



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE BABAHOYO**

**CENTRO DE ESTUDIOS DE POSGRADO**

**PROGRAMA DE MAESTRÍA EN AGRONOMÍA, MENCIÓN  
PROTECCIÓN VEGETAL**

**TRABAJO DE TITULACIÓN COMO REQUISITO PREVIO PARA LA  
OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE**

*Magister en Agronomía, mención Protección Vegetal*

Análisis poblacional de mosca de la fruta (*Anastrepha* y *Ceratitis*), mediante  
indicadores locales de asociación espacial en las provincias de Los Ríos y  
Guayas

**AUTORES:**

Basantes León Erick Leonardo

Villamar Palma Juan Antonio

**TUTOR:**

Cedeño Loja, Pedro Emilio, PhD

Babahoyo, 2022

## Dedicatoria

*Dedico este trabajo primeramente a Dios, el que me acompaña y me levanta de mis tropiezos, a mis padres por ser el apoyo, pues sin ellos no lo había logrado.*

Gracias todos por ser incondicionales.

## **Agradecimientos**

Agradezco a Dios por habernos otorgado unas familias maravillosas quienes han creído en nosotros siempre. Dándonos un ejemplo de superación, humildad y sacrificios enseñándonos a valorar todo a nuestro alrededor. Por qué han fomentado en nosotros el deseo de superación y triunfo en la vida, lo que ha contribuido a la consecución de este logro esperamos contar con su valioso e incondicional apoyo.

## CERTIFICACIÓN DEL TUTOR

**Certifico**, que el presente trabajo investigativo desarrollado previo a la obtención del título de Magister en Agronomía mención en Protección vegetal, por el **ING. JUAN ANTONIO VILLAMAR PALMA Y ERICK LEONARDO BASANTES LEON**, cuyo tema es “**Análisis poblacional de mosca de la fruta (*Anastrepha* y *Ceratitis*), mediante indicadores locales de asociación espacial en las provincias de Los Ríos y Guayas**”, se ajusta a las normas establecidas por el centro de Posgrado y Educación continua de la Universidad Técnica de Babahoyo, por lo cual autorizo su presentación para los fines pertinentes.



Firmado electrónicamente por:

**PEDRO EMILIO CEDENO  
LOJA**

**D. Sc., Pedro Emilio Cedeño Loja  
TUTOR DE TESIS**

# Contenido

<b>Dedicatoria</b> .....	i
<b>Agradecimientos</b> .....	ii
<b>Certificación</b> .....	iv
Resumen .....	x
Abstract.....	xi
INTRODUCCIÓN.....	1
I. CONTEXTUALIZACIÓN DEL PROBLEMA .....	3
1.1. Formulación del problema .....	3
1.2. Justificación .....	4
1.3. Objetivos.....	4
1.3.1. Objetivo general .....	4
1.3.2. Objetivos específicos .....	4
II. MARCO TEÓRICO .....	5
2.1. Moscas de las frutas .....	5
2.1.1. Principales especies .....	5
2.1.2. Descripción.....	6
2.1.3. Biología .....	7
2.2. Trampeo y definición de umbrales económicos de moscas de las frutas .....	8
2.3. Sistemas de Información Geográfica .....	10
2.4. Información climática y toma de decisiones en la agricultura.....	11
2.5. Análisis Hotspots .....	12
2.6. Análisis exploratorio de datos.....	13
III. METODOLOGÍA.....	15
3.1. Área de estudio .....	15
3.2. Materiales y Equipos .....	16
3.2.1. Información climatológica.....	16

3.3.	Factores de estudio.....	16
3.4.	Variables evaluadas y análisis de datos .....	16
	• Análisis de la ocurrencia de moscas de la fruta de acuerdo con el MTD por año	16
	• Análisis de la ocurrencia de moscas de la fruta de acuerdo con el MTD por mes	17
	• Análisis de la asociación espacial de MTD .....	17
	• Análisis de la correlación entre las variables MDT y de asociación espacial .....	17
3.5.	Análisis preliminar de hotspots.....	17
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	18
4.1.	Resultados obtenidos de la investigación .....	18
4.1.1.	Ocurrencia de moscas de las frutas (MTD).....	18
4.1.2.	Media mensual de ocurrencia de mosca de la fruta (MTD) .....	20
4.1.3.	Asociación espacial de poblaciones de moscas de la fruta (MTD).....	21
4.1.4.	Indicadores climáticos de las zonas de estudio .....	22
4.1.5.	Análisis de la ocurrencia de moscas de la fruta de acuerdo con el MTD por año	24
4.1.6.	Análisis de la ocurrencia de moscas de la fruta de acuerdo con el MTD por mes	24
4.1.7.	Análisis de la asociación espacial de MTD .....	25
4.1.8.	Análisis de la correlación entre las variables MDT y de asociación espacial	27
4.2.	Pruebas estadísticas aplicadas.....	28
4.3.	Análisis e interpretación de datos .....	30
4.4.	Discusión de Resultados .....	32
V.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	34
5.1.	Conclusiones.....	34
5.2.	Recomendaciones .....	35
VI.	BIBLIOGRAFÍA .....	36

## ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1. RESULTADOS DEL ANÁLISIS CLIMATOLÓGICO 2015 – 2019, PARA GUAYAS Y LOS RÍOS. LA MEDIA CORRESPONDE A UNA MEDIA ESPACIAL.....	22
TABLA 2. RESULTADOS DEL ANÁLISIS CLIMATOLÓGICO POR MES DE LOS AÑOS DE ESTUDIO EN LA PROVINCIA DEL GUAYAS. ....	23
TABLA 3. RESULTADOS DEL ANÁLISIS CLIMATOLÓGICO POR MES DE LOS AÑOS DE ESTUDIO EN LA PROVINCIA DE LOS RÍOS. ....	23
TABLA 4. RESULTADOS DEL MODELO DE REGRESIÓN MULTIVARIADO. ....	30

## ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. ÁREAS DE ESTUDIO DE POBLACIONES DE MOSCAS DE LAS FRUTAS. ....	15
FIGURA 2. PROMEDIO DE MTD EN EL PERÍODO 2015 – 2019 PARA GUAYAS Y LOS RÍOS. ....	18
FIGURA 3. RESULTADOS DEL MTD POR AÑO EN EL PERÍODO 2015 – 2019. LOS PUNTOS FUERA DE LAS CAJAS REPRESENTAN VALORES ATÍPICOS. ....	19
FIGURA 4. HISTOGRAMA DE MTD PARA GUAYAS Y LOS RÍOS. (PERÍODO 2015 – 2019). ....	19
FIGURA 5. HISTOGRAMA DE MDT MEDIO ANUAL (2015 – 2019). ....	20
FIGURA 6. PROMEDIO DE MTD MEDIO MENSUAL (2015 – 2019). GUAYAS Y LOS RÍOS. ....	20
FIGURA 7. RUTAS DE TRAMPEO DE MOSCA DE LA FRUTA DEL PNMMF, PARA GUAYAS Y SANTA ELENA. ....	21
FIGURA 8. HISTOGRAMA DE Z-SCORE, BASADO EN EL MTD CALCULADO, PARA TODA LA SERIE DE DATOS (2015 – 2019), GUAYAS Y LOS RÍOS. ....	22
FIGURA 9. HISTOGRAMA DE Z-SCORE, BASADO EN EL MTD CALCULADO PARA GUAYAS Y LOS RÍOS. (2015 – 2019). ....	25
FIGURA 10. HISTOGRAMA DE Z-SCORE, BASADO EN EL MTD CALCULADO ANUALMENTE. ....	26
FIGURA 11. MAPA DE CALOR DE COMPARACIÓN ENTRE Z-SCORE (A) Y P-VALOR (B) SOBRE LA BASE COMPLETA (2015 – 2019) PARA GUAYAS Y LOS RÍOS. ....	26
FIGURA 12. MAPA DE CALOR DE COMPARACIÓN ENTRE Z-SCORE (A) Y P-VALOR (B) PARA GUAYAS Y LOS RÍOS (2015 – 2019). ....	27
FIGURA 13. MATRIZ DE CORRELACIÓN ENTRE LAS VARIABLES MDT, Z-SCORE Y P.VALUE CON LAS VARIABLES CLIMATOLÓGICAS DE GUAYAS Y LOS RÍOS. DONDE: $T_{MAX}$ = TEMPERATURA MÁXIMA, $T_{MIN}$ = TEMPERATURA MÍNIMA, RH= HUMEDAD RELATIVA, RAD= RADIACIÓN SOLAR, T2AVG= TEMPERATURA MEDIA. ....	28
FIGURA 14. RESULTADOS DEL MODELO MULTIVARIADO. ....	30

## Resumen

Debido a su alto potencial para atacar una gran diversidad de especies, las moscas de las frutas son consideradas unas de las plagas de mayor importancia cuarentenaria para muchos países. Dentro de los programas de control de moscas de las frutas, uno de los componentes principales es el conocimiento de la bio ecología en función a las condiciones climáticas de las zonas productoras. Dicha información, favorece el manejo oportuno de poblaciones de la plaga. Ante lo expuesto, el presente trabajo de investigación tuvo como objetivo evaluar el comportamiento poblacional de mosca de la fruta (Díptera: Tephritidae), mediante el análisis geoestadístico. El estudio se realizó mediante el monitoreo de moscas de la fruta en el periodo 2015 al 2019 en la provincia de Los Ríos y Guayas con ayuda del Proyecto de manejo de moscas de la fruta (PMMF) de La Agencia de Regulación y Control fitosanitaria (AGROCALIDAD). Los datos climáticos en las rutas de trampeo fueron obtenidos del European Center for Medium-Range Weather Forecasts con una resolución espacial de  $0,25^{\circ}$  Latitud x  $0,25^{\circ}$  Longitud de 1980 a 2018. El análisis de datos se realizó mediante diagramas de caja, histogramas, gráficos de dispersión y para determinar la relación entre población de moscas de la fruta y variables climáticas, se calculó el coeficiente de correlación de Pearson. De acuerdo a los resultados obtenidos, la provincia del Guayas presentó los promedios anuales de moscas/trampas/día (MTD) más alto (0,36) en comparación con los Ríos (0,085). La fluctuación poblacional de moscas de la fruta mostró que en meses de enero y febrero se reportó los valores más altos de MTD con 0,771 y 0,508 respectivamente. Mientras que, las poblaciones decrecieron a partir del mes de marzo (0,379) llegando a niveles bajo para los meses de octubre noviembre y diciembre (0,071). Existe una alta relación entre las variables climáticas y la fluctuación poblacional de la plaga y de igual forma una relación entre la época de maduración de los frutales hospederos y poblaciones de moscas de la fruta. Por tanto, los estudios de las fluctuaciones poblacionales de las diferentes especies de moscas de la fruta, distribución de hospederos y conocimiento de las condiciones climáticas resultan herramientas de que favorecen la planificación de las diferentes medidas de control y supresión de la plaga.

**Palabras claves:** Frutales, Hospederos, Manejo Integrado de Plaga, Plaga Cuarentenaria.

## **Abstract**

Due to their high potential to attack a great diversity of species, fruit flies are considered one of the most important quarantine pests for many countries. Within the fruit fly control programs, one of the main components is the knowledge of the bio ecology based on the climatic conditions of the producing areas. This information favors the timely management of pest populations. Given the above, the present research work aimed to evaluate the population behavior of the fruit fly (Diptera: Tephritidae), through geostatistical analysis. The study was carried out by monitoring fruit flies in the period 2015 to 2019 in the province of Los Ríos and Guayas with the help of the Fruit Fly Management Project (PMMF) of the Phytosanitary Regulation and Control Agency (AGROCALIDAD). Climate data on the trapping routes were obtained from the European Center for Medium-Range Weather Forecasts with a spatial resolution of  $0.25^{\circ}$  Latitude x  $0.25^{\circ}$  Longitude from 1980 to 2018. Data analysis was performed using box plots, histograms, scatter plots and to determine the relationship between the fruit fly population and climatic variables, the Pearson correlation coefficient was calculated. According to the results obtained, the province of Guayas presented the highest annual averages of flies/traps/day (MTD) (0.36) compared to Los Ríos (0.085). The population fluctuation of fruit flies showed that in the months of January and February the highest MTD values were reported with 0.771 and 0.508 respectively. While what, the populations decreased from the month of March (0.379) reaching low levels for the months of October, November and December (0.071). There is a high relationship between the climatic variables and the population fluctuation of the pest and in the same way a relationship between the ripening season of the host fruit trees and fruit fly populations. Therefore, studies of the population fluctuations of the different species of fruit flies, distribution of hosts and knowledge of climatic conditions are tools that favor the planning of the different measures of control and suppression of the pest.

**Keywords:** Fruit trees, Hosts, Integrated Pest Management, Quarantine Pest.

## INTRODUCCIÓN

Las moscas de las frutas son consideradas unas de las plagas de mayor importancia cuarentenaria para muchos países, debido a su alto potencial para atacar una gran diversidad de especies frutales, causando daños a los frutos y pérdidas económicas, por esta razón, se restringe el acceso de productos hospederos de la plaga a los mercados internacionales o se imponen medidas fitosanitarias severas que restringen o limitan el intercambio comercial (Farah et al., 2020).

Las moscas de la fruta causan mermas significativas debido a los perjuicios directos e indirectos que ocasionan (Gonçalves et al., 2016). Los daños directos son ocasionados al ovipositar en el epicarpio y mesocarpio de las frutas, así como en tejidos de las plantas o por el comportamiento de alimentación de las larvas que vuelven factible el consumo o uso industrial de las frutas (Paranhos et al., 2019). Mientras que los daños indirectos son el resultado de la contaminación de microorganismos patógenos en los locales de la fruta atacados por estos insectos (Farah et al., 2020; Härter et al., 2010).

En los países de América Latina se producen cultivos frutícolas, que hasta hace décadas no se reportaban pérdidas causadas por plagas como mosca del mediterráneo u otro tipo de moscas de las frutas (García & Ricalde, 2012). Sin embargo, en países como Ecuador se cultivan especies frutícolas para suplir la demanda nacional e internacional.

En la actualidad, parte de la producción nacional se exporta luego de cumplir con requisitos fitosanitarios del país importador, considerando principalmente los daños ocasionados por las moscas de las frutas, los mismo que son considerados los principales problemas a combatir (Sánchez & Prieto, 2018).

Los daños causados por las moscas de las frutas afectan el rendimiento, elevando los costos de producción los cuales están asociados con los servicios de vigilancia, control y erradicación, exigiendo una logística compleja. En este contexto, las especies de la familia Tephritidae son las de importancia económica en la producción de especies frutales debido a los daños y a su amplia distribución (Clavijo et al., 2018).

En este contexto, una de las principales actividades que se debe ejecutar es el monitoreo de las especies de moscas de las frutas para determinar la diversidad de especies en un área, sumado a esto, se recomienda conocer el rango de hospedero de cada especie, conocer la distribución y dinámica poblacional de acuerdo a las condiciones climáticas de la localidad, lo cual posibilita planificar la ampliación de medidas de control (Deus et al., 2016).

Así, dentro de los sistemas de producción agrícola es importante el uso y manejo de datos bio ecológicos con la finalidad de generar información que permita diagnosticar la aparición previa de plagas. Dentro de los programas de manejo integrado de plaga (MIP), se utilizan una variedad de modelos estadísticos, que contribuyen a una eficiente toma de decisiones en el control de organismos perjudiciales.

Por lo expuesto, el estudio del comportamiento poblacional de las especies de moscas de las frutas de importancia económica en la provincia de Los Ríos y Guayas permitirá una respuesta oportuna en el manejo integrado de la plaga en las zonas frutícolas.

# I. CONTEXTUALIZACIÓN DEL PROBLEMA

## 1.1. Formulación del problema

La mayor parte de las exportaciones de frutas han crecido considerablemente durante la última década y estas han sido absorbido por los principales mercados importadores como: Estados Unidos, China, Alemania y otros.

Ecuador es un país agrícola que aporta al desarrollo económico de los procesos productivos. A partir del análisis de los diferentes procesos de producción en el sector frutícola se ha evidenciado que las moscas de las frutas son consideradas una de las plagas más preocupantes, debido al impacto económico que causan debido a los daños causados de manera directa e indirecta.

Por tal motivo, la Organización Nacional de Protección Fitosanitaria (ONPF) estableció el Proyecto Nacional de Manejo de Moscas de la Fruta con la finalidad de controlar y manejar esta plaga. Entre los objetivos de este proyecto se encuentra identificar las especies de moscas de las frutas y épocas de mayor incidencia, para así implementar estrategias de manejo integrado y disminuir las poblaciones de este insecto plaga, y de esta manera mejorar la producción frutícola.

El análisis geoespacial se refiere a la recolección, afinamiento, procesamiento y visualización de datos, históricos, dimensiones y sinergias con un enfoque geográfico y espacial. Es una herramienta utilizada para distintos procesos alrededor del mundo como instrumento de análisis, gestión y planificación, como es el caso de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) que de manera digital muestran diferentes capas de información.

Bajo esa premisa, los mapas son ahora herramientas digitales que describen y analizan de forma espacial los fenómenos sociales, económicos y ambientales de los territorios. Constituyen una herramienta de evaluación basada en evidencia y datos.

Por lo anterior, se hace necesario generar información sobre la dinámica poblacional de la mosca de la fruta en las zonas de mayor producción frutícola, que permita tener un control eficiente de la plaga. En la actualidad, las fluctuaciones poblacionales de los géneros *Anastrepha* y *Ceratitis*, su relación con los factores bióticos/abióticos y su distribución

espacial, son muy poco conocidas. Éste representa uno de los retos para la agricultura moderna en el país.

## **1.2. Justificación**

A nivel mundial, las moscas de las frutas son consideradas una de las plagas de mayor importancia cuarentenaria, siendo ciertas especies polífagas, ocasionando daños de forma directa e indirecta, afectando así su comercialización en mercados nacionales e internacionales.

Dentro de los programas de control de moscas de las frutas, uno de los componentes principales es el conocimiento de la bio ecología, y sumado a esto, el uso de información geoespacial ayudará a establecer épocas oportunas de manejo de las poblaciones.

La presente investigación tuvo como fin determinar las zonas y épocas de mayor incidencia de las moscas de las frutas de acuerdo con los indicadores climáticos (humedad relativa, temperatura, nubosidad, velocidad de viento y precipitación) sometidos a programas geoespaciales y bioestadísticos de las provincias de Los Ríos y Guayas.

## **1.3. Objetivos**

### **1.3.1. Objetivo general**

Evaluar el comportamiento poblacional de mosca de la fruta (Díptera: Tephritidae), mediante el análisis geoestadístico

### **1.3.2. Objetivos específicos**

- Analizar los datos anuales de ocurrencia de mosca de la fruta e indicadores climáticos en las zonas de estudio
- Estimar los indicadores locales de asociación espacial mediante el uso de un sistema de información geográfica
- Elaborar mapas de *Hot points* en base a *z-score* calculado

## **II. MARCO TEÓRICO**

### **2.1. Moscas de las frutas**

Los Tephritidos son la familia de dípteros más importante para la agricultura mundial, especialmente en la producción frutícola y su mayor diversidad está presente en el trópico y subtrópico (Ramos et al., 2019). Muchas especies de moscas de las frutas constituyen una plaga de importancia económica en varios países sudamericanos como Brasil, Argentina y Perú (Flores et al., 2012).

Las moscas de las frutas, constituyen uno de los grupos de insectos que producen grandes pérdidas por los daños causados de forma directa e indirecta, en una diversidad especies de vegetales, siendo de gran importancia en los frutales (Silva et al., 2019); los daños del insecto comienzan en su estado larval las cuales destruyen los frutos completamente, cuentan con un variado número de hospedantes, poseen una gran adaptación, dispersión y proliferación lo que ha permitido invadir sistemas de producción frutícolas en poblaciones numerosas (Saldaña et al., 2019).

#### **2.1.1. Principales especies**

La familia Tephritidae es uno de los grupos más diversos del orden Díptera a nivel mundial, se les conoce comúnmente como “verdaderas moscas de las frutas”, debido a sus hábitos alimenticios en tejido vivo de una variedad de plantas silvestres y cultivadas, por tanto, varias especies son de importancia económica. No obstante, otras no se alimentan propiamente de los frutos, sino que también lo hacen en semillas, inflorescencias y tallos (Hernández et al., 2010; Silva et al., 2019)

Dentro de la familia Tephritidae se encuentran unas 4.700 especies moscas agrupadas en un aproximado de 500 géneros, distribuidos por las regiones templadas, tropicales y subtropicales de todo el mundo, mientras que en el Continente Americano ocurren 1.075 especies en 128 géneros. A pesar de la extraordinaria diversidad de esta familia en América, no se conoce a profundidad la relación que estas comparten con las plantas de las que se alimentan, sólo se dispone de información para cerca del 25 % de las especies americanas (Norrbom et al., 2013; Vories, 2016).

Entre las especies frugívoras destacan algunas como, “la mosca del mediterráneo” *Ceratitis capitata* (Wiedemann). Originaria de África, es cosmopolita y considerada una de las plagas de mayor importancia a nivel mundial por sus daños causados en la productividad de las especies vegetales que ataca y por las restricciones de impuestas en mercados mundiales como Norte América y Asia Pacífico. Infesta más de 200 hospederos, posee una amplia distribución en las regiones tropicales y subtropicales del mundo, y actualmente está presente en otros países de América Central y en Sudamérica (De Meyer et al., 2008; Papanicolaou et al., 2016; Ramos et al., 2019; Sciarretta et al., 2018).

En las Américas, existen otros grupos de especies de moscas frugívoras pertenecientes a los géneros *Anastrepha* Schiner, *Toxotrypana* Gerstaecker y *Rhagoletis* Loew que se encuentran afectando una gran diversidad de especies vegetales nativas e introducidas. El género *Anastrepha* Schiner (Tephritidae: Toxotrypanini) es el más grande de tefritidos de las Américas y comprende más de 250 especies presentes desde el sur de los Estados Unidos (Texas y Florida) hasta el norte de la Argentina (Ramos et al., 2019; Saldaña et al., 2019; Silva et al., 2019).

Del género *Anastrepha*, siete especies se consideran plagas de importancia económica debido a que afectan a frutas cultivadas muy importantes (p. ej., el mango y los cítricos) y por tener un vasto rango de hospedantes. Estas siete especies son: *A. fraterculus* (Wiedemann), *A. grandis* (Macquart), *A. ludens* (Loew), *A. obliqua* (Macquart), *A. serpentina* (Wiedemann), *A. striata* Schiner y *A. suspensa* (Loew). *A. fraterculus* (Wiedemann) está reconocido como un complejo de especies crípticas (Norrbon et al., 2013; Vilatuña et al., 2016; Vories, 2016).

### **2.1.2. Descripción**

La familia Tephritidae son característicos por ser individuos de tamaño pequeño a grande (2-35 mm) de colores muy variados; generalmente poseen patrones de coloración alar de formas muy diversas ya sea con bandas oscuras o amarillas, manchas hialinas redondeadas, o una combinación de ambas. Algunas especies mimetizan a ciertas avispas por su morfología corporal y otras tienen patrones de colores alares que imitan a ciertas arañas (Hernández et al., 2010; Saldaña et al., 2019).

Las hembras el séptimo segmento abdominal tiene forma cónica, en el cual se encuentra una estructura esclerosada denominado ovipositor o aculeus, mismo que sirve para insertar los

huevos en el tejido de diversos vegetales. El huevo es de color blanquecino, con forma ovoidea, unas cinco veces más largo que ancho. Tanto las características del ovipositor como los patrones de colores de las alas, son de gran importancia taxonómica para el reconocimiento de las especies (Hernández et al., 2010; Norrbom et al., 2013)

Las larvas son apodas, vermiformes y poseen un cuerpo alargado o corto y ancho, de color blanquecino pero con tonalidades amarillentas y que puede llegar a presentar una coloración anaranjada, en función de su alimentación; no forma una cápsula cefálica y posee un par de ganchos mandibulares oscuros fuertemente esclerosados, abertura bucal con varios pliegues orales; espiráculos anteriores situados en el primer segmento torácico formado por un número variable de túbulos; espiráculos posteriores localizados en el segmento caudal, conformados por dos placas con tres aberturas alargadas en cada uno de ellos (Hernández et al., 2010; Nunes et al., 2013).

El pupario, en cuyo interior se desarrolla la pupa del insecto, tiene forma elipsoidal y coloración marrón-ocre. Los adultos de las moscas de la fruta se pueden distinguir de otros dípteros por la vena subcostal en las alas, la misma que se dobla hacia la vena costal formando un ángulo aproximado de 90° y se adelgaza después de esa curvatura. La cabeza presenta generalmente una proboscis carnosa y palpos bien desarrollados, tiene un par de ojos compuestos y tres ocelos, antenas simples formadas por tres segmentos y una arista corta usualmente desnuda (Bomfim et al., 2014; Hernández et al., 2010; Norrbom et al., 2013).

### **2.1.3. Biología**

Los tephritidos denominados moscas de las frutas, tienen hábitos fitófagos siendo este el requerimiento indispensable para cumplir su desarrollo. En general, los Tephritidae son característicos por su hábito alimenticio de una amplia variedad de frutos y vegetales, pero también existe otro grupo de especies que se alimentan de botones florales o formando agallas en tallos (Ramos et al., 2019; Souza et al., 2020).

La duración del ciclo de vida de los tephritidos está estrechamente relacionada a la temperatura y de más condiciones ambientales como la humedad. Su actividad se reduce drásticamente en temperaturas bajas (por debajo de los 14°C), en estado de pupa incluso puede entrar en diapausa. Si la temperatura sube las actividades de desenvolvimiento se normalizan. En zonas con clima agradables con 25±2°C de temperatura, humedad relativa

del 70% y fotoperiodo de 12 horas, puede completar de 6 a 8 generaciones al año, siendo estas las condiciones óptimas para su desenvolvimiento (Flores et al., 2012; Nunes et al., 2013)

El ciclo de vida comienza cuando las hembras ovipositan sus huevos en el tejido vivo de los vegetales, en un promedio de 300 huevos dependiendo de la especie. El periodo de incubación de los huevos puede variar de acuerdo a la especie de moscas de las frutas y a las condiciones ambientales que se encuentran sometidos, en promedio el tiempo de la postura hasta su eclosión es de 3 a 7 días (Dias et al., 2018).

Las larvas pasan por tres estadios de desarrollo, en un periodo de entre 20-40 días al interior del vegetal del que se alimenta, y cuando estas cumplen su desarrollo, abandonan la planta para realizar la pupa en el suelo, existen casos en que forman el pupario dentro de la estructura vegetal donde se alimentan; el periodo de pupa tiene una duración de 20-30 días y en ciertas especies tiene lugar un proceso de diapausa. La duración del ciclo larval está influenciada de forma directa por las condiciones de humedad y temperatura, pero también de las características propias del hospedero (Flores et al., 2012; Oliveira et al., 2011).

Una vez emergidas las moscas adultas del pupario requieren, de un periodo de maduración sexual (que varía desde unos días hasta varias semanas), antes de que pueda aparearse para dar lugar a otra generación. En este proceso, tanto machos como hembras, se alimentan de una variedad considerable de productos naturales, incluyendo exudados de tejidos vegetales y de frutos maduros, néctar de flores y excremento de aves (Flores et al., 2012; Nunes et al., 2013).

## **2.2. Trampeo y definición de umbrales económicos de moscas de las frutas**

La detención de moscas de las frutas es uno de los principales componentes para el establecimiento de los programas de manejo integrado de la plaga. Para esta acción se utilizan dispositivos de captura conocidos como trampas y la adición de diferentes tipos de atrayentes. Entre los objetivos principales del trampeo tenemos la detención y delimitación de las áreas libres o infestadas por las moscas de las frutas. De igual manera podemos definir las poblaciones y determinar los umbrales económicos en áreas de producción (ICA, 2017).

El trampeo de moscas de las frutas tiene como fin la detención temprana para realizar diferentes acciones ante su presencia, es decir, realizar actividades de manejo para la supresión y/o erradicación de ser posible. De igual manera los datos históricos recolectados

a lo largo del tiempo nos dan pautas para realizar medidas preventivas ante el posible ataque de la plaga (ICA, 2017).

El manejo o tratamientos para las moscas de las frutas son recomendados cuando los niveles de infestaciones exceden los umbrales de daño, que en este caso es de 0,5 MTD (mosca por trampa por día). Para medir el MTD se utiliza trampas. La trampa es una estructura física con características que le permiten atraer y capturar algún organismo específico. Para el caso de las moscas de la fruta consiste en la combinación de un atrayente, un cuerpo y un método de retención. Las trampas tipo McPhail cebadas con proteína se utilizan para moscas del género *Anastrepha* y *Ceratitis*. En el mercado existen feromonas sintéticas como la trimetilamina para la atracción de moscas del género *Ceratitis*, en este caso se utilizan trampas tipo Jackson (Rodríguez & Iparraguirre, 2021).

Para determinar el índice de densidad poblacional de moscas de las frutas se debe utilizar la fórmula siguiente:

$$\text{MTD} = \text{MC} / \text{TR} \cdot \text{DE}$$

Donde:

MTD: Moscas por trampas por días.

MC: Moscas capturadas en cada trampa.

TR: Número de trampas en que se capturaron.

DE: Días de exposición de las trampas revisadas.

Los resultados de estos cálculos se expresaron para el total de trampas que capturaron en cada cuadrante cartográfico, en cada uno de los meses del año. La definición del MTD es alto cuando alcanza el 0,5 de capturas, esta densidad poblacional será considerada alta independientemente si el objetivo del trampeo es para el monitoreo en ruta de detención o definición de umbral económico en áreas de producción de frutales (Rodríguez & Iparraguirre, 2021).

La densidad de trampas es fundamental para el establecimiento de la red de monitoreo y se determina utilizando elementos tales como la eficiencia de la trampa, la eficacia del cebo, la altitud del sitio, las plantas hospedantes presentes en la zona, la temperatura, la humedad, la precipitación y sobre todo la especie de mosca objetivo. De acuerdo a esos criterios la densidad de trampas establecida para predios productores de fruta es de una trampa por cada 20 hectárea o fracción (ICA, 2011).

Para la vigilancia de especies se realizará un monitoreo de “área infestada” con una densidad de 0,25 trampas por Km<sup>2</sup>. Basándose en estas densidades siempre se obtendrá una separación entre trampas de cuatro kilómetros, distancia que se utilizará para la ubicación de los sitios de monitoreo. Los cuatro kilómetros se miden linealmente y no sobre el trazado de la vía, evitando de esta manera ubicar sitios de monitoreo muy cercanos que no den un adecuado cubrimiento a la zona de vigilancia (ICA, 2017).

### **2.3. Sistemas de Información Geográfica**

Los sistemas de información geográficos (SIG) son un conjunto de software y hardware diseñados con el fin de la visualización, mantenimiento, adquisición y uso de datos cartográficos, de igual manera se pueden denominar un sistema de información que se desarrolla a partir de datos referenciados o coordenadas geográficas, es decir, los SIG son sistemas que cuentan con capacidades específicas para la evaluación de datos referenciados.

Los SIG están conformados por cinco elementos básicos, como son: Hardware, software, datos, métodos y personas, partiendo desde el equipo para realizar el análisis (hardware) hasta el operador que manipula los datos y los procesa (personas) (Azzam & Robinson, 2013; Mann, 2019; Sugawara & Nikaido, 2014).

Los SIG, son sistemas de contenido de mapeo, los cuales se permiten realizar mapas basados en una diversidad de variables. Estos sistemas pueden procesar información específica, como datos de eventos, actividades y cosas, que existen o suceden en un lugar. Los SIG son un conjunto de herramientas que facilitan en la precisión para la planificación y aplicación de prácticas agronómicas, para esto el sistema requiere de información básica preliminar y relevante para realizar un estudio o proyecto (Graham et al., 2004; Phuong et al., 2017).

Para el ingreso de datos en un SIG, es necesario un proceso que conlleva tiempo y atención especial, siendo que, la información que abastecerá al sistema contiene datos referentes al territorio y un sin número de variables en forma individual, las cuales una vez sometidas al sistema son difíciles de modificar. Los resultados proporcionados por los SIG, son el procesamiento de una variación de información, que dan como resultado expresiones complejas. Los SIG nos permite actualizar estas expresiones y sus atributos para adaptarlos a condiciones y tiempo reales, con la finalidad de dar respuesta a diferentes eventualidades (Azzam & Robinson, 2013; Burkhard et al., 2013; Henríquez et al., 2013).

El uso de los SIG en los diferentes procesos de la producción y desarrollo de la agricultura en escalas a nivel mundial se ha realizado desde hace muchos años, pero no fue hasta aproximadamente 10 años atrás el comienzo de la aplicación de estos sistemas, para la evolución del mapeo para ecosistemas y manejo de recursos naturales en general. La particular función de los SIG, es proporcionar una visualización de la información sometida a procesamiento, en patrones y comportamientos que no serían posibles ser visualizados con otros sistemas de mapeo, integrando una diversidad de datos generados de manera convencional (Aguilar-Rivera et al., 2010; Cone, 1998; Hashemi, 2018; Sugawara & Nikaido, 2014).

#### **2.4. Información climática y toma de decisiones en la agricultura**

La producción agrícola siempre está sujeta a riesgos de producción asociados a la variabilidad climática (Niang et al., 2017; Sivakumar et al., 2000). El uso de pronósticos meteorológicos a corto plazo y pronósticos climáticos estacionales puede ayudar a reducir el riesgo de producción en la agricultura. Los productores a menudo están a merced de fuerzas naturales que no pueden controlar, especialmente los cambios en las precipitaciones de una temporada a otra y de un año a otro (Mubiru et al., 2018).

Las variaciones del clima "normal" pueden sentar las bases para otros tipos de riesgos de producción, como la incidencia de plagas (Anandhi et al., 2016; Auci & Coromaldi, 2021). Algunos patrones climáticos, como altas temperaturas, alta humedad o lluvias más altas de lo normal, pueden aumentar las posibilidades de enfermedades fúngicas (Olayide et al., 2016). También pueden mejorar las condiciones de los insectos y otras plagas que propagan enfermedades entre plantas y campos. El desarrollo y el rendimiento de los cultivos responden tanto a los eventos meteorológicos individuales como a la variación climática estacional (Vesco et al., 2021).

Los productores pueden utilizar la información meteorológica y climática para reducir el riesgo de producción, aumentar la eficiencia en el uso de recursos y la rentabilidad de las operaciones agrícolas (Krell et al., 2021). Dependiendo de la decisión que se tome, los pronósticos meteorológicos a corto plazo o las perspectivas climáticas estacionales pueden incorporarse en su proceso de toma de decisiones junto con otros factores importantes como los precios de las materias primas, los programas gubernamentales y las preferencias de los consumidores (Takakura, 1997; Zhai et al., 2020).

Decisiones como qué cultivo y variedad plantar y si comprar o no un seguro de cosecha deben tomarse mucho antes de la fecha de siembra. El plazo de entrega requerido para tomar una decisión es un indicador de qué tipo de pronóstico se necesitaría (De Pauw & Ramasamy, 2020). Es bien sabido que los pronósticos meteorológicos a corto plazo suelen ser bastante precisos en términos de predecir las características meteorológicas importantes para los próximos 1 a 3 días. A medida que los plazos de entrega aumentan a 7 o 10 días, la precisión disminuye significativamente y debe revisarse a medida que se acerca ese día (Carvalho et al., 2017).

Los pronósticos o perspectivas climáticas estacionales son probabilísticos por naturaleza y predicen anomalías del clima (es decir, las probabilidades de que las cantidades de precipitación estacional o la temperatura del aire estén por encima, por debajo o dentro del promedio climatológico a largo plazo). Por ejemplo, se puede predecir que la precipitación total será más alta que el promedio climatológico debido a una frecuencia esperada mayor de lo normal de un patrón de circulación atmosférica específico, como un evento ENOS (Arteaga et al., 2006) que conduce a la lluvia en el lugar en cuestión.

## **2.5. Análisis Hotspots**

Con los cambios y avances tecnológicos es necesaria la adopción y uso de nuevas tecnologías, tales como el uso de software especializado (ArcGIS) en el geoprocésamiento de datos vectoriales, rasters y Sistemas de Información Geográficas (SIG). Por su parte los SIG permite realizar cálculos y análisis geoespacial con una mayor precisión y confiabilidad (Oxoli et al., 2016; Scott & Janikas, 2010).

El análisis geoespacial no es simplemente una colección de técnicas que pueden aplicarse en determinadas situaciones específicas, asumiendo que los datos relevantes están disponibles. Es una parte muy importante de un proceso más amplio y, a menudo, es un elemento relativamente pequeño, aunque de vital importancia y, en ocasiones, relativamente complejo (Guha et al., 2007)

El término *hotspots* hace referencia a áreas donde coincide mayor biodiversidad de especies, endemismo e impacto de la actividad del hombre. Este análisis, en la mayoría de situaciones, este proceso consiste en una serie de etapas bien definidas como: formulación del problema, planificación, recopilación de datos, análisis exploratorio, formulación de

hipótesis, modelado y prueba, consulta y revisión, y en última instancia, informe final (Guha et al., 2007; Oliveira et al., 2011).

Así, el análisis de hotspots permite identificar las áreas que presentan condiciones agroecológicas favorables para el desarrollo organismos vivos (organismos benéficos, plagas, entre otros), además de proporcionar la base científica al direccionamiento de investigaciones y estrategias para su conservación, erradicación, control y otros (Oliveira et al., 2008).

En este contexto, el análisis *hotspots* determina los efectos potenciales de las constantes variaciones climáticas y la ecología de los diferentes organismos vivos. Así, con el fin de detectar la relación entre los diferentes sistemas de producción agrícola y las poblaciones de organismos vivos y su interacción en un clima cambiante, resulta necesario el análisis de datos espaciales fácilmente disponibles (clima, agua, suelo y topografía) para identificar en las zonas de producción los puntos críticos (*hotspots*), así como las áreas de menor presión (De Pauw & Ramasamy, 2020).

## **2.6. Análisis exploratorio de datos**

El análisis exploratorio de datos (AED) es una prueba final de la calidad de los datos (Abzalov, 2016). El AED se originó hace décadas, cuando el uso de computadoras era bastante restringido. A medida que la sofisticación computacional ha aumentado, el AED se ha convertido en un proceso aún más poderoso para visualizar y resumir datos antes de hacer hipótesis del modelo para generar hipótesis, que abarcan conjuntos de datos más grandes y complejos (Stober et al., 2007).

Los datos son considerados valores que representan variables cualitativas o cuantitativas que pertenecen a un conjunto de individuos u objetos (Thomas, 2006). Frecuentemente, los datos se obtienen a través de mediciones (Ireland, 2004; Kelling et al., 2015) o estudios de campo.

En análisis o procesamiento de datos, estos, pueden ser representados con una estructura definida, tales como tablas, arboles de datos o gráficos de datos (Warren, 2005). Los datos comúnmente se refieren a valores no analizados o procesados de cualquier forma. En general se describen dos propósitos para entender el enfoque de hacer un análisis de datos (Onwuegbuzie et al., 2009):

(a) condensar datos textuales en bruto en un formato breve y resumido;

(b) establecer vínculos claros entre la evaluación o los objetivos de investigación y los resultados resumidos derivados de los datos sin procesar.

### III. METODOLOGÍA

#### 3.1. Área de estudio

Las Unidades de producción agropecuarias (UPA) de las provincias Los Ríos y Guayas, que son parte del Proyecto de manejo de moscas de la fruta (PMMF) de La Agencia de Regulación y Control fitosanitaria (AGROCALIDAD), fueron tomados como área de estudio (Figura 1 ) (MAE-MAGAP, 2015). Ambas provincias se caracterizan tener un clima tropical húmedo mega - térmico según la clasificación de Köppen (Köppen, 1918; Peel et al., 2007), poseen una estación lluviosa y una estación seca muy marcada (GADP de Los Ríos, 2013). La temperatura media anual del aire fluctúa entre 22 y 26°C y las precipitaciones oscilan entre 1250 y 3000 mm (GADP de Los Ríos, 2013). Las provincias están armonizados en términos de macroclima, fisiografía, clasificación de suelos y duración del período de crecimiento de principales cultivos (Montero et al., 2018).

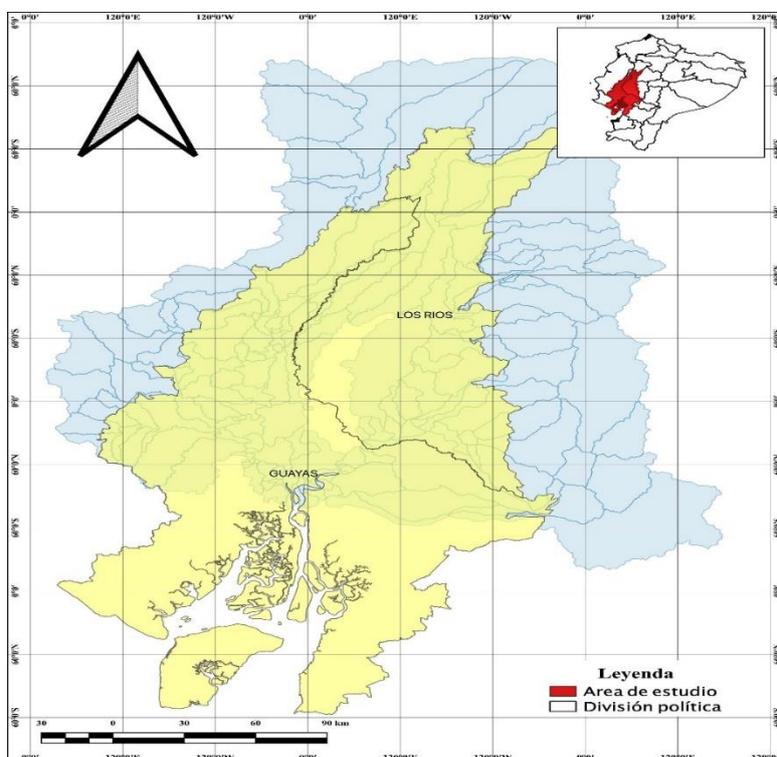


Figura 1. Áreas de estudio de poblaciones de moscas de las frutas.

## **3.2. Materiales y Equipos**

### **3.2.1. Información climatológica**

Ante la falta de datos diarios disponibles del Servicio Ecuatoriano de Meteorología (INAMHI), se realizó un análisis agro climatológico utilizando datos cuadrículados de puntos conocidos del Programa Nacional de Manejo de Mosca de la Fruta (PNMMF) (Vilatuña et al., 2016).

La temperatura media diaria del aire (° C) y precipitación (mm) se obtuvieron del European Center for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF) ERA5 Reanalysis (Hersbach et al., 2019, 2020), con una resolución espacial de 0,25 ° Latitud x 0,25 ° Longitud de 1980 a 2018<sup>1</sup>

Los datos climáticos a largo plazo se exploraron para todo el conjunto de datos cuadrículados concentrándose en los meses en los que los índices de MTD y número de moscas es más favorable según la evaluación realizada por la Organización Nacional de Protección Fitosanitaria (ONPF) del Ecuador (Agrocalidad). Finalmente se organizó una base de datos con los índices, los meses, georreferencia, y índices climáticos para su posterior análisis.

## **3.3. Factores de estudio**

**Variables dependientes:** Poblaciones periódicas de moscas de la fruta

**Variable independiente:** Variables climáticas.

## **3.4. Variables evaluadas y análisis de datos**

Las variables analizadas fueron:

- Ocurrencia de moscas de las frutas
- Media mensual de ocurrencia de mosca de la fruta
- Asociación espacial de poblaciones de moscas de la fruta
- Indicadores climáticos de las zonas de estudio
- Análisis de la ocurrencia de moscas de la fruta de acuerdo con el MTD por año

---

<sup>1</sup> disponible en <https://cds.climate.copernicus.eu>

- Análisis de la ocurrencia de moscas de la fruta de acuerdo con el MTD por mes
- Análisis de la asociación espacial de MTD
- Análisis de la correlación entre las variables MDT y de asociación espacial

Todos los gráficos y análisis se realizaron usando el software R Studio versión 1.2.5 (RStudio Team, 2017).

Para el análisis se utilizaron datos de la base del PNMMF del período 2015 – 2019, previo análisis exploratorio se realizó la prueba de normalidad de datos (Shapiro & Wilk, 1965; Yap & Sim, 2011).

### **3.5. Análisis preliminar de hotspots**

Se realizó un análisis de puntos críticos para identificar la agrupación de casos de gravedad. Las áreas de concentración más altas, en comparación con el número esperado, dada una distribución aleatoria, se calculó bajo la hipótesis de aleatoriedad espacial completa (Goovaerts & Jacquez, 2004). Se empleó la biblioteca de análisis espacial de Python (Rey et al., 2015; Rey & Anselin, 2007) para calcular los z-scores y los valores p para las variables de incidencia y MDT usando Qgis Hotspot Analysis plugin (Oxoli et al., 2016).

Para las estadísticas, los puntajes z positivos y estadísticamente significativos representan clústeres o puntos calientes intensos, y los puntajes negativos indican puntos fríos. La relación espacial se modeló utilizando la opción “k-nearest” del complemento utilizando como entrada un archivo de forma de puntos recopilados emparejados con la gravedad de ocurrencia. Los mapas se elaboraron con ayuda del software QGIS versión 3.14 “Pi” (QGIS Development Team, 2016) mediante los resultados de los geo procesos en formato Raster en un sistema de referencia WGS84 17S EPSG 32717.

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. Resultados obtenidos de la investigación

En este estudio se utilizaron resultados del monitoreo del Programa Nacional de Manejo de mosca de la Fruta de la Agencia de Regulación y Control Fito y Zoosanitario. Se registró el número de moscas de la fruta capturadas en cada una de las trampas de las rutas seleccionadas por la Agencia. El cálculo del valor de MTD se realizó mediante la división del número total de moscas capturadas (M) por el producto obtenido entre la multiplicación del número total de trampas utilizadas (T) por el número de días que las trampas estuvieron expuestas.

#### 4.1.1. Ocurrencia de moscas de las frutas (MTD)

De acuerdo con los resultados obtenidos podemos observar que en el período 2015 al 2019, los valores medios totales por provincia fueron mayores en la provincia del Guayas con un MTD de 0,36; mientras que en la provincia de Los Ríos se obtuvo 0,085 (Figura 2).

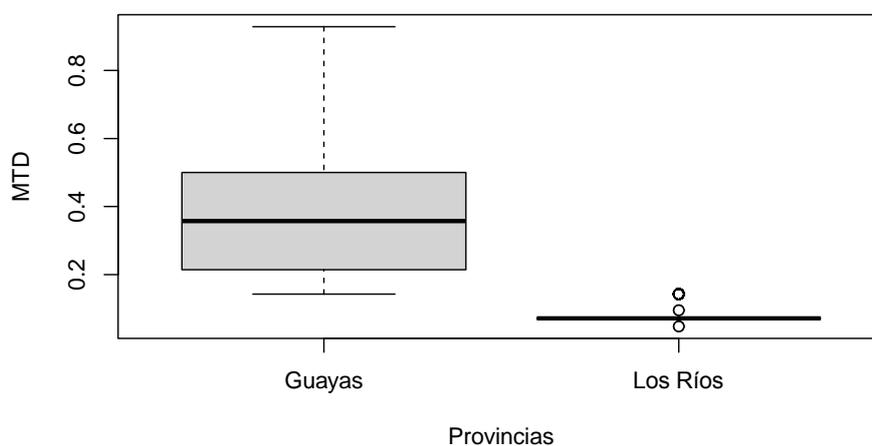


Figura 2. Promedio de MTD en el período 2015 – 2019 para Guayas y Los Ríos.

Respecto a la ocurrencia de la mosca de la fruta por año, los resultados de MTD no sobrepasan el 0,2 para ni uno de los años dentro de los periodos en que se realizado la investigación (Figura 3).

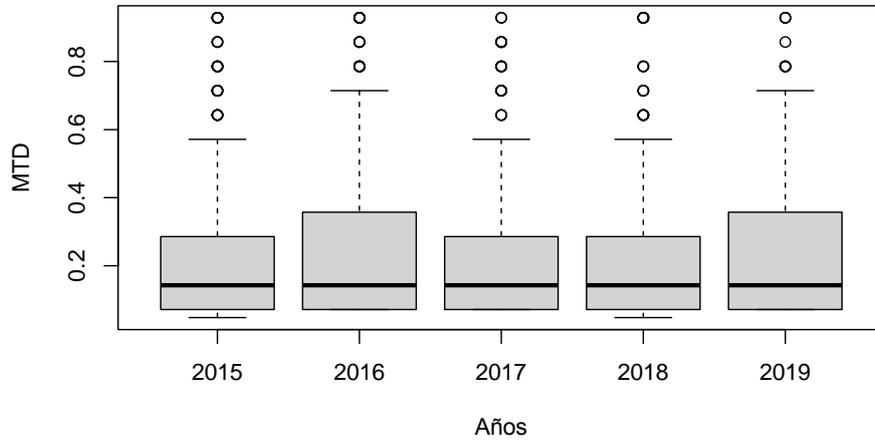


Figura 3. Resultados del MTD por año en el período 2015 – 2019. Los Puntos fuera de las cajas representan valores atípicos.

En cuanto a la distribución del MTD (Figura 4), no se observa una distribución normal, y si, un sesgo hacia la izquierda, donde los valores de MTD varían entre 0,01 y 0,04.

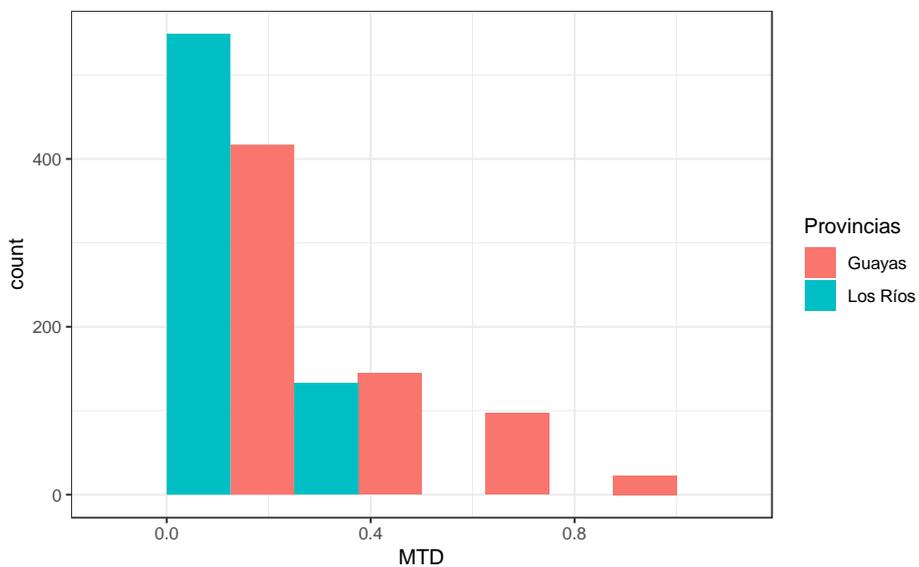


Figura 4. Histograma de MTD para Guayas y Los Ríos. (Período 2015 – 2019).

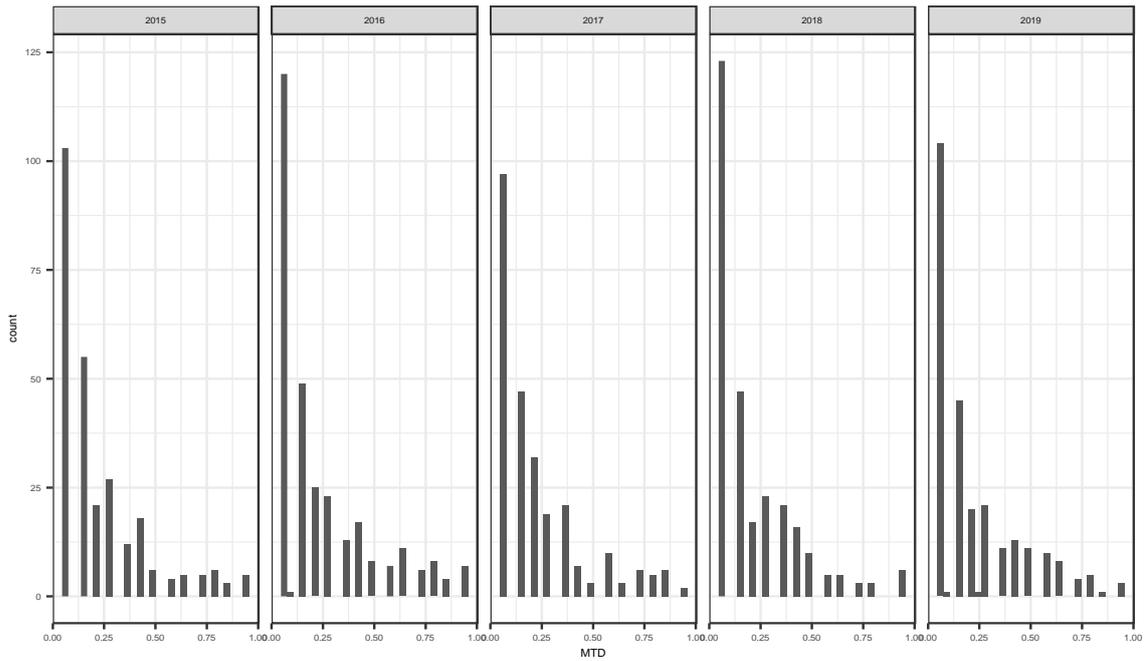


Figura 5. Histograma de MDT medio anual (2015 – 2019).

La misma tendencia se observa si separamos los histogramas por año (Figura 5). Los sesgos son similares en la proporción entre 0,0 y 0,4; en comparación con la figura 6.

#### 4.1.2. Media mensual de ocurrencia de mosca de la fruta (MTD)

Los resultados muestran que en los periodos de la investigación (2015 - 2019), los meses donde el MTD es mayor son enero (0,771), febrero (0,508), marzo (0,379), respectivamente. Mientras que en los meses de octubre, noviembre y diciembre (0,071), son los meses donde el MDT es más bajo (Figura 6).

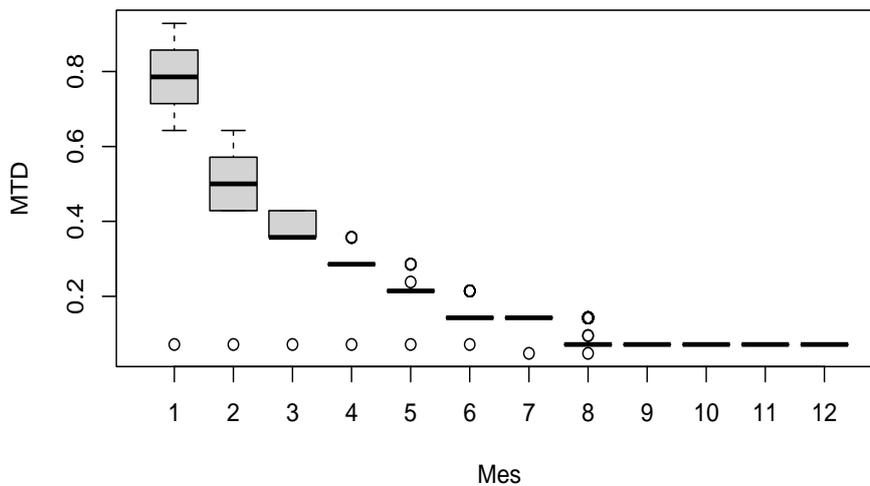


Figura 6. Promedio de MTD medio mensual (2015 – 2019). Guayas y Los Ríos.

### 4.1.3. Asociación espacial de poblaciones de moscas de la fruta (MTD)

La detección de conglomerados espaciales y valores atípicos es fundamental para una serie de técnicas de análisis de datos espaciales. Muchas técnicas incorporan componentes de agrupamiento espacial con el objetivo de explorar patrones y variabilidad espacial en un conjunto de datos, causados por la asociación espacial que generalmente afecta a la mayoría de los datos espaciales. En nuestro caso, las trampas se encuentran en lugares específicamente escogidos por su importancia en el ámbito económico, así como para cumplir reglamentos y planes de trabajo.

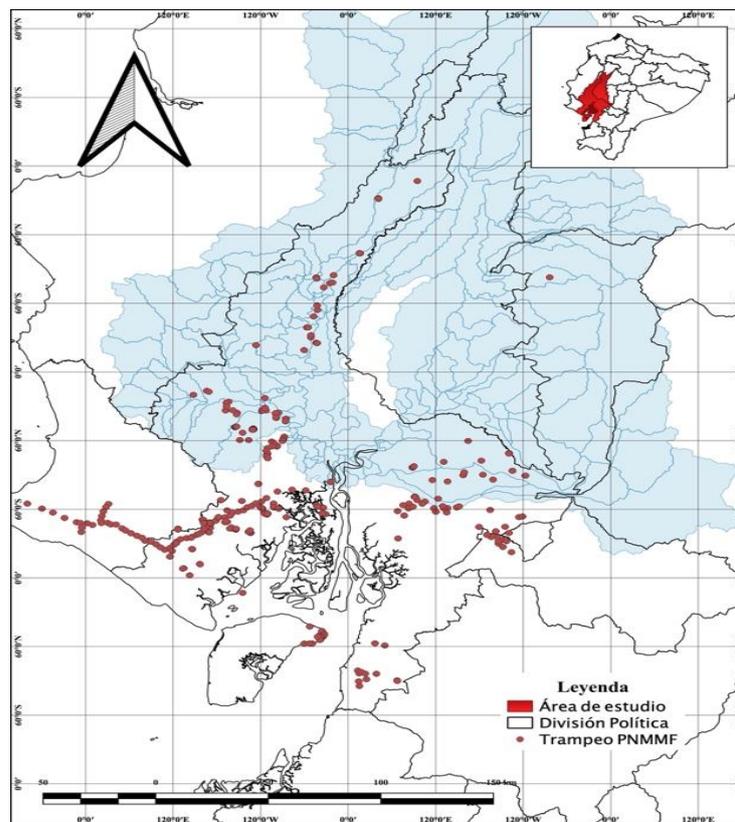


Figura 7. Rutas de trapeo de mosca de la fruta del PNMMF, para Guayas y Santa Elena.

Teniendo en cuenta la distribución espacial de las trampas (Figura 9), En términos generales, definimos la asociación espacial como la medida del grado en que las cosas similares también están dispuestas de manera similar en el espacio. Una definición más cercana al contexto de la ciencia SIG se deriva de y establece que "La asociación espacial representa la relación entre unidades espaciales cercanas, como se ve en los mapas (Oxoli et al., 2016), donde cada unidad se codifica con la realización de una variable". Esta relación en las trampas, y por su establecimiento lineal, nos permitió calcular nuestra variable de puntaje z (z-scores).

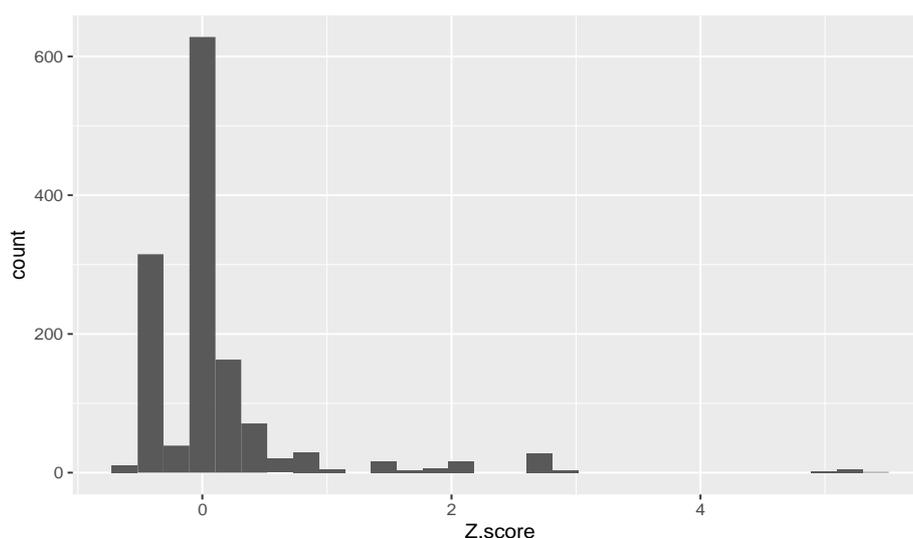


Figura 8. Histograma de Z-score, basado en el MTD calculado, para toda la serie de datos (2015 – 2019), Guayas y Los Ríos.

#### 4.1.4. Indicadores climáticos de las zonas de estudio

De acuerdo con los datos reanálisis extraídos del ERA5, se obtuvo los valores medios regionales, anuales, para poder hacer una comparación entre las áreas de estudios en las provincias del guayas y Los Ríos. Los valores se encuentran en la tabla 1.

Tabla 1. Resultados del análisis climatológico 2015 – 2019, para Guayas y Los Ríos. La media corresponde a una media espacial.

<b>Año</b>	<b>Provincia</b>	<b>Precipitación (mm)</b>	<b>T<sub>max</sub> (° C)</b>	<b>T<sub>min</sub> (° C)</b>	<b>HR (%)</b>	<b>Viento (km h<sup>-1</sup>)</b>	<b>Rad (Gy)</b>	<b>T<sub>media</sub> (° C)</b>
<b>2015</b>	Guayas	515,99	31,17	20,19	80,26	2,82	21,98	25,68
<b>2016</b>	Guayas	707,62	31,62	20,57	71,14	2,95	21,05	26,09
<b>2017</b>	Guayas	648,34	31,86	20,61	72,58	2,94	22,10	26,23
<b>2018</b>	Guayas	510,22	31,90	20,70	73,74	2,86	21,96	26,30
<b>2019</b>	Guayas	403,61	31,52	20,32	74,26	3,05	21,66	25,92
<b>2015</b>	Los Ríos	1359,32	26,50	15,61	80,26	2,79	16,34	21,05
<b>2016</b>	Los Ríos	2096,72	26,52	15,95	71,14	2,93	15,49	21,23
<b>2017</b>	Los Ríos	1780,50	27,04	16,02	72,58	2,75	16,72	21,53
<b>2018</b>	Los Ríos	1285,13	27,19	15,92	73,74	2,70	16,57	21,55
<b>2019</b>	Los Ríos	1331,76	26,58	15,42	74,26	2,87	16,98	21,00

\*En base a los datos del modelo ERA5. Donde: **T<sub>max</sub>** = Temperatura máxima, **T<sub>min</sub>** = Temperatura mínima, **HR** = humedad relativa, **Viento** = Velocidad del viento, **Rad** = Radiación, **T<sub>media</sub>** = Temperatura media anual.

Los datos obtenidos por medio del análisis del ERA5, muestran los valores medios del clima de la provincia del Guayas por mes, de los años de estudio comprendido entre el 2015 al 2019 (Tabla 2).

Tabla 2. Resultados del análisis climatológico por mes de los años de estudio en la Provincia del Guayas.

Meses	T <sub>media</sub> (° C)	HR (%)	T <sub>max</sub> (° C)	Precipitación (mm)
Enero	25,18	66,67	29,69	110,37
Febrero	25,66	67,52	30,33	116,19
Marzo	26,48	61,93	31,90	83,05
Abril	26,79	58,35	32,327	50,57
Mayo	26,52	56,42	32,01	21,43
Junio	25,94	54,61	31,75	8,75
Julio	25,79	53,42	31,90	6,65
Agosto	26,04	52,51	32,31	6,35
Septiembre	26,46	51,90	32,57	10,92
Octubre	26,12	52,72	31,93	20,94
Noviembre	25,7140624	54,99	31,18	36,19
Diciembre	25,27172	61,54	30,18	71,53

\*En base a los datos del modelo ERA5. T<sub>media</sub> = Temperatura media, HR = humedad relativa, T<sub>max</sub>= Temperatura máxima.

Los datos obtenidos por medio del análisis del ERA5, muestran los valores medios del clima de la provincia de Los Ríos por mes de los años de estudio comprendido entre el 2015 al 2019 (Tabla 3).

Tabla 3. Resultados del análisis climatológico por mes de los años de estudio en la Provincia de Los Ríos.

Meses	T <sub>media</sub> (° C)	HR (%)	T <sub>max</sub> (° C)	Precipitación (mm)
Enero	20,61	79,75	25,36	125,13
Febrero	20,97	79,00	25,75	164,28
Marzo	21,15	76,80	26,09	178,17
Abril	21,41	73,40	26,47	198,02
Mayo	21,61	70,09	26,77	230,79
Junio	21,39	67,35	27,00	127,56
Julio	21,43	67,82	27,55	109,48
Agosto	21,66	69,05	27,97	127,88
Septiembre	21,74	72,32	27,87	93,06
Octubre	21,32	75,20	27,37	59,99
Noviembre	20,92	77,38	26,72	52,35
Diciembre	20,69	79,07	25,94	84,95

\*En base a los datos del modelo ERA5. T<sub>media</sub> = Temperatura media, HR = humedad relativa, T<sub>max</sub>= Temperatura máxima.

#### **4.1.5. Análisis de la ocurrencia de moscas de la fruta de acuerdo con el MTD por año**

Las variaciones de MTD entre los años analizados, no son significativas, siendo el año con MTD medio más alto el 2016 (0,251), seguido por 2019 (0,236). De igual forma, como se observa en la figura 3, existen varios valores atípicos, esto es MTD sobre 0,8; cuando los valores más altos, fueron observados para 2016 y 2019 con ~0,7. Esto se debe a la variación estacional de la mosca, como se puede observar en una distribución mensual (Figura 4).

Los promedios anuales más altos de ocurrencia de las moscas de las frutas se presentaron en la zona de estudio de la provincia del Guayas, llegando a tener una gran significancia con los resultados obtenidos en la zona de estudio de la provincia de Los Ríos, teniendo para la primera zona un MTD de 0,36 y para la segunda el MTD de 0,085. Estos resultados tienen estrecha relación con las condiciones climáticas que se presentan a lo largo del año en las zonas de estudio, teniendo como resultados las mejores condiciones para el desarrollo de las moscas de las frutas en la provincia del Guayas (Tabla 1).

#### **4.1.6. Análisis de la ocurrencia de moscas de la fruta de acuerdo con el MTD por mes**

De acuerdo con los resultados obtenidos podemos determinar que los meses de mayor ocurrencia de moscas de las frutas se presentaron en los meses de enero, febrero y marzo no teniendo variación significativa en el MTD entre ellos, pero si existe una diferencia significativa con los meses de abril a julio y estos a su vez con los meses de agosto a diciembre (Figura 6).

Los meses de enero y febrero obtuvieron los promedios más altos en ocurrencia de las moscas de las frutas en las áreas de estudio de Guayas (Tabla 2) y de igual manera para Los Ríos (Tabla 3), de acuerdo con los datos analizados en los años de investigación. Las poblaciones se posesionaron por encima del umbral económico con respecto a MTD con 0,771 para enero y 0,508 para el mes de febrero. Estos valores coinciden con las épocas que presentaron las mejores condiciones climáticas para el desarrollo de las moscas de las frutas.

Los resultados muestran que en los periodos de la investigación (2015-2019), los meses donde el MTD es mayor son enero (0,771), febrero (0,508), marzo (0,379), respectivamente. Mientras que en los meses de octubre, noviembre y Diciembre (0,071), son los meses donde el MDT es más bajo (Figura 6).

#### 4.1.7. Análisis de la asociación espacial de MTD

Los puntajes Z, representan grupos de valores altos o puntos calientes, y viceversa. Valores significativos y negativos, grupos de valores bajos o puntos fríos. Existe una alta ocurrencia de puntos calientes entre los z-scores 0 y 2, pero también existen puntos fríos (z-score < 0 o negativos) alrededor de 0 y -1 (Figura 8). Si observamos por provincias (Figura 9).

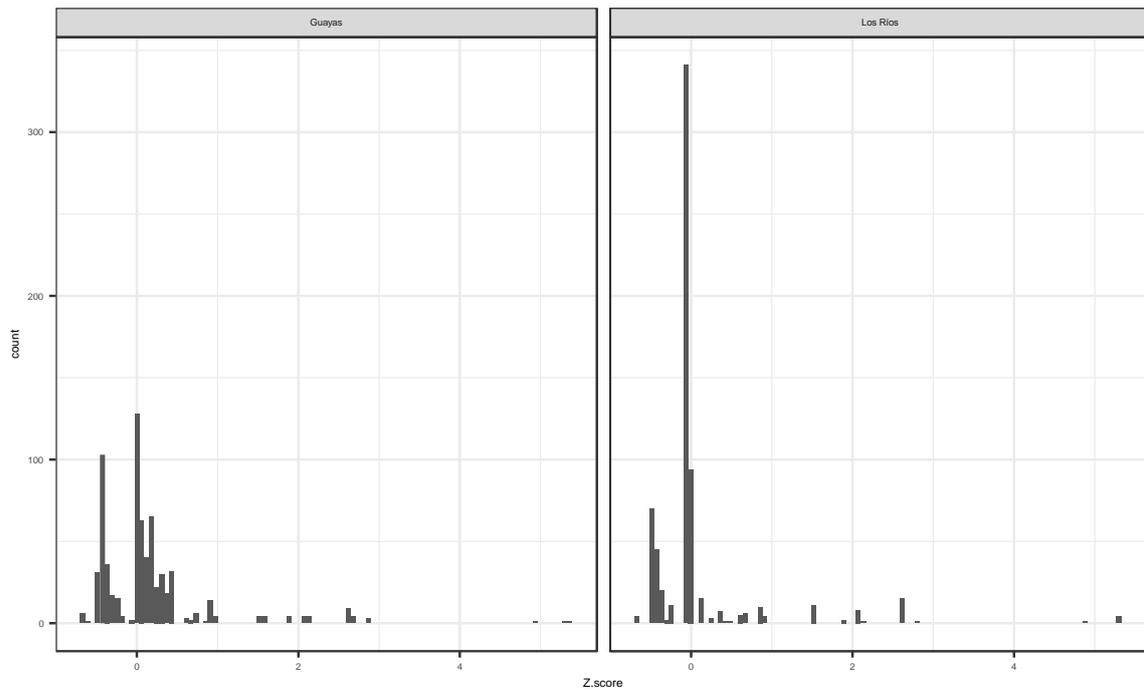


Figura 9. Histograma de Z-score, basado en el MTD calculado para Guayas y Los Ríos. (2015 – 2019).

Los z.scores fueron altos en el año 2015 con 0,211, mientras qué; en 2017, 2018 fueron más bajos con 0,04 y 0,06 (Figura 10). Si tomamos la medida mensual, las mejores asociaciones se encuentran en enero con 0,268, mientras qué, valores negativos o puntos fríos se encontraron en septiembre y noviembre con -0,0774 y -0,0171 respectivamente.

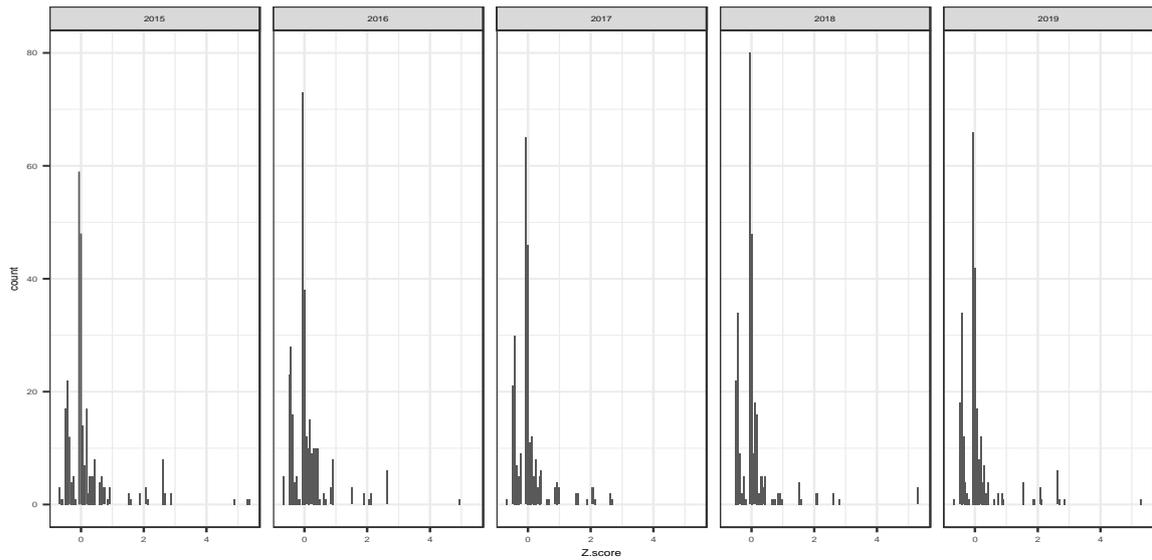


Figura 10. Histograma de Z-score, basado en el MTD calculado anualmente.

El mapa de indicadores locales de asociación espacial (ILAS) relacionado con el número de moscas por trampa (índice MTD) (Figura 11) muestra dos áreas homogéneas en términos de tipo de conglomerados. El primero los primeros meses del año, donde se encuentran casi todos los clústeres. Esta tendencia contrasta visiblemente en algunos años, donde casi solo se ubican los clústeres de menor asociación. Por otro lado, la Figura 11 muestra la conocida disparidad entre Guayas y Los Ríos. Se pueden encontrar algunas excepciones observando los valores atípicos de p-valor para los Ríos.

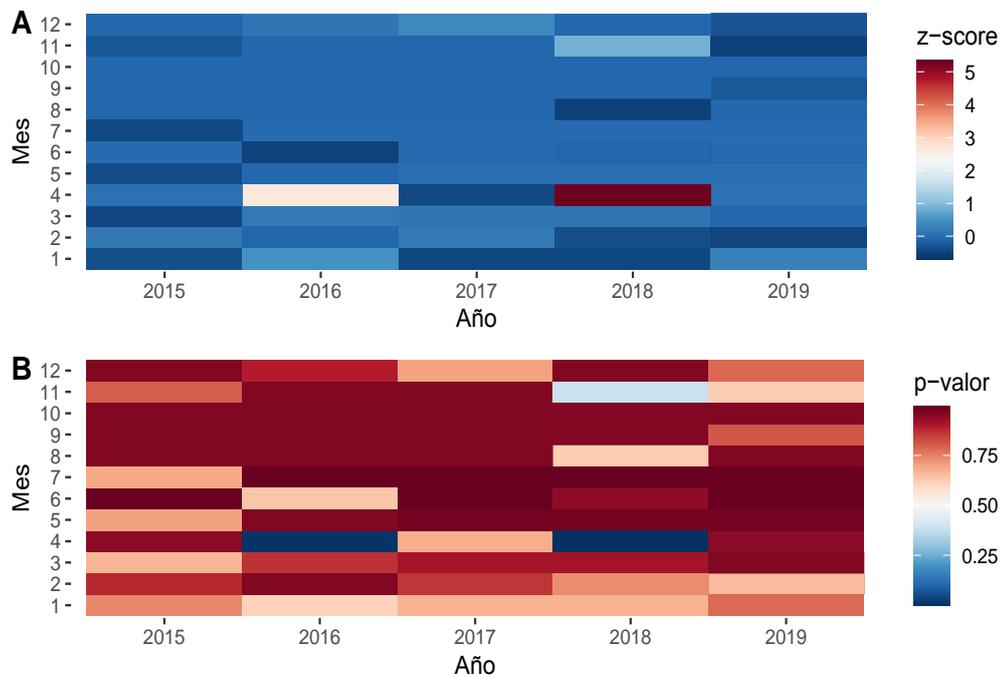


Figura 11. Mapa de calor de comparación entre z-score (A) y p-valor (B) sobre la base completa (2015 – 2019) para Guayas y Los Ríos.

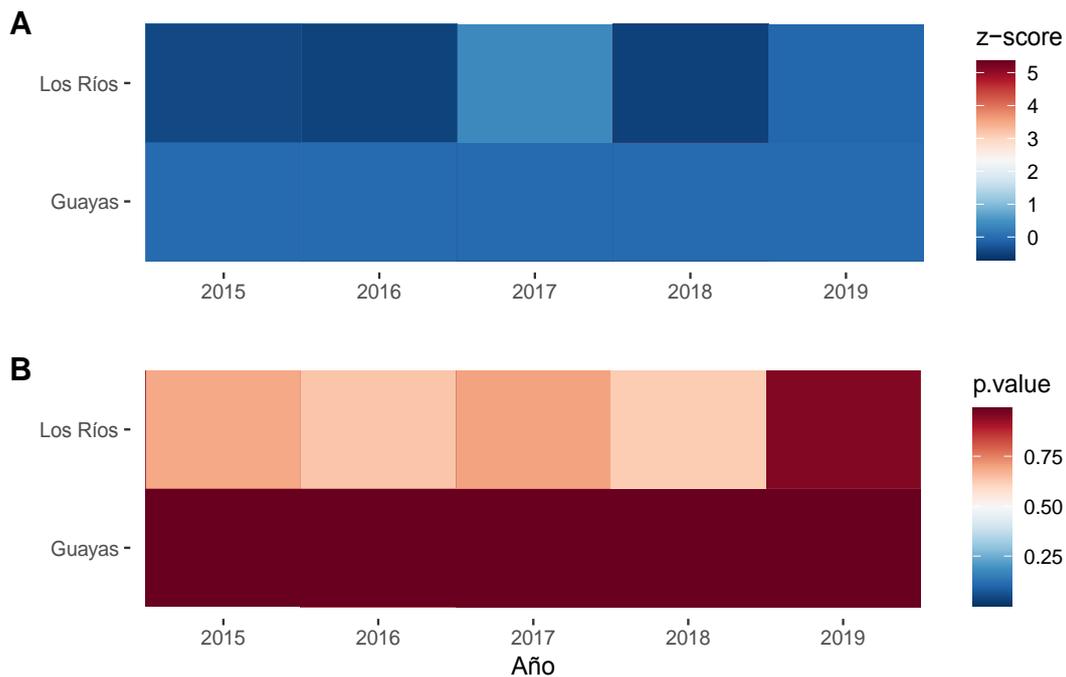


Figura 12. Mapa de calor de comparación entre z-score (A) y p-valor (B) para Guayas y Los Ríos (2015 – 2019).

Según la naturaleza del análisis propuesto, los resultados deben considerarse en un sentido exploratorio más que en términos estrictamente estadísticos. Además, los resultados reflejan parcialmente las elecciones subjetivas del analista, al que se le pide que interactúe con los datos y/o tenga un conocimiento sustancial del contexto de fondo para poder redactar conclusiones.

Por lo tanto, el análisis propuesto debe considerarse como un punto de partida para futuros análisis cuantitativos (por ejemplo, regresión espacial) para permitir una mejor comprensión de los procesos espaciales que generan los patrones detectados.

#### 4.1.8. Análisis de la correlación entre las variables MDT y de asociación espacial

Luego del análisis se realizó una matriz de correlación con las variables p-valor, z.score y MDT, para determinar que variables tenían relación entre sí, para poder generar los modelos lineales (Figura 13).

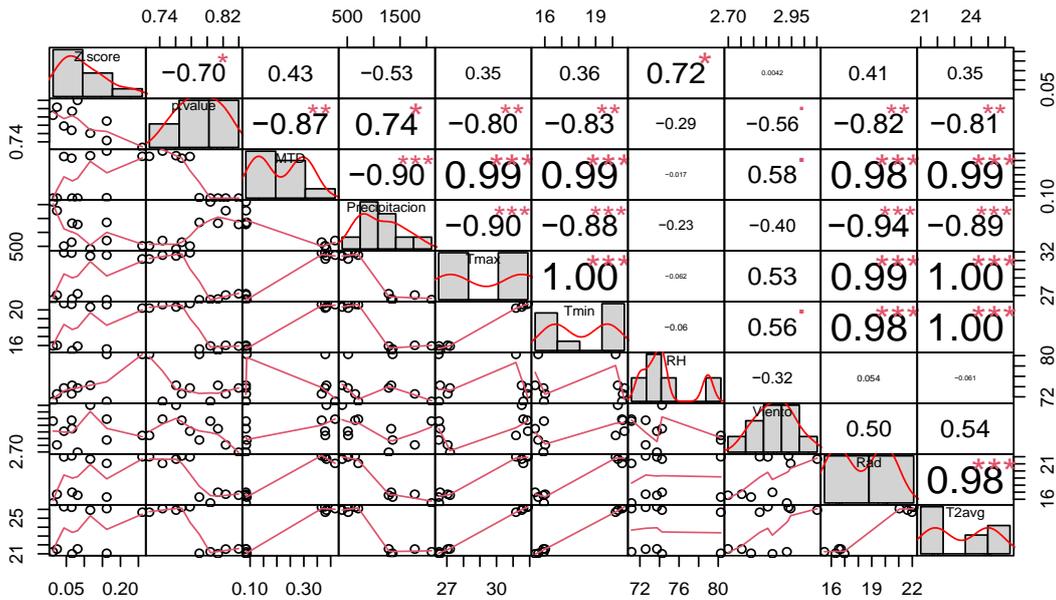


Figura 13. Matriz de correlación entre las variables MDT, z-score y p.value con las variables climatológicas de Guayas y Los Ríos. Donde:  $T_{max}$  = Temperatura máxima,  $T_{min}$  = Temperatura mínima, RH= Humedad relativa, Rad= Radiación solar, T2avg= Temperatura media.

#### 4.2. Pruebas estadísticas aplicadas

Una vez obtenida la base de datos, se realizó la prueba de normalidad Shapiro Wilk para determinar la normalidad de los datos, posteriormente se realizaron diagramas de caja, histogramas y diagramas de dispersión (Chekanov, 2016; Sun & Genton, 2011) para determinar la relación entre las variables a evaluar.

Los histogramas densidad se realizaron usando el paquete ggplot2 (Wickham, 2009), usando cortes equidistantes y valores de densidad estimados basados en la información disponible (Ecuación 1):

$$\sum_i f(x_i)(b_{i+1} - b_i) \quad (1)$$

donde  $b_i$  es el número de cortes y  $f(x_i)$  es la densidad estimada del valor  $i$  (Tabelow et al., 2011; Venables and Ripley, 2002).

Para amenizar los variables, ya que están llegando con mucha información, se realizaron diagramas de caja mensuales. Un diagrama de caja es una forma estandarizada de mostrar el conjunto de datos basado en un resumen de cinco números: el mínimo, el máximo, la mediana de la muestra y el primer y tercer cuartiles (Gooch 2011, Hubert and Vandervieren,

2008). Usamos el rango intercuartil (IQR) para comparar variables usando la siguiente ecuación (Ecuación 2):

$$IQR = Q3 - Q1 = q_n(0.75) - q_n(0.25) \quad (2)$$

donde IQR es el rango intercuartil, Q3 es el tercer cuartil, Q1 es el primer cuartil,  $q_n(0.75)$  es el cuartil superior y  $q_n(0.25)$  es el cuartil inferior.

Si los datos mostraran un comportamiento atípico o no normal, se procedió a la normalización de los mismo con el objetivo de analizar las relaciones con valores sin unidad entre 0 – 1. Normalización de datos (Rangel & Clithero, 2012) para crear divergencia central, positiva y negativa (Ecuación 3):

$$N_v = \frac{Q - Q_{mean}}{Sd_{Q_i}} \quad (3)$$

donde  $N_v$  son los valores normalizados, Q son observaciones de un solo valor,  $Q_{mean}$  es la media del valor,  $Sd$  es la desviación estándar y  $Q_i$  es el número total de observaciones. Se realizará la normalización de datos para que todos los datos estén en el mismo rango (Bland & Altman, 1995).

Para encontrar relaciones entre las variables se realizaron modelo de regresión lineal simple (Olive, 2017), tomando como variables los años y las variables conocidas, esto es MDT, número de individuos, sexo y otras variables que se encuentren en la base y que puedan ser utilizadas para el análisis.

Se probaron los siguientes modelos:

$$varMF = a + b * X_1 + c * X_2 \quad (\text{Eq. 4})$$

$$varMF = a + b * X_1 + c * X_2 + d * X_1 * X_2 + e * X_1^2 + f X_2^2 \quad (\text{Eq. 5})$$

donde: X1 representa las variables asociadas a MDT; X2 representa número de individuos y a, b, c, d, e y f son los coeficientes del modelo de regresión múltiple.

Finalmente se calculó el coeficiente de correlación de Pearson (Ecuación 4) para las variables (Yap & Sim, 2011).

$$R^2 = \frac{n(\sum xy) - (\sum x)(\sum y)}{\sqrt{[n \sum x^2 - (\sum x)^2][n \sum y^2 - (\sum y)^2]}} \quad (6)$$

Donde  $R^2$  es el coeficiente de correlación,  $n$  es el número de la variable en la base de datos,  $x$  la variable 1 y,  $y$  la variable 2.

### 4.3. Análisis e interpretación de datos

Se encontraron correlaciones altas entre la mayoría de las variables climatológicas y las variables estudiadas. La temperatura máxima ( $T_{\max}$ ) presentó una correlación negativa alta con el p.valor ( $r = -0,80$ ). La temperatura media ( $T_{2\text{avg}}$ ) presentó una correlación alta con MTD ( $r = 0,99$ ), mientras que con el z.score fue baja ( $r = 0,35$ ). La velocidad del viento no presentó valores mayores con ninguna de las variables estudiadas, y la humedad relativa, solamente presentó correlación con z.score.

Basados en estos resultados preliminares, las variables viento y humedad relativa, no fueron tomadas en cuenta para el análisis del modelo. Los resultados del modelo de regresión se encuentran en la Tabla 4.

Tabla 4. Resultados del modelo de regresión multivariado.

Estimado	Std.	Error	t	p-valor
(Intercept)	4,4676	1,8387	2,4300	0,0720
MTD	1,3121	1,4549	0,9020	0,4180
Precipitación	-0,0002	0,0002	-1,1330	0,3210
Temperatura máxima	-0,2376	0,1733	-1,3710	0,2420
Temperatura mínima	0,1201	0,2232	0,5380	0,6190
Radiación	0,0141	0,0527	0,2680	0,8020

El modelo presentó un buen ajuste ( $R^2 = 0,73$ ; F: 2,21; p-valor: 0,0023). Los resultados del modelo se observan en la figura 14.

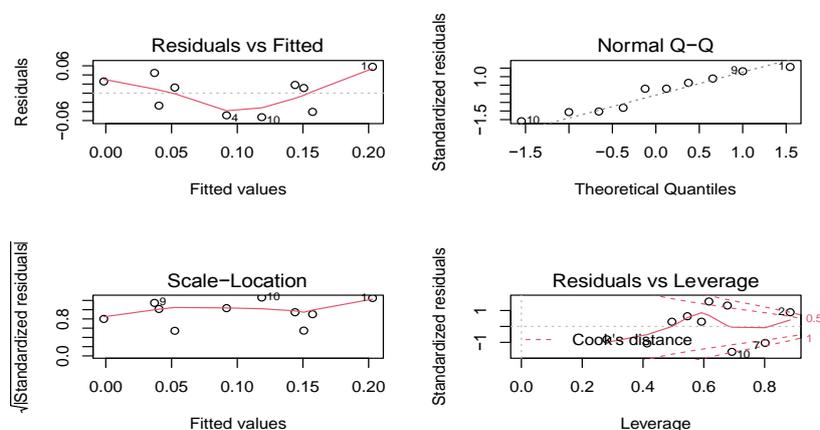


Figura 14. Resultados del modelo multivariado.

Esta gráfica se utiliza para identificar observaciones influyentes. Si algún punto de este gráfico queda fuera de la distancia de Cook (las líneas discontinuas), entonces se trata de una observación influyente. De igual manera, los residuos del modelo de regresión se distribuyen normalmente. Si los puntos en este gráfico caen aproximadamente a lo largo de una línea diagonal recta, entonces podemos asumir que los residuos se distribuyen normalmente.

En cuanto al diagnóstico de residuales versus ajustados, se usa para determinar si los residuos exhiben patrones no lineales. Si la línea roja que atraviesa el centro de la gráfica es aproximadamente horizontal, podemos suponer que los residuos siguen un patrón lineal. En la Figura 14, podemos ver que la línea roja se desvía de una línea horizontal perfecta pero no severamente. Probablemente declararíamos que los residuos siguen un patrón aproximadamente lineal y que un modelo de regresión lineal es apropiado para este conjunto de datos.

#### 4.4. Discusión de Resultados

La fluctuación de las poblaciones de moscas de las frutas se evalúa mediante el trapeo y realizando el análisis de las capturas con el fin de determinar el MTD (moscas por trampa día). Los umbrales económicos y la implementación de métodos de control de las moscas son definidos cuando el MTD alcanza el 0,5 (Rodríguez & Iparraguirre, 2021).

De acuerdo a estudios de fluctuaciones poblaciones de moscas de las frutas realizados por Conde-Blanco et al. (2018), muestra que los índices de MTD durante los años de estudios varían de acuerdo a los meses y la variabilidad ambiental, llegando a tener en los meses de agosto y septiembre un incremento en los índices de capturas, llegando a sobrepasar el MTD de 0,5.

En el presente estudio se obtuvo los mayores MTD en los meses correspondiente de enero (0,711) y febrero (0,508) para las dos áreas de estudio, mientras que en los restantes meses los promedios se aproximan a 0,3 de MTD (Figura 6). Los promedios anuales más altos de ocurrencia de las moscas de las frutas se presentaron en la provincia del Guayas, llegando a tener una gran significancia con los resultados obtenidos en la zona de estudio de la provincia de Los Ríos, teniendo para la primera zona un MTD de 0,36 y para la segunda el MTD de 0,085 (Tabla 1).

Las moscas de la fruta al igual que cualquier organismo vivo necesita de condiciones ambientales adecuadas para su buen desarrollo o desenvolvimiento. A más de la disponibilidad de alimento, las condiciones ideales climatológicas para el desarrollo óptimos de las moscas de las frutas se encuentran una temperatura media de los 27°C, una humedad relativa media de 70% con un fotoperiodo de 12 horas (Bisognin et al., 2013; Corrêa et al., 2018; Flores et al., 2012).

En el Ecuador, se presentan condiciones ambientales que no representan cambios extremos que afectan la total presencia de las moscas de las frutas, siendo así, la combinación de factores ambientales y disponibilidad de hospederos es el mayor referente para que limiten los niveles poblacionales de las moscas de las frutas. De acuerdo con los análisis realizados de capturas de moscas de la fruta, siempre se obtuvo al menos un mínimo en los MTD durante los años de estudio comprendido del 2015 al 2019 (Figura 5).

La familia Tephritidae es considerada una de las plagas de mayor impacto económico en la producción mundial de cultivos frutícolas. Las moscas de la fruta son insectos fitófagos que

tienen una gran diversidad de hospedero, lo cual las convierten en una plaga de gran importancia en países como el Ecuador, donde se encuentra una inmensa diversidad frutícola, favoreciendo el desenvolvimiento y distribución amplia a los Tephritidos (Bermúdez et al., 2020; Rodríguez & Iparraguirre, 2021).

En el litoral ecuatoriano, se encuentra una gran variedad de frutos tropicales y condiciones ambientales que favoreces al buen desarrollo de las moscas de las frutas, en especial en los meses iniciales del año, donde los factores ambientales (Tabla 1) coinciden con la época de mayor productividad de cultivos frutícolas que son hospederos preferentes de la plaga.

De acuerdo con el presente estudio, la presencia de la plaga se manifiesta su mayor presencia poblacional en los meses de enero a febrero en las áreas de estudio de Guayas (Tabla 2) y Los Ríos (Tablas 3). La correlación existente entre poblaciones de moscas, factores ambientales y la disponibilidad de hospederos pueden incrementar las poblaciones hasta en un 300% (Conde-Blanco et al., 2018). De acuerdo con los análisis realizados en el presente estudio, esta razón de incremento se mostró en los meses de enero a marzo, donde las condiciones ambientales y demás factores favorecieron al aumento de las poblaciones de las moscas de las futas (Figura 13).

## V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1. Conclusiones

En base a los resultados obtenidos, se concluye:

- Los promedios anuales de MTD más alto fue encontrado en el 2016 (0,251), seguido por 2019 (0,236).
- La provincia del Guayas presentó los promedios anuales de MTD más altos (MTD de 0,36) en comparación de los resultados obtenidos en la provincia de los Ríos (MTD de 0,085).
- La fluctuación de las poblaciones de las moscas de las frutas de acuerdo con el análisis del MTD, mostro que durante los meses de enero y febrero se presentaron los resultados más altos con MTD de 0,771 y 0,508 respectivamente.
- Los promedios del MTD comenzaron a descender a partir del mes de marzo (0,379) llegando a niveles bajo para los meses de octubre noviembre y diciembre (0,071).
- Existe una alta relación entre el clima y la fluctuación poblacional de la plaga y de igual forma una relación entre la época de maduración de los frutales hospederos y la mosca de la fruta.
- La relación de las condiciones ambientales y la época de mayor productividad frutícola en las áreas de estudios, coincidieron en los meses de enero a marzo, lo que favoreció al incremento de las poblaciones de moscas de las frutas

## 5.2. Recomendaciones

En base a las conclusiones se recomienda:

- El conocimiento de las épocas más favorables para el incremento en las poblaciones de las moscas de las frutas, brindan un punto de partida para la planificación de las diferentes medidas de control y supresión de la plaga.
- El trapeo de las moscas de las frutas y el análisis para determinar el MTD, son de vital importancia para tener en consideración previo a la implementación del manejo de la plaga.
- Los estudios de las fluctuaciones poblacionales de las diferentes especies de plagas agrícolas son una herramienta esencial para establecimiento de programas de manejo integrado de plagas (MIP).

## VI. BIBLIOGRAFÍA

- Abzalov, M. (2016). Exploratory data analysis. In *Modern Approaches in Solid Earth Sciences*. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-39264-6\\_15](https://doi.org/10.1007/978-3-319-39264-6_15)
- Aguilar-Rivera, N., Galindo Mendoza, G., Contreras Servin, C., & Fortanelli Martínez, J. (2010). Zonificación productiva cañera en Huasteca Potosina, México. *Agronomía Tropical*, *60*(2), 139–154.
- Anandhi, A., Steiner, J. L., & Bailey, N. (2016). A system's approach to assess the exposure of agricultural production to climate change and variability. *Climatic Change*, *136*(3–4), 647–659. <https://doi.org/10.1007/s10584-016-1636-y>
- Arteaga, K., Tutasi, P., & Jiménez, R. (2006). Climatic variability related to El Niño in Ecuador – a historical background. *Advances in Geosciences*, *6*, 237–241. <https://doi.org/10.5194/adgeo-6-237-2006>
- Auci, S., & Coromaldi, M. (2021). Climate variability and agricultural production efficiency: evidence from Ethiopian farmers. *International Journal of Environmental Studies*, *78*(1), 57–76. <https://doi.org/10.1080/00207233.2020.1754559>
- Azzam, T., & Robinson, D. (2013). GIS in Evaluation: Utilizing the Power of Geographic Information Systems to Represent Evaluation Data. *American Journal of Evaluation*, *34*(2), 207–224. <https://doi.org/10.1177/1098214012461710>
- Bermúdez, M., Fosado, O., & Cañarte, E. (2020). MOSCAS DE LA FRUTA (DIPTERA: TEPHRITIDAE) Y SUS HOSPEDEROS EN EL ÁREA DEL CARRIZAL-CHONE, MANABÍ FRUIT FLIES (DIPTERA: TEPHRITIDAE) AND THEIR HOSTS IN THE CARRIZAL-CHONE AREA, MANABI Información del artículo. *Espamciencia*, *11*(1), 1–11.
- Bisognin, M., Nava, D. E., Lisbôa, H., Bisognin, A. Z., Garcia, M. S., Valgas, R. A., Diez-Rodríguez, G. I., Botton, M., & Antunes, L. E. C. (2013). Biologia da mosca-das-frutas sul-americana em frutos de mirtilo, amoreira-preta, araçazeiro e pitangueira. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira*. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2013000200003>
- Bland, J. M., & Altman, D. G. (1995). Tukey Multiple Comparison test. *British Medical Journal Journal of Clinical Nursing*.
- Bomfim, Z. V., Lima, K. M., Silva, J. G., Costa, M. A., & Zucchi, R. A. (2014). Morphometric and molecular characterization of anastrepha species in the spatulata group (Diptera, Tephritidae). *Annals of the Entomological Society of America*. <https://doi.org/10.1603/AN13183>

- Burkhard, B., Crossman, N., Nedkov, S., Petz, K., & Alkemade, R. (2013). Mapping and modelling ecosystem services for science, policy and practice. In *Ecosystem Services* (Vol. 4, Issue 4, pp. 1–3). <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2013.04.005>
- Carvalho, F. K., Chechetto, R. G., Mota, A. A. B., & Antuniassi, U. R. (2017). Characteristics and challenges of pesticide spray applications in Mato Grosso, Brazil. *Outlooks on Pest Management*. [https://doi.org/10.1564/v28\\_feb\\_02](https://doi.org/10.1564/v28_feb_02)
- Chekanov, S. V. (2016). Histograms. In *Advanced Information and Knowledge Processing*. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-28531-3\\_7](https://doi.org/10.1007/978-3-319-28531-3_7)
- Clavijo, P., Norrbom, A. L., Peñaranda, E., Diaz, P., Benitez, M., Gallego, J., Cruz, M., & Montes, J. (2018). New records of *Anastrepha* (Diptera: Tephritidae) primarily from Colombia. *Zootaxa*, 4390(1), 1. <https://doi.org/10.11646/zootaxa.4390.1.1>
- Conde-Blanco, E. A., Loza-Murguía, M. G., Asturizaga-Aruquipa, L. B., Ugarte-Anaya, D., & Jiménez-Espinoza, R. (2018). Modelo de fluctuación poblacional de moscas de la fruta *Ceratitis capitata* (Wiedemann 1824) y *Anastrepha* spp (Díptera: Tephritidae) en dos rutas en el municipio de Caranavi, Bolivia . *Journal of the Selva Andina Research Society*, 9(1), 3–24. <https://doi.org/10.36610/j.jsars.2018.090100003>
- Cone, J. (1998). Principles of Geographical Information Systems by Peter A. *New Zealand Geographer*, 54(2), 56–57. <https://doi.org/10.1111/j.1745-7939.1998.tb02089.x>
- Corrêa, S. C., Wille, C. L., Hoffer, H., Boff, M. I. C., & Franco, C. R. (2018). Oviposition preference and biology of fruit flies (Diptera: Tephritidae) on grape vine genotypes. *Revista Caatinga*. <https://doi.org/10.1590/1983-21252018V31N407RC>
- De Meyer, M., Robertson, M. P., Peterson, A. T., & Mansell, M. W. (2008). Ecological niches and potential geographical distributions of Mediterranean fruit fly (*Ceratitis capitata*) and Natal fruit fly (*Ceratitis rosa*). *Journal of Biogeography*. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2699.2007.01769.x>
- De Pauw, E., & Ramasamy, S. (2020). Rapid detection of stressed agricultural environments in Africa under climatic change 2000–2050 using agricultural resource indices and a hotspot mapping approach. *Weather and Climate Extremes*, 27, 100211. <https://doi.org/10.1016/j.wace.2019.100211>
- Deus, E. G., Godoy, W. A. C., Sousa, M. S. M., Lopes, G. N., Jesus-Barros, C. R., Silva, J. G., & Adaime, R. (2016). Co-infestation and spatial distribution of *Bactrocera carambolae* and *Anastrepha* spp. (Diptera: Tephritidae) in common guava in the eastern Amazon. *Journal of Insect Science*, 16(1). <https://doi.org/10.1093/jisesa/iew076>
- Dias, N., Nava, D., Smaniotto, G., ... M. G.-B. J. of, & 2019, U. (2018). Criação de duas

- moscas-das-frutas praga em dieta artificial com variação de pH. *SciELO Brasil*, 79, 101–110.
- Farah, S., Rakes, M., Portalanza, D., Nava, D. E., Durigon, A., Grützmacher, A. D., Dias-Pini, N., & Gómez-Torres, M. (2020). Effects of toxic baits and food-based attractants for fruit flies on the parasitoid *Fopius arisanus* (Sonan) (Hymenoptera: Braconidae). *Bulletin of Entomological Research*, 110(2), 278–284. <https://doi.org/10.1017/S0007485319000580>
- Flores, H. S., Hernández, E., & Toledo, J. (2012). Desarrollo de un Sistema de Cría Artificial para *Anastrepha fraterculus* (Wied.) (Diptera: Tephritidae). *ACTA ZOOLOGICA MEXICANA (N.S.)*. <https://doi.org/10.21829/azm.2012.282836>
- GADP de Los Ríos. (2013). *Plan de desarrollo y ordenamiento Territorial, Provincia de los Ríos*.
- Garcia, F., & Ricalde, M. (2012). Augmentative Biological Control Using Parasitoids for Fruit Fly Management in Brazil. *Insects*, 4(1), 55–70. <https://doi.org/10.3390/insects4010055>
- Gonçalves, R. S., Andrezza, F., Lisbôa, H., Grützmacher, A. D., Valgas, R. A., Manica-Berto, R., Nörnberg, S. D., & Nava, D. E. (2016). Basis for the development of a rearing technique of *Aganaspis pelleranoi* (Hymenoptera: Figitidae) in *Anastrepha fraterculus* (Tephritidae: Diptera). *Journal of Economic Entomology*. <https://doi.org/10.1093/jee/tow069>
- Gooch, J. W. (2011). Boxplot. In *Encyclopedic Dictionary of Polymers*. [https://doi.org/10.1007/978-1-4419-6247-8\\_15169](https://doi.org/10.1007/978-1-4419-6247-8_15169)
- Goovaerts, P., & Jacquez, G. M. (2004). Accounting for regional background and population size in the detection of spatial clusters and outliers using geostatistical filtering and spatial neutral models: The case of lung cancer in Long Island, New York. *International Journal of Health Geographics*. <https://doi.org/10.1186/1476-072X-3-14>
- Graham, A. ., Atkinson, P. ., & Danson, F. . (2004). Spatial analysis for epidemiology. *Acta Tropica*, 91(3), 219–225. <https://doi.org/10.1016/j.actatropica.2004.05.001>
- Guha, M., Smith, M. J. DE, Goodchild, M. F., & Longley, P. A. (2007). Book reviews - Geospatial Analysis: A Comprehensive Guide to Principles, Techniques, and Software Tools. *Journal of Mental Health Abingdon England*.
- Härter, W. da R., Grützmacher, A. D., Nava, D. E., Gonçalves, R. da S., & Botton, M. (2010). Isca tóxica e interrupção sexual no controle da mosca-da-fruta sul-americana e da mariposa-oriental em pessegueiro. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 45(3), 229–235.

<https://doi.org/10.1590/S0100-204X2010000300001>

- Hashemi, S. A. (2018). Ecological capability evaluation for afforestation and forest expansion using geographic information system (GIS) in management area of caspian sea. *Anais Da Academia Brasileira de Ciencias*, 90(4), 3761–3768. <https://doi.org/10.1590/0001-3765201820170805>
- Henríquez, C., Méndez, J. C., & Masís, R. (2013). Interpolación de variables de fertilidad de suelo mediante el análisis Kriging y su validación. *Agronomía Costarricense*, 37(2), 71–82. <https://doi.org/10.15517/rac.v37i2.12763>
- Hernández, V., Guillén, J., & López, L. (2010). Taxonomía e Identificación de Moscas de la Fruta de Importancia Económica en América. *Moscas de La Fruta: Fundamentos y Procedimientos Para Su Manejo, November 2010*, 49–80.
- Hubert, M., & Vandervieren, E. (2008). An adjusted boxplot for skewed distributions. *Computational Statistics and Data Analysis*. <https://doi.org/10.1016/j.csda.2007.11.008>
- ICA. (2011). Manual tecnico de trapeo de moscas de la fruta. In *Instituto Colombiano Agropecuario ICA*.
- ICA. (2017). Manual tecnico de trapeo de moscas de la fruta. In *Instituto Colombiano Agropecuario ICA (Vol. 2)*.
- Ireland, P. N. (2004). A method for taking models to the data. *Journal of Economic Dynamics and Control*. [https://doi.org/10.1016/S0165-1889\(03\)00080-0](https://doi.org/10.1016/S0165-1889(03)00080-0)
- Kelling, S., Fink, D., La Sorte, F. A., Johnston, A., Bruns, N. E., & Hochachka, W. M. (2015). Taking a ‘Big Data’ approach to data quality in a citizen science project. *Ambio*. <https://doi.org/10.1007/s13280-015-0710-4>
- Köppen, W. (1918). Classification of climates according to temperature, precipitation and seasonal cycle. *Petermanns Geogr. Mitt*, 64, 193-203.
- Krell, N. T., Giroux, S. A., Guido, Z., Hannah, C., Lopus, S. E., Caylor, K. K., & Evans, T. P. (2021). Smallholder farmers’ use of mobile phone services in central Kenya. *Climate and Development*, 13(3), 215–227. <https://doi.org/10.1080/17565529.2020.1748847>
- MAE-MAGAP. (2015). *Protocolo metodológico para la elaboración del mapa de cobertura y uso de la tierra del Ecuador continental 2013-2014, escala 1:100.000*.
- Mann, B. A. (2019). The Role of Place, Geography, and Geographic Information Systems in Educational Research. *AERA Open*, 5(3). <https://doi.org/10.1177/2332858419869340>
- Montero, V. F., Camarena-Mayta, F., Santillán-Muñoz, O., & Garcés-Fiallos, F. R. (2018).

- Genotype × environment interaction of soybean genotypes in Ecuador. *Revista Fitotecnia Mexicana*.
- Mubiru, D. N., Radeny, M., Kyazze, F. B., Zziwa, A., Lwasa, J., Kinyangi, J., & Mungai, C. (2018). Climate trends, risks and coping strategies in smallholder farming systems in Uganda. *Climate Risk Management*, 22, 4–21. <https://doi.org/10.1016/j.crm.2018.08.004>
- Niang, A., Becker, M., Ewert, F., Dieng, I., Gaiser, T., Tanaka, A., Senthilkumar, K., Rodenburg, J., Johnson, J.-M., Akakpo, C., Segda, Z., Gbakatchetche, H., Jaiteh, F., Bam, R. K., Dogbe, W., Keita, S., Kamissoko, N., Mossi, I. M., Bakare, O. S., ... Saito, K. (2017). Variability and determinants of yields in rice production systems of West Africa. *Field Crops Research*, 207, 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2017.02.014>
- Norrbom, A. L., Korytkowski, C. A., Zucchi, R. A., Uramoto, K., Venable, G. L., McCormick, J., & Dallwitz, M. J. . (2013). *Anastrepha* and *Toxotrypana*: descriptions, illustrations, and interactive keys. *Delta-Intkey.Com*. <https://www.delta-intkey.com/anatox/morphol.htm>
- Nunes, A. M., Costa, K. Z., Faggioni, K. M., de Lourdes Zamboni Costa, M., da Silva Gonçalves, R., Walder, J. M. M., Garcia, M. S., & Nava, D. E. (2013). Dietas artificiais para a criação de larvas e adultos da mosca-das-frutas sul-americana. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira*. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2013001000001>
- Olayide, O. E., Tetteh, I. K., & Popoola, L. (2016). Differential impacts of rainfall and irrigation on agricultural production in Nigeria: Any lessons for climate-smart agriculture? *Agricultural Water Management*. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2016.08.034>
- Olive, D. J. (2017). Linear regression. In *Linear Regression*. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-55252-1>
- Oliveira, Cristiane, C., Duarte, C., Bravo, I., Nascimento, A., & Silva, D. (2011). Criação e manutenção de colônias de *Ceratitis capitata* e *Anastrepha obliqua* para estudos de biologia e ecologia da praga no estado da Bahia. *Alice.Cnptia.Embrapa.Br*. <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/55525/1/Criacao-manutencao-ANTONIO-152-11.pdf>
- Oliveira, D. A., Pietrafesa, J. P., & Barbalho, M. G. da S. (2008). Manutenção da biodiversidade e o hotspots Cerrado. *Caminhos de Geografia*, 9(26), 101–114. <http://www.seer.ufu.br/index.php/caminhosdegeografia/article/view/15700/8881>
- Onwuegbuzie, A. J., Dickinson, W. B., Leech, N. L., & Zoran, A. G. (2009). A Qualitative

- Framework for Collecting and Analyzing Data in Focus Group Research. *International Journal of Qualitative Methods*. <https://doi.org/10.1177/160940690900800301>
- Oxoli, D., Zurbarán, M., Shaji, S., & Muthusamy, A. (2016). Hotspot analysis: a first prototype Python plugin enabling exploratory spatial data analysis into QGIS. *Hotspot Analysis: A First Prototype Python Plugin Enabling Exploratory Spatial Data Analysis into QGIS*. <https://doi.org/10.7287/peerj.preprints.2204v1>
- Oxoli, Zurbarán, M., Shaji, S., & Muthusamy, A. (2016). Hotspot analysis: a first prototype Python plugin enabling exploratory spatial data analysis into QGIS. *Peerj Preprints*.
- Papanicolaou, A., Schetelig, M. F., Arensburger, P., Atkinson, P. W., Benoit, J. B., Bourtzis, K., Castañera, P., Cavanaugh, J. P., Chao, H., Childers, C., Curril, I., Dinh, H., Doddapaneni, H. V., Dolan, A., Dugan, S., Friedrich, M., Gasperi, G., Geib, S., Georgakilas, G., ... Handler, A. M. (2016). The whole genome sequence of the Mediterranean fruit fly, *Ceratitis capitata* (Wiedemann), reveals insights into the biology and adaptive evolution of a highly invasive pest species. *Genome Biology*. <https://doi.org/10.1186/s13059-016-1049-2>
- Paranhos, B. J., Nava, D. E., & Malavasi, A. (2019). Biological control of fruit flies in Brazil. In *Pesquisa Agropecuaria Brasileira*. <https://doi.org/10.1590/S1678-3921.pab2019.v54.26037>
- Peel, M. C., Finlayson, B. L., & McMahon, T. A. (2007). Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. *Hydrology and Earth System Sciences*. <https://doi.org/10.5194/hess-11-1633-2007>
- Phuong, N. T. B., Tri, V. P. D., Duy, N. B., & Nghiem, N. C. (2017). Remote Sensing for Monitoring Surface Water Quality in the Vietnamese Mekong Delta: The Application for Estimating Chemical Oxygen Demand in River Reaches in Binh Dai, Ben Tre. *VIETNAM JOURNAL OF EARTH SCIENCES*, 39(3). <https://doi.org/10.15625/0866-7187/39/3/10270>
- QGIS Development Team. (2016). QGIS Geographic Information System. v 2.18.12- Las Palmas. In *Open Source Geospatial Foundation Project*. <https://doi.org/http://www.qgis.org/>
- Ramos, A. M., Yábar, E., & Ramos, J. C. (2019). Diversidad, fluctuación poblacional y hospedantes de moscas de la fruta *Anastrepha* spp. y *Ceratitis capitata* (Wiedemann) (Diptera: Tephritidae) en el Valle de Abancay, Apurímac, Perú. *ACTA ZOOLOGICA MEXICANA (N.S.)*. <https://doi.org/10.21829/azm.2019.3501208>
- Rangel, A., & Clithero, J. A. (2012). Value normalization in decision making: Theory and

- evidence. In *Current Opinion in Neurobiology*.  
<https://doi.org/10.1016/j.conb.2012.07.011>
- Rey, S. J., & Anselin, L. (2007). PySAL: A Python library of spatial analytical methods. *Review of Regional Studies*. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-03647-7\\_11](https://doi.org/10.1007/978-3-642-03647-7_11)
- Rey, S. J., Anselin, L., Li, X., Pahle, R., Laura, J., Li, W., & Koschinsky, J. (2015). Open geospatial analytics with PySAL. *ISPRS International Journal of Geo-Information*. <https://doi.org/10.3390/ijgi4020815>
- Rodríguez, Z. A., & Iparraguirre, M. Á. C. (2021). Population fluctuation and management of fruit flies in morón, Ciego de Ávila. *Universidad&Ciencia*, 10, 1–12.
- RStudio Team. (2017). *RStudio* (1.0.136). Integrated Development for R. RStudio.
- Saldaña, J., Morán, J. C., & Varela, G. (2019). Fluctuación poblacional de moscas de las frutas (Díptera: Tephritidae) en Nicaragua, basado en el sistema de vigilancia fitosanitaria, 2017. *La Calera*. <https://doi.org/10.5377/calera.v19i33.8842>
- Sánchez, L., & Prieto, Z. (2018). Morphological characterization and band profile of *Anastrepha distincta* using RAPD-PCR. *SCIÉND*O. <https://doi.org/10.17268/sciendo.2018.035>
- Sciarretta, A., Tabilio, M. R., Lampazzi, E., Ceccaroli, C., Colacci, M., & Trematerra, P. (2018). Analysis of the Mediterranean fruit fly [*Ceratitis capitata* (Wiedemann)] spatiotemporal distribution in relation to sex and female mating status for precision IPM. *PLoS ONE*. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0195097>
- Scott, L. M., & Janikas, M. V. (2010). Spatial Statistics in ArcGIS. *Handbook of Applied Spatial Analysis*, 27–41. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-03647-7\\_2](https://doi.org/10.1007/978-3-642-03647-7_2)
- Shapiro, S. S., & Wilk, M. B. (1965). An Analysis of Variance Test for Normality (Complete Samples). *Biometrika*. <https://doi.org/10.2307/2333709>
- Silva, M. E. S. da, Wochner, M. A., Sousa, M. do S. M. de, Barreto, M. R., & Silva, R. A. da. (2019). Moscas-das-frutas (Diptera: Tephritidae), suas plantas hospedeiras e parasitoides (Hymenoptera: Braconidae) no norte do estado de Mato Grosso, Brasil. *Nativa*. <https://doi.org/10.31413/nativa.v7i5.7461>
- Sivakumar, M. V. K., Gommers, R., & Baier, W. (2000). Agrometeorology and sustainable agriculture. *Agricultural and Forest Meteorology*. [https://doi.org/10.1016/S0168-1923\(00\)00115-5](https://doi.org/10.1016/S0168-1923(00)00115-5)
- Souza, A., Cota, R. S., Linzmeyer, J., Linzmeyer, M. P., & De Oliveira Neves, L. (2020). Efeito do ensacamento na incidência da mosca-das-frutas e qualidade dos frutos de diferentes genótipos de goiabeira-serrana. *Revista Thema*.

- <https://doi.org/10.15536/thema.v17.2020.644-657.1571>
- Stober, C., Broomell, S., & Lorenz, F. (2007). Exploratory data analysis with MATLAB. *Psychometrika* 2006 72:1, 72(1), 107–108. <https://doi.org/10.1007/S11336-005-1362-2>
- Sugawara, E., & Nikaido, H. (2014). Properties of AdeABC and AdeIJK efflux systems of *Acinetobacter baumannii* compared with those of the AcrAB-TolC system of *Escherichia coli*. *Antimicrobial Agents and Chemotherapy*, 58(12), 7250–7257. <https://doi.org/10.1128/AAC.03728-14>
- Sun, Y., & Genton, M. G. (2011). Functional boxplots. *Journal of Computational and Graphical Statistics*. <https://doi.org/10.1198/jcgs.2011.09224>
- Tabelow, K., Clayden, J. D., Lafaye de Micheaux, P., Polzehl, J., Schmid, V. J., & Whitcher, B. (2011). Image analysis and statistical inference in neuroimaging with R. *NeuroImage*. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2011.01.013>
- Takakura, T. (1997). Meteorological Information for Agriculture. *Journal of Agricultural Meteorology*. <https://doi.org/10.2480/agrmet.53.227>
- Thomas, D. R. (2006). A General Inductive Approach for Analyzing Qualitative Evaluation Data. *American Journal of Evaluation*. <https://doi.org/10.1177/1098214005283748>
- Venables, W. N., & Ripley, B. D. (2002). *Modern Applied Statistics with S*. <https://doi.org/10.1007/978-0-387-21706-2>
- Vesco, P., Kovacic, M., Mistry, M., & Croicu, M. (2021). Climate variability, crop and conflict: Exploring the impacts of spatial concentration in agricultural production. *Journal of Peace Research*. <https://doi.org/10.1177/0022343320971020>
- Vilatuña, Paulina Valenzuela, Julia Bolaños, Rodrigo Hidalgo, & Adriana Mariño. (2016). Hospederos de moscas de la fruta *Anastrepha* spp. y *Ceratitis capitata* (Diptera: Tephritidae) en Ecuador. *ECUADOR ES CALIDAD: Revista Científica Ecuatoriana*. <https://doi.org/10.36331/revista.v3i1.16>
- Vories, E. D. (2016). *Género Anastrepha Schiner*.
- Warren, T. (2005). Clustering of time series data—a survey. *Pattern Recognition*, 38(11), 1857–1874. <https://doi.org/10.1016/J.PATCOG.2005.01.025>
- Wickham, H. (2009). ggplot2. In *Media*. Springer New York. <https://doi.org/10.1007/978-0-387-98141-3>
- Yap, B. W., & Sim, C. H. (2011). Comparisons of various types of normality tests. *Journal of Statistical Computation and Simulation*. <https://doi.org/10.1080/00949655.2010.520163>

Zhai, Z., Martínez, J. F., Beltran, V., & Martínez, N. L. (2020). Decision support systems for agriculture 4.0: Survey and challenges. *Computers and Electronics in Agriculture*, 170, 105256. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105256>