de los resultados del modelo MaxEnt

El mapa (figura 40), muestra el rango altitudinal del departamento del Cusco (301–5405 m.) y la distribución de *Rhagoletis psalida*. Los puntos de presencia se concentran entre 2500 y 3500 m. aproximadamente, principalmente en provincias como Calca, Cusco, Quispicanchis y La Convención. Esto indica que la especie se asocia a zonas de climas templados, mientras que las áreas de mayor o menor altitud presentan ausencia de registros, evidenciando que la altitud influye significativamente en su distribución.

Figura 40
Mapa de distribución Altitudinal de Rhagoletis psalida



La gráfica (figura 41) muestra la variación de altitud registrada en los puntos de presencia de *Rhagoletis psalida*. Se observa que la mayoría de los valores se encuentran entre 3000 y 3800 m., con algunos descensos puntuales alrededor de 2500 m. (puntos 15–17).

Esto indica que *R. psalida* presenta una preferencia marcada por zonas de altitud media-alta, probablemente asociadas a condiciones templadas propias de los valles interandinos del Cusco. Las variaciones observadas sugieren que la especie puede adaptarse a un rango altitudinal relativamente amplio, aunque su mayor frecuencia ocurre en alturas superiores a 3000 m, donde podrían encontrarse sus principales hospederos y condiciones climáticas favorables.

Figura 41
Gráfico altitudinal de *R. psalida*



El diagrama boxplot muestra la distribución de las altitudes en las que se registró la presencia de *R. psalida*. El rango intercuartílico (IQR) se concentra entre aproximadamente 3300 y 3700 m s.n.m., lo cual indica que la mayoría de los registros de la especie se encuentran dentro de este intervalo altitudinal. La mediana se ubica cercana a los 3500 m s.n.m., sugiriendo que esta altitud constituye el valor central de ocurrencia.

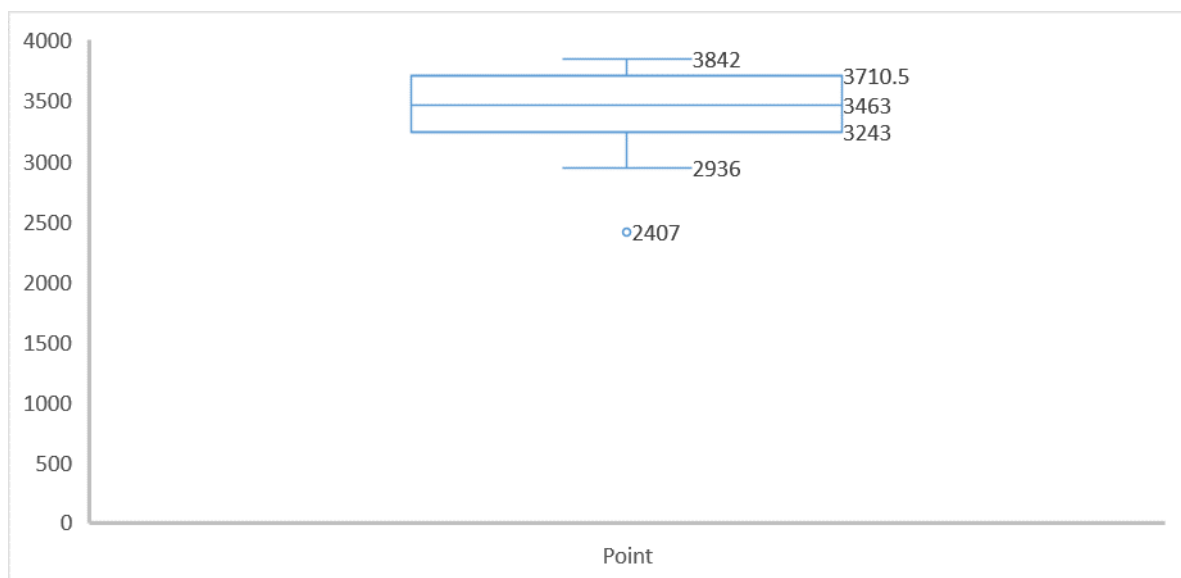
Asimismo, se observa un valor atípico por debajo de los 2500 m s.n.m., lo que podría corresponder a una población aislada o a un registro puntual en condiciones ambientales atípicas para la especie. La presencia de este outlier puede tener implicancias biogeográficas

y ecológicas, ya que podría indicar tolerancia a condiciones fuera de su rango óptimo o errores asociados al muestreo o georreferenciación.

En síntesis, los resultados sugieren que *R. psalida* es una especie característica de pisos altitudinales altos, con un rango principal entre 3300 y 3700 m s.n.m., aunque con registros excepcionales en cotas menores. Estos hallazgos pueden ser relevantes para modelar su distribución potencial bajo escenarios de cambio climático, donde la disponibilidad de hábitats adecuados en estos rangos de altura podría verse reducida. (figura 42).

Figura 42

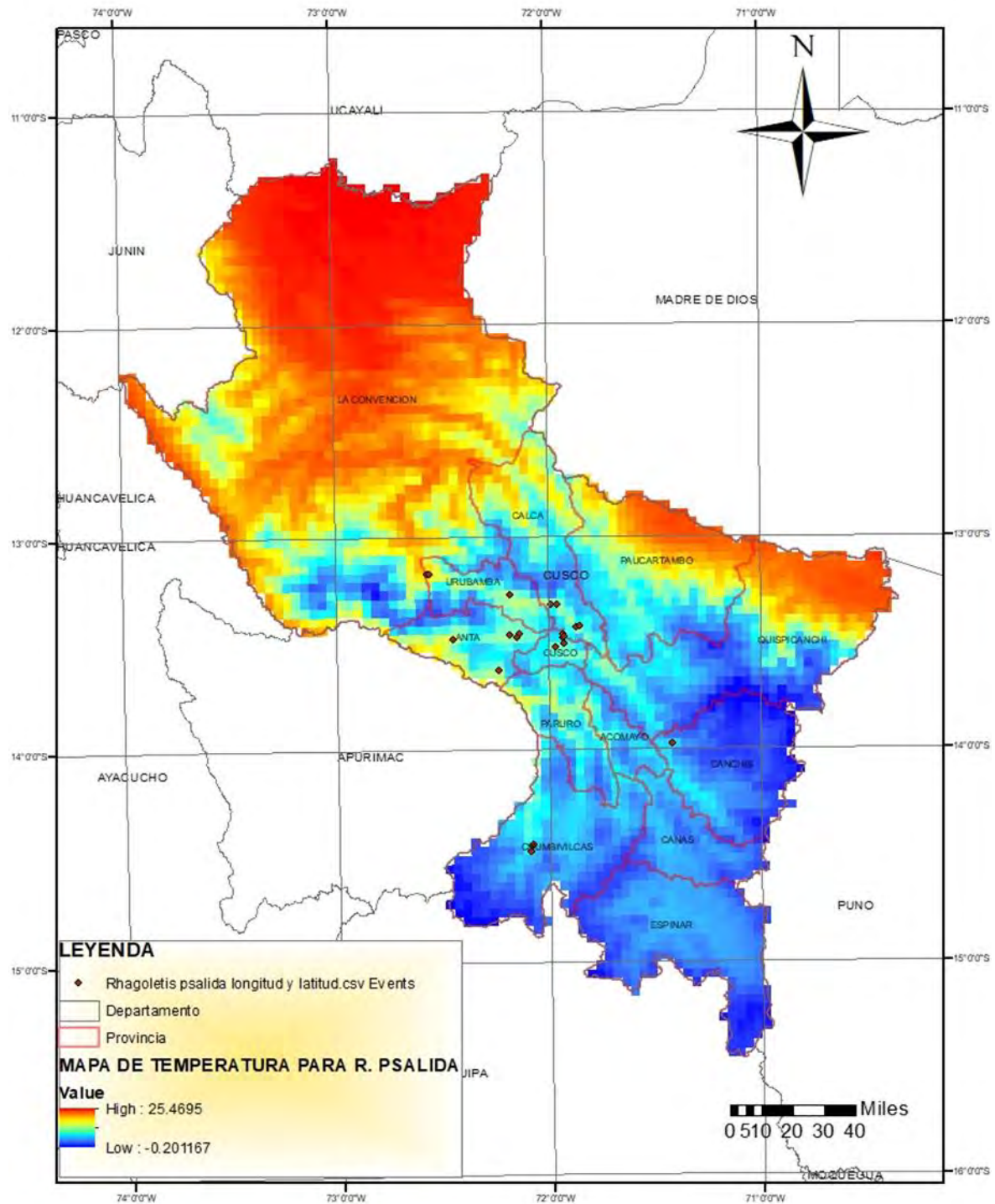
Boxplot de análisis altitudinal para R. psalida



En el departamento del Cusco existe un rango de temperaturas de -0.2°C a 25.46°C , donde los puntos de presencia para *A. fraterculus* fluctúan entre los 10°C y 14°C (Figura 43).

Figura 43

Mapa de temperatura para R. psalida

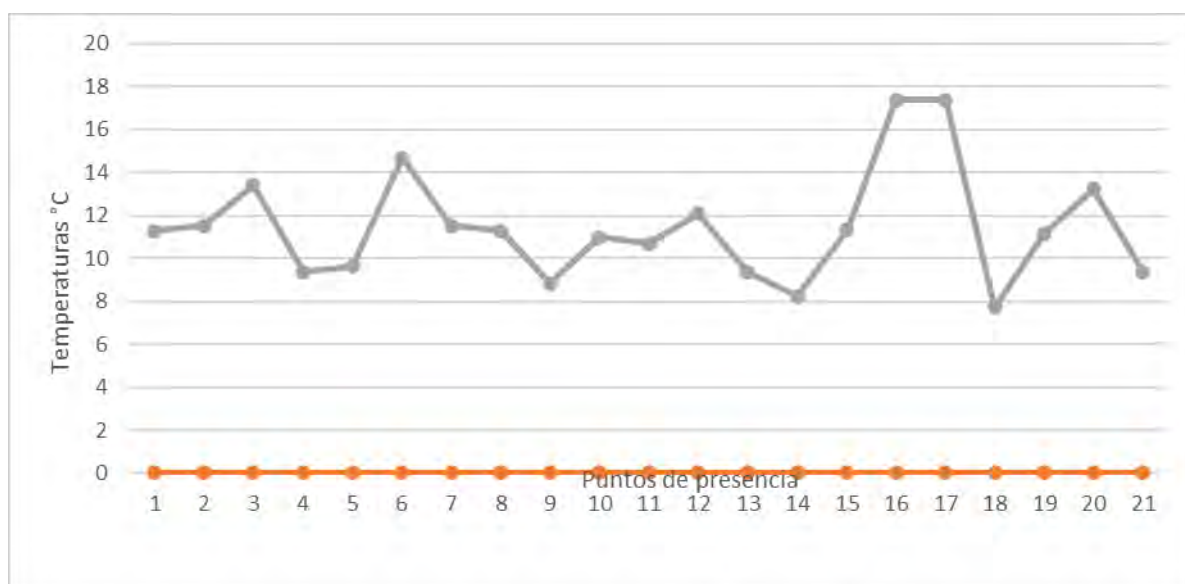


El gráfico muestra la temperatura registrada en distintos puntos de presencia de *Rhagoletis psalida*. Se observa que las temperaturas varían entre aproximadamente 8 °C y 18 °C, con una tendencia general a concentrarse entre 10 °C y 14 °C, lo que indica que la especie habita principalmente en zonas de clima templado a templado-frío.

Este patrón sugiere que *R. psalida* presenta una preferencia térmica moderada, adaptada a condiciones típicas de los valles interandinos del Cusco. Las temperaturas más elevadas podrían corresponder a zonas más bajas, donde la especie mantiene una presencia estable, mientras que los descensos de temperatura reflejan áreas de mayor altitud, donde su presencia puede disminuir por las condiciones menos favorables para su desarrollo y el de sus hospederos frutales. (figura 44).

Figura 44

Gráfico de temperaturas *R. psalida*

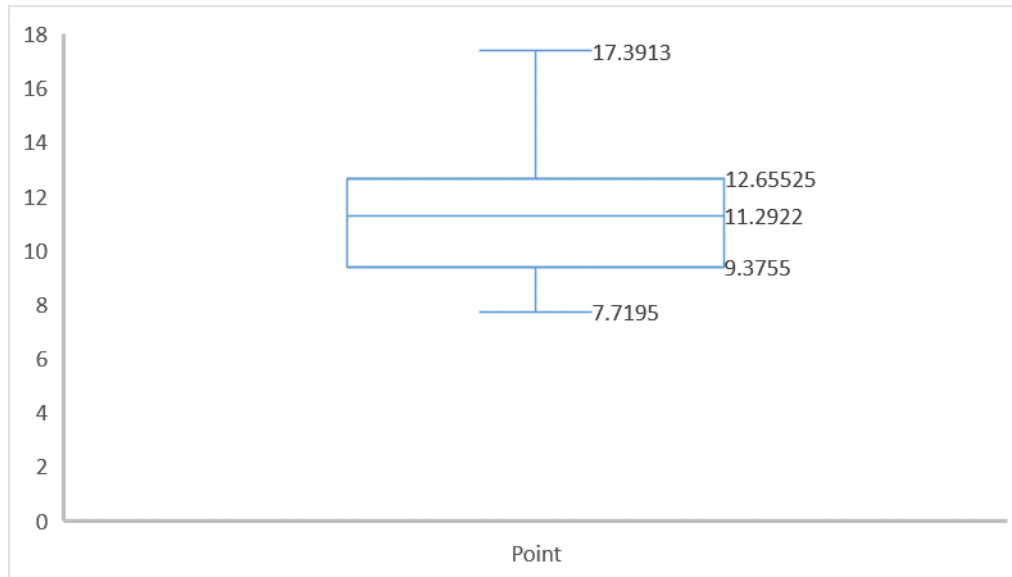


Los resultados obtenidos del boxplot muestran que *Rhagoletis psalida* se encuentra asociada a un rango térmico comprendido entre 7.7 °C y 17.3 °C, con una concentración de registros en el intervalo intercuartílico de 9.3 °C a 12.6 °C y una mediana de 11.3 °C. Este patrón indica que la especie habita principalmente en ambientes de clima templado a fresco, característicos de ecosistemas de montaña o zonas de transición andina.

La relativa simetría en la distribución de los datos, sin presencia de valores atípicos extremos, sugiere una estabilidad térmica en las áreas de presencia de la especie, lo cual podría favorecer el mantenimiento de sus procesos fisiológicos y ecológicos.

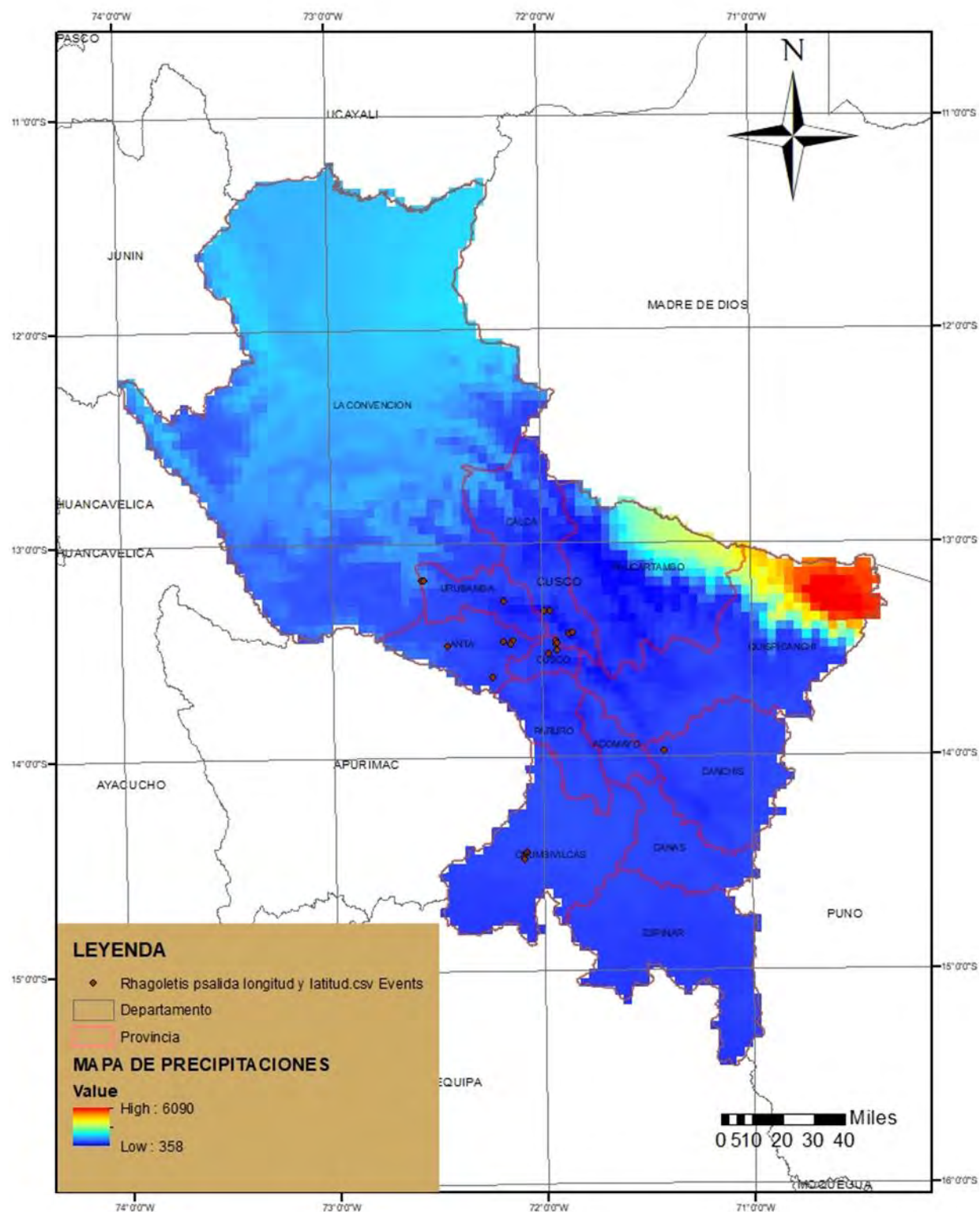
En síntesis, el análisis térmico evidencia que *R. psalida* ocupa un nicho climático relativamente estrecho, dominado por temperaturas frescas y estables, lo cual constituye un factor determinante en su distribución (Figura 45).

Figura 45
Boxplot de temperaturas R. psalida



El análisis para la variable de precipitaciones muestra que en el departamento del Cusco los valores de precipitación varían de 358 mm a 6090 mm (Figura 46), fluctuando los puntos de presencia entre 647.5 mm y 918.5 mm.

Figura 46
Mapa de precipitaciones *R. psalida*



El gráfico (Figura 47), muestra la relación entre la precipitación (mm) y los puntos de presencia de *Rhagoletis psalida*. Se observa que la mayoría de los registros de presencia se encuentran en zonas con valores de precipitación que oscilan entre 600 y 1000 mm anuales, con algunos puntos que alcanzan hasta 1400 mm.

Desde una perspectiva ecológica, esto sugiere que *R. psalida* se asocia a ambientes con una precipitación moderada a alta, lo que favorece el desarrollo de vegetación frutal y la disponibilidad de hospederos.

En los puntos donde la precipitación es muy baja o excesivamente alta, la presencia de *R. psalida* tiende a disminuir, lo que indica que la especie podría tener un rango óptimo de humedad necesario para su supervivencia.

Figura 47

Grafico de Precipitaciones para R. psalida



El boxplot (Figura 48), muestra la variación en los registros de precipitación en los puntos de presencia de *Rhagoletis psalida*. La mayor parte de los datos se concentra entre 647.5 y 918.5 mm³, lo cual constituye el rango intercuartílico (IQC) y refleja las condiciones hídricas más frecuentes en los sitios donde la especie está presente.

La mediana, en 764 mm³, indica que la mitad de los registros de precipitación se sitúan por debajo de este valor y la otra mitad por encima, lo que representa un nivel de precipitación característico de los hábitats ocupados por *R. psalida*.

El promedio (804 mm³) está ligeramente por encima de la mediana, lo cual sugiere una ligera inclinación de los datos hacia valores más altos, aunque sin una asimetría marcada. Esto significa que las precipitaciones tienden a distribuirse de manera relativamente

equilibrada en torno a los valores centrales, condiciones que podrían ser favorables para la permanencia de la especie.

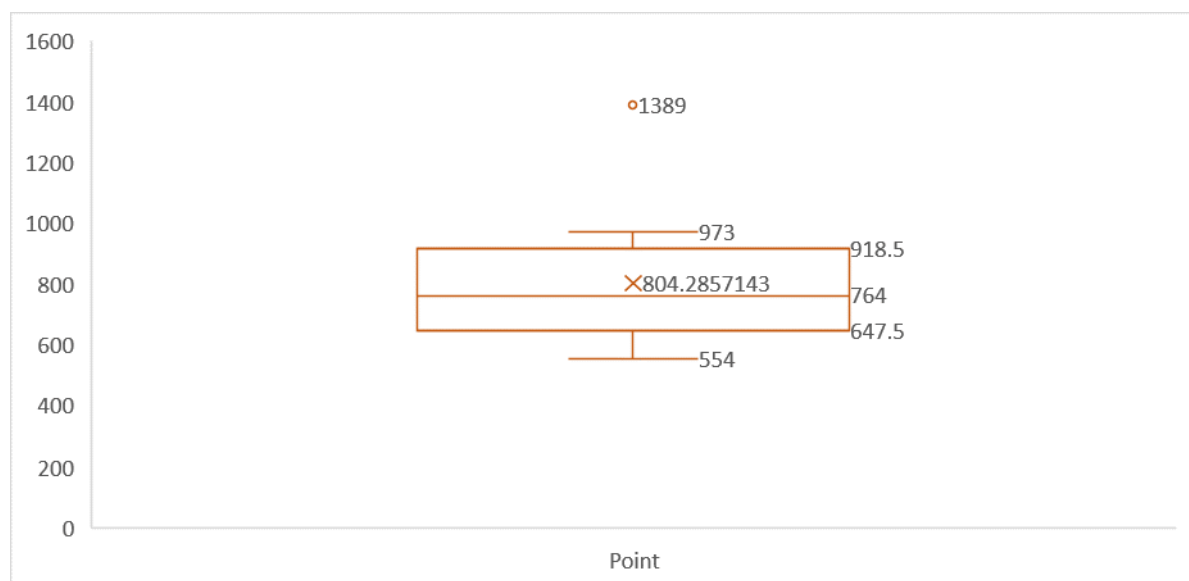
El rango total de registros va desde 554 mm³ hasta 973 mm³, lo que señala una variabilidad moderada en los niveles de precipitación dentro del área de distribución. Esta dispersión sugiere que *R. psalida* habita en un régimen de lluvias relativamente estable, sin extremos muy amplios, aunque con cierta fluctuación estacional o espacial que podría influir en su ciclo de vida.

Se identifica un valor atípico en 1389 mm³, muy por encima del rango normal. Este dato podría deberse a un evento puntual de lluvia intensa, característico de tormentas o precipitaciones excepcionales, o bien a un error en la medición. Su importancia radica en que revela la posibilidad de ocurrencia de eventos extremos que, aunque poco frecuentes, pueden tener un impacto significativo en la dinámica ecológica y en la disponibilidad de recursos para *R. psalida*.

En síntesis, los resultados reflejan que el régimen de precipitaciones en los sitios de presencia de *R. psalida* se concentra en valores intermedios (600–900 mm³), con una tendencia estable y pocas desviaciones, salvo por la ocurrencia aislada de un evento de precipitación extrema. Estos hallazgos son clave para entender la relación de la especie con la disponibilidad hídrica de su hábitat y pueden servir como base para modelar escenarios de distribución y persistencia bajo condiciones climáticas cambiantes.

Figura 48

Boxplot de precipitaciones para R. psalida



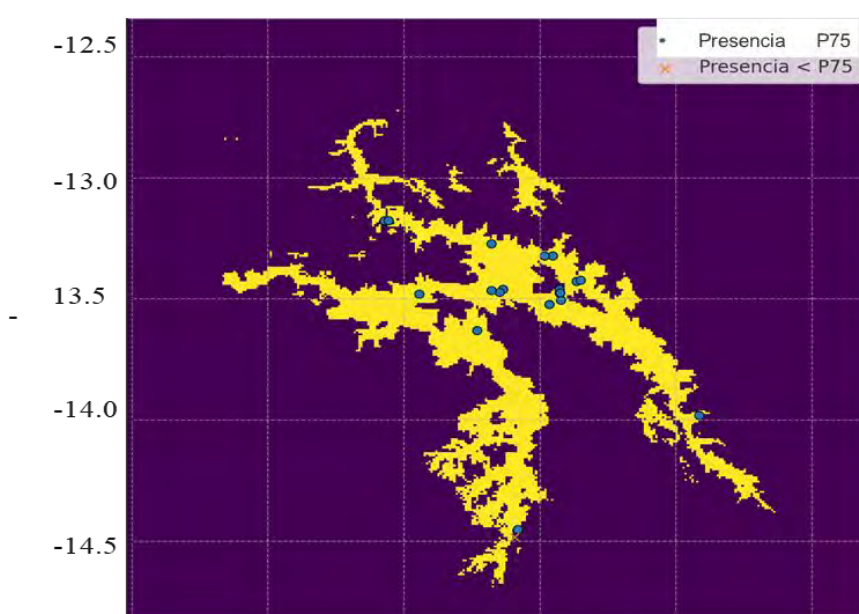
Los resultados obtenidos al hacer el análisis del diagrama BAM para *R. psalida* y mapa de adecuación climática (MaxEnt) con puntos de presencia (figura 49), muestran:

- Umbral P75 (raster válido): 0.204117
- Presencias dentro del raster: 21
- Presencias $\geq$ P75: 20
- Celdas adecuadas ($\geq$ P75): 8924
- Total, celdas válidas: 35694

Figura 49

Mapa de Adecuación Climática

Area climaticamente adecuada ($\geq$ P75 = 0.2041) y presencias



El umbral P75 proporciona un balance entre sensibilidad y especificidad, identificando regiones con alta adecuación relativa sin restringirse únicamente a los máximos. En este caso, 20 de 21 presencias se ubican en celdas $\geq$ P75, lo que indica coherencia entre el modelo de adecuación y los registros. El número de celdas adecuadas (8924) sugiere una distribución potencial concentrada pero continua dentro del área de estudio. El diagrama BAM (Figura 50), recuerda que la distribución observada (G) depende de la intersección entre: A (condiciones abióticas adecuadas), B (interacciones bióticas favorables) y M (acceso por dispersión). Este análisis aborda explícitamente A; la validación independiente (B) y los procesos de conectividad (M) deben considerarse para inferencias de manejo o riesgo de invasión. Limitaciones: no se incluyó un polígono administrativo de Cusco ni validación espacial externa, pero el plano se construye en coordenadas geográficas y cubre la extensión del ráster.

DISCUSIÓN

Las estructuras observadas en los ejemplares estudiados permiten aseverar la identidad de ambas especies, *Anastrepha fraterculus* y *Rhagoletis psalida*. Ambas especies con importancia económica pero cada una desde un punto de vista diferente. En el caso de *A. fraterculus* se trata de una de las especies más importantes para frutos de consumo directo y, en este sentido, es una de las especies más estudiadas tanto desde el punto de vista taxonómico como desde su biología y control (Martínez & Serna, 2005; Norrbom y otros, 2013).

En el caso de *Rhagoletis psalida* es algo diferente, es una especie de importancia económica en varios cultivos, pero, algunos no de consumo directo. Así, ha sido reportada en habas, papa y otros cultivos (Hernández Ortiz & Frías, 1999; Huayhua, 2013).

Sin embargo, a pesar de esta circunstancia, ambas especies son consideradas de alta importancia y, en el caso de Cusco, éste es el primer estudio realizado sobre ambas especies tomando en consideración aspectos fundamentales de su biología y ecología.

Así, un primer aspecto es el de su taxonomía y, en este caso, aun tratándose de una especie ampliamente estudiada, como es *A. fraterculus*, la preparación de genitalias permite corroborar su identidad, especialmente si se toma en cuenta que los caracteres aquí estudiados son considerados diagnósticos y permiten separar estas especies de un amplio complejo de moscas de las frutas (Alberti et al., 2008; Aluja, 1999; Korytkowski, 2001; Norrbom, 1987).

El modelamiento de nicho ecológico para *Anastrepha fraterculus* evidenció una mayor idoneidad ambiental en áreas de valle intermedio y zonas asociadas a la red hidrográfica, especialmente en la provincia de La Convención, con valores de probabilidad superiores a 0.6. Este patrón concuerda con lo reportado por Cabrera et al. (2014), quienes encontraron que la densidad poblacional de *A. fraterculus* es mayor en huertos ubicados a menor altitud y en cultivos con mayor cobertura vegetal, condiciones que suelen coincidir con ambientes más húmedos y productivos, como los valles interandinos y ceja de selva. La coincidencia entre registros de presencia y áreas de idoneidad media y alta refuerza la confiabilidad del modelo y respalda su utilidad para identificar zonas prioritarias de vigilancia.

Asimismo, la alta idoneidad predicha para La Convención es consistente con estudios locales como los de Cahuana Quispe (2023) y Flores Zenteno (2022), quienes reportaron la presencia del género *Anastrepha* en plantaciones de mandarina, mango y otros frutales en

dicha provincia, utilizando registros de campo y datos oficiales del SENASA. Esto sugiere que las condiciones ambientales favorables identificadas por el modelo se corresponden con áreas donde ya se ha documentado actividad de moscas de la fruta, fortaleciendo la validez biológica de las predicciones.

El análisis Jackknife indicó que la precipitación del trimestre más caliente (BIO18) es la variable que mejor explica por sí sola la distribución de *A. fraterculus*, lo que coincide con la idea de que la disponibilidad de humedad durante periodos cálidos favorece el desarrollo de hospederos y la supervivencia de estadios inmaduros. Este resultado se alinea con lo señalado por Ramos (2017) y Obregón (2017), quienes destacaron la elevada abundancia de *A. fraterculus* en zonas con presencia constante de frutales y condiciones climáticas favorables, lo que sugiere una fuerte relación entre clima, disponibilidad de hospederos y abundancia poblacional.

Los valores de AUC obtenidos (0.863 en entrenamiento y 0.974 en prueba) indican un desempeño alto y excelente del modelo, respectivamente, lo que demuestra una adecuada capacidad de discriminación entre sitios de presencia y fondo. Estos resultados son comparables a los reportes basados en datos de monitoreo del SENASA (2016), los cuales sustentan la utilidad de herramientas predictivas para la gestión fitosanitaria. Además, la similitud entre las curvas de entrenamiento y prueba sugiere ausencia de sobreajuste, lo que incrementa la confianza en la capacidad de generalización del modelo, aun cuando se trabajó con un número limitado de registros.

El modelamiento de nicho ecológico para *Rhagoletis psalida* evidenció que la especie presenta mayor idoneidad ambiental en zonas de mayor altitud del departamento del Cusco, con valores elevados de probabilidad (0.6–1) principalmente en las provincias de Urubamba, Calca, Anta, Cusco y Quispicanchis. Este patrón altitudinal es consistente con los reportes preliminares de *Rhagoletis sp.* realizados por SENASA (2016) en provincias andinas del Cusco, lo que sugiere que el modelo reproduce adecuadamente la tendencia observada en campo.

Asimismo, Valladares (2016) documentó una elevada diversidad de tefrítidos en ambientes montanos como el Santuario Histórico de Machupicchu, lo cual respalda la importancia de los ecosistemas de montaña como áreas favorables para especies de este grupo. La coincidencia entre estas evidencias y las áreas de alta idoneidad predichas refuerza la validez ecológica del modelo generado.

El rango altitudinal donde se concentran los registros de presencia (aproximadamente entre 2500 y 3500 m) indica que *Rhagoletis psalida* se asocia preferentemente a climas

templados, donde las temperaturas moderadas y una estacionalidad marcada de las lluvias podrían favorecer el desarrollo de sus estados inmaduros y la disponibilidad de hospederos. Esta afinidad por ambientes andinos contrasta con el patrón observado en *Anastrepha fraterculus*, que muestra mayor idoneidad en zonas de menor altitud, evidenciando una diferenciación ecológica entre ambas especies.

El análisis Jackknife reveló que la precipitación del trimestre más cálido (BIO18) es la variable que mejor explica por sí sola la distribución de *Rhagoletis psalida*, mientras que la precipitación del trimestre más húmedo, la precipitación del trimestre más seco y la elevación también presentaron aportes importantes. Esto sugiere que el régimen de lluvias constituye un factor clave en la determinación del nicho de la especie, lo cual coincide con estudios de dinámica poblacional de moscas de la fruta que señalan la estrecha relación entre humedad ambiental, disponibilidad de frutos hospedantes y supervivencia larval.

El desempeño del modelo para *Rhagoletis psalida* fue excelente, con valores de AUC de 0.916 para los datos de entrenamiento y 0.962 para los datos de prueba, indicando una alta capacidad de discriminación entre sitios adecuados y no adecuados. La baja tasa de omisión observada bajo distintos umbrales acumulativos confirma que el modelo predice de manera confiable la distribución potencial de la especie, incluso con un número reducido de registros.

Desde una perspectiva aplicada, las áreas identificadas con alta idoneidad para *Rhagoletis psalida* deberían ser consideradas zonas prioritarias para el fortalecimiento de los programas de vigilancia fitosanitaria del SENASA, especialmente en provincias con actividad frutícola. La identificación temprana de focos potenciales permitiría implementar medidas preventivas de control integrado, reduciendo el riesgo de expansión de la especie hacia nuevas áreas productivas.

CONCLUSIONES

1. Se identificaron las dos especies de mosca de la fruta, *Anastrepha fraterculus* y *Rhagoletis psalida*, mediante claves taxonómicas y genitalia.
2. El modelamiento ecológico con el algoritmo MaxEnt permitió estimar la distribución potencial de las dos especies, evidenciando zonas con alta idoneidad climática principalmente en los valles interandinos y áreas agrícolas del Cusco. *Anastrepha fraterculus* muestra una amplia tolerancia climática, mientras que *Rhagoletis psalida* muestra una distribución más restringida y especializada.

Los valores AUC mayores a 0.85 indican un buen desempeño predictivo de los modelos lo que respalda la confiabilidad de los resultados obtenidos

El análisis Jackknife para *Anastrepha fraterculus*, muestra que la variable que más aporta al usarse sola es la variable bioclimática 18 y la variable bioclimática 15 es la que más disminuye la ganancia del modelo al omitirse. En el caso de *Rhagoletis psalida*, muestra que la variable que más aporta al usarse sola es la variable bioclimática 18 y la variable bioclimática 5 es la variable que más disminuye la ganancia del modelo al omitirse.

La delimitación del “Área M” permitió restringir el análisis a zonas ambientalmente accesibles, evitando la sobreestimación de la distribución potencial y fortaleciendo la interpretación ecológica de los modelos. Los mapas de distribución potencial obtenidos constituyen una herramienta útil para la vigilancia fitosanitaria y manejo integrado de la mosca de la fruta en el departamento del Cusco.

RECOMENDACIONES

1. Fortalecer los programas de vigilancia y monitoreo fitosanitario de la mosca de la fruta en zonas identificadas con alta idoneidad climática.
2. Usar los mapas de distribución potencial obtenidos como herramientas de apoyo en estrategias de manejo integrado de plagas, en coordinación con instituciones como SENASA.
3. Complementar los resultados del modelamiento ecológico con toma de muestras de campo, con el fin de validar áreas con alta probabilidad de presencia y mejorar la precisión de los modelos.
4. Ampliar futuras investigaciones, incorporando otras especies de mosca de la fruta y un mayor número de registro de presencia.
5. Evaluar escenarios de cambio climático futuro, para analizar posibles variaciones de la distribución potencial de las especies
6. Integrar otras variables como cobertura vegetal, uso de suelo, etc. que mejoren la interpretación ecológica de los modelos de distribución potencial.

BIBLIOGRAFÍA

- Alberti, A. C., Confalonieri, V. A., Zandomeni, R. O., & Vilardi, J. C. (2008). Phylogeographic studies on natural populations of the South American fruit fly, *Anastrepha fraterculus* (Diptera: Tephritidae). *Genetica*, 132(1), 1-8. <https://doi.org/10.1007/s10709-007-9143-8>
- Aldrich, J. M. (1934). Tachinidae. En *Diptera of Patagonia and South Chile* (págs. 1-9). Washington, D.C.: U.S. National Museum.
- Aluja, M. (1994). Bionomics and Management of *Anastrepha*. *Annual Review of Entomology*, 39(1), 155–178. <https://doi.org/10.1146/annurev.en.39.010194.001103>
- Aluja, M. (1999). Fruit fly (Diptera: Tephritidae) research in Latin America: Myths, realities and dreams. *Anais da Sociedade Entomológica do Brasil*, 28(4), 565-594. <https://doi.org/10.1590/S0301-80591999000400001>
- Bressan Nascimento, S. (2001). Emergence and pupal mortality factors of *Anastrepha obliqua* (Macq.) (Diptera: Tephritidae) along the fruiting season of the host *Spondias dulcis* L. *Neotropical Entomology*, 30(2), 207-215. <https://doi.org/10.1590/S1519-566X2001000200002>
- Cahuana Quispe, E. M. (2023). *Determinación de especies de mosca de la fruta en mandarina (Citrus sp.) y mango (Mangifera sp.) en el distrito de Maranura – La Convención – Cusco*. Tesis de pregrado, Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, Cusco Perú. <http://hdl.handle.net/20.500.12918/8023>
- Caraballo, J. (2001). Diagnósis y clave pictórica para las especies del género *Anastrepha* Schiner, 1868 (Diptera: Tephritidae) de importancia económica en Venezuela. *Entomotropica*, 16(3), 157-164.
- Carrejo, N. S., & Gonzalez, O. R. (1993). Una nueva especie de *Anastrepha* Schiner, 1868 (Diptera: Tephritidae) de Colombia. *Boletín del Museo de Entomología de la Universidad del Valle*, 1(2), 47-53.
- Castro Sosa, R., Castillo Peralta, M., Monterroso Rivas, A., Gómez Díaz, J., Flores Gonzáles, E., & Revollar Alviter, A. (2018). Potential distribution of *Drosophila suzukii* (Diptera: Drosophilidae) in relation to alternate hosts in Mexico. *Florida Entomologist*, 100(4), 787-794. <https://doi.org/10.1653/024.100.0403>
- Ccorahua Dueñas, P. E. (2016). *Evaluación del manejo integrado de moscas de la fruta (Anastrepha sp.) en el cultivo de mango del sector de San Agustín, distrito de Echarati - La Convención - Cusco*. Tesis de pregrado, Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco. <http://hdl.handle.net/20.500.12918/1859>
- Couturier, G., Succhi, R., Sarabia M, G., & Silva, N. (1993). New records of fruit flies of the genus *Anastrepha* Schiner, 1868 (Diptera: Tephritidae) and their host plants, in the Amazon region. *Annales de la Société Entomologique de France (N.S.)*, 29(2), 223-224. <https://doi.org/10.1080/21686351.1993.12277871>
- Cuculiza, M., & Torres, E. (1975). Moscas de la fruta en las principales plantas hospederas del valle de Huánuco. *Revista Peruana de Entomología*, 18(1), 76-79. <http://www.revperuentomol.com.pe/publicaciones/vol18/MOSCAS-DE-LA-FRUTA-EN-HUANUCO76.pdf>
- Devescovi, F., Abraham, S., Roriz, A., Nolzco, N., Castañeda, R., Tadeo, E., & Roll, J. (2014). Ongoing speciation within the *Anastrepha fraterculus* cryptic species complex: The case of the Andean morphotype. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 152(3), 238-247. <https://doi.org/10.1111/eea.12219>
- Dukas, R. (2008). Evolutionary Biology of Insect Learning. *Annual Review of Entomology*, 53(1), 145-160. <https://doi.org/10.1146/annurev.ento.53.103106.093343>

- Elith, J., & Leathwick, J. R. (2009). Species distribution models: Ecological explanation and prediction across space and time. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 40, 677-697. <https://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.110308.120159>
- Flores Zenteno, R. (2022). *Distribución poblacional de la mosca de la fruta a través del análisis de los reportes de la red de vigilancia en el distrito de Quellouno, provincia de La Convención, región Cusco 2019–2020*. Tesis de pregrado, Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, Cusco Perú. <http://hdl.handle.net/20.500.12918/7296>
- Foote, R. H. (1980). *Fruit Fly Genera South of the United States*. Technical Bulletin, United States Department of Agriculture, Washington, DC.
- Foote, R. H. (1980). *Fruit fly genera south of the United States (Diptera: Tephritidae)*. United States Department of Agriculture. 10.22004/ag.econ.157747
- Forster, P. M., Smith, C., Walsh, T., Lamb, W. F., Lamboll, R., Cassou, C., & Zhai, P. (2025). Indicators of Global Climate Change 2024: annual update of key indicators of the state of the climate system and human influence. *Earth System Science Data*, 17(6), 2641-2680. <https://doi.org/10.5194/essd-17-2641-2025>
- Frías, D., Selivon, D., & Hernández Ortiz, V. (2006). Taxonomy of immature stages: New morphological characters for Tephritidae larvae identification. En *Fruit Flies of Economic Importance: From Basic to Applied Knowledge. Proceedings of the 7th International Symposium on Fruit Flies of Economic Importance* (págs. 29-44). Ámsterdam: IOS Press.
- Giraldo, M. (2007). *Monitoreo de moscas-das-frutas (Diptera, Tephritidae, Anastrepha) em nove municípios do Estado do Valle del Cauca, Colômbia*. Tesis de doctorado, Universidade de São Paulo.
- Gonzáles, M., Loza-Murguía, M., Smeltekop, H., Cuba, N., Almanza, J., & Ruiz, M. (2011). Dinámica poblacional de adultos de la mosca boliviana de la fruta *Anastrepha* sp. (Diptera: Tephritidae) en el Municipio de Coroico, Departamento de La Paz, Bolivia. *Journal of the Selva Andina Research Society*, 2(2), 2-12. <https://doi.org/10.36610/j.jsars.2011.020200002>
- Goyal, G., Nuessly, G. S., Seal, D. R., Capinera, J. L., Steck, G. J., & Boote, K. J. (2011). Distribution of picture-winged flies (Diptera: Ulidiidae) infesting corn in Florida. *Florida Entomologist*, 94(1), 35-47. <https://doi.org/10.1653/024.094.0106>
- Guillén, J. (2004). *Apéndice técnico para la identificación de moscas de la fruta*. Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria, Mexico.
- Hernández Ortiz, V., & Frías, D. (1999). A revision of the striatella species group of the genus *Rhagoletis* (Diptera: Tephritidae). *Insecta Mundi*, 13(1-2), 11-20. <https://digitalcommons.unl.edu/insectamundi/322/>
- Hijmans, R. J., Cameron, S. E., Parra, J. L., Jones, P. G., & Jarvis, A. (2005). Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology*, 25(15), 1965-1978. <https://doi.org/10.1002/joc.1276>
- Huayhua, G. (2013). *Estudio de la potencialidad de producción de haba (Vicia faba L.) y papa (Solanum tuberosum L.) correlacionado a la fluctuación poblacional de la mosca de la fruta (Rhagoletis psalida Hendel.) en dos cantones del municipio de Achacachi*. Universidad Mayor de San Andrés, La Paz, Bolivia.
- Jerez, V. (2000). Diversidad y patrones de distribución geográfica de insectos coleópteros en ecosistemas desérticos de la región de Antofagasta, Chile. *Revista Chilena de Historia Natural*, 73(1), 79-92. <https://doi.org/10.4067/S0716-078X2000000100009>
- Khatibi, M., & Sheikholeslami, R. (2016). Ecological Niche Theory: A Brief Review. *International Journal of Indian Psychology*, 3(2), 1-4. <https://doi.org/10.25215/0302.021>

- Koritskowski, C. (2008). *Manual para la identificación de moscas de la fruta del género Anastrepha Schiner, 1868*. Panamá: Universidad de Panamá, Programa de Maestría en Entomología, Vicerrectoría de Investigación y Postgrado.
- Koritskowski, C., & Ojeda, D. (1968). Especies del género *Anastrepha* Schiner 1868 en el noroeste peruano. *Revista Peruana de Entomología*, 11(1), 32-70.
- Koritskowski, C. A., & Ojeda, D. (1969). Distribución ecológica de especies del género *Anastrepha* Schiner en el noroeste peruano. *Revista Peruana de Entomología*, 12(1), 71-95.
<http://revperuentomol.com.pe/publicaciones/vol12/DISTRIBUCION-ECOLOGICA-DE-ANASTREPHA.pdf>
- Koritskowski, C., & Ojeda, C. (1971). Revisión de las especies de la familia Lonchaeidae en el Perú (Diptera: Acalyptratae). *Revista Peruana de Entomología*, 14(1), 87-116.
- Kumar, V., Attray, S., Zeng, R., & Bai, B. (2020). Ecological niche modeling to predict the potential global distribution of *Bactrocera dorsalis* (Hendel) under current and future climate scenarios. *Journal of Pest Science*, 93(3), 995-1006. <https://doi.org/10.1007/s10340-020-01237-5>
- Lanteri, A., & Cigliano, M. (2005). *Sistemática biológica: fundamentos teóricos y ejercitaciones* (3 ed.). La Plata: Universidad Nacional de La Plata, EDULP.
- Luna Sámano, A. L. (2018). *Nicho ecológico potencial de ocho especies de Rhagoletis (Diptera: Tephritidae) de importancia agrícola para México*. Tesis de maestría, Universidad Autónoma del Estado de Morelos, Cuernavaca, Morelos, México.
<http://riaa.uaem.mx/handle/20.500.12055/626>
- Maciel Mata, C. A., Manríquez Morán, N., Octavio Aguilar, P., & Sánchez Rojas, G. (2015). El área de distribución de las especies: revisión del concepto. *Acta Universitaria*, 25(2), 3-19.
<https://doi.org/10.15174/au.2015.690>
- Marín Patiño, M. L. (2002). *Identificación y caracterización de moscas de las frutas en los departamentos del Valle del Cauca, Tolima y Quindío*. Tesis de pregrado, Universidad de Caldas, Manizales, Colombia.
- Marquez, J. (2005). Técnicas de colecta y preservación de insectos. *Boletín Sociedad Entomológica Aragonesa*, 37, 385-408.
- Martinez, J., & Serna, F. (2005). Identificación y localización geográfica de especies del género *Anastrepha* Schiner (Diptera: Tephritidae) en Cundinamarca (Colombia). *Agronomía Colombiana*, 23(1), 102-111.
- Mateo, R. G., Felicísimo, A. M., & Muñoz, J. (2011). Modelos de distribución de especies: Una revisión sintética. *Revista Chilena de Historia Natural*, 84(2), 217-240.
<https://doi.org/10.4067/S0716-078X2011000200008>
- Morrone, J. J. (2001). *Los patrones de la biodiversidad en tiempo-espacio* (1 ed.). México, D. F.: Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM).
- Nogués Bravo, D. (2003). El estudio de la distribución espacial de la biodiversidad: conceptos y métodos. *Cuadernos de Investigación Geográfica*, 29, 67-82.
<https://doi.org/10.18172/cig.1059>
- Nolasco, N., & Iannaccone, J. (2008). Fluctuación estacional de moscas de la fruta *Anastrepha* spp. y *Ceratitis capitata* (Wiedemann, 1824) (Diptera: Tephritidae) en trampas McPhail en Piura y en Ica, Perú. *Acta Zoológica Mexicana (N.S.)*, 24(3), 33-34.
<https://doi.org/10.21829/azm.2008.243906>
- Norrbom, A. (1987). *Manual of Central American Diptera*.
- Norrbom, A., Sutton, B., Steck, G., Nolasco Alvarado, N., Yabar Landa, E., Puma, B., . . . Azorsa Salazar, F. (2013). New host plant and distribution records for Peruvian Tephritinae (Diptera: Tephritidae). *Revista Peruana de Entomología*, 48(2), 19-28.

- Obregón Morales, L. K. (2017). *Análisis situacional de la mosca de la fruta (Ceratitis capitata) y el complejo Anastrepha spp. en Socco y Amoca – Aymaraes, 2016*. Tesis de pregrado, Universidad Tecnológica de los Andes, Abancay Perú.
<https://hdl.handle.net/20.500.14512/36>
- Phillips, E. J., Anderson, R. P., & Schapire, R. E. (2006). Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling*, 190(3-4), 231-259.
<https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2005.03.026>
- Pironon, S., Villellas, J., Thuiller, W., Eckhart, V. M., Geber, M. A., Moeller, D. A., & García, M. B. (2018). The 'Hutchinsonian niche' as an assemblage of demographic niches: Implications for species geographic ranges. *Ecography*, 41(7), 1103-1113.
<https://doi.org/10.1111/ecog.03414>
- Quesada Quiros, M., Acosta Vargas, L. G., Arias Aguilar, D., & Rodríguez Gonzales, A. (2017). Modelación de nichos ecológicos basado en tres escenarios de cambio climático para cinco especies de plantas en zonas altas de Costa Rica. *Revista Forestal Mesoamericana Kurú*, 14(34), 1-12. <https://doi.org/10.18845/rfmk.v14i34.2991>
- Ramos Kari, C. A., & Quispe Díaz, I. K. (2020). *Modelación de la distribución potencial de la vicuña (Vicugna vicugna) en la Reserva Nacional de Salinas y Aguada Blanca (Perú) con MaxEnt*. Trabajo de investigación para optar al grado académico de Bachiller en Ingeniería Ambiental, Universidad Peruana Unión, Puno, Juliaca.
<http://repositorio.upeu.edu.pe/handle/20.500.12840/3535>
- Ramos Peña, Á. M. (2017). *Especies de mosca de la fruta (Diptera: Tephritidae) y sus hospedantes en el valle de Abancay - Apurímac*. Tesis de pregrado, Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, Cusco Perú. <http://hdl.handle.net/20.500.12918/2680>
- Rogg, H., & Camacho, E. (2000). *History of fruitflies and their control in Bolivia*.
- Servicio Nacional de Sanidad Agraria (SENASA). (2016). *Mosca de la fruta: Sistema de vigilancia y monitoreo*. Informe técnico, Servicio Nacional de Sanidad Agraria (SENASA).
<https://es.scribd.com/document/545124788/2016-SENASA-Mosca-fruta>
- Servicio Nacional de Sanidad Agraria (SENASA). (2024). *MIDAGRI: Más de 70 mil productores beneficiados con campaña de control de mosca de la fruta*. Nota de prensa, Servicio Nacional de Sanidad Agraria (SENASA).
<https://www.gob.pe/institucion/senasa/noticias/900543-midagri-mas-de-70-mil-productores-beneficiados-con-campana-de-control-de-mosca-de-la-fruta>
- Souza Filho, M., Raga, A., & Zucchi, R. (2003). Moscas-das-frutas no estado de São Paulo: ocorrência e danos. *Laranja*, 24(1), 45-69.
- Souza, J. F. (2004). *Aspectos ecológicos das populações de moscas frugívoras (Diptera: Tephritoidea) no município de Araruama, Estado do Rio de Janeiro*. Tesis de maestría, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, Brasil.
- Triplehorn, C. A., & Johnson, N. F. (2005). *Borror and DeLong's Introduction to the Study of Insects* (7 ed.). Belmont, CA: Brooks/Cole.
- Ullah, F., Zhang, Y., Gul, H., Hafeez, M., Desneux, N., Qin, Y., & Li, Z. (2023). Estimation of the potential geographical distribution of invasive peach fruit fly (*Bactrocera zonata*) under climate change by integrated ecological niche models. *CABI Agriculture and Bioscience*, 4(1), 46. <https://doi.org/10.1186/s43170-023-00187-x>
- Valladares Gárate, M. B. (2016). *Taxonomía de la mosca de la fruta (Diptera: Tephritidae) en el Santuario Histórico de Machupicchu*. Tesis de pregrado, Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, Cusco Perú. <http://hdl.handle.net/20.500.12918/95>
- Volosky, D. (2010). *Las moscas de las frutas*. Programa Moscas de la Fruta. Santiago de Chile: Servicio Agrícola y Ganadero (SAG).

ANEXOS

Tabla 7*Ubicación y coordenadas geográficas para A. fraterculus*

Departamento	Municipalidad	Latitud	Longitud	Nombre científico
Apurímac	Illanya	13°39'03"	72°54'05"	<i>Anastrepha fraterculus</i>
Apurímac	Patibamba	13°38'25"	72°52'57"	<i>Anastrepha fraterculus</i>
Apurímac	San Gabriel	14°17'40"	73°14'64"	<i>Anastrepha fraterculus</i>
Apurímac	Pachachaca	13°28'13"	74°00'13"	<i>Anastrepha fraterculus</i>
Cusco	Chachabamba	13°11'10"	72°30'37"	<i>Anastrepha fraterculus</i>
Cusco	Limatambo	13°28'46"	72°26'39"	<i>Anastrepha fraterculus</i>
Apurímac	Chincheros	13°31'22"S	73°43'42"	<i>Anastrepha fraterculus</i>
Cusco	Yanahuara	13°16'18.84"	72°10'44.04"	<i>Anastrepha fraterculus</i>
Cusco	Yucay	13° 19' 6"	72° 5' 14"	<i>Anastrepha fraterculus</i>
Cusco	Urco	13°19'17"	71°59'04"	<i>Anastrepha fraterculus</i>
Cusco	Urubamba	13°18'37"	72°07'12"	<i>Anastrepha fraterculus</i>
Cusco	Huayocari	13°20'13.91"	72°3'51.83"	<i>Anastrepha fraterculus</i>
Cusco	Colcha	13°52'15"	71°52'01"	<i>Anastrepha fraterculus</i>
Apurímac	Amocca	14°18'04"	73°13'52"	<i>Anastrepha fraterculus</i>
Apurímac	Socco	14°08'24"	73°08'35"	<i>Anastrepha fraterculus</i>
Apurímac	Sallilluma	14°18'04"	73°13'52"	<i>Anastrepha fraterculus</i>
Apurímac	Abancay	13°38'00"	72°53'00"	<i>Anastrepha fraterculus</i>
Cusco	Kepashiato	12°38'19"	73°12'14"	<i>Anastrepha fraterculus</i>
Apurímac	Pachachaca	11°37'6.6"	76°1'8.4"	<i>Anastrepha fraterculus</i>
Cusco	Lares	13°06'14"	72°02'41"	<i>Anastrepha fraterculus</i>
Cusco	Camisea	11°43'13"	72°56'45"	<i>Anastrepha fraterculus</i>
Cusco	Chahuares	12°46'03"	72°34'37"	<i>Anastrepha fraterculus</i>
Cusco	Paucartambo	13°19'12"	71°35'34"	<i>Anastrepha fraterculus</i>

Tabla 8*Altitudes según coordenadas para A fraterculus*

Item	Especies	Coordenadas		Alturas
		Longitud	Latitud	
1	<i>A. fraterculus</i>	-72.4442	-13.4794	2936
2	<i>A. fraterculus</i>	-73.7283	-13.5227	2950
3	<i>A. fraterculus</i>	-72.1789	-13.2719	3159
4	<i>A. fraterculus</i>	-71.0872	-13.3183	3803
5	<i>A. fraterculus</i>	-71.9844	-13.3214	3417
6	<i>A. fraterculus</i>	-72.1199	-13.3103	3121
7	<i>A. fraterculus</i>	-72.0644	-13.3371	3407
8	<i>A. fraterculus</i>	-71.867	-13.8708	3822
9	<i>A. fraterculus</i>	-73.231	-14.301	3408
10	<i>A. fraterculus</i>	-73.143	-14.14	2930
11	<i>A. fraterculus</i>	-73.231	-14.301	3408
12	<i>A. fraterculus</i>	-72.8833	-13.6333	2442
13	<i>A. fraterculus</i>	-73.203	-12.6387	1066
14	<i>A. fraterculus</i>	-76.019	-11.6185	4261
15	<i>A. fraterculus</i>	-72.0447	-13.1039	3592
16	<i>A. fraterculus</i>	-72.9458	-11.7202	387
17	<i>A. fraterculus</i>	-72.5769	-12.7675	1362
18	<i>A. fraterculus</i>	-71.592	-13.32	3311

Tabla 9*Precipitaciones según coordenadas para A. fraterculus*

Item	Especies	Coordenadas		Precipitación mm
		Longitud	Latitud	
1	<i>A. fraterculus</i>	-72.4442	-13.4794	973
2	<i>A. fraterculus</i>	-73.7283	-13.5227	871
3	<i>A. fraterculus</i>	-72.1789	-13.2719	631
4	<i>A. fraterculus</i>	-71.0872	-13.3183	726
5	<i>A. fraterculus</i>	-71.9844	-13.3214	586
6	<i>A. fraterculus</i>	-72.1199	-13.3103	567
7	<i>A. fraterculus</i>	-72.0644	-13.3371	633
8	<i>A. fraterculus</i>	-71.867	-13.8708	837
9	<i>A. fraterculus</i>	-73.231	-14.301	863
10	<i>A. fraterculus</i>	-73.143	-14.14	908
11	<i>A. fraterculus</i>	-73.231	-14.301	863
12	<i>A. fraterculus</i>	-72.8833	-13.6333	1255
13	<i>A. fraterculus</i>	-73.203	-12.6387	1493
14	<i>A. fraterculus</i>	-76.019	-11.6185	803
15	<i>A. fraterculus</i>	-72.0447	-13.1039	689
16	<i>A. fraterculus</i>	-72.9458	-11.7202	1801
17	<i>A. fraterculus</i>	-72.5769	-12.7675	1518
18	<i>A. fraterculus</i>	-71.592	-13.32	438

Tabla 10*Temperatura según coordenadas para A. fraterculus*

Item	Especies	Coordenadas		Temperatura °C
		Longitud	Latitud	
1	<i>A. fraterculus</i>	-72.4442	-13.4794	14.68
2	<i>A. fraterculus</i>	-73.7283	-13.5227	14.20
3	<i>A. fraterculus</i>	-72.1789	-13.2719	13.21
4	<i>A. fraterculus</i>	-71.0872	-13.3183	8.107
5	<i>A. fraterculus</i>	-71.9844	-13.3214	11.31
6	<i>A. fraterculus</i>	-72.1199	-13.3103	13.45
7	<i>A. fraterculus</i>	-72.0644	-13.3371	11.68
8	<i>A. fraterculus</i>	-71.867	-13.8708	8.67
9	<i>A. fraterculus</i>	-73.231	-14.301	10.67
10	<i>A. fraterculus</i>	-73.143	-14.14	14.03
11	<i>A. fraterculus</i>	-73.231	-14.301	10.67
12	<i>A. fraterculus</i>	-72.8833	-13.6333	18.40
13	<i>A. fraterculus</i>	-73.203	-12.6387	22.70
14	<i>A. fraterculus</i>	-76.019	-11.6185	5.589
15	<i>A. fraterculus</i>	-72.0447	-13.1039	10.54
16	<i>A. fraterculus</i>	-72.9458	-11.7202	25.10
17	<i>A. fraterculus</i>	-72.5769	-12.7675	21.90
18	<i>A. fraterculus</i>	-71.592	-13.32	11.63

Tabla 11*Ubicación y coordenadas geográficas para Rhagoletis psalida*

Dep.	Prov.	Municipio	Latitud	Longitud	Alt.	Nombre Científico
Cusco	Anta	Anta	13°27'33,1"	72°08'10,9"	3650 m	<i>Rhagoletis psalida</i>
Cusco	Calca	Taray	13°25'36,4"	71°51'59,5"	3590 m	<i>Rhagoletis psalida</i>
Cusco	Anta	Paucarcoto	13°37'48,2"	72°13'57,9"	3185 m	<i>Rhagoletis psalida</i>
Cusco	Calca	Corao	13°28'28"	71°55'44,6"	3948 m	<i>Rhagoletis psalida</i>
Cusco	Santo Tomas	Santo Tomas	14°27'16,8"	72°05'8"	3561 m	<i>Rhagoletis psalida</i>
Cusco	Anta	Limatambo	13°28'47,1"	72°26'44,8"	2785 m	<i>Rhagoletis psalida</i>
Cusco	Calca	Pisac	13°25'14,9"	71°51'1,9"	3060 m	<i>Rhagoletis psalida</i>
Cusco	Anta	Anta	13°28'18"	72°08'57,92"	3501 m	<i>Rhagoletis psalida</i>
Cusco	Santo Tomas	Santo Tomas	14°28'55,9"	72°05'40,9"	3714 m	<i>Rhagoletis psalida</i>
Cusco	Calca	Calca	13°19'19,6"	71°57'18,4"	3315 m	<i>Rhagoletis psalida</i>
Cusco	Cusco	San Sebastián	13°31'21,5"	71°58'2,4"	3399 m	<i>Rhagoletis psalida</i>
Cusco	Anta	Haparquilla	13°27'51,8"	72°10'43,9"	3330 m	<i>Rhagoletis psalida</i>
Cusco	Calca	Taray	13°27'34,1"	71°55'40,9"	3610 m	<i>Rhagoletis psalida</i>
Cusco	Santo Tomas	Pulpera	14°27'00,3"	72°04'56,4"	3948 m	<i>Rhagoletis psalida</i>
Cusco	Calca	Calca	13°19'17"	71°59'04"	2935 m	<i>Rhagoletis psalida</i>
Cusco	Urubamb a	Machupicchu	13°10'32,79"	72°33'79"	1819 m	<i>Rhagoletis psalida</i>
Cusco	Urubamb a	Machupicchu	13°10'30,96"	72°33'26,52"	1819 m	<i>Rhagoletis psalida</i>
Cusco	Canchis	Pitumarca	13°58'48,5"	71°24'57,3"	3350 m	<i>Rhagoletis psalida</i>
Cusco	Cusco	San Sebastián	13°30'11,5"	71°55'23,6"	3360 m	<i>Rhagoletis psalida</i>
Cusco	Urubamb a	Ollantaytambo	13°16'18,8"	72°10'44"	2792 m	<i>Rhagoletis psalida</i>
Cusco	Calca	Taray	13°28'23.32"	71°55'32.32"	2554 m	<i>Rhagoletis psalida</i>

Tabla 12*Altitudes según coordenadas para R. psalida*

Item	Especies	Coordenadas		Alturas m.s.n.m
		Longitud	Latitud	
1	<i>R. psalida</i>	-72.1363	-13.4592	3463
2	<i>R. psalida</i>	-71.8665	-13.4267	3367
3	<i>R. psalida</i>	-72.2327	-13.6301	3089
4	<i>R. psalida</i>	-71.929	-13.4744	3739
5	<i>R. psalida</i>	-72.0855	-14.4546	3557
6	<i>R. psalida</i>	-72.4457	-13.4797	2936
7	<i>R. psalida</i>	-71.8505	-13.4208	3367
8	<i>R. psalida</i>	-72.1494	-13.4716	3463
9	<i>R. psalida</i>	-72.0946	-14.4821	3682
10	<i>R. psalida</i>	-71.9551	-13.3221	3473
11	<i>R. psalida</i>	-71.9673	-13.5226	3500
12	<i>R. psalida</i>	-72.1788	-13.4643	3327
13	<i>R. psalida</i>	-71.928	-13.4594	3739
14	<i>R. psalida</i>	-72.0823	-14.4501	3790
15	<i>R. psalida</i>	-71.9844	-13.3213	3417
16	<i>R. psalida</i>	-72.5719	-13.1757	2407
17	<i>R. psalida</i>	-72.5573	-13.1752	2407
18	<i>R. psalida</i>	-71.4159	-13.9801	3842
19	<i>R. psalida</i>	-71.9232	-13.5031	3425
20	<i>R. psalida</i>	-72.1788	-13.2718	3159
21	<i>R. psalida</i>	-71.9256	-13.4731	3739

Tabla 13*Precipitaciones según coordenadas para R. psalida*

Item	Especies	Coordenadas		Precipitación mm
		Longitud	Latitud	
1	<i>R. psalida</i>	-72.1363	-13.4592	731
2	<i>R. psalida</i>	-71.8665	-13.4267	554
3	<i>R. psalida</i>	-72.2327	-13.6301	820
4	<i>R. psalida</i>	-71.929	-13.4744	764
5	<i>R. psalida</i>	-72.0855	-14.4546	923
6	<i>R. psalida</i>	-72.4457	-13.4797	973
7	<i>R. psalida</i>	-71.8505	-13.4208	554
8	<i>R. psalida</i>	-72.1494	-13.4716	731
9	<i>R. psalida</i>	-72.0946	-14.4821	914
10	<i>R. psalida</i>	-71.9551	-13.3221	601
11	<i>R. psalida</i>	-71.9673	-13.5226	704
12	<i>R. psalida</i>	-72.1788	-13.4643	722
16	<i>R. psalida</i>	-71.928	-13.4594	764
14	<i>R. psalida</i>	-72.0823	-14.4501	924
15	<i>R. psalida</i>	-71.9844	-13.3213	586
16	<i>R. psalida</i>	-72.5719	-13.1757	1389
17	<i>R. psalida</i>	-72.5573	-13.1752	1389
18	<i>R. psalida</i>	-71.4159	-13.9801	788
19	<i>R. psalida</i>	-71.9232	-13.5031	664
20	<i>R. psalida</i>	-72.1788	-13.2718	631
21	<i>R. psalida</i>	-71.9256	-13.4731	764

Tabla 14*Temperatura según coordenadas para R. psalida*

Item	Especies	Coordenadas		Temperatura °C
		Longitud	Latitud	
1	<i>R. psalida</i>	-72.1363	-13.4592	11.29
2	<i>R. psalida</i>	-71.8665	-13.4267	11.53
3	<i>R. psalida</i>	-72.2327	-13.6301	13.40
4	<i>R. psalida</i>	-71.929	-13.4744	9.37
5	<i>R. psalida</i>	-72.0855	-14.4546	9.62
6	<i>R. psalida</i>	-72.4457	-13.4797	14.68
7	<i>R. psalida</i>	-71.8505	-13.4208	11.53
8	<i>R. psalida</i>	-72.1494	-13.4716	11.29
9	<i>R. psalida</i>	-72.0946	-14.4821	8.83
10	<i>R. psalida</i>	-71.9551	-13.3221	10.99
11	<i>R. psalida</i>	-71.9673	-13.5226	10.68
12	<i>R. psalida</i>	-72.1788	-13.4643	12.09
13	<i>R. psalida</i>	-71.928	-13.4594	9.37
14	<i>R. psalida</i>	-72.0823	-14.4501	8.23
15	<i>R. psalida</i>	-71.9844	-13.3213	11.31
16	<i>R. psalida</i>	-72.5719	-13.1757	17.39
17	<i>R. psalida</i>	-72.5573	-13.1752	17.39
18	<i>R. psalida</i>	-71.4159	-13.9801	7.71
19	<i>R. psalida</i>	-71.9232	-13.5031	11.15
20	<i>R. psalida</i>	-72.1788	-13.2718	13.21
21	<i>R. psalida</i>	-71.9256	-13.4731	9.37

Figura 50
 Registro de ejemplares de *Anastrepha fraterculus*



Figura 51

Ejemplar de Anastrepha fraterculus



Figura 52
Registro de ejemplares de *Rhagoletis psalida*



Figura 53
Ejemplar de Rhagoletis psalida



Figura 54
Procesamiento y registro de datos de ambas especies



Figura 55
Identificación taxonómica de ambas especies

