

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA  
LA MOLINA**

**ESCUELA DE POSGRADO**

**DOCTORADO EN AGRICULTURA SUSTENTABLE**



***“Ceratitis capitata (Wied.) Y LA SOSTENIBILIDAD DE  
Mangifera indica L. PARA EXPORTACIÓN DESDE ECUADOR”***

**Presentada por:**

**LIGIA MAGALI GARCÍA ROSERO**

**TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE *DOCTORIS PHILOSOPHIAE*  
EN AGRICULTURA SUSTENTABLE**

**Lima – Perú  
2015**

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA  
LA MOLINA**

**ESCUELA DE POSGRADO  
DOCTORADO EN AGRICULTURA SUSTENTABLE**

***“Ceratitis capitata (Wied.) Y LA SOSTENIBILIDAD DE  
Mangifera indica L. PARA EXPORTACIÓN DESDE ECUADOR”***

**TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE  
*Doctoris Philosophiae (Ph.D.)***

**Presentada por:**

**LIGIA MAGALI GARCÍA ROSERO**

**Sustentada y aprobada ante el siguiente jurado:**

**Ph. D. Salomón Helfgott Lerner  
PRESIDENTE**

**Ph. D. Hugo Soplín Villacorta  
PATROCINADOR**

**Ph. D. Julio Alegre Orihuela  
MIEMBRO**

**Dr. Alexander Rodríguez Berrio  
MIEMBRO**

**Ph. D. Robert Richard Rafael Rutte  
MIEMBRO EXTERNO**

## **DEDICATORIA**

*Con todo el amor dedico el presente trabajo a  
mis adorados padres Hugo y Ligia, son el  
centro de mi vida y el ejemplo en mi caminar.*

## **AGRADECIMIENTOS**

De todo corazón, gracias a mi familia: Hugo, Ligia, Patricia, Verónica y Matías, por estar siempre juntos a pesar de las distancias.

A la Universidad Agraria la Molina, y a todos quienes laboran en la institución, muchas gracias por su amabilidad, al ser unas personas muy hospitalarias, me hicieron sentir como en casa, principalmente a quienes trabajan en la Escuela de Posgrado y al equipo del Programa de Maestría y Doctorado en Agricultura Sustentable.

Al Dr. Hugo Soplín, por su gran apoyo en la elaboración del presente trabajo.

La presente investigación no habría sido posible sin el valioso apoyo del equipo del Programa Nacional de Manejo de Mosca de la Fruta – AGROCALIDAD- Ecuador. En especial al Director del Programa, el Ing. José Vilatuña, así como al Ing. Davis Salas, Coordinador Regional del Programa, y al Ing. José Luis Rodríguez, Supervisor del Programa en AGROCALIDAD- Imbabura.

Agradecimientos especiales al equipo de la Universidad Estatal de la Península de Santa Elena (2013-2014), por ser una gran familia universitaria donde recibí múltiples apoyos para la realización de mis estudios.

Al Ing. Jaris Veneros. Mg. Sc., muchas gracias por compartir sus aprendizajes sobre el modelo CLIMEX para la elaboración de esta investigación, la cual no habría sido posible sin sus valiosas recomendaciones.

A todos mis amigos y compañeros en Perú, con quienes compartí gratos e inolvidables momentos llenos de aprendizaje, gracias por su incondicional apoyo; así como a mis amigos que desde lejos estuvieron siempre junto a mí.

## RESUMEN

El presente estudio usó el Modelo CLIMEX *versión 3* para determinar la distribución potencial de *Mangifera indica* y *Ceratitidis capitata* en Ecuador, en condiciones actuales de clima y actual y bajo un escenario de cambio climático A1B-2030; se identificaron además, las áreas potenciales más propicias para la producción de *Mangifera indica* para exportación en el Ecuador por medio de la superposición de mapas, tanto de distribución potencial actual y futura de *Mangifera indica* y *Ceratitidis capitata*; luego, sobre esas áreas se realizó un primer ciclo de evaluación de sustentabilidad en sistemas que tienen como cultivo principal al mango de exportación, usando la metodología MESMIS.

Para la distribución potencial actual de *C. capitata*, se estimó que, el 47.73% del país abarca zonas muy favorables para que *C. capitata* se establezca todo el año ( $IE > 30$ ) principalmente en la región costa; se estimó que el 47.61% de la superficie total del país posee zonas menos favorables para que *C. capitata* se establezca todo el año ( $IE < 30$ ), y un 4.65% de zonas con probabilidades de establecimiento de *C. capitata* nulas ( $IE = 0$ ).

Respecto a la distribución potencial bajo un escenario de cambio climático (A1B-2030) para *Ceratitidis capitata* en el Ecuador, se estimó que, el 33.03% del país corresponderán a zonas aptas con condiciones climáticas para que *C. capitata* se establezca todo el año ( $IE > 30$ ), el 62.17% de zonas del país posee zonas menos favorables para que *C. capitata* se establezca todo el año ( $IE < 30$ ), y en el 4.80% son zonas nulas para el establecimiento de *C. capitata* ( $IE = 0$ ) en el Ecuador.

Para la distribución potencial actual de *Mangifera indica* en el Ecuador, se estimó que, el 36.91% del país abarca zonas muy favorables para un establecimiento durante todo el año ( $IE > 30$ ) principalmente en la región costa; se estimó además que el 51.17% de la superficie total del país posee zonas menos favorables para que *M. indica* se establezca todo el año ( $IE < 30$ ), y un 11.92% de son zonas con probabilidades nulas para el establecimiento de *M. indica* ( $IE = 0$ ).

Para la distribución potencial bajo un escenario de cambio climático (A1B-2030) para *M. indica* en el Ecuador se estimó que, el 34.80% del país corresponderán a zonas aptas con condiciones climáticas muy favorables para que *M. indica* se establezca todo el año (IE>30). El 49.49% de zonas del país posee zonas menos favorables para que *C. capitata* se establezca todo el año (IE<30), y el 21.70 % de áreas del país tienen zonas con probabilidades nulas para el establecimiento de *M. indica* (IE = 0).

Al hacer la superposición de mapas para la distribución potencial actual de *C. capitata* y *M. indica* en Ecuador, se determinó que, las áreas de distribución potencial actual de mango están cubiertas por altas posibilidades de establecimiento de *C. capitata*.

Para la medida de sostenibilidad de los sistemas donde el cultivo principal es mango de exportación en Ecuador, se identificaron 22 indicadores pertenecientes a los 7 atributos de sostenibilidad, el promedio general fue de 0.50, valor que pertenece al rango medio de sostenibilidad.

Los niveles muy bajos y bajos en sostenibilidad son los puntos críticos en sostenibilidad que pertenecen a los indicadores:

Productos transformados y procesados a partir del mango (0.25); fertilizaciones acorde a un análisis de suelo (0.19); acceso a innovaciones tecnológicas (0.30); dependencia de insumos externos (0.10); número de cultivos (especies) (0.33); generación de conocimientos y prácticas dentro de la finca (0.20), y evolución del número de exportadores (0.10).

**Palabras clave:** CLIMEX, MESMIS, sostenibilidad, *Mangifera indica*, *Ceratitis capitata*

## SUMMARY

CLIMEX model *version 3* was used to determine the potential distribution of *Mangifera indica* (Mango) and *Ceratitidis capitata* in Ecuador, under current climate conditions and a climate change scenario A1B-2030. Then, by overlapping both potential distribution maps, potential production areas of mango for export were identified. A first cycle of sustainability assessment of farming systems having Mango for export was then made on these potential production areas. MESMIS framework was used for sustainability assessment.

For the current potential distribution of *C. capitata*, it was estimated that 47.73% of the country area has very favorable climate conditions for establishment of *C. capitata* throughout the year ( $EI > 30$ ) especially in the coastal region; it is also estimated that 47.61% of country area has less favorable climate conditions for establishment of *C. capitata* throughout the year ( $EI < 30$ ), and 4.65% has null probability of establishment of *C. capitata* ( $EI = 0$ ).

Regarding the potential distribution of *Ceratitidis capitata* in Ecuador under a climate change scenario A1B-2030, it was estimated that 33.03% of the country area has suitable climate conditions for *C. capitata* establishment throughout the year ( $EI > 30$ ); 62.17% of the country area has less favorable climate conditions for *C. capitata* establishment throughout the year ( $EI < 30$ ) and 4.80% has a null probability for establishment of *C. capitata* ( $EI = 0$ ).

For the current potential distribution of *Mangifera indica* in Ecuador, it was estimated that 36.91%, 51.17% and 11.92 % of Ecuador area have climate conditions which are very favorable ( $EI > 30$ ), especially in the coastal region; less favorable ( $EI < 30$ ) and areas with null probability ( $EI = 0$ ) for mango establishment throughout the year, respectively.

With regard to the potential distribution of *M. indica* in Ecuador under a climate change scenario (A1B-2030), it was estimated that 34.80% of the country area have very favorable climate conditions for *M. indica* establishment throughout the year ( $EI > 30$ ); 49.49% has less favorable climate conditions for *C. capitata* establishment throughout

the year ( $EI < 30$ ), and 21.70% of the country area has null probability for establishment of *M. indica* ( $EI = 0$ ).

After overlapping the actual potential distribution maps for both *C. capitata* and *M. indica* in Ecuador, it was determined that the current areas of potential distribution of Mango also have a high potential for *C. capitata* establishment.

Assessment of sustainability of systems having Mango for export as the main crop identified 22 indicators included into the seven sustainability attributes considered in the MESMIS framework. The overall average value of the Sustainability Index was 0.50, which is in the middle range of sustainability.

Indicators that obtained the very low and low levels in terms of sustainability, which are considered as the critical points were: transformed and processed products from Mango (0.25); fertilization according to soil analysis (0.19); access to technological innovations (0.30); dependence on external inputs (0.10); number of crops (species) (0.33); generation of knowledge and practices in the farm (0.20), and evolution of the number of exporters (0.10).

**Key words:** CLIMEX, MESMIS, sustainability, *Mangifera indica*, *Ceratitis capitata*



5.2. INTRODUCCIÓN.....	32
5.3. MATERIALES Y MÉTODOS.....	33
5.3.1. Uso del Modelo.....	33
5.3.2. La distribución potencial actual de <i>Mangifera indica</i> .....	34
5.3.3. Validación de los resultados .....	34
5.3.4. Distribución potencial de <i>M. indica</i> bajo el escenario de cambio climático A1B-2030. ....	35
5.4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	36
5.4.1. Distribución geográfica de <i>M. indica</i> . ....	36
5.4.2. Parámetros proporcionados por el modelo CLIMEX para la elaboración del mapa de la distribución potencial de <i>M. indica</i> .....	37
5.4.3. Distribución potencial actual de <i>Mangifera indica</i> para Ecuador .....	39
5.4.4. Validación de las presencias de <i>Mangifera indica</i> en Ecuador .....	41
5.4.5. Distribución potencial bajo el escenario (A1B-2030) de <i>Mangifera indica</i> .....	42
5.4.5. Diferencia entre la distribución potencial actual y la distribución potencial bajo el escenario de cambio climático A1-B2030 de <i>M. indica</i> en Ecuador .....	43
5.5. CONCLUSIONES.....	46
5.6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	47
6. CAPITULO III .....	49
PRIMER CICLO DE EVALUACIÓN DE SOSTENIBILIDAD PARA MANGO DE EXPORTACIÓN EN ECUADOR .....	49
6.1. RESUMEN .....	49
6.2. INTRODUCCIÓN.....	50
6.3. MATERIALES Y MÉTODOS.....	51
6.4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	54
6.4.1. Análisis Situacional .....	54
6.4.2. Evaluación de la Sostenibilidad del SCM.....	55
6.4.3. Fortalezas y debilidades.....	57
6.4.4. Selección de indicadores.....	57
6.4.5. Medida y estandarización de indicadores .....	57
6.4.6. Presentación e integración de resultados .....	58
6.4.7. Propuesta de mejora.....	60
6.5. CONCLUSIONES.....	63
6.6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	64

VII. CONCLUSIONES GENERALES .....	66
VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS GENERALES .....	68

## INDICE DE CUADROS

<b>Cuadro 4.1.</b> Valor de los parámetros CLIMEX para la distribución potencial de <i>C. capitata</i> .....	20
<b>Cuadro 4.2.-</b> Distribución potencial actual de <i>Ceratitidis capitata</i> para el Ecuador.....	22
<b>Cuadro 4.3 .-</b> Distribución potencial bajo el escenario de cambio climático (A1B-2030) de <i>Ceratitidis capitata</i> para el Ecuador.....	25
<b>Cuadro 4.4.-</b> Medida del cambio de áreas potenciales (% de superficie) para <i>Ceratitidis capitata</i> , en los escenarios actual y futuro A1B2030 para el Ecuador. ....	27
<b>Cuadro 5.1.-</b> Registros de presencias de <i>Mangifera indica</i> , para los cinco continentes. ....	36
<b>Cuadro 5. 2.</b> Valores de los parámetros CLIMEX para la distribución potencial de <i>Mangifera indica</i> L.....	38
<b>Cuadro 5.3.-</b> Distribución potencial actual para <i>M. indica</i> en Ecuador .....	40
<b>Cuadro 5. 4.-</b> Distribución potencial bajo el escenario de cambio climático para <i>M. indica</i> en Ecuador .....	43
<b>Cuadro 5.5 .-</b> Medida del cambio de áreas potenciales (% de superficie) para <i>M. indica</i> , en los escenarios actual y (A1B-2030) para el Ecuador.....	45
<b>Cuadro 6.1.-</b> Escalas de sostenibilidad para la evaluación del sistema de producción donde el cultivo principal es mango de exportación.....	52
<b>Cuadro 6. 2.-</b> Medida de coincidencia y diferencia de áreas para la distribución potencial actual de <i>Ceratitidis capitata</i> vs. la distribución potencial actual de <i>Mangifera indica</i> en Ecuador. ....	55
<b>Cuadro 6.3.-</b> Valores estándar para la medida de sostenibilidad del sistema de cultivo de mango de exportación en Ecuador .....	58

## INDICE DE FIGURAS

<b>Figura 2.1.</b> Esquema inferencial del mapeo de la ocurrencia de una plaga usando CLIMEX Fuente: Van Driesche et al. (2007).....	8
<b>Figura 4.1.-</b> Registros de presencias para <i>Ceratitits capitata</i> a nivel mundial.....	18
<b>Figura 4.2.-</b> Distribución potencial actual de <i>Ceratitits capitata</i> para el Ecuador.....	21
<b>Figura 4.3.-</b> Comparación entre la distribución observada de <i>Ceratitits capitata</i> con la distribución potencial actual proporcionada por CLIMEX para el Ecuador.....	23
<b>Figura 4.4.-</b> Distribución potencial bajo el escenario de cambio climático (A1B-2030) de <i>Ceratitits capitata</i> para el Ecuador.....	24
<b>Cuadro 4.3 .-</b> Distribución potencial bajo el escenario de cambio climático (A1B-2030) de <i>Ceratitits capitata</i> para el Ecuador.....	25
<b>Figura 4.5.-</b> El mapa de la izquierda (a) representa la distribución potencial actual para <i>Ceratitits capitata</i> en Ecuador, y el mapa de la derecha (b) representa la distribución potencial bajo en escenario de cambio climático A1B2030 para <i>Ceratitits capitata</i> en Ecuador.....	26
<b>Figura 5.1.-</b> Distribución observada de <i>Mangifera indica</i> L. a nivel mundial, datos obtenidos de registros de presencias.....	37
<b>Figura 5.2.-</b> Distribución potencial actual para <i>M. indica</i> en Ecuador.....	39
<b>Figura 5.3.-</b> Comparación entre la presencia observada de <i>Mangifera indica</i> con la distribución potencial actual proporcionada por CLIMEX para el Ecuador (ajuste visual)..	41
<b>Figura 5.4.-</b> Distribución potencial bajo el escenario de cambio climático A1B-2030 para <i>M. indica</i> en Ecuador.....	42
<b>Figura 5.5.-</b> El mapa de la izquierda (a) representa la distribución potencial actual para <i>M. indica</i> en Ecuador, y el mapa de la derecha (b) representa la distribución potencial de <i>M. indica</i> en el escenario de cambio climático (A1B-2030) para el Ecuador.....	44
<b>Figura 6. 1.-</b> Mapas superpuestos para el Ecuador de la distribución potencial actual de <i>Ceratitits capitata</i> (color rojo = IE>30= zonas potenciales para el establecimiento de moscamed durante todo el año) vs. la distribución potencial actual de <i>Mangifera indica</i> (malla sombreada = IE>30= zonas potenciales muy favorables para el establecimiento de mango durante todo el año.....	54
<b>Figura 6.2 .-</b> Flujograma que representa la caracterización del sistema de producción donde el cultivo principal es mango de exportación en Ecuador.....	56
<b>Figura 6.3.-</b> Indicadores y grado de sostenibilidad del sistema de producción donde el mango es el principal cultivo en Ecuador.....	59

**Figura 6.4.-** Medida de la sostenibilidad por atributos para el sistema donde el cultivo principal es mango de exportación. .... 60

## I. INTRODUCCIÓN GENERAL

La creciente importancia económica que tienen las pérdidas ocasionadas por plagas y enfermedades de los cultivos, ha sido una preocupación permanente de los organismos estatales pertinentes en el Ecuador. En los últimos años, la economía de los exportadores de mango (*Mangifera indica*) en el Ecuador se ha visto afectada por la presencia de la mosca de la fruta, la misma que causa daños en el fruto, impidiendo su exportación.

El cultivo y exportación de mango en el Ecuador se inició en la década de los 90, con gran éxito en el mercado internacional, lo cual se refleja en las cifras de exportación a partir del año 1990. Así, el mango se ha convertido en uno de los productos más importantes dentro de las exportaciones no tradicionales del país. Entre sus ventajas competitivas se pueden citar las condiciones agro ambientales favorables de las zonas de producción, utilización de tecnología adecuada, experiencia y mano de obra capacitada, entre otras.

En la actualidad para el Ecuador existe el PLAN DE TRABAJO OPERATIVO PARA LA CERTIFICACIÓN DEL MANGO ECUATORIANO con la participación de los siguientes actores: el Acuerdo Cooperativo del Departamento de Agricultura de los EEUU (USDA, por sus siglas en inglés), Servicio de Inspección de Sanidad Animal y Vegetal (APHIS, por sus siglas en inglés), y la Agencia Ecuatoriana de Aseguramiento de la Calidad del Agro (AGROCALIDAD) adscrita al Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca (MAGAP); quienes bajo ciertas reglamentaciones permiten la exportación de mango ecuatoriano a Estados Unidos.

Aunque el mango no es hospedero favorito de *Ceratitis capitata* (Mosca del Mediterráneo), el plan de trabajo operativo para la certificación de mango ecuatoriano que permite la exportación desde Ecuador a Estados Unidos, menciona como uno de los requisitos un plan de: “Tratamiento para mangos de Ecuador, contra *Anastrepha* spp. (*A. ludens*, *A. serpentina* y *A. obliqua*) y *Ceratitis capitata*.”; por lo que la relación entre áreas donde vive la plaga y áreas donde se establece el cultivo es de alta importancia económica.

En varias zonas del país se tienen reportes iniciales de daños en los frutos de *Mangifera indica* causados por *Ceratitis capitata*. Al ser *Ceratitis capitata* un insecto agresivo, que se multiplica muy rápidamente existe alto riesgo de que se expanda por todos los cultivos de mango en el país superando los umbrales económicos en las fincas productoras y llevando al declive de las mismas.

Los estudios de *Ceratitis capitata* en el Ecuador son muy escasos, lo que no ha permitido hasta el momento contar con información que sirva para la implementación de un programa a nivel nacional de zonas protegidas y de baja prevalencia de *Ceratitis capitata* para mitigar los riesgos que implica su prolífera reproducción en varios cultivos.

Los resultados del presente proyecto permitirán determinar las áreas potenciales más propicias para la producción de *Mangifera indica* para exportación en el Ecuador por medio de la superposición de mapas, tanto de distribución potencial actual y futura de *Mangifera indica* para exportación como de *Ceratitis capitata*. El mapa resultado de la superposición permitirá medir la sostenibilidad del mango en las zonas más apropiadas para el cultivo.

Se pretende que los resultados del presente proyecto sirvan de base para efectuar planes y proyectos tendientes a la aplicación a mediano plazo, de acciones de erradicación de moscas de la fruta, en especial de *Ceratitis capitata*, lo cual requiere de fuertes inversiones económicas y la intervención de todos los actores involucrados de los sectores público y privado.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA GENERAL

### 2.1. *Ceratitis capitata* Wiedemann

Es una mosca que posee un típico y característico diseño de marcas en las alas y scutum, por lo que difícilmente puede ser confundida con otros tephritidos. Sin embargo, en Ecuador existe un Otitidae del género *Dyscrasis* con un patrón alar algo parecido al de *C. capitata*, pero que al ser observado con detenimiento presenta grandes diferencias. El personal que ha efectuado trampeo, algunas veces ha confundido a estas dos especies (Molineros et al., 1992).

#### **Taxonomía (CABI (a), 2015)**

Dominio: Eucariontes

Reino: Metazoos

Phylum: Arthropoda

Subphylum: Uniramia

Clase: Insecta

Orden: Diptera

Familia: Tephritidae

Género: *Ceratitis*

Especie: *Ceratitis capitata*

A continuación se presentan las características que diferencian a *C. capitata* de otras especies, según Molineros, et. al. (1992):

Cabeza: Oscura, con la facia blanco grisácea; con cuatro pares de setas orbitales inferiores muy características y distintas en ambos sexos; en los machos el segundo par (contando desde el vértex) se halla modificado en forma de espátula romboidal en su sección apical. En las hembras el segundo par de setas orbitales inferiores es un tanto más desarrollado que las otras setas.

Tórax: De forma globosa, el scutum es de color negro brillante a café oscuro pero con una banda amarillenta anterior a la sutura scuto-scutellar. Humeri amarillento blanquecino, con una mancha negra en la porción superior, rodeando la base de la seta humeral. El metanoto (mediotergito), negro lustroso en la parte superior y gris opaco en la sección inferior.

Alas: Cortas y anchas, con manchas muy características. La parte basal está llena de numerosos puntos oval alargados de color café a negruzco. En la parte media del ala hay una banda vertical ancha que nace en la celda Sc y se extingue cerca del ápice de la vena anal, de color amarillento, pero en la región superior, de color café oscuro. Existe otra mancha café amarillenta, longitudinal a lo largo de las celdas R1 y R3, la cual se extiende hasta el ápice del ala y, finalmente otra banda de coloración café y dispuesta oblicuamente al margen costal del ala y localizada en la parte inferior de ésta, a la altura de la vena dm-cu.

Abdomen: De color amarillento a grisáceo, corto y algo ensanchado; en las hembras, el séptimo segmento es bastante corto y sin setas en su parte apical, con el aculeus de ápice agudo.

La mosca de la fruta adulta pone sus huevos bajo la piel de la fruta, sobre todo cuando la piel ya está rota. Los huevos eclosionan en tres días, y las larvas se desarrollan dentro de la fruta. Los adultos tienen una capacidad limitada para dispersar, pero el comercio mundial de frutas puede transportar fruta infectada a través de miles de kilómetros.

## **2.2 *Mangifera indica* L.**

### **Taxonomía (CABI (b), 2015)**

Dominio: Eucariotes

Reino: Plantae

Phylum: Spermatophyta

Subphylum: Angiospermae

Clase: Dicotyledonae

Orden: Sapindales

Familia: Anacardiaceae

Genus: *Mangifera*

Especie: *Mangifera indica*

### **Descripción Botánica** (Navas, 2001)

Tronco. El mango típico constituye un árbol de tamaño mediano, de 10-30 m de altura. El tronco es más o menos recto, cilíndrico y de 75-100 cm de diámetro, cuya corteza de color gris – café tiene grietas longitudinales o surcos reticulados poco profundos que a veces contienen gotitas de resina.

Copa. La corona es densa y ampliamente oval o globular. Las ramitas son gruesas y robustas, frecuentemente con grupos alternos de entrenudos largos y cortos que corresponden al principio y a las partes posteriores de cada renuevo o crecimientos sucesivos; son redondeadas, lisas, de color verde amarillento y opacas cuando jóvenes; las cicatrices de la hoja son apenas prominentes.

Hojas. Las hojas son alternas, espaciadas irregularmente a lo largo de las ramitas, de pecíolo largo o corto, oblongo lanceolado, coriáceo, liso en ambas superficies, de color verde oscuro brillante por arriba, verde – amarillento por abajo, de 10-40 cm de largo, de 2-10 cm de ancho, y enteros con márgenes delgados transparentes, base aguda o acunada y un tanto reducida abruptamente, ápice acuminado.

Las hojas tienen nervaduras visiblemente reticuladas, con una nervadura media robusta y conspicua y de 12-30 pares de nervaduras laterales más o menos prominentes; ellas expiden un olor resinoso cuando se les tritura; el pecíolo es redondeado, ligeramente engrosado en la base, liso y de 1,5-7,5 cm de largo. Las hojas jóvenes son de color violeta rojizo o bronceado, posteriormente se tornan de color verde oscuro.

Inflorescencia. Las panículas son muy ramificadas y terminales, de aspecto piramidal, de 6-40 cm de largo, de 3-25 cm de diámetro; las raquias son de color rosado o morado, algunas veces verde–amarillentas, redondeadas y densamente pubescentes o blancas peludas; las brácteas son oblongas–lanceoladas u ovadas–oblongas, intensamente pubescentes, se marchitan y caen pronto y miden de 0,3-0,5 cm de largo.

Flores. Las flores polígamas, de 4 a 5 partes, se producen en las cimas densas o en las últimas ramitas de la inflorescencia y son de color verde–amarillento, de 0,2-0,4 cm de largo y 0,5-0,7 cm de diámetro cuando están extendidas. Los sépalos son libres, caedizos, ovados u ovados–oblongos, un tanto agudos u obtusos, de color verde–amarillento o

amarillo claro, cóncavos, densamente cubiertos (especialmente en la parte exterior) con pelos cortos visibles, de 0,2-0,3 cm de largo y 0,1-0,15 cm de ancho.

Los pétalos permanecen libres del disco y son caedizos, ovoides u ovoides-oblongos, se extienden con las puntas curvadas, finamente pubescentes o lisos, de color blanco-amarillento con venas moradas y tres o cinco surcos de color ocre, que después toman el color anaranjado; ellos miden de 0,3-0,5 cm de largo, y 0,12-0,15 cm de ancho; los pétalos viejos a veces tienen márgenes rosados, el disco es grande, notoriamente de cuatro o cinco lóbulos arriba de la base de los pétalos, surcado, esponjoso, de color de limón, convirtiéndose después a blanco translúcido, durante la antesis es mucho más ancho que el ovario y de 0,1-0,15 cm de alto.

Los estambres pueden ser de cuatro a cinco, desiguales en su longitud, siendo fértiles sólo uno o dos de ellos, el resto está reducido a diminutos estaminoides, de color morado o blanco amarillento; los estambres perfectos miden de 0,2-0,3 cm de largo, con las anteras ovoide-oblongas, obtusas, lisas. Las flores estaminadas carecen de ovario rudimentario y sus estambres son centrales, reunidos cercanamente por el disco. El ovario en la flor perfecta es conspicuo, globoso, de color limón o amarillento y de 0,2-0,15 cm de diámetro; el estilo es lateral, curvado hacia arriba, liso y de 0,15-0,2 cm de largo; el estigma es pequeño y terminal. La polinización del mango es esencialmente entomófila, siendo los principales polinizadores, insectos del orden Díptera.

Fruto. Se trata de una gran drupa carnosa que puede contener uno o más embriones. Los mangos de tipo indio son monoembriónicos y de ellos derivan la mayoría de los cultivares comerciales. Generalmente los mangos poliembriónicos se utilizan como patrones. Posee un mesocarpo comestible de diferente grosor según los cultivares y las condiciones de cultivo.

Su peso varía desde 150 g hasta 2 kg. Su forma también es variable, pero generalmente es ovoide-oblonga, notoriamente aplanada, redondeada, u obtusa a ambos extremos, de 4-25 cm. de largo y 1.5-10 cm. de grosor. El color puede estar entre verde, amarillo y diferentes tonalidades de rosa, rojo y violeta. La cáscara es gruesa, frecuentemente con lenticelas blancas prominentes; la carne es de color amarillo o anaranjado, jugosa y sabrosa.

Semilla. Es ovoide, oblonga, alargada, estando recubierta por un endocarpo grueso y leñoso con una capa fibrosa externa, que se puede extender dentro de la carne.

## **Variedades**

Coloradas: Tommy Atkins, Haden, Zill, Sunset Adams.

Verdes: Kent, Carrie, Amalie.

Otras: Criolla, Edward, van Dike.

## **Exigencias del cultivo**

### **Agroecológicas**

Clima: Sub cálido hasta cálido.

Temperatura: 22°C - 25°C.

Humedad: 80% – 90%.

Pluviosidad: 900 - 1300 mm.

Altitud: 0 - 600 msnm.

Formación Ecológica: Bosque muy seco tropical (Bs-T), bosque húmedo tropical (Bh-T).

### **Requerimientos edáficos**

Buena: Terrenos planos o ondulados (0-8% de pendiente).

Regular: Ondulado suave a ondulado (8-20% de pendiente)

No apta: Ondulado fuerte, montañoso, escarpado (sobre el 45% de pendiente).

Textura: Franco arenoso, franco arcilloso, friables, ricos en materia orgánica.

Bueno: Suelos bien drenados, sin excedentes de agua.

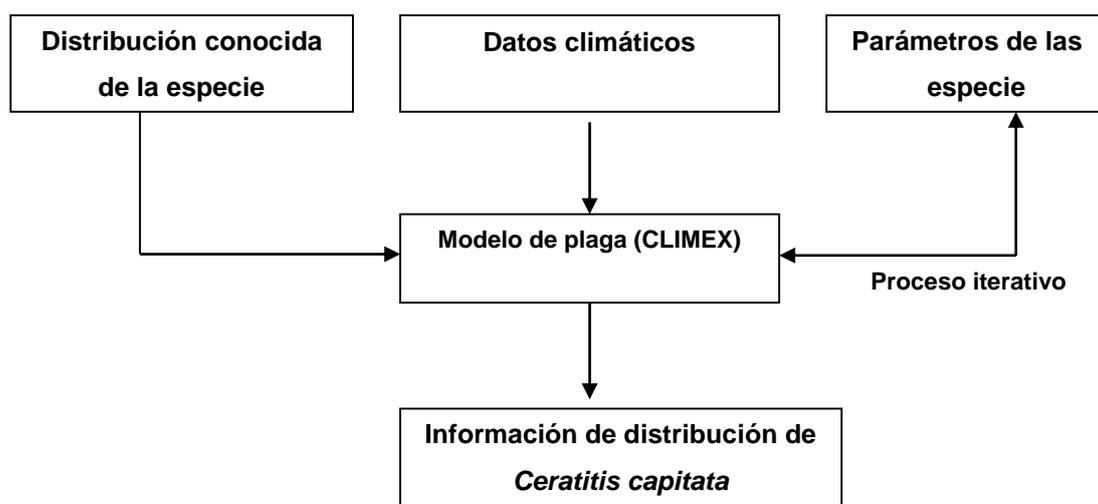
Regulares: Suelos moderadamente drenados.

Restringidos: Suelos imperfectamente drenados, pero potencialmente mejorables.

No aptos: Suelos excesivamente drenados (arenoso) o mal drenados complejos.

## **2.3 Modelo CLIMEX**

El clima es el principal factor contrastante de la distribución potencial de muchos organismos (Woodward, 1988). CLIMEX es un programa para el desarrollo de modelos, para diferentes especies o unidades taxonómicas, en respuesta al clima (Organismos poiquilotermos). CLIMEX, puede ser usado para relacionar datos del clima con la información sobre cómo este puede afectar la distribución de una especie dada; por ejemplo, en términos de las reacciones al estrés por calor o estrés por frío, entre otras (Van Driesche et al., 2007). En la Figura 2.1 se presenta el esquema inferencial de la ocurrencia de una plaga usando CLIMEX.



**Figura 2.1.** Esquema inferencial del mapeo de la ocurrencia de una plaga usando CLIMEX Fuente: Van Driesche et al. (2007).

El modelo CLIMEX está diseñado para extraer la máxima información sobre la repuesta de una especie al clima con la menor cantidad de datos de campo. Se deriva de índices semanales que describen la respuesta de especies nominadas a la temperatura, humedad y luz en caso de las plantas. El modelo se basa en un modelo conceptual donde hay dos tipos de estaciones cada año, una donde hay un aumento de la población y la otra donde hay una disminución de la población. Estas son referidas como la del crecimiento y la de supervivencia o periodos de estrés, respectivamente. Una población tiene que ser capaz de sobrevivir durante una temporada de estrés, con efectos negativos sobre la densidad de la población; para subsistir y aparecer al principio de la temporada favorable [a menos que sea una especie migratoria] (Van Driesche et al., 2007).

La aptitud climática de un lugar designado para un determinado organismo es proporcionada por un “Índice Ecoclimático” (EI) (el cual presenta una escala de 0 a 100, si ese valor excede de 100, se considera que la especie no es capaz de sobrevivir en ese entorno), que combina el potencial anual de crecimiento de la población con el estrés anual. El EI es una medida agregada; por sí solo no es suficiente para explicar la respuesta de un organismo con el clima. Los valores de los parámetros del modelo de crecimiento y estrés constituyen la descripción de la respuesta del organismo al clima y como tales representan las hipótesis que deben ser probadas (Sutherst et al., 2007).

Según Sutherst (2003), los valores y la duración extrema de temperatura y humedad limita la supervivencia de las poblaciones, lo que permite establecer los límites definitivos de la distribución potencial determinada por el clima para una especie. En CLIMEX, sus efectos son descritos por cuatro índices anuales de estrés: húmedo, seco, frío y caliente, que estiman las amenazas para las especies para periodos prolongados o de extrema intensidad de condiciones adversas, y sus interacciones según sea el caso. Los valores semanales de cada índice de estrés se acumulan mediante una función no lineal para dar un valor anual.

El EI proporciona una medida global de la idoneidad de un lugar determinado para la ocupación permanente de una especie. Por lo tanto, es una medida que es específica de la especie y del lugar, e implica que el establecimiento sólo es posible cuando el valor es superior a cero.

Una situación sólo puede tener una idoneidad perfecta para una especie ( $EI \frac{1}{4} 100$ ) si ofrece condiciones ideales durante todo el año para esa especie. En la práctica, los valores superiores a 20 se han encontrado para soportar densidades de población importantes y los valores superiores a 50 son poco frecuentes y generalmente se limita a zonas tropicales húmedas. El análisis de CLIMEX por lo general demanda requerimientos climáticos de las especies los cuales son inferidos de información sobre su distribución geográfica conocida (abundancia relativa y fenología estacional). Este proceso “top-down” se denomina modelado “inverso” o “inferencial” (inverso de la aproximación reduccionista generalmente usada para construir modelos mecánicos). No obstante, cuando los datos de laboratorio están disponibles, se pueden utilizar para reforzar el proceso de ajuste de un modelo o de explicar los procesos. El objetivo es capturar las características esenciales de los requerimientos de las especies a partir de observaciones climáticas mínimas, no para describir la dinámica de población en detalle. El análisis de CLIMEX ha demostrado ser muy práctico, incluso con especies que se han estudiado de forma intensiva (Van Driesche et al., 2007).

#### **2.4. Sustentabilidad de sistemas**

La evaluación de la sostenibilidad de sistemas complejos, como los agrarios, requiere la aplicación de nuevos enfoques analíticos e indicadores (Girardin et al., 1999). El objetivo final de los investigadores que desarrollan y promueven técnicas de manejo sostenible, es llegar a diseñar agroecosistemas con gran resistencia a plagas, buena capacidad de

reciclaje y de retención de nutrientes, así como altos niveles de biodiversidad (Gliessman, 1998).

Un desafío que enfrentan tanto agricultores, extensionistas e investigadores es saber ¿cuándo un agroecosistema puede ser considerado saludable?, o ¿en qué estado de salud se encuentra?

Los investigadores que trabajan en agricultura sostenible han propuesto una serie de indicadores de sostenibilidad para evaluar el estado de los agroecosistemas con cultivos (Gómez et al., 1996; Masera et al., 1999). Algunos indicadores consisten en observaciones o mediciones que se realizan a nivel de finca para determinar la fertilidad y conservación del suelo y si las plantas están sanas, vigorosas y productivas.

El Marco para la Evaluación de Sistemas de Manejo de recursos naturales incorporando Indicadores de Sustentabilidad (MESMIS) es una herramienta metodológica que, según Masera et al. (1999) :

- Ayuda a evaluar la sustentabilidad de sistemas de manejo de recursos naturales, con énfasis en el contexto de los productores campesinos y en el ámbito local, desde la parcela hasta la comunidad.
- Brinda una reflexión crítica destinada a mejorar las posibilidades de éxito de las propuestas de sistemas de manejo alternativos y de los propios proyectos involucrados en la evaluación. El MESMIS se propone como un proceso de análisis y retroalimentación. Se busca evitar que el análisis proporcione simplemente una calificación de los sistemas de manejo en escalas de sustentabilidad.
- Busca entender de manera integral las limitantes y posibilidades para la sustentabilidad de los sistemas de manejo que surgen de la intersección de procesos ambientales con el ámbito social y económico.
- Permite comparar a los sistemas de manejo en términos de su sustentabilidad, ya sea mediante la confrontación de uno o más sistemas alternativos con un sistema de referencia (comparación transversal) o bien mediante la observación de los cambios de las propiedades de un sistema de manejo particular a lo largo del tiempo (comparación longitudinal).
- Presenta una estructura flexible para adaptarse a diferentes niveles de información y capacidades técnicas disponibles localmente. Asimismo, propone un proceso de

evaluación participativo que enfatiza dinámicas de grupo y una retroalimentación continua del equipo evaluador.

- Constituye una herramienta en desarrollo. La experiencia de su aplicación permitirá mejorar el propio marco. En este sentido, debe entenderse al MESMIS como un método para organizar (mas no agotar) la discusión sobre sustentabilidad y la forma de hacer operativo el concepto.

### III. MATERIALES Y MÉTODOS GENERALES

#### 3.1. **Ámbito**

La presente investigación abarcó un ámbito a nivel país (Ecuador), y comprendió la fase de campo que se realizó, tanto en fincas productoras de *M. indica* en Ecuador, como en áreas donde se encontraban instaladas las trampas de captura para *C. capitata* en zonas específicas en el Ecuador, y la fase que comprende el análisis situacional y de sostenibilidad, se desarrolló en las oficinas del Programa Nacional de Manejo de Mosca de la Fruta, MAGAP. Quito, Ecuador.

El presente estudio se dividió en tres capítulos cuyos resultados individuales se presentan en forma de artículo científico.

**Capítulo 1.** Modelando *Ceratitis capitata* (Díptera: Thepirtidae) para Ecuador.

**Capítulo 2.** Distribución potencial de *Mangifera indica* L., en Ecuador.

**Capítulo 3.** Primer ciclo de evaluación de sostenibilidad para mango de exportación en Ecuador.

## IV. CAPTULO I

### MODELANDO *Ceratitits capitata* (DIPTERA: THEPRITIDAE) PARA ECUADOR.

#### 4.1. RESUMEN

Se determinó la distribución potencial de *C. capitata* bajo condiciones del clima actual y un escenario de cambio climático (A1B-2030) para el Ecuador, empleando el modelo CLIMEX versión 3. El modelo usó parámetros fisiológicos de *C. capitata* y datos meteorológicos globales para construir un Índice Ecoclimático (IE), el cual describió zonas muy favorables (IE>30), zonas menos favorables (IE<30) y zonas nulas (IE=0) para la distribución de *C. capitata* durante todo el año. Se estimó que el porcentaje de áreas muy favorables (IE>30) de *C. capitata* es 47.73% en condiciones actuales de clima y 33.3% en el escenario A1B-2030. Adicionalmente, se estimó que el porcentaje de áreas menos favorables (IE<30) es 47.61% en condiciones actuales de clima y 62.17% en el escenario A1B-2030. Las áreas de probabilidad nula para establecimiento de *C. capitata* representan 4.65% para condiciones actuales de clima y 4.80% para el escenario A1B-2030.

**Palabras clave:** mosca de la fruta, índice ecoclimático, distribución potencial, modelo CLIMEX, escenario de cambio climático

## 4.2. INTRODUCCIÓN

La mosca mediterránea de la fruta (moscamed), *Ceratitis capitata* (Wiedemann), es una de las plagas de frutales más destructivas del mundo. La especie se originó en África subsahariana. Debido a su amplia distribución en el mundo, y a su capacidad de tolerar climas más fríos mejor que la mayoría de las otras especies de moscas de la fruta tropical, ocupa el primer lugar entre las especies de mosca de la fruta de importancia económica. Es altamente polífaga, capaz de alimentarse de más de 300 hospederos y es capaz de adaptarse a gran variedad de climas (Líquido et al., 1990). Es una plaga cuarentenaria, por lo que, a los países con poblaciones de moscamed se les ha establecido barreras comerciales significativas a sus exportaciones.

APHIS (1992), estimó que, el costo de cada una de las incursiones de moscamed en los EE.UU. (erradicación y la pérdida de la industria) osciló entre US \$ 200.000 y US \$ 300 mil millones. Investigaciones realizadas por Siebert y Cooper (1995) muestran que, brotes de mosca del Mediterráneo en California durante los últimos 25 años han costado a los contribuyentes cerca de \$ 500 millones, mientras que el brote de la mosca mediterránea de la región de Tampa Bay de la Florida en 1997 dio como resultado \$ 25 millones gastados en la erradicación (Cross, 2004).

Según datos obtenidos de AGROCALIDAD (2013), Ecuador tiene 11.250 ha de producción de mango, cucurbitáceas, papaya, mora, tomate de árbol, uvilla, chirimoya, pitahaya y pimiento, en su mayoría solo para mercado interno por la presencia de moscas de la fruta. Esta producción y las que se desean implementar para exportación, es la que se desea cuidar minimizando el riesgo de pérdidas ocasionadas por *Ceratitis capitata*.

Esta investigación se realizó bajo la necesidad de generar información sobre la distribución potencial actual y bajo un escenario de cambio climático (A1B-2030) para *Ceratitis capitata* en el Ecuador. Los resultados a obtenerse servirán para implementar estrategias a través del Programa Nacional de Mosca de la Fruta recientemente creado en el Ecuador por medio de la Agencia Ecuatoriana de Aseguramiento de la Calidad del Agro (AGROCALIDAD).

### 4.3. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 4.3.1. Ámbito

El modelamiento de la distribución potencial de la mosca del mediterráneo *Ceratitis capitata* en Ecuador bajo condiciones del clima actual y un escenario de cambio climático (A1B-2030) se llevó a cabo durante el periodo de septiembre del 2013 a febrero 2015.

El presente estudio abarcó un ámbito a nivel país (Ecuador) y se desarrolló en las oficinas del Programa Nacional de Mosca de la Fruta, ubicado en el edificio MAGAP, Quito, Ecuador.

#### 4.3.2. Uso del modelo CLIMEX versión 3

CLIMEX es un programa para el desarrollo de modelos para diferentes especies o unidades taxonómicas, en respuesta al clima (Van Driesche et al., 2007). Vera et al. (2002) explican que, CLIMEX integra las respuestas semanales de una población al clima en una serie de índices anuales. La temperatura, la humedad y horas luz se combinan en un índice semanal de crecimiento de la población (GIW por sus siglas en inglés) para las especies. Las respuestas a condiciones extremas se tienen en cuenta en una serie de "índices de estrés" que estiman la amenaza que representa para la especie las condiciones de clima extremas o prolongadas de frío, calor y clima húmedo. Además, las limitaciones para finalizar el ciclo de vida debido a los períodos prolongados de insuficiente suma de calor o por un inadecuado régimen de horas luz pueden ser estimadas. Por último, los índices de crecimiento y estrés son combinados en un Índice Ecoclimático (EI), en una escala de 0 a 100, para representar la idoneidad de la ubicación geográfica para la propagación y persistencia de la especie. La variación en la idoneidad del clima para la sobrepoblación y crecimiento durante varios años también se pueden evaluar con CLIMEX utilizando la función Comparación de Años para *Ceratitis capitata* en el Ecuador en el año 2030.

El ajuste visual entre la distribución conocida y la distribución potencial actual de *Ceratitis capitata* se denomina proceso iterativo. Preliminarmente se calibraron los parámetros de estrés y de humedad periódicamente, hasta que representaron la mejor aproximación entre la distribución potencial actual obtenida mediante CLIMEX versión 3 (formato ráster 18 x 18 km<sup>2</sup>) y la distribución conocida de la especie (formato shapefile);

ambos son exportados al programa ArcGis versión 10, para una mejor visualización. (Veneros, 2014).

La determinación de clases del Índice Ecoclimático se realizó en el programa ArcGis ver. 10 (Properties > Symbology > Quantities > Classify: Manual). Es decir el modelo está diseñado para imitar la integración de todas las influencias climáticas en las áreas de ubicación de *Ceratitis capitata*.

#### **4.3.3. La distribución potencial actual de *C. capitata*.**

Se realizó un registro de reportes de presencia y/o ocurrencia de *Ceratitis capitata* a nivel mundial, el cual se obtuvo por varias fuentes de información: publicaciones científicas, tesis, boletines especiales publicados por organismos oficiales de Agricultura de los diferentes países, revisiones bibliográficas generales, líneas de libre acceso, actas de congresos, etc.

Los datos se representaron en el programa Excel para tabularlos. Para cada uno de los puntos, se describió información como: país, primera, segunda y hasta tercera división administrativa del país, situación de la plaga, latitud, longitud, altitud, temperatura mínima de ambiente, temperatura máxima de ambiente, fechas de registro de captura, presencia o colecta de *Ceratitis capitata*, y referencias bibliográficas.

Cada lugar de colecta, captura y presencia fue referenciado, proporcionándosele datos de latitud y longitud (coordenadas geográficas) mediante dos herramientas: ArcGis versión 10 y Google Earth versión 6.1. Las coordenadas fueron medidas en grados decimales y el datum en WGS 1984. El archivo Excel con (formato .xls) obtenido, se importó al programa ArcGis. A continuación se exportó el archivo Excel cambiado de formato .xls a formato .shp, obteniéndose un shapefile de puntos de la distribución de *Ceratitis capitata*.

#### **4.3.4. Validación de los resultados**

Se utilizaron datos de capturas de *Ceratitis capitata*, las mismas que se realizaron durante el año 2013 como producto de los monitoreos semanales en trampas que se implementaron en zonas estratégicas en el Ecuador.

#### **4.3.5. La distribución potencial bajo el escenario de cambio climático A1B-2030**

Se realizó usando el escenario actual (1961-1990), el cual muestra un incremento en la temperatura promedio de 1.08°C a nivel global para el año 2030 (Kriticos et al., 2012).

En este caso, se utilizaron los datos meteorológicos como CLIMOND, a los que CLIMEX convierte en medias mensuales para afinar los datos e interpolar estos a valores semanales, que los hacen más comparables con los parámetros estimados. La función de comparación de años proporciona medidas relativas del crecimiento e índices de estrés que hacen posible la comparación entre estaciones y los años. (Vera et al., 2002)

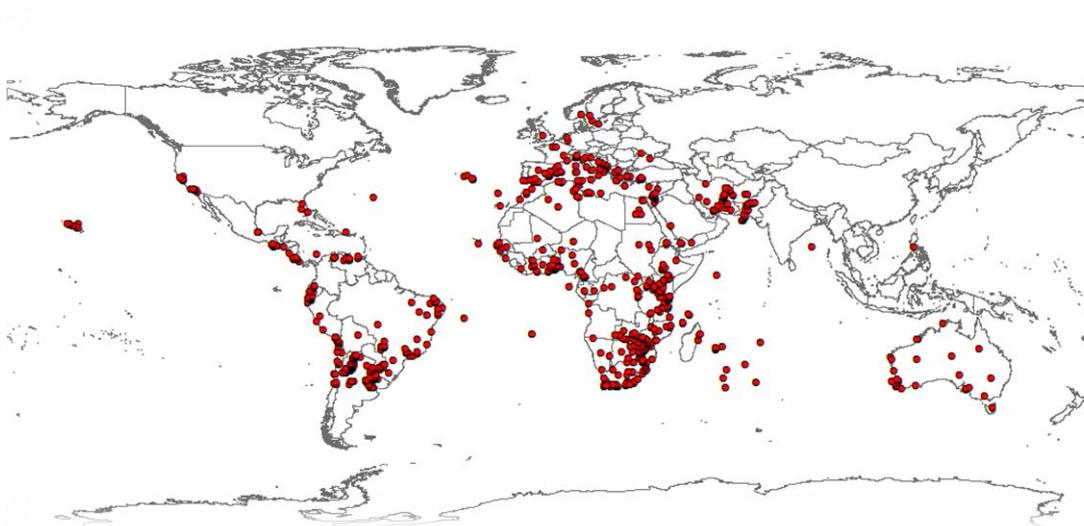
Los datos meteorológicos para condiciones actuales y futuras (Escenario A1B-2030) incluyen: temperatura mínima promedio mensual en °C; temperatura máxima promedio mensual en °C; precipitación promedio mensual en mm; humedad relativa promedio mensual a las 9.00 horas y 15.00 horas respectivamente. (Veneros, 2014).

Para determinar la distribución potencial mediante CLIMEX se usan dos metodologías complementarias. La primera es estimar la respuesta de las especies a la temperatura y la segunda es afinar los parámetros de CLIMEX con la distribución actual de la especie en un proceso iterativo (Sutherst et al., 2007)

## 4.4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.4.1. Distribución geográfica de *Ceratitis capitata*

A nivel mundial, se registraron 1376 datos de presencia de *Ceratitis capitata*, de los cuales 1067 registros presentan coordenadas espaciales y 309 registros son a nivel país o región. Los registros de la distribución de Moscamed pertenecen a 77 países distribuidos en los 5 continentes. El detalle de todos los registros se muestran en la Figura 4.1.



**Figura 4.1.-** Registros de presencias para *Ceratitis capitata* a nivel mundial.

Respecto a los datos de presencias y ocurrencias para *C. capitata*; existen dos trabajos anteriores que en su metodología registran la georeferenciación del insecto a nivel mundial (Vera et al., 2002; y Szyniszewska y Tatem, 2014). En ambos casos, las bases de datos usadas registran datos de presencia de *C. capitata* para los 5 continentes.

Szyniszewska y Tatem (2014), usaron el modelo MaxEnt para realizar la evaluación global de estacionalidad de distribución potencial de Mosca del Mediterráneo, *Ceratitis capitata*, donde, se buscó en la literatura, la presencia histórica y contemporánea espacio-temporal de la plaga a nivel mundial. La base de datos construida contenía 2.328 entradas geo-localizadas en sitios de detección de moscamed de 43 países y cerca de 500 localidades únicas (es decir, muchas georeferencias se repetían puesto que su interés fue estacional). Además, se añadió información sobre los hospederos, etapas de la vida y el método de captura. De estos, 125 localidades tenían información sobre el mes en que se registró la mosca mediterránea y estos datos se complementaron con material adicional

de bases de datos completos disponibles en línea, en colecciones de museos, artículos publicados, informes y actas de congresos de presencia de *C. capitata*.

En cambio, Vera et al. (2002), modelaron a *C. capitata* usando CLIMEX para determinar el potencial de distribución geográfica, haciendo énfasis en Argentina y Australia. El modelo fue utilizado para deducir las exigencias climáticas de *Ceratitis capitata*, usando como dato la distribución geográfica de moscamed en la Región mediterránea. Aunque en su investigación no especifican el número exacto de referencias usadas para el estudio, demostraron que esta plaga tiene un potencial de muy amplia distribución geográfica y que incluye zonas tropicales y subtropicales de todos los continentes, incluyendo aquellos con un clima mediterráneo.

#### **4.4.2. Parámetros proporcionados por el modelo CLIMEX para la elaboración del mapa de la distribución potencial de *C. capitata***

Los valores iniciales de los parámetros se establecieron según las recomendaciones de Sutherst (2007), pues se hizo necesario tomar valores de parámetros correspondientes a especies de clima tropical así como parámetros correspondientes a especies de clima templado, de tal manera que, los valores de los parámetros finales que se presentan en el cuadro 4.1 son representativos para especies tropicales y templadas, pues muestran el mayor ajuste de la distribución potencial en relación con la distribución observada.

Los parámetros de crecimiento, que corresponden a temperatura mínima óptima y temperatura máxima óptima fueron tomados de un estudio realizado por Vera et al. 2002.; la temperatura mínima limitante (DV0) fue tomada de Vargas et al. 1996, y la temperatura máxima limitante se tomó de Muniz, y Zalom, 1997.

Los índices de humedad y los parámetros de estrés fueron determinados a partir del ajuste de la distribución potencial estimada por CLIMEX y la distribución conocida para *C. capitata*. Se ajustó el modelo CLIMEX para *C. capitata*, cambiando los parámetros iniciales (Cuadro 4.1), manualmente y de forma iterativa hasta que se determinó la distribución potencial (Valores del EI) para *C. capitata*; es decir, hasta que la distribución potencial actual coincidiera con la distribución geográfica de *C. capitata* (Cuadro 4.1).

**Cuadro 4.1.** Valor de los parámetros CLIMEX para la distribución potencial de *C. capitata*

<b>PARÁMETROS DE CRECIMIENTO</b>		Valores iniciales para una especie de clima tropical <sup>(a)</sup>	Valores finales
<b>Índices de Temperatura</b>			
DV0	Temperatura mínima limitante (°C).	8	9.5 <sup>(b)</sup>
DV1	Temperatura mínima óptima (°C).	16	22 <sup>(c)</sup>
DV2	Temperatura máxima óptima (°C).	28	24 <sup>(c)</sup>
DV3	Temperatura máxima limitante (°C).	32	35.09 <sup>(d)</sup>
PDD	días-grados (D°).	400	280
<b>Índices de humedad</b>			
SM0	Humedad mínima limitante del suelo (semana <sup>-1</sup> ).	0.25	0
SM1	Humedad mínima óptima del suelo (semana <sup>-1</sup> ).	0.8	0.0051
SM2	Humedad máxima óptima del suelo (semana <sup>-1</sup> ).	1.5	1.2789
SM3	Humedad máxima limitante del suelo (semana <sup>-1</sup> ).	2.5	1.631
<b>PARÁMETROS DE ESTRÉS</b>			
<b>Estrés por frío</b>			
TTCS	Umbral de temperatura para estrés por frío (°C).	0	0
THCS	Tasa de temperatura para estrés por frío (semana <sup>-1</sup> ).	0	0
DVCS	Umbral de temperatura de días-grado para estrés por frío.	-	-
DTCS	Umbral de días-grado para estrés por frío (D°).	15	15.5
DHCS	Tasa de días-grado para estrés por frío (semana <sup>-1</sup> ).	-0.0001	-0.0001
TTCSA	Umbral de temperatura para estrés por frío (promedio).	0	0
THCSA	Tasa de temperatura para estrés por frío (promedio).	0	0
<b>Estrés por calor</b>			
TTHS	Umbral de temperatura para estrés por calor (°C).	30	35.1
THHS	Tasa de temperatura para estrés por calor (semana <sup>-1</sup> ).	0.005	0.0052
DTHS	Umbral de estrés por calor.	0	0
DHHS	Tasa de días grado para estrés por calor (semana <sup>-1</sup> ).	0	0
<b>Estrés por sequía</b>			
SMDS	Umbral de estrés por sequía.	0.2	0
HDS	Tasa de estrés por sequía (semana <sup>-1</sup> ).	-0.005	-0.1
<b>Estrés por humedad</b>			
SMWS	Umbral de estrés por humedad.	2.5	2.5
HWS	Tasa de estrés por humedad (semana <sup>-1</sup> ).	0.002	0.01
<b>Temperatura/Interacción de estrés por Humedad</b>			
<b>Calor –Humedad</b>			
TTHW	Umbral de temperatura por exceso de calor-humedad (°C).	23	35
MTHW	Umbral de temperatura por déficit de calor-humedad (°C).	0.5	0.49
PHW	Tasa de estrés por calor-humedad (semana <sup>-1</sup> ).	0.075	0.21

(a) Parámetros iniciales para especies de clima tropical según (Sutherst *et al.* 2007).

(b) Vargas et al., 1996.

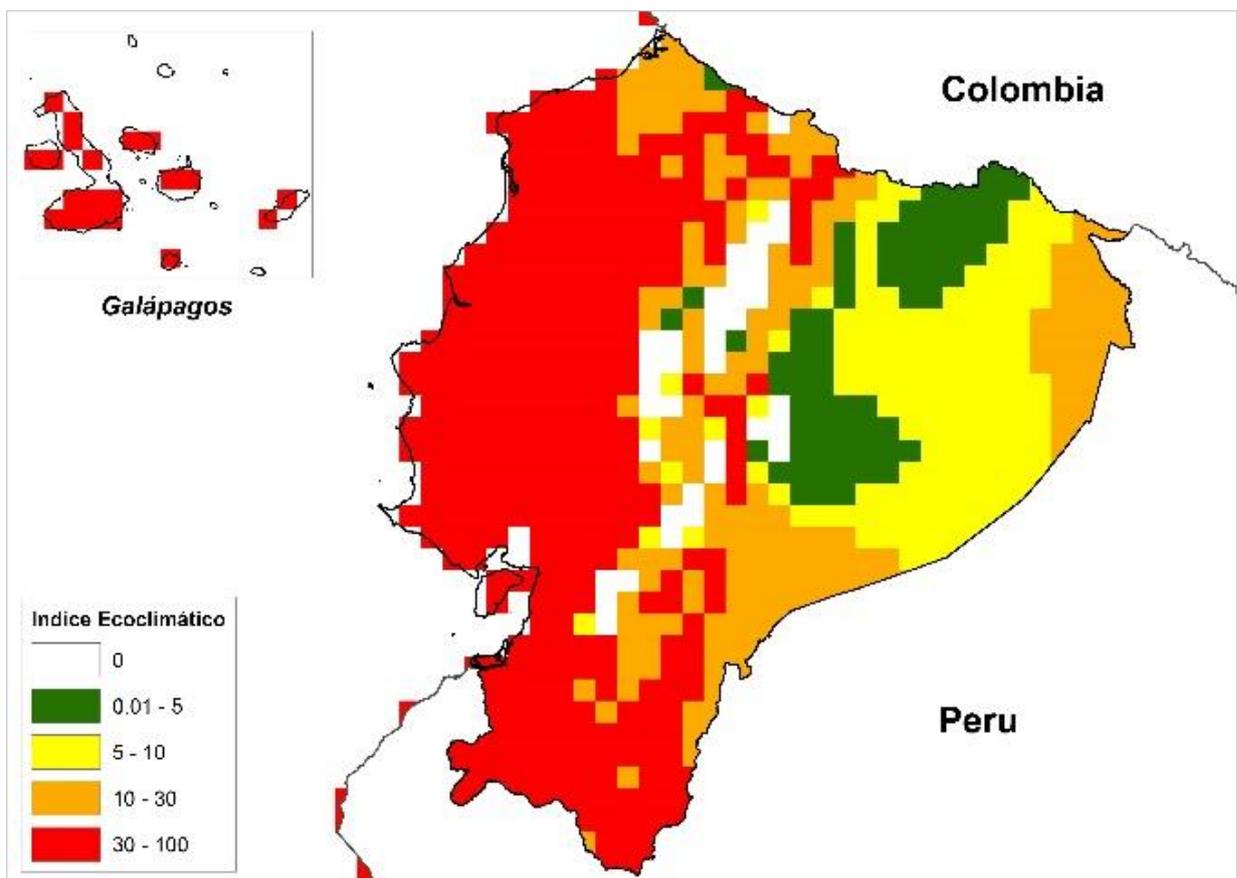
(c) Vera et al., 2002

(d) Muniz, y Zalom. 1997

Según Sutherst (2003), dada la enorme variedad de posibles permutaciones estacionales de temperatura y humedad asociadas con localidades distribuidas en el espacio geográfico, el proceso de ajuste es, de hecho, muy exigente con el modelo.

#### 4.4.3. Distribución potencial actual de *Ceratitis capitata* para Ecuador

Se hizo una proyección de la distribución potencial actual para el Ecuador, resultado de la interacción de los datos de presencia obtenidos a nivel mundial y los parámetros CLIMEX específicos para *C. capitata*.



IE>30: zonas muy favorables para que *C. capitata* se establezca todo el año (rojo)  
IE<30: zonas menos favorables para que *C. capitata* se establezca todo el año (naranja, amarillo y verde)  
IE=0: Zonas de probabilidades nulas para establecimiento de *C. capitata* (blanco)

**Figura 4.2.-** Distribución potencial actual de *Ceratitis capitata* para el Ecuador.

**Cuadro 4.2.-** Distribución potencial actual de *Ceratitis capitata* para el Ecuador.

<b>REGIONES</b>	<b>IE &gt;30 (% de la Superficie Total)</b>	<b>IE &lt;30 (% de la Superficie Total )</b>	<b>IE=0 (% de la Superficie Total)</b>
<b>COSTA</b>	92.11	7.89	0.00
<b>SIERRA</b>	57.04	30.13	12.83
<b>ORIENTE</b>	13.15	83.63	3.22
<b>GALÁPAGOS</b>	100.00	0.00	0.00
<b>TOTAL ECUADOR</b>	47.73	47.61	4.65

IE>30: zonas muy favorables para que *C. capitata* se establezca todo el año (rojo en la Figura 4.2)

IE<30: zonas menos favorables para que *C. capitata* se establezca todo el año (naranja, amarillo y verde en la Figura 4.2)

IE=0: Zonas de probabilidades nulas para establecimiento de *C. capitata* (blanco en la Figura 4.2)

Con el fin de proporcionar datos útiles para las instituciones ecuatorianas interesadas (como el Programa Nacional del Manejo de Mosca de la Fruta, PNMMF), que les faciliten la formulación de propuestas de planes de manejo apropiadas para *C. capitata*, se presentan los resultados de la distribución potencial (actual y bajo un escenario de cambio climático A1B-2030) de *C. capitata*, tanto a nivel país (total Ecuador) como a nivel regional (Costa, Sierra, Oriente y Galápagos).

A nivel país, el Cuadro 4.2, Figura 4.2, muestra la distribución potencial actual de *C. capitata* para Ecuador, donde, los mayores porcentajes de superficie, presentan un IE>30, es decir que, el 47.73% del país tiene potencialmente condiciones favorables para que *C. capitata* se establezca todo el año; y un 47.61% de la superficie total en el Ecuador tiene condiciones menos favorables de establecimiento durante el año; cabe recalcar en ambos casos que, son áreas con condiciones favorables de presencia. El 4.65% de la superficie total tiene un IE=0, y por lo tanto en estas zonas, no es posible la presencia de moscamed debido a las condiciones climáticas adversas.

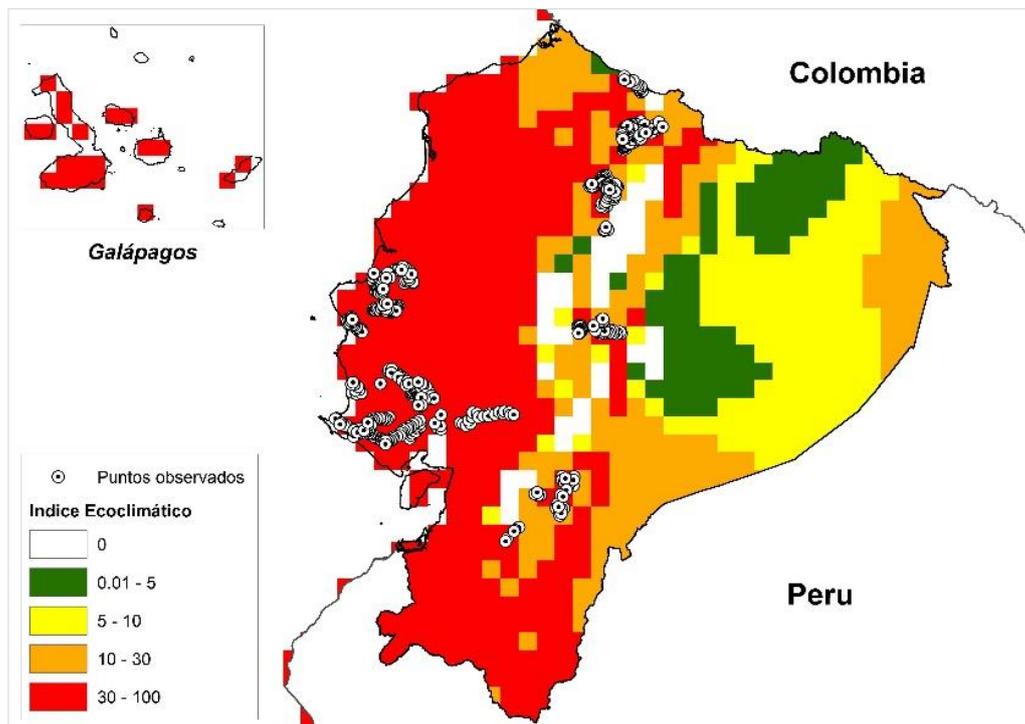
A nivel regiones, la costa, sierra y galápagos, siguen el mismo patrón (Cuadro 4.2, Figura 4.2), donde el mayor porcentaje de sus áreas muestran un IE<30, no así en la región Amazónica donde el IE<30 es el que tiene el mayor porcentaje.

El modelo CLIMEX, se puede comparar también con anteriores predicciones, tales como, la de De Meyer et al., 2008, donde se usó un modelo de algoritmo genético para la predicción de un conjunto de reglas (GARP) y el análisis de componentes principales (PCA). Se usaron 8 covariables ambientales consistentes en parámetros de temperatura y

precipitación junto a datos de ocurrencia de Moscamed en zonas nativas y no nativas. Para ambos casos (GARP y PCA), el autor muestra en sus resultados la presencia de moscamed en Ecuador, así como una posible distribución potencial tal como muestran también los resultados del presente estudio.

Vera et al. (2002) usaron CLIMEX georeferenciando la distribución geográfica de la región mediterránea mediante observaciones específicas sobre Supervivencia Invernal para predicciones que incorporaron el impacto del riego. Cuando la lluvia semanal fue inferior a 25 mm, esta se incrementó a 25 mm mediante la opción apropiada en CLIMEX. Las predicciones del presente estudio no tomaron en cuenta el efecto del riego, pues la idea inicial es crear un mapa que sirva de preámbulo (línea base) para futuras investigaciones y como una segunda etapa de modelación con CLIMEX incorporar la adición de riego en determinadas zonas y épocas claves del año para Ecuador.

#### 4.4.4. Validación de las presencias de *Ceratitis capitata* en Ecuador

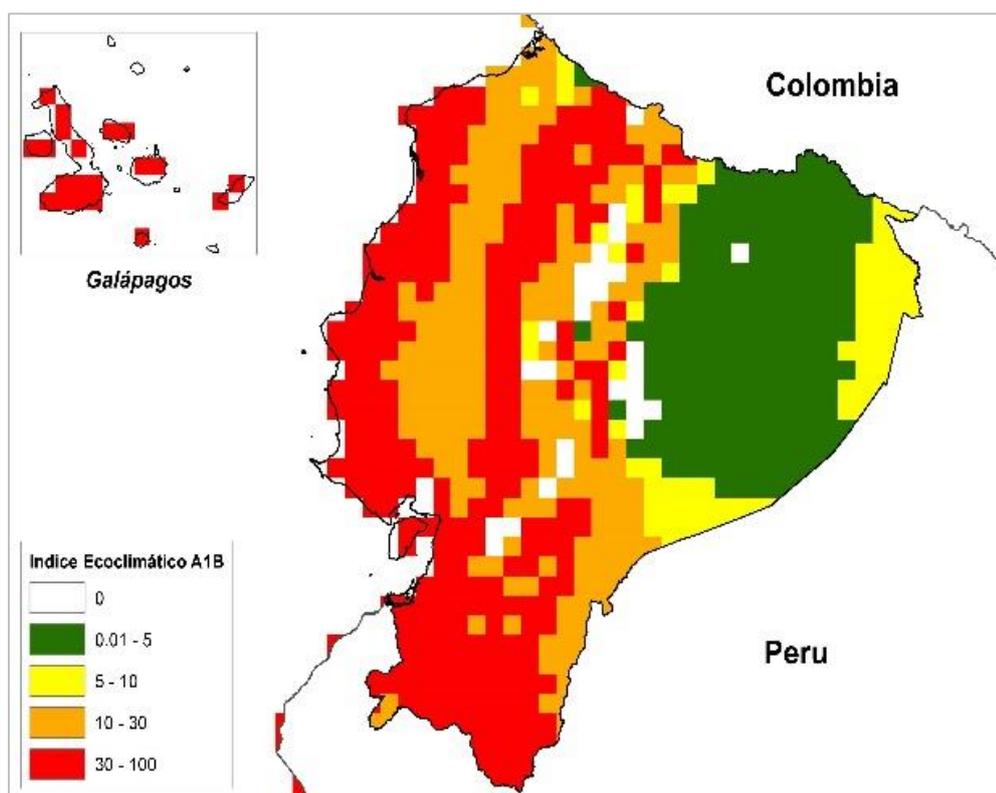


**Figura 4.3.-** Comparación entre la distribución observada de *Ceratitis capitata* con la distribución potencial actual proporcionada por CLIMEX para el Ecuador (ajuste visual). El color rojo (IE>30), indica zonas donde moscamed encuentra condiciones climáticas para establecerse durante todo el año.

Se implementaron una serie de trampas (Jackson y Mc Fail) en 8 provincias (Manabí, Guayas, Santa Elena, Carchi, Imbabura, Cotopaxí, Tungurahua, Azuay) del Ecuador durante el año 2013. Se registraron 611 datos de ocurrencia y/o presencia de *Ceratitis capitata* distribuidos en las 8 provincias del Ecuador. El detalle de todos los registros se muestran en la Figura 4.3; donde, se denota la coincidencia de zonas entre la distribución estimada resultante de aplicar el modelo CLIMEX y, la distribución conocida. Con esto se logró tener el mejor ajuste visual y asegurar la consistencia de los datos.

#### 4.4.5. Distribución potencial bajo el escenario (A1B-2030) de *Ceratitis capitata*

El efecto del cambio climático bajo el escenario A1B-2030 en la distribución de *Ceratitis capitata* para el Ecuador se presenta en la Figura 4.4, Cuadro 4.3.



IE>30: zonas muy favorables para que *C. capitata* se establezca todo el año (rojo)  
 IE<30: zonas menos favorables para que *C. capitata* se establezca todo el año (naranja, amarillo y verde)  
 IE=0: Zonas de probabilidades nulas para establecimiento de *C. capitata* (blanco)

**Figura 4.4.-** Distribución potencial bajo el escenario de cambio climático (A1B-2030) de *Ceratitis capitata* para el Ecuador.

**Cuadro 4.3** .- Distribución potencial bajo el escenario de cambio climático (A1B-2030) de *Ceratitits capitata* para el Ecuador.

<b>REGIONES</b>	<b>IE &gt;30 (% de la Superficie Total)</b>	<b>IE &lt;30 (% de la Superficie Total )</b>	<b>IE=0 (% de la Superficie Total)</b>
<b>COSTA</b>	39.12	60.88	0.00
<b>SIERRA</b>	57.83	34.50	7.67
<b>ORIENTE</b>	11.62	84.85	3.53
<b>GALÁPAGOS</b>	100.00	0.00	0.00
<b>TOTAL ECUADOR</b>	33.03	62.17	4.80

IE>30: zonas muy favorables para que *C. capitata* se establezca todo el año (rojo en la Figura 4.4)

IE<30: zonas menos favorables para que *C. capitata* se establezca todo el año (naranja, amarillo y verde en la Figura 4.4)

IE=0: Zonas de probabilidades nulas para establecimiento de *C. capitata* (blanco en la Figura 4.4)

A nivel país (Ecuador), los mayores valores corresponden al 62.17% de la superficie, donde se estima que sean zonas menos favorables para que moscamed se establezca durante todo el año (IE<30); este dato está influenciado principalmente por los pronósticos para las regiones costa y oriente. El IE>30 en el Ecuador representa un estimado de 33.03% de superficie, es decir, zonas con mayores condiciones de establecimiento durante todo el año. Para el 4.80% de la superficie total, se estima un IE=0, es decir zonas nulas para el establecimiento de moscamed.

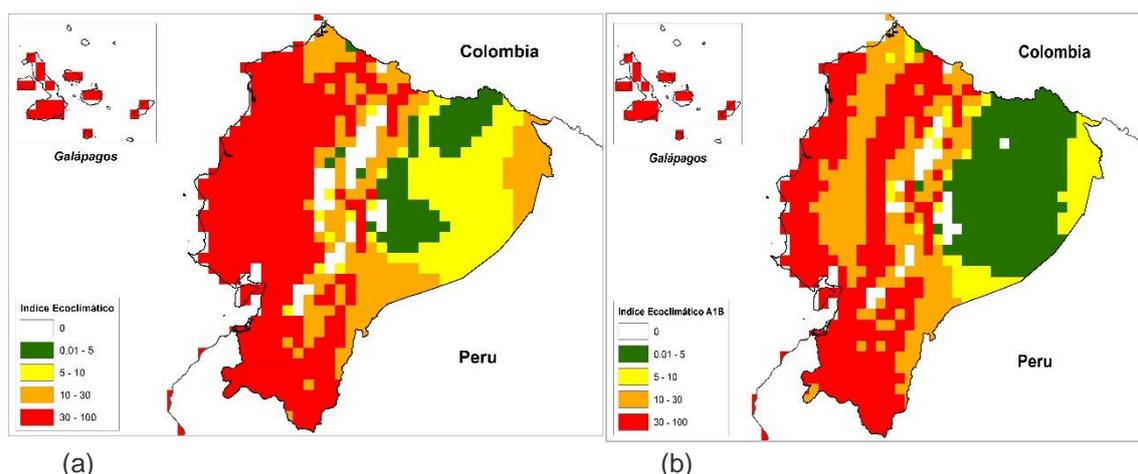
#### **4.4.6. Diferencia entre la distribución potencial actual y la distribución potencial bajo el escenario de cambio climático A1B-2030, de *C. capitata* en Ecuador.**

Respecto a la diferencia en cambio de áreas entre el escenario actual y el escenario de cambio climático A1B-2030 para *Ceratitits capitata* en Ecuador (Figura 4.5, Cuadro 4.4), se estima que, en Ecuador, habrá una reducción de áreas idóneas para que moscamed se establezca durante todo el año (IE>30) (47.73% vs 33.98%), resultado influenciado principalmente por la región costa donde se prevé que para el año 2030 sólo el 39.12% de la superficie tendrá condiciones climáticas para que *C. capitata* se establezca durante todo el año, en comparación con el 92.11 % actual.

Se observa también, un aumento de zonas con IE < 30 a nivel país (47.61% vs 62.17%), el cual se debe principalmente al evidente cambio que se pronostica en la zona interior de la región costa del Ecuador (7.89% vs 60.88%), por estimarse que, las condiciones climáticas en el área indicada estarán fuera del umbral de temperatura para estrés por calor que es de 35.1 °C y del umbral de temperatura por exceso de calor-humedad que

es de 35°C para *C. capitata* durante períodos del año (Cuadro 4.1), producto de la estimación en la variación global de temperatura en aumento de hasta 1.08°C. Esta predicción, abre una posibilidad muy riesgosa para las regiones costa y sierra del país, pues el fenómeno descrito muy probablemente sea un factor que “obligue” a *C. capitata* a una migración o traslado hacia el perfil costanero causando su posible establecimiento durante todo el año en zonas donde solo se registraba ocurrencia y/o presencia. Es posible también un pequeño desplazamiento hacia zonas de la sierra del Ecuador donde el cambio climático llegue a ser muy apto para el establecimiento.

Predicciones realizadas por Vera et al. (2002), muestran que, en ciertas zonas de Argentina como en Cerro Azul, se estima una reducción en el potencial de supervivencia en lugares húmedos, secos, o de prolongado estrés por calor durante períodos del año, lo que sugiere efectos perjudiciales de la humedad excesiva en el crecimiento probable de la población limitándose a determinados años.



**Figura 4.5.-** El mapa de la izquierda (a) representa la distribución potencial actual para *Ceratitis capitata* en Ecuador, y el mapa de la derecha (b) representa la distribución potencial bajo en escenario de cambio climático A1B-2030 para *Ceratitis capitata* en Ecuador. Para ambos casos se utilizó el Modelo de correspondencia climática CLIMEX.

Las zonas con un IE = 0 en Ecuador en los escenarios actual y futuro (Figura 4.5, Cuadro 4.4), muestran que el umbral de temperatura para estrés por frío (0°C) restringe la presencia de moscamed. Vera et al. (2002), mostraron resultados semejantes, ya que, en ciertas zonas de Argentina como en Jachal, el estrés por frío estuvo presente durante el invierno, y la combinación de ambos factores es probable que sea responsable de la baja abundancia de la plaga en dicha zona.

**Cuadro 4.4.-** Medida del cambio de áreas potenciales (% de superficie) para *Ceratitis capitata*, en los escenarios actual y futuro A1B-2030 para el Ecuador.

REGIONES	IE >30 (% de la Superficie Total)		IE <30 (% de la Superficie Total )		IE=0 (% de la Superficie Total)	
	ACTUAL	A1(B2030)	ACTUAL	A1(B2030)	ACTUAL	A1(B2030)
<b>COSTA</b>	92.11	39.12	7.89	60.88	0.00	0.00
<b>SIERRA</b>	57.04	57.83	30.13	34.50	12.83	7.67
<b>ORIENTE</b>	13.15	11.62	83.63	84.85	3.22	3.53
<b>GALÁPAGOS</b>	100.00	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>TOTAL ECUADOR</b>	47.73	33.03	47.61	62.17	4.65	4.80

IE>30: zonas muy favorables para que *C. capitata* se establezca todo el año (rojo en la Figura 4.4)

IE<30: zonas menos favorables para que *C. capitata* se establezca todo el año (naranja, amarillo y verde Figura 4.4)

IE=0: Zonas de probabilidades nulas para establecimiento de *C. capitata* (blanco Figura 4.4)

Los porcentajes de área de superficie varían muy poco en la región oriental comparando los escenarios: actual y A1B-2030. Para ambos escenarios en el oriente, los mayores valores corresponden a un IE <30, es decir que, estas zonas son menos favorables para que moscamed se establezca durante todo el año, debido a las altas precipitaciones observadas y estimadas en la zona que llegan entre 2000 a 4800 mm/año según el INAMHI (2013).

Es una realidad que, aparte de las condiciones climáticas, existen otros factores que influyen en la presencia y establecimiento de *Ceratitis capitata* para el Ecuador, tales como la presencia y distribución de plantas hospederas, la presencia y distribución de especies competidoras como es el caso de *Anastrephas* y *Bractoceras*, los métodos de control de cobertura aplicados y patrones de movimiento y traslado del insecto (frutas, autos, etc). Por ello, trabajos como el presente representan un primer intento por predecir y modelar las zonas de distribución potenciales de moscamed en busca de enfoques alternativos para evitar pérdidas económicas, sociales y ambientales devastadoras en el país.

#### 4.5. CONCLUSIONES

Usando el modelo CLIMEX versión 3 para estimar la distribución potencial actual para *Ceratitis capitata* en el Ecuador, se predijo que, el 47.73% del país abarca zonas muy favorables para que *C. capitata* se establezca todo el año ( $IE > 30$ ) principalmente en la región costa; se estimó además que el 47.61% de la superficie total del país posee zonas menos favorables para que *C. capitata* se establezca todo el año ( $IE < 30$ ), y un 4.65% de zonas con probabilidades de establecimiento de moscamed nulas ( $IE = 0$ ).

El mismo modelo, aplicado para estimar la distribución potencial de *C. capitata* bajo un escenario de cambio climático (A1B-2030) predijo que, el 33.03% del área del país corresponderán a zonas aptas con condiciones climáticas para que *C. capitata* se establezca todo el año ( $IE > 30$ ), el 62.17% posee zonas menos favorables para que *C. capitata* se establezca todo el año ( $IE < 30$ ), y en el 4.80% las probabilidades de establecimiento de *C. capitata* serán nulas ( $IE = 0$ ).

#### 4.6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGROCALIDAD (La Agencia Ecuatoriana de Aseguramiento de Calidad del Agro). 2013. Proyecto Nacional de Manejo de Moscas de la Fruta. Aprobado por Decreto Ejecutivo el 17 de abril del 2014. Ecuador. 107 p.

APHIS (The Animal and Plant Health Inspection Service). 1992. Risk assessment, Mediterranean fruit fly. Washington D.C.: Planning and Risk Analysis Systems. Policy and Program Development. Animal and Plant Health Inspection Service USDA.

Cross, E. 2004. Mediterranean fruit flies attempt to sneak in—again. Cust Bord Prot Today.

De Meyer, M; Robertson, M; Peterson, A; Mansell, MW. 2008. Ecological niches and potential distribution of Mediterranean fruit fly (*Ceratitidis rosa*). J Biogeogr 35: 270-281. Doi: 10.1111/j.1365-2699.2007.01769.x.

INAMHI (Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología) . 2013. Atlas hidrológico y metereológico estudiantil 2013. [http://issuu.com/inamhi/docs/atlas\\_estudiantil](http://issuu.com/inamhi/docs/atlas_estudiantil)

Líquido, N; Cunningham, R; Nakagawa, S. 1990. Host Plants of Mediterranean Fruit Fly (Diptera: Tephritidae) on the Island of Hawaii (1949–1985 Survey). J Econ Entomol 83: 1863–1878.

Muniz, M; Zalom, F. 1997. Developmental rate and number of generation estimates for *Ceratitidis capitata* (Wiedemann) in fruit growing regions of California Bulletin OILB/SROP 20 55-66 USA, California. 15p.

Kríticos, D; Webber, B; Leriche, A; Ota, N; Macadam, I; Bathols, J and Scott, J. 2012. CliMond: global high-resolution historical and future scenario climate surfaces for bioclimatic modelling. Methods in Ecology and Evolution 3: 53-64.

Siebert JB, Cooper T. 1995. Embargo on California produce would cause revenue, job loss. Calif Agric 49: 7–12 doi:10.3733/ca.v049n04p7.

Sutherst, G; Maywald, G; Kríticos, D. 2007. CLIMEX version 3: user's guide. Australia, Hearne Scientific Software, CSIRO. 131 p.

Sutherst, G. 2003. Prediction of species geographical ranges. *Journal of Biogeography* 30: 805–816.

Szyniszewska, A, Tatem, A. 2014. Global Assessment of Seasonal Potential Distribution of Mediterranean Fruit Fly, *Ceratitis capitata* (Diptera: Tephritidae). *PLoS ONE* 9(11): e111582. doi:10.1371/journal.pone.0111582

Van Driesche, R; Hoddle, M; Center, T. 2007. Control de Plagas y Malezas por Enemigos Naturales. Trad. Ruíz, E; Coronada, J y Álvarez, J. Estados Unidos. 751 p.

Vargas, R; Walsh, W; Jang, E; Armstrongs, J; and Kanehisa, D. 1996. Survival and development of immature stages of four *Hawaiian fruit* flies (Diptera: Tephritidae) reared at five constant temperatures. *Annals of the Entomological Society of America* 89: 64-69.

Vera, T; Rodriguez, R; Segura, D; Cladera, J; Sutherst, R. 2002. Potential Geographical Distribution of the Mediterranean Fruit Fly, *Ceratitis capitata* (Diptera: Tephritidae), with Emphasis on Argentina and Australia. *Environmental Entomology* 31(6):1009-1022

Veneros, J. 2014. Distribución potencial de *Phthorimaea operculella* (Zeller), bajo condiciones del clima actual y un escenario de cambio climático. Tesis Mg.Sc. Ciencias Ambientales. Lima. Universidad Nacional Agraria La Molina. 152 p.

## V. CAPÍTULO II

### DISTRIBUCIÓN POTENCIAL DE *Mangifera indica* L., EN ECUADOR.

#### 5.1. RESUMEN

Se determinó la distribución potencial de *M. indica* bajo condiciones del clima actual y un escenario de cambio climático (A1B-2030) para el Ecuador, empleando el modelo CLIMEX versión 3. El modelo usó parámetros fisiológicos de *M. indica* y datos meteorológicos globales para construir un Índice Ecoclimático (IE), el cual describió zonas muy favorables ( $IE > 30$ ), zonas menos favorables ( $IE < 30$ ) y zonas nulas ( $IE = 0$ ) para el establecimiento de *M. indica*. Se estimó que, el porcentaje de áreas muy favorables ( $IE > 30$ ) de *M. indica* es 36.91% en condiciones actuales de clima y 34.80% en el escenario A1B-2030. Adicionalmente, se estimó que el porcentaje de áreas menos favorables ( $IE < 30$ ) es 51.17% en condiciones actuales de clima y 43.49 % en el escenario A1B-2030. Las áreas de probabilidad nula para establecimiento de *M. indica* es 11.92% para condiciones actuales de clima y 21.70 % para el escenario A1B-2030.

**Palabras clave:** *Mangifera indica*, Ecuador, índice ecoclimático, distribución potencial, modelo Climex, escenario de cambio climático

## 5.2. INTRODUCCIÓN

El mango, *Mangifera indica* L, es nativo de la India y el Sureste Asiático, donde se ha cultivado por más 4000 años. Alrededor de los años 1700 los portugueses lo trajeron a América donde se adaptó a los climas tropicales. Del mismo modo los españoles introdujeron el fruto a América por medio del tráfico entre Filipinas a la costa oeste de México por los siglos XV y XVI. Los mangos fueron llevados de México a Hawai, en 1809, y a California alrededor de 1880. (Palacios, et.al. 2009). La obtención del cultivar "Haden" en Florida en 1910, marcó el comienzo del desarrollo moderno de este cultivo.

Simmonds (2014), productor de mango en Ecuador, estima que el mango tiene 250 años en el país, donde su exportación (partida arancelaria: 0811909100) se inició en la década de los 90, con gran éxito en el mercado internacional. Así, el mango se ha convertido en uno de los productos más importantes dentro de las exportaciones no tradicionales del país.

El mango se cultiva principalmente en la provincia del Guayas, con una superficie aproximada de unos 7700 ha registradas en plena producción, y de las cuales, 6500 aproximadamente están dedicadas a exportación. (Palomeque, 2005; Fundación Mango Ecuador, 2015).

Con el presente trabajo se pretende determinar las áreas potenciales para la presencia de *M. indica* en condiciones de clima actual y en un escenario de cambio climático al año 2030 para la producción de *M. indica* en el Ecuador, con el fin de implementar un plan sostenible del manejo del cultivo del mango que impulse el plan de cambio de la matriz productiva que se propone actualmente en el Ecuador.

El análisis de las zonas de distribución potencial actual de *M. indica* y las perspectivas de zonas apropiadas para la producción bajo un escenario de cambio climático (A1B-2030), es un tema importante ya que a través de los años, el Ecuador ha basado su economía en la exportación de petróleo y productos agrícolas tradicionales, dejando de lado productos no tradicionales como el mango, de alto potencial de producción y rendimiento.

### 5.3. MATERIALES Y MÉTODOS

El modelamiento de la distribución potencial del mango (*M. indica*) en Ecuador bajo condiciones del clima actual y un escenario de cambio climático (A1B-2030) se llevó a cabo durante el periodo de Septiembre del 2013 a Febrero 2015. El presente estudio abarcó un ámbito a nivel país (Ecuador) y se desarrolló en la oficina del Programa Nacional de Manejo de Mosca de la Fruta, ubicado en el MAGAP. Quito, Ecuador.

#### 5.3.1. Uso del Modelo.

CLIMEX *versión 3* es un paquete de modelado mecanicista desarrollado principalmente para estimar la distribución potencial de las especies poiquilotérmicas y para explorar los factores climáticos que influyen en el crecimiento de sus poblaciones. (Sutherst y Maywald, 1985; Sutherst et al, 2007)

El modelo Climex puede ajustarse utilizando los métodos inductivo o deductivo acorde a la distribución observada. El método inductivo se puede utilizar para adaptarse a las funciones de estrés climático de las especies para definir sus valores límites, y ajustar los valores de los parámetros hasta que los resultados del modelo vayan de acuerdo con la distribución o datos fenológicos de las especies. El método deductivo puede ser utilizado para definir valores de los parámetros basados en respuestas de observaciones experimentales directas de las especies para determinar experimentalmente los factores climáticos o para observaciones fenológicas. (De Villers et al., 2012)

CLIMEX integra datos meteorológicos mensuales a valores semanales para calcular la idoneidad climática sobre una base semanal e integra además estos valores semanales de idoneidad para derivar estimaciones anuales. Las estimaciones de idoneidad semanales permiten comparar observaciones fenológicas y de temporada, datos de abundancia con datos de idoneidad climática, proporcionando la capacidad para adaptarse a índices más fiables de parámetros de crecimiento. (De Villers et al., 2012, Sutherst et al., 2007)

Los datos fenológicos y de abundancia son particularmente útiles para el modelado, los mismos que derivan de localidades y límites de distribución del organismo. Esto puede ayudar tanto en la definición de los límites del rango de distribución del organismo con mayor precisión y caracterizar los factores climáticos que limitan dicha distribución (Kríticos et al., 2012).

El ajuste visual entre la distribución conocida y la distribución potencial actual de *M. indica* se denomina proceso iterativo. Preliminarmente se calibraron los parámetros de estrés y de humedad periódicamente, hasta que representaron la mejor aproximación entre la distribución potencial actual obtenida mediante CLIMEX (formato ráster 18 x 18 km<sup>2</sup>) y la distribución observada de *M. indica* (formato shapefile); ambos son exportados al programa ArcGis versión 10, para una mejor visualización. (Veneros, 2014).

La determinación de clases del Índice Ecoclimático se realizó en el programa ArcGis ver. 10 (Properties > Symbology > Quantities > Classify: Manual). Es decir, el modelo está diseñado para imitar la integración de todas las influencias climáticas en las áreas de ubicación de *M. indica*. (Veneros, 2014).

### **5.3.2. La distribución potencial actual de *Mangifera indica***

Se realizó un registro de reportes de presencia de *Mangifera indica* a nivel mundial, el cual se obtuvo por varias fuentes de información: publicaciones científicas, tesis, boletines especiales publicados por organismos oficiales de Agricultura de los diferentes países, revisiones bibliográficas generales, líneas de libre acceso, actas de congresos, etc.

Los datos se tabularon en el programa Excel. Para cada uno de los puntos, se registró información como: país, primera, segunda y hasta tercera división administrativa del país, situación de la plaga, latitud, longitud, altitud, temperatura mínima de ambiente, temperatura máxima de ambiente, fecha de registro de presencia para *M. indica* y referencias bibliográficas.

Cada lugar de presencia fue georeferenciado (datos de latitud y longitud en coordenadas geográficas) mediante dos herramientas: ArcGis versión 10 y Google Earth versión 6.1. Las coordenadas fueron medidas en grados decimales y el datum en WGS 1984. El archivo Excel con (formato .xls) obtenido, se importó al programa ArcGis, cambiado de formato .xls a formato .shp, obteniendo un shapefile de puntos para la distribución de *M. indica*.

### **5.3.3. Validación de los resultados**

Se utilizaron datos de presencias de *M. indica* georeferenciados, los mismos que se obtuvieron durante el año 2014 como producto de las visitas a campo en zonas productoras de mango en el Ecuador.

#### **5.3.4. Distribución potencial de *M. indica* bajo el escenario de cambio climático A1B-2030.**

El escenario (A1B-2030) emplea como base de proyección climática el escenario actual (1961-1990), el cual muestra un incremento en la temperatura promedio de 1.08°C a nivel global para el año 2030 (Kríticos et al., 2012).

Se utilizaron los datos meteorológicos como CLIMOND a los que CLIMEX convierte en medias mensuales para afinar los datos e interpolarlos a valores semanales, que los hacen más comparables con los parámetros estimados. La función de comparación de años proporciona medidas relativas del crecimiento e índices de estrés que hacen posible la comparación entre estaciones y los años. (Vera et al., 2002).

Los datos meteorológicos para condiciones actuales y futuras (Escenario A1B-2030) incluyen: temperatura mínima promedio mensual en °C; temperatura máxima promedio mensual en °C; precipitación promedio mensual en mm; humedad relativa promedio mensual a las 9.00 horas y 15.00 horas respectivamente. (Veneros, 2014 y Kríticos et al., 2012).

Para determinar la distribución potencial mediante CLIMEX se usan dos metodologías complementarias. La primera es estimar la respuesta de las especies a la temperatura y la segunda es afinar los parámetros de CLIMEX con la distribución actual de la especie en un proceso iterativo (Sutherst et al., 2007).

## 5.4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

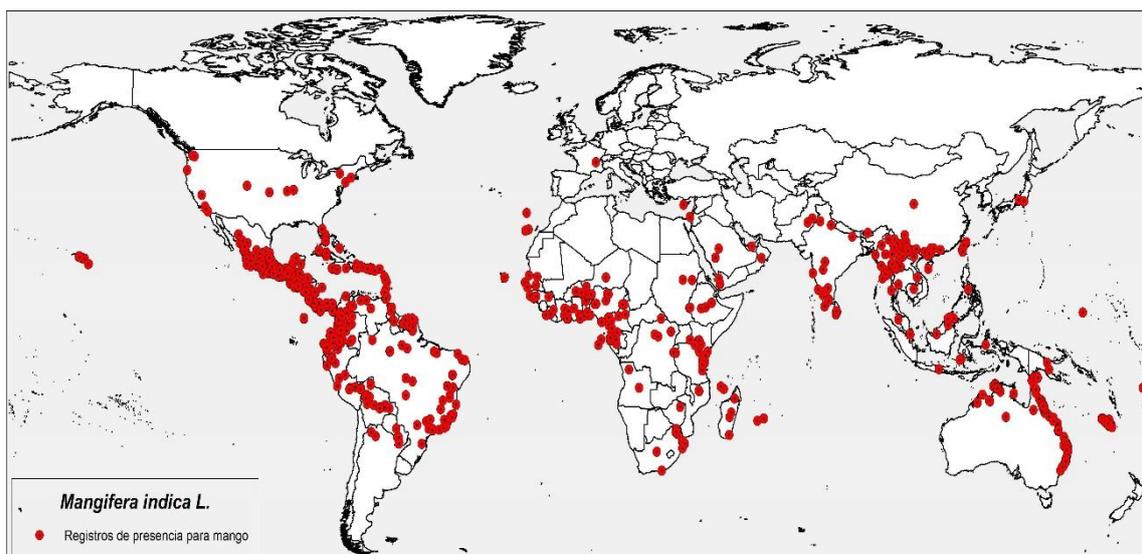
### 5.4.1. Distribución geográfica de *M. indica*.

La búsqueda de datos sobre presencia de *M. indica* a nivel mundial, dio lugar a registros de 110 países distribuidos en los 5 continentes, abarcando 1602 datos de presencias únicas de *M. indica*, de los cuales 1600 registros presentan coordenadas espaciales y 2 registros es a nivel país o región (Cuadro 5.1, Figura 5.1).

**Cuadro 5.1.-** Registros de presencias de *Mangifera indica*, para los cinco continentes.

Continentes	Presencia (# países)	Registros con coordenadas	Registros Sin Coordenadas	Total
África	42	309	1	310
América	36	896	0	896
Asia	23	209	1	210
Europa	3	6	0	6
Oceanía	6	180	0	180
<b>Total</b>	<b>110</b>	<b>1600</b>	<b>2</b>	<b>1602</b>

Aunque el mango es originario de la India, continente Asiático (Palacios et al., 2009), en el Cuadro 5.1, Figura 5.1, se muestra que, el mayor número de presencias están en el continente Americano. Esto no confirma que exista una mayor área de presencia de mango en América, sino más bien, muestra una tendencia de la distribución mundial producto de referencias basadas en las diferentes investigaciones encontradas en bases de datos mundiales. Se muestra así, la importancia de siempre registrar las georeferencias de los estudios que se realicen con las diferentes especies, pues con ello se pueden tener un mayor número de datos que ratifiquen la distribución de la especie, y pueden ser además una línea de partida para futuros estudios más específicos.



Fuente: Elaboración propia

**Figura 5.1.-** Distribución observada de *Mangifera indica* L. a nivel mundial, datos obtenidos de registros de presencias.

#### 5.4.2. Parámetros proporcionados por el modelo CLIMEX para la elaboración del mapa de la distribución potencial de *M. indica*

En el Cuadro 5.2, se muestran los parámetros proporcionados por el modelo CLIMEX según la recomendaciones de Suthers et al. (2007). Estos datos fueron usados para la elaboración del mapa de distribución potencial de *M. indica* L. en Ecuador.

Los parámetros que corresponden a la temperatura mínima limitante, temperatura mínima óptima, temperatura máxima óptima y temperatura máxima limitante fueron tomados de Galán (2009), quien recopiló valores de los diferentes parámetros obtenidos de investigaciones realizadas por Pursel, (1972).

Los índices de humedad y parámetros de estrés se determinaron a partir del ajuste de la distribución potencial estimada por CLIMEX, y la distribución conocida para *M. indica*. Se tomaron valores de parámetros correspondientes a especies de clima tropical y de clima templado (Cuadro 5.2), los mismos que son representativos, pues muestran el mayor ajuste de la distribución potencial en relación con la distribución observada.

Dada la enorme variedad de posibles permutaciones estacionales de temperatura y humedad asociadas con localidades distribuidas en el espacio geográfico, el proceso de ajuste es, de hecho, muy exigente con el modelo (Sutherst, 2003).

**Cuadro 5. 2.** Valores de los parámetros CLIMEX para la distribución potencial de *Mangifera indica* L.

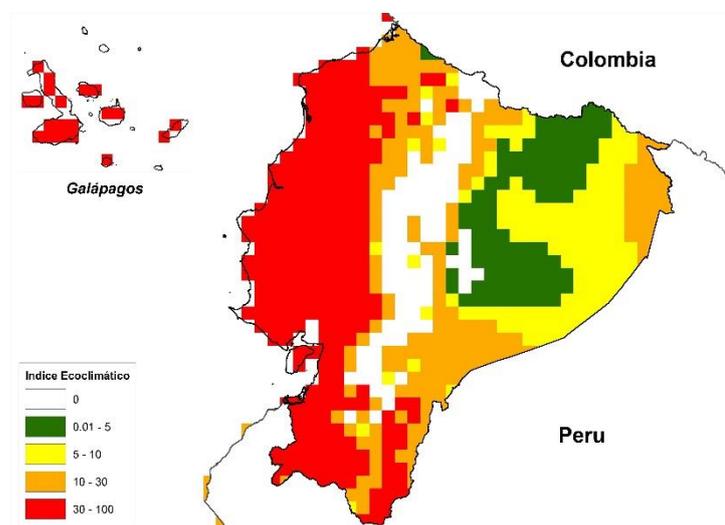
PARÁMETROS DE CRECIMIENTO		Valores iniciales para una especie de clima tropical <sup>(a)</sup>	Valores finales
<b>Índices de Temperatura</b>			
DV0	Temperatura mínima limitante (°C).	8	14 <sup>(b)</sup>
DV1	Temperatura mínima óptima (°C).	16	24 <sup>(c)</sup>
DV2	Temperatura máxima óptima (°C).	28	27 <sup>(d)</sup>
DV3	Temperatura máxima limitante (°C).	32	34 <sup>(e)</sup>
<b>Índices de humedad</b>			
SM0	Humedad mínima limitante del suelo (semana <sup>-1</sup> ).	0.25	0
SM1	Humedad mínima óptima del suelo (semana <sup>-1</sup> ).	0.8	0.02
SM2	Humedad máxima óptima del suelo (semana <sup>-1</sup> ).	1.5	1.25
SM3	Humedad máxima limitante del suelo (semana <sup>-1</sup> ).	2.5	1.6
<b>PARÁMETROS DE ESTRÉS</b>			
<b>Estrés por frío</b>			
TTCS	Umbral de temperatura para estrés por frío (°C).	0	0
THCS	Tasa de temperatura para estrés por frío (semana <sup>-1</sup> ).	0	0
DTCS	Umbral de días-grado para estrés por frío (D°).	15	17.5
DHCS	Tasa de días-grado para estrés por frío (semana <sup>-1</sup> ).	-0.0001	-0.0001
TTCSA	Umbral de temperatura para estrés por frío (promedio).	0	0
THCSA	Tasa de temperatura para estrés por frío (promedio).	0	0
<b>Estrés por calor</b>			
TTHS	Umbral de temperatura para estrés por calor (°C).	30	34.1
THHS	Tasa de temperatura para estrés por calor (semana <sup>-1</sup> ).	0.005	0.001
DTHS	Umbral de estrés por calor.	0	0
DHHS	Tasa de días grado para estrés por calor (semana <sup>-1</sup> ).	0	0
<b>Estrés por sequía</b>			
SMDS	Umbral de estrés por sequía.	0.2	0
HDS	Tasa de estrés por sequía (semana <sup>-1</sup> ).	-0.005	-0.15
<b>Estrés por humedad</b>			
SMWS	Umbral de estrés por humedad.	2.5	2.1
HWS	Tasa de estrés por humedad (semana <sup>-1</sup> ).	0.002	0.01
<b>Temperatura/Interacción de estrés por Humedad</b>			
<b>Calor –Humedad</b>			
TTHW	Umbral de temperatura por exceso de calor-humedad (°C).	23	34
MTHW	Umbral de temperatura por déficit de calor-humedad (°C).	0.5	0.3
PHW	Tasa de estrés por calor-humedad (semana <sup>-1</sup> ).	0.075	0.18

(a) Parámetros iniciales para especies de clima tropical según (Sutherst *et al.* 2007).

(b) (c) (d) (e) Purseglove, JW. 1972. Citado por Galán V. 2009.

### 5.4.3. Distribución potencial actual de *Mangifera indica* para Ecuador

Se hizo una proyección de la distribución potencial actual para el Ecuador, resultado de la interacción de los datos de presencia obtenidos a nivel mundial y los parámetros CLIMEX específicos para *M. indica*.



**Figura 5.2.-** Distribución potencial actual para *M. indica* en Ecuador. El color rojo ( $IE > 30$ ), indica zonas donde existen condiciones climáticas muy favorables de establecimiento durante todo el año, los colores naranja, amarillo y verde muestran zonas menos favorables de establecimiento durante todo el año  $IE < 30$ , y las zonas blancas son nulas para el establecimiento ( $IE = 0$ ).

Con el fin de proporcionar datos útiles para las instituciones ecuatorianas interesadas (como el Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca, MAGAP), que les faciliten la formulación de propuestas de planes de manejo apropiadas para *M. indica*, se presentan los resultados de la distribución potencial (actual y bajo un escenario de cambio climático A1B2030) de *M. indica*, tanto a nivel país (total Ecuador) como a nivel regional (Costa, Sierra, Oriente y Galápagos).

A nivel país, la Figura 5.2, Cuadro 5.3, muestra que, para las zonas de distribución potencial geográfica actual de *M. indica* en Ecuador, existen condiciones climáticas muy favorables de establecimiento durante todo el año ( $IE > 30$ ) en el 36.91 % de la superficie total; en tanto que, el 51.17% de la superficie en el Ecuador tiene un  $IE < 30$  es decir, zonas menos favorables de establecimiento de *M. indica* durante todo el año. El 11.92% de la superficie total pertenecen a zonas no aptas para el establecimiento de *M. indica* ( $IE = 0$ ).

**Cuadro 5.3.-** Distribución potencial actual para *M. indica* en Ecuador

<b>REGIONES</b>	<b>IE &gt;30 (% de la Superficie Total)</b>	<b>IE &lt;30 (% de la Superficie Total )</b>	<b>IE=0 (% de la Superficie Total)</b>
<b>COSTA</b>	90.10	9.76	0.14
<b>SIERRA</b>	31.05	32.54	36.41
<b>ORIENTE</b>	4.75	89.05	6.20
<b>GALÁPAGOS</b>	100.00	0.00	0.00
<b>TOTAL ECUADOR</b>	36.91	51.17	11.92

IE>30: zonas muy favorables para que *C. capitata* se establezca todo el año (rojo en la Figura 5.2)

IE<30: zonas menos favorables para que *C. capitata* se establezca todo el año (naranja, amarillo y verde en la Figura 5.2)

IE=0: Zonas de probabilidades nulas para establecimiento de *C. capitata* (blanco en la Figura 5.2)

En la región costa, un 90.10% de la superficie son zonas aptas para el establecimiento del cultivo de mango durante todo el año, el 9.76 % son zonas menos favorables para el establecimiento (IE > 30), y el 0.14% son zonas nulas (IE = 0).

Para la región sierra, los mayores valores corresponden al 36% de la superficie con zonas nulas de establecimiento de *M. indica* (IE = 0), le siguen las zonas menos favorables para el establecimiento de mango con 32.54 % (IE>30), y el 31.05% de la superficie corresponden a zonas muy favorables para el establecimiento del cultivo de mango (IE > 30).

En el oriente, el 89.05% de superficie son zonas con IE <30, es decir áreas menos favorables para que se establezca *M. indica*, el 4.75% de zonas son muy favorables para el establecimiento del mango (IE > 30), y las zonas nulas de establecimiento corresponde al 6.20% de la superficie (IE = 0).

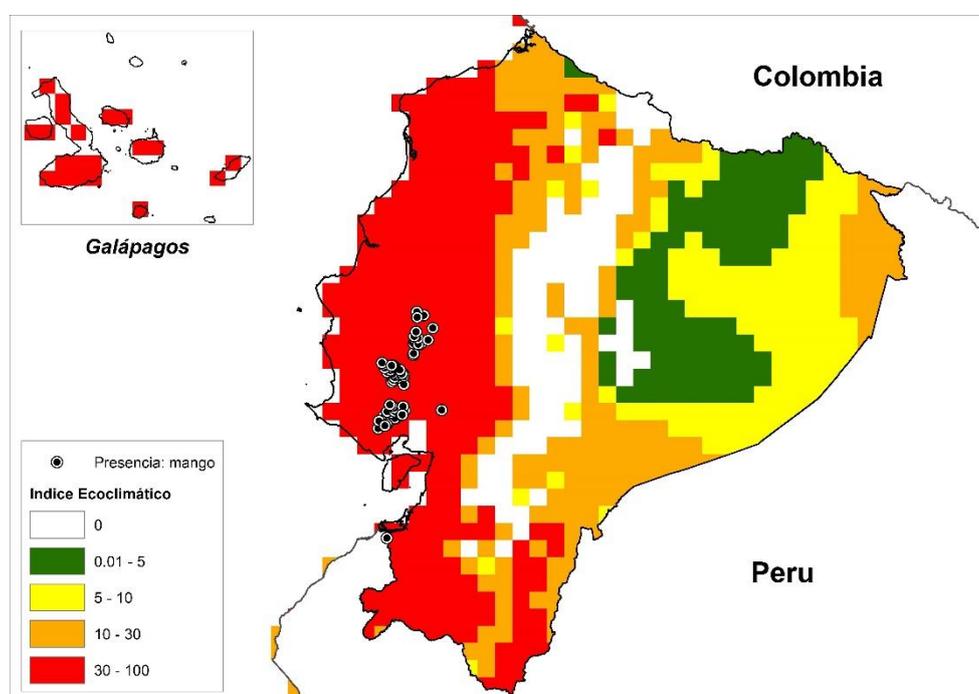
En la región galápagos el 100% de la superficie son zonas muy favorables para el establecimiento *M. indica* durae todo el año, pues tiene un IE > 30.

Normand et al., (2013) mencionan que: “existen modelos parciales disponibles para mango que involucran: la fotosíntesis (Urban et al., 2003), la conductancia estomática (Damour et al. 2010), el crecimiento de la fruta y la calidad de fotosintatos acumulados; así también se han implementado modelos térmicos de tiempo que implican las relaciones entre temperatura y desarrollo (Mosqueda-Vázquez et al., 1993 y Dambreville et al., 2013). Sin embargo, falta un modelo de cultivo completo para el mango, pues modelos parciales no son suficientes para predecir los efectos del cambio climático en el mango”.

Nuestros resultados representan un primer intento por predecir y modelar las zonas de distribución potenciales para *Mangifera indica* en Ecuador, utilizando un modelo que conjuga a través del índice ecoclimático varios factores climáticos como son la temperatura, precipitación y humedad, aumentando así las posibilidades de mayor precisión en las predicciones.

#### 5.4.4. Validación de las presencias de *Mangifera indica* en Ecuador

Se realizaron vistas de campo en 4 provincias (Guayas, Santa Elena, Imbabura, El Oro) del Ecuador durante el año 2013. Junto a un grupo de expertos de Agrocalidad se identificaron y registraron puntos de presencia de cada finca; se muestreó en promedio un punto de georeferencia por finca visitada.



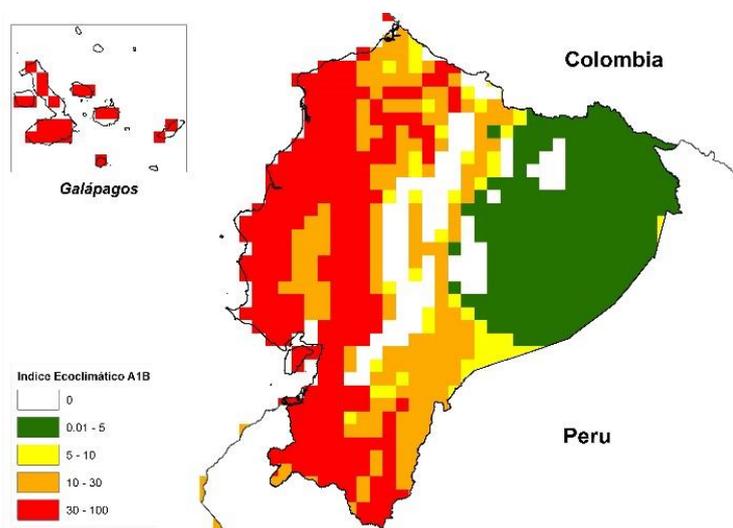
**Figura 5.3.-** Comparación entre la presencia observada de *Mangifera indica* con la distribución potencial actual proporcionada por CLIMEX para el Ecuador (ajuste visual). El color rojo (IE > 30), indica zonas donde existen condiciones climáticas muy favorables de establecimiento durante todo el año, los colores naranja, amarillo y verde muestran zonas menos favorables de establecimiento durante todo el año IE < 30, y las zonas blancas son nulas para el establecimiento (IE = 0).

El detalle de todos los registros se muestran en la Figura 5.3, la cual, al compararse con la Figura 5.2 denota la coincidencia de zonas entre la distribución estimada resultante de aplicar el modelo CLIMEX y, la distribución conocida. Con esto se logró tener el mejor ajuste visual y asegurar la consistencia de los datos.

#### 5.4.5. Distribución potencial bajo el escenario (A1B-2030) de *Mangifera indica*

En el Cuadro 5.4, Figura 5.4., se observa el efecto del cambio climático bajo el escenario A1B-2030 en la distribución potencial de *M. indica* para el Ecuador-

A nivel país, se estima que, el 34.80% de la superficie total del Ecuador serán zonas con condiciones climáticas muy favorables de establecimiento durante todo el año ( $IE > 30$ ) para *M. indica*, el 43.49% de la superficie total poseerá zonas menos favorables para el establecimiento durante todo el año ( $IE < 30$ ). El 21.70 % de la superficie total está constituida por áreas nulas para el establecimiento del cultivo ( $IE = 0$ ).



**Figura 5.4.-** Distribución potencial bajo el escenario de cambio climático A1B-2030 para *M. indica* en Ecuador. El color rojo ( $IE > 30$ ), indica zonas donde existen condiciones climáticas muy favorables de establecimiento durante todo el año, los colores naranja, amarillo y verde muestran zonas menos favorables de establecimiento durante todo el año  $IE < 30$ , y las zonas blancas son nulas para el establecimiento ( $IE = 0$ ).

**Cuadro 5. 4.-** Distribución potencial bajo el escenario de cambio climático A1B- 2030 para *M. indica* en Ecuador

<b>REGIONES</b>	<b>IE &gt;30 (% de la Superficie Total)</b>	<b>IE &lt;30 (% de la Superficie Total )</b>	<b>IE=0 (% de la Superficie Total)</b>
<b>COSTA</b>	80.31	19.69	0.00
<b>SIERRA</b>	33.39	35.95	30.09
<b>ORIENTE</b>	4.21	64.53	31.26
<b>GALÁPAGOS</b>	100.00	0.00	0.00
<b>TOTAL ECUADOR</b>	34.80	43.49	21.70

IE>30: zonas muy favorables para que *C. capitata* se establezca todo el año (rojo en la Figura 5.4)

IE<30: zonas menos favorables para que *C. capitata* se establezca todo el año (naranja, amarillo y verde en la Figura 5.4)

IE=0: Zonas de probabilidades nulas para establecimiento de *C. capitata* (blanco en la Figura 5.4)

La región costa, presenta un 80.31% de áreas con IE > 30, es decir serán zonas muy favorables para el establecimiento de mango, y un 19.69% se estima que sean zonas menos favorables (IE < 30).

La estimación de distribución para la región sierra presenta un 33.39 % de superficie con zonas muy favorables para el establecimiento de *M. indica* (IE > 30), un 35.95 % de la superficie se estima sean zonas menos favorables (IE < 30), y, las zonas nulas para el establecimiento representan el 30.09 % (IE = 0).

En el oriente, se estima que solo un 4.21% serán zonas muy favorables para el establecimiento de *M. indica* (IE > 30), en tanto que, el 64.53% de la superficie serán zonas menos favorables para el establecimiento (IE > 30), en el 31.26 % de la región no se podrá establecer el mango por ser zonas nulas, es decir con IE = 0.

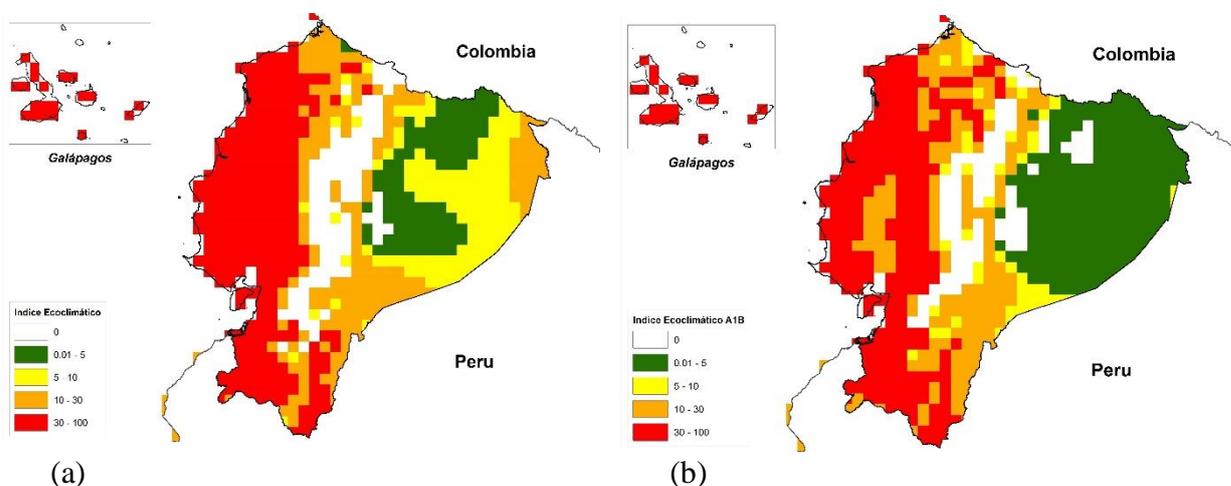
El 100% de la región galápagos se estima que sean zonas muy favorables para establecimiento de *M. indica* en el año 2030.

#### **5.4.5. Diferencia entre la distribución potencial actual y la distribución potencial bajo el escenario de cambio climático A1-B2030 de *M. indica* en Ecuador**

La variación en el porcentaje de predicción actual y futura para *M. indica* en Ecuador se muestra en el Cuadro 5.5, Figura 5.5.

Para Ecuador, se estima una reducción de tan solo 2.11% de áreas muy favorables para el establecimiento de *M. indica* (IE>30) (36.91% vs 34.80%), resultado influenciado principalmente por la región costa donde se prevé que para el año 2030 el 80.31% de la

superficie tendrá condiciones climáticas muy favorables para el establecimiento de mango, en comparación con el 90.10 % actual.



**Figura 5.5.-** El mapa de la izquierda (a) representa la distribución potencial actual para *M. indica* en Ecuador, y el mapa de la derecha (b) representa la distribución potencial de *M. indica* en el escenario de cambio climático (A1B-2030) para el Ecuador. El color rojo ( $IE > 30$ ), indica zonas donde existen condiciones climáticas muy favorables de establecimiento durante todo el año, los colores naranja, amarillo y verde muestran zonas menos favorables de establecimiento durante todo el año  $IE < 30$ , y las zonas de blanco son nulas para el establecimiento ( $IE = 0$ ).

Esta reducción de áreas con  $IE > 30$  en el año 2030 en la costa (90.10% vs 80.31%) (principalmente en la provincia del Guayas); corresponderían a zonas donde las condiciones climáticas estarán fuera del umbral de temperatura para estrés por calor ( $34.1^{\circ}\text{C}$ ), y el umbral de temperatura por exceso de calor-humedad ( $34^{\circ}\text{C}$ ) para *M. indica* (Cuadro 5.2). Esta predicción muestra una posibilidad riesgosa de estrés en el cultivo que podría provocar una reducción del potencial del desarrollo y producción del mango, situación aún más preocupante si se considera que, la zona señalada (provincia del Guayas) ocupa el mayor porcentaje de área sembrada para mango de exportación en el Ecuador.

Para la región sierra, se estima un pequeño aumento de zonas muy favorables para el establecimiento de mango (31.05% vs 33.39%) ( $IE > 30$ ); así también para las zonas con  $IE < 30$  se estima un aumento de 32.54% a 35.95% de superficie. Los porcentajes de variación en las zonas con  $IE = 0$  van de 36.41 % a 30.09% (zonas nulas para el establecimiento del *M. indica*).

**Cuadro 5.5** .- Medida del cambio de áreas potenciales (% de superficie) para *M. indica*, en los escenarios actual y (A1B-2030) para el Ecuador.

Regiones	IE > 30 (% de la superficie total)		IE < 30 (% de la superficie total)		IE =0 (% de la superficie total)	
	Actual	A1B-2030	Actual	A1B-2030	Actual	A1B-2030
Costa	90.10	80.31	9.76	19.69	0.14	0.00
Sierra	31.05	33.39	32.54	35.95	36.41	30.09
Oriente	4.75	4.21	89.05	64.53	6.20	31.26
Galápagos	100.00	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total Ecuador	36.91	34.80	51.17	43.49	11.92	21.70

**IE>30:** zonas donde existen condiciones climáticas muy favorables de establecimiento durante todo el año, **IE<30:** zonas menos favorables de establecimiento durante todo el año, **IE = 0:** zonas nulas para el establecimiento.

En la region oriente, se estiman porcentajes de variación mínimos para las zonas con IE>30 (áreas muy favorables para el establecimiento de *M. indica*) (4.75% vs 4.21%); las áreas con IE<30 se reducen del 89.05% al 64.53% (zonas menos favorable para el establecimiento de *M. indica*); para las zonas nulas de establecimiento (IE = 0) se estima un aumento áreas de 6.20 % a 31.26%.

Se estima qué, en la región galápagos se mantenga el 100% de zonas muy favorables para el establecimiento de *M. indica*.

El presente trabajo permitió estimar los efectos del cambio climático sobre la distribución geográfica potencial bajo el escenario actual y futuro (A1B-2030), usando parámetros climáticos y umbrales de crecimiento de la planta (Cuadro 5.5, figura 5.5) empleando el Modelo CLIMEX versión3. La Importancia de trabajos como el presente lo ratifican Normand et al. (2013), pues para ellos, la falta de un modelo climático de cultivo para el mango no permite la predicción de los efectos del cambio climático en el desarrollo y producción del árbol de mango. Por ello, el presente estudio marca una base inicial de predicciones de ditribución del mango en el Ecuador.

## 5.5. CONCLUSIONES

Usando el modelo CLIMEX *versión 3* para estimar la distribución potencial actual para *Mangifera indica* en el Ecuador, se predijo que, el 36.91% del país abarca zonas muy favorables para que *M. indica* se establezca todo el año ( $IE > 30$ ) principalmente en la región costa; se estimó además que el 51.17% de la superficie total del país posee zonas menos favorables para que *M. indica* se establezca todo el año ( $IE < 30$ ), y un 11.92% de zonas con probabilidades de establecimiento de *M. indica* nulas ( $IE = 0$ ).

El mismo modelo, aplicado para estimar la distribución potencial de *M. indica* bajo un escenario de cambio climático (A1B-2030), predijo que el 34.80% del área del país corresponderá a zonas aptas con condiciones climáticas muy favorables para que *M. indica* se establezca todo el año ( $IE > 30$ ), el 49.49% posee zonas menos favorables para que *M. indica* se establezca todo el año ( $IE < 30$ ), y en el 21.70 % de zonas del país las probabilidades de establecimiento de *M. indica* serán nulas ( $IE = 0$ ).

## 5.6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

De Villers, M; Hattingh, V; Kríticos, D. 2012. Combining field phenological observations with distribution data to model the potential distribution of the fruit fly *Ceratitis rosa* Karsch (Diptera: Tephritidae). Bulletin of Entomological Research. doi:10.1017/S0007485312000454

Fundación Mango Ecuador. 2015. Areas de Cultivo de Mango en Ecuador. Disponible en: <http://www.mangoecuador.org/areas-cultivo.php>

Galán, V. 2009. El Cultivo de Mango. Segunda Edición. Instituto Canario de Investigaciones Agrarias 343 p. Impreso en España. Disponible en: [https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=iq3D\\_3VaIEYC&oi=fnd&pg=PA31&dq=efecto+de+la+temperatura+sobre+la+distribuci%C3%B3n+de+mangifera+indica&ots=zK7FH2VCU4&sig=RbEG6n7h4FRcaKqxqMVf08h3BLQ#v=onepage&q&f=false](https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=iq3D_3VaIEYC&oi=fnd&pg=PA31&dq=efecto+de+la+temperatura+sobre+la+distribuci%C3%B3n+de+mangifera+indica&ots=zK7FH2VCU4&sig=RbEG6n7h4FRcaKqxqMVf08h3BLQ#v=onepage&q&f=false)

Kríticos, D; Webber, B; Leriche, A; Ota, N; Macadam, I; Bathols, J and Scott, J. 2012. CliMond: global high-resolution historical and future scenario climate surfaces for bioclimatic modelling. *Methods in Ecology and Evolution* 3: 53-64.

Normand, F., Lauri, P, Legave, J. 2013. Climate change and its probable effects on Mango production and cultivation. Presented at [ISHS Mango symposium, Bávoro, Punta Cana, DOM (2015-03-25). Acta Horticulturae. <http://prodinra.inra.fr/record/292958>

Palacios, L; Rivera, M; Villacis, C. 2009. Creación de una microempresa, encargada del proceso manual y especializado en comercializar mango curtido en la ciudad de Guayaquil. Tesis de Grado. Ingeniería Comercial y Empresarial. Especialización en Comercio Exterior. Escuela Superior Politécnica del Litoral. Ecuador.109p.

Palomeque, L. 2005. Incidencia del Tratado de Libre Comercio en los Productos no Tradicionales del Sector Agrícola Caso Mango Ecuatoriano”. Tesis de grado. Ingeniera en comercio Exterior e Integración. Universidad Tecnológica Equinoccial. Ecuador. 141p.

- Simmonds, O. 2014. El Mango en el Ecuador (comunicación personal). Guayas-Ecuador.
- Sutherst, R.W. & Maywald, G.F. 1985. A computerised system for matching climates in ecology. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 13, 281–299.
- Sutherst, G. 2003. Prediction of species geographical ranges. *Journal of Biogeography* 30: 805–816
- Sutherst, G; Maywald, G and Kríticos, D. 2007. CLIMEX version 3: user's guide. Australia, Hearne Scientific Software, CSIRO. 131 p.
- Veneros, J. 2014. Distribución potencial de *Phthorimaea operculella* (Zeller), bajo condiciones del clima actual y un escenario de cambio climático. Tesis Mg.Sc. Ciencias Ambientales. Lima. Universidad Nacional Agraria La Molina. 152 p.
- Vera, T; Rodriguez, R; Segura, D; Cladera, J; Sutherst, R. 2002. Potential Geographical Distribution of the Mediterranean Fruit Fly, *Ceratitis capitata* (Diptera: Tephritidae), with Emphasis on Argentina and Australia. *Environmental Entomology* 31(6):1009-1022.

## 6. CAPITULO III

### PRIMER CICLO DE EVALUACIÓN DE SOSTENIBILIDAD PARA MANGO DE EXPORTACIÓN EN ECUADOR

#### 6.1. RESUMEN

Se realizó un análisis situacional sobre las áreas potenciales actuales para cultivar *Mangifera indica* L vs el potencial de presencia de *Ceratitidis capitata* en Ecuador, y luego, sobre esas áreas se hizo un primer ciclo de evaluación de sostenibilidad usando la metodología MESMIS. Se determinó que, las áreas potenciales actuales para cultivar *M. indica* en Ecuador están superpuestas con áreas que muestran altas posibilidades de establecimiento de *C. capitata* durante todo el año. Se identificaron 22 indicadores pertenecientes a los 7 atributos de sostenibilidad. El promedio general fue de 0.50, valor que pertenece al rango medio de sostenibilidad. Los niveles muy bajos y bajos en sostenibilidad que son los puntos críticos del sistema, pertenecen a los siguientes indicadores: Productos transformados y procesados a partir del mango (0.25); fertilizaciones acorde a un análisis de suelo (0.19); acceso a innovaciones tecnológicas (0.30); dependencia de insumos externos (0.10); número de cultivos (especies) (0.33); generación de conocimientos y prácticas dentro de la finca (0.20), y evolución del número de exportadores (0.10).

**Palabras clave:** Sostenibilidad, MESMIS, *Mangifera indica*, *Ceratitidis capitata*

## 6.2. INTRODUCCIÓN

Cada vez se hace más frecuente la puesta en marcha de procesos de desarrollo en el sector agropecuario que tienen como referente el concepto de sostenibilidad. Distintos autores han venido planteando la necesidad de medir con un enfoque sistémico, la sostenibilidad de los agroecosistemas. Algunos marcos conceptuales propuestos por distintos autores para la evaluación de la sostenibilidad son los de Sepúlveda (2008); De Camino y Muller (1993); Astier y Masera (1996); Sarandón y Flores (2009).

El informe presentado por la Comisión Mundial sobre Medio Ambiente y Desarrollo a Naciones Unidas (PNUD) de la Comisión Brundtland definió el desarrollo sostenible como "el desarrollo que satisface las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las futuras generaciones para satisfacer sus propias necesidades" (ONU, 1987).

La Organización de la Agricultura y Alimentación (FAO) define el desarrollo sustentable como: "El manejo y conservación de la base de recursos naturales y la orientación de los cambios tecnológicos e institucionales, de manera que garantice la satisfacción de las necesidades humanas para las generaciones presentes y futuras, ahora y en el futuro. Este desarrollo sustentable en los sectores de la agricultura, la silvicultura y la pesca, conserva los recursos de la tierra, el agua, plantas y animales, no degrada el medio ambiente, es técnicamente apropiado, económicamente viable y socialmente aceptable" 1 (ONU,1991).

En este estudio se efectuó un análisis situacional de las áreas potenciales actuales para cultivar *Mangifera indica* L respecto a aquellas con potencial de presencia de *Ceratitidis capitata* W, en Ecuador y luego, sobre esas áreas se hizo un primer ciclo de evaluación de sostenibilidad usando la metodología MESMIS.

### 6.3. MATERIALES Y MÉTODOS

La presente investigación abarcó un ámbito a nivel país (Ecuador), y comprendió dos fases: la fase de campo y la fase de laboratorio. La fase de campo se realizó en fincas productoras de *M. indica* en Ecuador, de las que se realizaron entrevistas para la colecta de datos para la evaluación de sustentabilidad empleando la Metodología para la Evaluación de Sistemas de Manejo Incorporando Indicadores de Sustentabilidad (MESMIS). El tamaño de la muestra (n) se obtuvo usando el “Método de proporciones”, metodología propuesta por INCAGRO (INCAGRO, 2006), el cual indicó que, el número mínimo de fincas dónde efectuar las entrevistas, debía ser 46.

La fase de laboratorio que comprende el análisis situacional y de sostenibilidad, se desarrolló en las oficinas del Programa Nacional de Manejo de Mosca de la Fruta, MAGAP. Quito, Ecuador.

Para el análisis situacional se trasladaron los mapas de distribución potencial actual de *C. capitata* y de distribución potencial actual de *M. indica* en Ecuador (resultante del empleo del modelo CLIMEX) al formato raster usando el ArcGis ver. 10.1, donde se realizó una superposición de mapas y se determinaron las zonas de intersección de ambas especies así como las zonas potenciales donde se pueda cultivar Mango libre de *C. capitata*.

La evaluación de la sostenibilidad a nivel Ecuador, se realizó para el sistema de producción agrícola donde se considera al mango de exportación como el cultivo principal (en adelante se llamará sistema de cultivo de mango SCM). Se obtuvo una base (primer ciclo de evaluación) que permitirá comparar el sistema en el tiempo con el fin de observar objetivamente su evolución. La investigación se desarrolló usando el criterio propuesto por Astier y Masera, 1996 e implicó un trabajo participativo que se inscribe dentro de un modelo de investigación-acción, que involucró un grupo multidisciplinario e interdisciplinario, siguiendo los siguientes pasos:

- 1.- **Caracterización** del SCM, con la cual se elaboró un diagrama de flujo.
- 2.- Determinación de **fortalezas** y **debilidades** con la participación de un grupo multidisciplinario que incluyó personas internas y externas al sistema.

3.- Selección de **indicadores** estratégicos, en base a los criterios de diagnóstico que derivaron las fortalezas y debilidades en todo el sistema.

4.- **Medición** y **estandarización** de indicadores, usando las unidades respectivas para cada indicador y cuyos valores se estandarizaron empleando la fórmula de máximos y mínimos. Para la estandarización se construyeron escalas (de 0 a 1), siendo 0 la categoría menos sostenible y 1 la más sostenible. Cada indicador, se expresó en unidades diferentes en función de los atributos medidos (Cuadro 6.1).

**Cuadro 6.1.-** Escalas de sostenibilidad para la evaluación del sistema de producción donde el cultivo principal es mango de exportación.

<b>Valor</b>	<b>Nivel</b>
0-0.20	Muy Bajo
0.21-0.40	Bajo
0.41-0.60	Medio
0.61-0.80	Alto
0.81-1.00	Muy Alto

5.- Presentación e **integración** de resultados. Se presentó el resultado final en un diagrama tipo AMOEBA (A General Method For Ecological and Biological Assessment) que permite una visualización más didáctica de los resultados. Además, se integraron los datos adaptándose a los siguientes atributos generales propuestos por MESMIS (Matera et al., 1999):

**Productividad:** Habilidad del agroecosistema para proveer el nivel requerido de bienes y servicios.

**Equidad:** Habilidad del sistema para distribuir la productividad (beneficios o costos) de una manera justa.

**Estabilidad:** Propiedad del sistema de tener un estado de equilibrio dinámico estable. Es decir, que se mantenga la productividad del sistema en un nivel no decreciente a lo largo del tiempo bajo condiciones promedio o normales.

**Resiliencia.** Capacidad de retornar al estado de equilibrio o mantener el potencial productivo después de que el sistema ha sufrido perturbaciones graves.

**Confiabilidad:** Capacidad del sistema de mantenerse en niveles cercanos al equilibrio ante perturbaciones normales del ambiente.

**Adaptabilidad** (o flexibilidad): Capacidad del sistema de encontrar nuevos niveles de equilibrio; es decir, de continuar siendo productivo- ante cambios de largo plazo en el ambiente.

**Autodependencia** (o autogestión, en términos sociales): Capacidad del sistema de regular y controlar sus interacciones con el exterior.

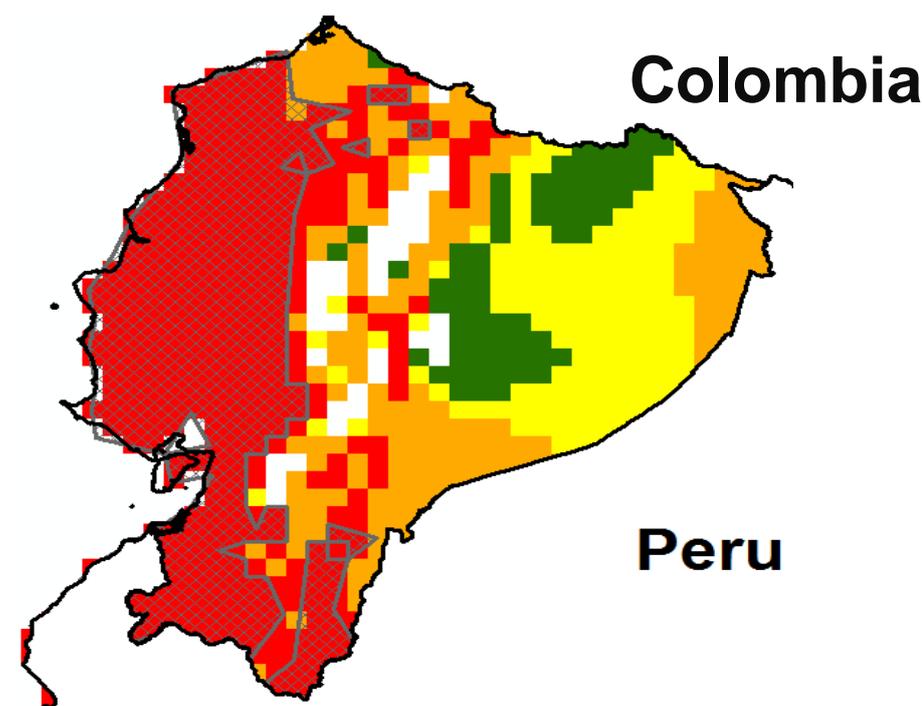
6.- **Conclusiones y recomendaciones:** que se usarán para mejorar el grado de sostenibilidad y los futuros análisis.

## 6.4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 6.4.1 Análisis Situacional

Se usaron los mapas de la distribución potencial actual de *Ceratitidis capitata* y de distribución potencial actual de *Mangífera indica* en Ecuador obtenidos mediante el uso del modelo CLIMEX versión 3. Se hizo una superposición de mapas en el formato raster usando el ArcGis versión. 10.1.

La Figura 6.1, Cuadro 6.2, muestran la coincidencia y diferencia de áreas para la distribución potencial actual de *Ceratitidis capitata* vs. la distribución potencial actual de *Mangifera indica* en Ecuador.



Fuente: Elaboración propia

**Figura 6. 1.-** Mapas superpuestos para el Ecuador de la distribución potencial actual de *Ceratitidis capitata* (color rojo =  $IE > 30$  = zonas potenciales para el establecimiento de moscamed durante todo el año) vs. la distribución potencial actual de *Mangifera indica* (malla sombreada =  $IE > 30$  = zonas potenciales muy favorables para el establecimiento de mango durante todo el año).

A nivel general, en el Ecuador, existen 88 825.17 Km<sup>2</sup> de superficie potencial muy favorables para el establecimiento de mango durante todo el año que podría ser afectada

con la potencial presencia de *C. capitata* durante todo el año (IE>30) (Figura 6. 1, Cuadro 6. 2). En cambio, un mínimo de 421.20 Km<sup>2</sup> de superficie muy favorable para el establecimiento de mango durante todo el año (IE>30), se superpone con zonas menos favorables para que *C. capitata* se establezca durante todo el año.

Se demuestra además que, no existen zonas en el país que se puedan definir como “áreas potencialmente libre de *C. capitata* y aptas para sembrar mango” (Figura 6. 1, Cuadro 6. 2).

**Cuadro 6. 2.-** Medida de coincidencia y diferencia de áreas para la distribución potencial actual de *Ceratitidis capitata* vs. la distribución potencial actual de *Mangifera indica* en Ecuador.

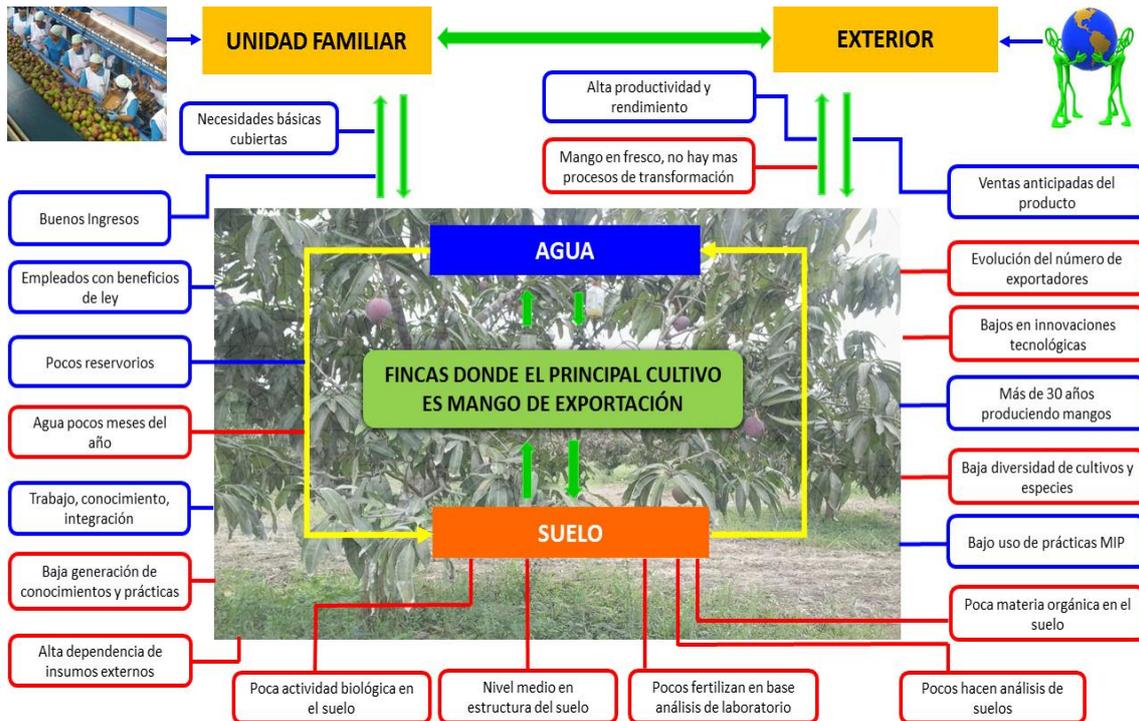
	Km <sup>2</sup> de superficie	Porcentaje de superficie
Area de coincidencia entre IE>30 para <i>C. capitata</i> e IE>30 para <i>M. indica</i>	88 825.17	99.52805
Area de <i>M. indica</i> con IE>30 libre de área de <i>C. capitata</i> con IE <30	421.2	0.471952

Los resultados obtenidos, no significan que no se debe sembrar mango, ni mucho menos incentivar al productor para que reduzca sus áreas de producción o cambie de cultivo. Lo que estos resultados significan realmente, es que, dentro del rubro agrícola, se debe aceptar la presencia potencial para *C. capitata* en las áreas donde existe mango, bajo los escenarios de cambio climático en el Ecuador e implementar propuestas innovadoras de manejo integrado que ayuden a reducir la probabilidad de ataque de la plaga lo cual, unido a las mejoras en los indicadores de sostenibilidad, que forman parte del sistema, permita tener una producción de mango de exportación sostenible en el Ecuador.

#### 6.4.2. Evaluación de la Sostenibilidad del SCM

##### Caracterización

Se caracterizó el SCM mediante un flujograma (Figura 6.2) donde se muestran los componentes biofísicos del sistema, así como las entradas: insumos, capital, innovaciones; y las salidas: producción, innovación y beneficios monetarios de quienes conforman el sistema.



Fuente: Elaboración propia.

**Figura 6.2** .- Flujograma que representa la caracterización del sistema de producción donde el cultivo principal es mango de exportación, en Ecuador.

En el presente sistema abierto del SCM, se mantienen interacciones con el exterior, pues existen flujos de materia, energía e información. El sistema brinda al exterior su producto final que es mango de exportación como respuesta a los insumos, innovaciones y trabajo que recibe del exterior. Se observan también principales características a nivel social como beneficios económicos acorde a la ley y necesidades básicas cubiertas.

Esta información es de mucha utilidad para cimentar la idea inicial y dejar sentada una línea base de las características del sistema y sus diferentes relaciones, cumpliéndose así con lo que indican Sarandón y Flores (2009), sobre la importancia de la caracterización de los sistemas: “que es muy útil o casi imprescindible realizar un diagrama o esquema (modelo) del sistema a analizar.”

Esto permite percibir y analizar las interrelaciones entre los componentes del sistema, distinguir las entradas y salidas (deseadas o no) del mismo, y detectar las consecuencias de las acciones humanas sobre la sustentabilidad del sistema en estudio. Clayton y Radcliffe (1998) también definen al sistema como un conjunto de componentes que interactúan entre sí de manera recíproca, y de cuya interacción surgen o emergen nuevas propiedades.

### **6.4.3. Fortalezas y debilidades**

Las entrevistas realizadas permitieron identificar 6 fortalezas y 16 debilidades (Figura 6.2) en el SCM, en base a la identificación de factores y procesos técnicos de producción de mango para exportación en Ecuador, así como las ventajas y desventajas del SCM, es decir, cómo son impactados de manera positiva o negativa cada una de las entradas y salidas identificadas en la caracterización del sistema a través de criterios de diagnóstico.

### **6.4.4. Selección de indicadores**

Los criterios de diagnóstico encontrados corresponden a los 7 atributos generales de sostenibilidad, (productividad, equidad, estabilidad, resiliencia, adaptabilidad, autogestión y confiabilidad) y en sí, abarcan a los indicadores propuestos. Los criterios de diagnóstico representan un nivel detallado de los atributos, pero más generales que los indicadores. Se identificaron finalmente 22 indicadores estratégicos que engloban las propiedades del sistema de manera totalitaria, los mismos que se detallan en la Cuadro 6.3.

### **6.4.5. Medida y estandarización de indicadores**

En el cuadro 6.3, se presentan los resultados obtenidos de la estandarización de datos, donde los siete atributos y sus respectivos indicadores han sido transformados a una sola escala de datos, valores que permitieron integrar los resultados en un diagrama tipo AMOEBA.

**Cuadro 6.3.-** Valores estándar para la medida de sostenibilidad del sistema de cultivo de mango de exportación en Ecuador

ATRIBUTO	INDICADOR	VALOR ESTANDAR	ATRIBUTO	INDICADOR	VALOR ESTANDAR
Productividad	Rendimiento	0.76	Resiliencia	Número de cultivos (especies)	0.33
	Relación B/C	0.80		Variedades de <i>Mangifera indica</i>	0.53
	Procesamiento y transformación de productos a partir del mango	0.25		Generación de conocimientos y prácticas	0.20
Equidad	Grado de satisfacción de las necesidades básicas cubiertas	0.80		Capacitación constante	0.75
	Empleados con beneficios sociales de ley	0.90	Confiabilidad	Integración del equipo para la toma de decisiones a largo plazo	0.90
Estabilidad	Tiempo de implementación del cultivo	0.65		Evolución del número de exportadores	0.10
	Ventas anticipadas del producto	0.44	Adaptabilidad	Prácticas de MIP	0.50
	Fertilizaciones acorde a un análisis de suelo	0.19		Estructura del suelo	0.40
	Presencia de agua todo el año	0.45		Color, olor y materia orgánica del suelo	0.40
Autogestión	% de asistencia a las asambleas	0.90		Actividad biológica en el suelo	0.40
	Acceso a innovaciones tecnológicas	0.30			
	Dependencia de insumos externos	0.10			

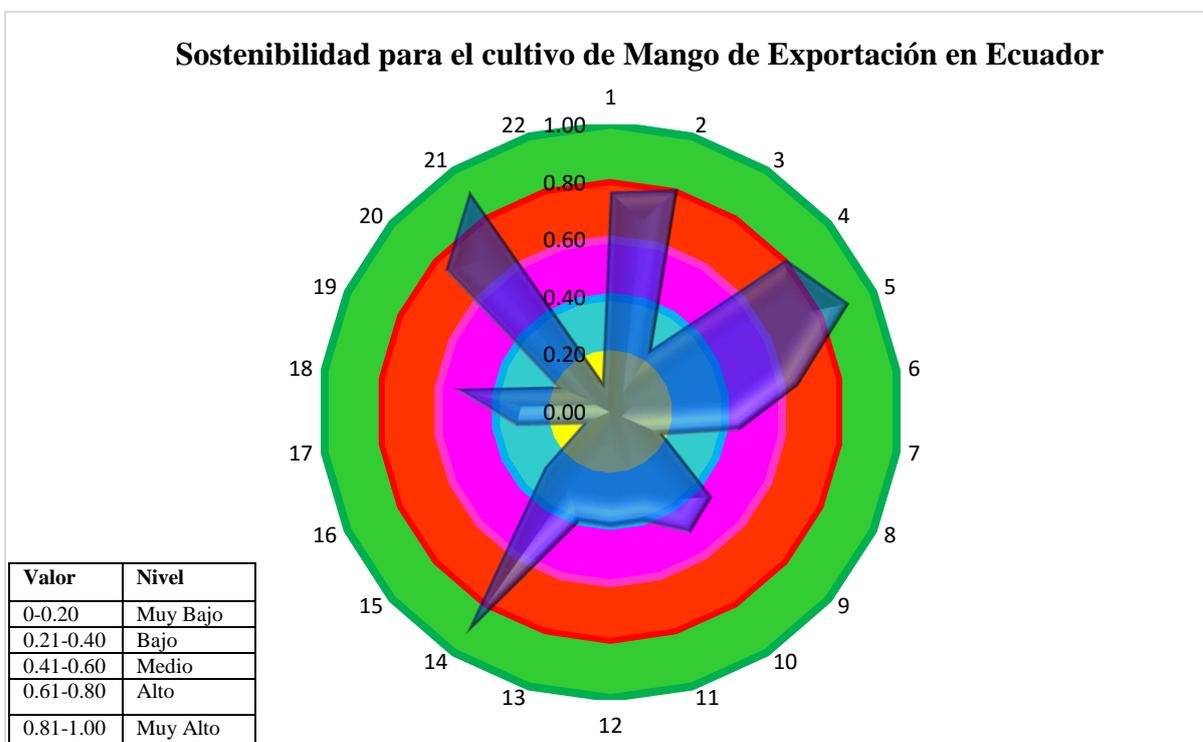
#### 6.4.6. Presentación e integración de resultados

En las Figuras 6.3 y 6.4, se presentan los resultados de la medida de sostenibilidad en el SCM. La Figura 6.3 muestra los valores del grado de sostenibilidad agrupados por indicadores, en tanto que, en la Figura 6.4, el grado de sostenibilidad está representado respecto a los atributos que rigen la sostenibilidad.

El grado de sostenibilidad para el SCM arrojó un promedio general de 0.50, enmarcándose en un nivel medio de sostenibilidad (Figura 6.3). Los niveles muy bajos y bajos en sostenibilidad son los que muestran valores menores a 0.40, es decir los indicadores: Productos transformados y procesados a partir del mango (0.25), fertilizaciones acorde a un análisis de suelo (0.19), acceso a innovaciones tecnológicas (0.30), dependencia de insumos externos (0.10), número de cultivos (especies) (0.33),

generación de conocimientos y prácticas dentro de la finca (0.20), y evolución del número de exportadores (0.10).

Estos niveles bajos representan los puntos críticos donde se debe poner mayor énfasis para mejorar los niveles que hacen los sistemas más sostenibles.



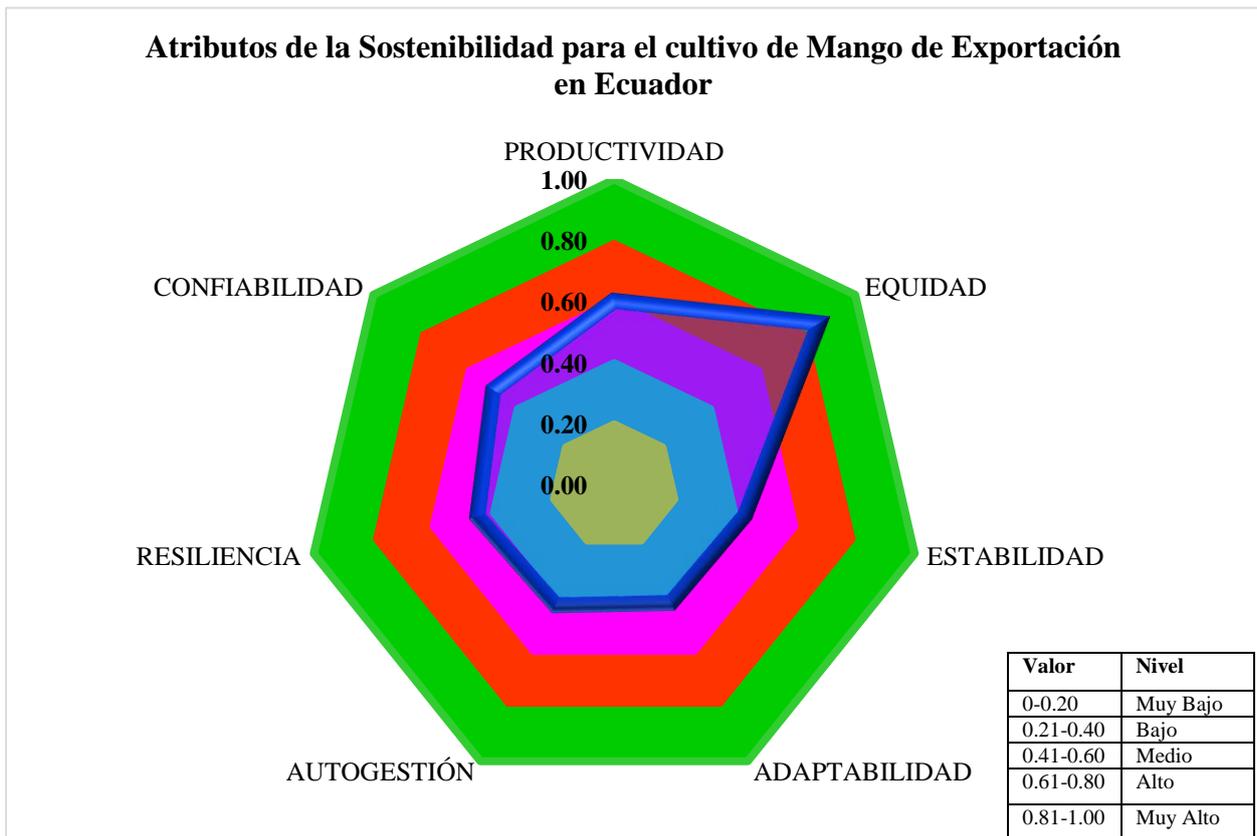
Donde: 1: Rendimiento; 2: Relación B/C; 3: Productos transformados y procesados a partir del mango; 4: Grado de satisfacción de las necesidades básicas cubiertas; 5: Empleados con beneficios sociales de ley; 6: Tiempo de implementación del cultivo; 7: Ventas anticipadas del producto; 8: Fertilizaciones acorde a un análisis de suelo; 9: Presencia de agua todo el año; 10: Prácticas de MIP; 11: Estructura del suelo; 12: Color, olor y materia orgánica del suelo; 13: Actividad biológica en el suelo; 14: % de asistencia a las asambleas; 15: Acceso a innovaciones tecnológicas; 16: Dependencia de insumos externos; 18: Número de cultivos (especies); 18: Variedades de *Mangifera indica*; 19: Generación de conocimientos y prácticas; 20: Capacitación constante; 21: Integración del equipo para la toma de decisiones a largo plazo; 22: Evolución del número de exportadores.

**Figura 6.3.-** Indicadores y grado de sostenibilidad del sistema de producción donde el mango es el principal cultivo en Ecuador.

En la figura 6.4 donde los valores para sostenibilidad en el SCM se agrupan por atributos generales en un diagrama tipo AMOEBA, se identifican valores en el rango de muy alto en sostenibilidad para el atributo equidad (0.85), atributo influenciado principalmente por un alto grado de satisfacción en las necesidades básicas cubiertas y por un valor estandarizado de 0.90 que se otorgó al indicador empleados con beneficios sociales de ley.

El atributo productividad presentó un valor estándar de 0.60, es decir que es un indicador de nivel medio en sostenibilidad porque no posee la suficiente habilidad para proveer al

exterior el nivel requerido de bienes y servicios como son los productos transformados y procesados a partir del mango. Los atributos resiliencia y estabilidad, se consideran dentro del rango medio de sostenibilidad pues obtuvieron un valor estándar de 0.45 y 0.44 respectivamente. Los atributos adaptabilidad y autogestión presentaron un valor de sostenibilidad de 0.43, ubicándolo también en el rango medio.



**Figura 6.4.-** Medida de la sostenibilidad por atributos para el sistema donde el cultivo principal es mango de exportación.

#### 6.4.7. Propuesta de mejora

En base a los puntos críticos, es decir indicadores incluidos en el rango de bajo y muy bajo en sostenibilidad; la propuesta de mejora del nivel de sostenibilidad incluye:

- La mejor manera de realizar un buen programa de fertilización del mango es a través de los resultados y recomendaciones obtenidas de los análisis del suelo, y de tejido foliar. Se recomienda hacerlo obligatoriamente como mínimo una vez al

año, para evitar gastos innecesarios de fertilizantes, y proveer a las plantas de cantidades óptimas de fertilizante para un adecuado crecimiento y producción.

- Aceptar la innovación tecnológica como una herramienta indispensable para la sostenibilidad del sistema pues un simple cambio podría repercutir en mejores resultados en el proceso de producción y rendimiento, mucho mejor si los mismos actores del sistema son los que crean innovaciones propias del ambiente. Así, el proceso de innovación se convierte no solo en una entrada en el sistema, sino mas bien en un flujo dinámico de entradas y salidas de información. Según Triveño et al. (2011), la innovación no va a devenir en un mayor impacto del proyecto, sino que permite alcanzar los mismos resultados con un menor empleo de recursos.
- Diversificar el número de cultivos (especies), pues la diversificación permite generar nuevas fuentes de ingresos durante todo el año mediante la venta de diferentes productos. Para Escobar (2000) un proceso de diversificación consiste en la introducción planificada y sistemática de nuevos rubros agrícolas, pecuarios o forestales en el sistema de producción existente, con los siguientes propósitos: mejorar y ampliar la producción de rubros alimenticios a fin de garantizar una dieta más completa y saludable; generar nuevas fuentes de ingresos en diferentes épocas del año, a fin de aumentar y estabilizar la rentabilidad de la finca; optimizar el aprovechamiento de los recursos internos de la finca y obtener materias primas e insumos para la producción de otros rubros; crear opciones para optimizar el uso de la tierra, más acordes con sus capacidades y limitaciones, desde un punto de vista económico, social y ambiental; reducir la dependencia externa de la finca y los riesgos; aprovechar las oportunidades del mercado; generar fuentes de trabajo durante todo el año mediante el desarrollo de las nuevas opciones productivas y, de esta manera, disminuir la migración a las ciudades. Algunos rubros que los agricultores ya manejan, pero que no proporcionan niveles aceptables de rentabilidad, pueden ser mejorados, incrementando la eficiencia del sistema productivo.
- Diversificar los productos a la venta.- La diversificación de productos derivados de mango (jugos, néctares, rodajas, mermeladas) permiten ingresos por ventas en el mercado nacional y abren perspectivas de exportación tanto a países de la Subregión Andina como a los del resto del mundo (Sopó, 2004).

En este trabajo, aparte de la discusión retórica sobre sostenibilidad, la aplicación de este concepto sobre el sistema de producción de mango de exportación en Ecuador, permitió

articular una visión alternativa sobre cada componente implicado en el sistema, de una manera holística y participativa, obligándonos también a reflexionar sobre la relación entre el medio ambiente, economía y sociedad. Parafraseando a Rolando García (1992), “no se trata solo de aprender más cosas sino de pensar de otra manera”.

Una de las premisas básicas de esta primera evaluación de sostenibilidad en los sistemas de producción de mango para exportación de Ecuador, es la de dejar una línea base de sostenibilidad (como un instrumento de planeación y diseño del sistema) que constituya el inicio de un proceso cíclico, continuo e interactivo con miras a mejorar en la práctica el perfil social, económico y ambiental del presente sistema estudiado.

El éxito del presente estudio radicará, en última instancia, en que los organismos competentes (gobiernos y autoridades locales, seccionales y productores en sí) hagan suyas la apropiación y aplicación como parte normal de sus actividades de las medidas correspondientes para lograr la sostenibilidad de los recursos naturales que posee el Ecuador, como las que se plantea en el presente trabajo.

## 6.5. CONCLUSIONES

Este estudio permitió hacer un análisis situacional sobre las áreas potenciales actuales para cultivar *Mangifera indica* vs. el potencial de presencia de *Ceratitis capitata*, en Ecuador y luego, sobre esas áreas hacer un primer ciclo de evaluación de sustentabilidad usando la metodología MESMIS.

Se determinó que, las áreas de distribución potencial actual de mango también poseen altas posibilidades de establecimiento de *C. capitata*.

Se identificaron 22 indicadores pertenecientes a los 7 atributos de sostenibilidad. El promedio general de sostenibilidad fue de 0.50, valor que pertenece al rango medio de sostenibilidad.

Los niveles muy bajos y bajos en sostenibilidad, que representan los puntos críticos del sistema que incluyen los siguientes indicadores: Productos transformados y procesados a partir del mango (0.25); fertilizaciones acorde a un análisis de suelo (0.19); acceso a innovaciones tecnológicas (0.30); dependencia de insumos externos (0.10); número de cultivos (especies) (0.33); generación de conocimientos y prácticas dentro de la finca (0.20) y evolución del número de exportadores (0.10).

## 6.6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Astier, M; Masera, O. 1996. Metodología para la Evaluación de Sistemas de Manejo incorporando Indicadores de Sustentabilidad. México. 29 p.

Clayton, A; Radcliffe, N. 1998. Reviewed Work: Sustainability: A Systems Approach. Environmental Values. 7 (2): 245-247.

De Camino, V; Muller, S. 1993. Sostenibilidad de la agricultura y los recursos naturales. Bases para establecer indicadores. Serie Documentos de Programas, núm.38. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (GTZ). San José, Costa Rica.

Escobar, J. 2000. Manual del capacitador. Serie: diversificación agropecuaria. Proyecto: CENTA-FAO-Holanda. 88 p.

García, R, 1986. Interdisciplinaria y sistemas complejos. En: Ciencias sociales y formación ambiental. E. Leff (ed.), 85-123. México, D.F.: GEDISA/UNAM/UNESCO.

INCAGRO (Innovación y Competitividad para el Agro Peruano). 2006. Estudios de línea base y salida de subproyectos cofinanciados. 91p.

Masera, O; Astier, M; López-Rridaura, S. 1999. Sustentabilidad y manejo de recursos naturales: El marco de evaluación MESMIS. México: Mundi-Prensa.

ONU (Organización de Naciones Unidas). 1987. Informe Brundtland.(Ago 1987). Informe de la Comisión Mundial sobre Medio Ambiente y Desarrollo. Disponible en: <https://es.scribd.com/doc/105305734/ONU-Informe-Brundtland-Ago-1987-Informe-de-la-Comision-Mundial-sobre-Medio-Ambiente-y-Desarrollo>

ONU (Organización de Naciones Unidas). 1991. Sustainable Development: Changing Production Patterns, Social Equity, and the Environment. Santiago Chile, ECLAC. 146 p.

Sarandón, J; Flores, C. 2009. Evaluación de la Sustentabilidad en Agroecosistemas: Una Propuesta Metodológica. 75p. Journal Agroecología 4: 19-28.

Sepúlveda, S. 2008. Gestión del Desarrollo Sostenible en Territorios Rurales: Métodos para planificación. San José- Costa Rica : IICA.

Sopó, G. 2004. Análisis Geoestadístico de la Distribución de Plagas en el Cultivo de mango. Caso de Estudio: Granja Experimental de Chongón (CEDEGE). Tesis de Grado. Ingeniería en Estadística Informática. Escuela Superior Politécnica del Litoral- Ecuador. 106 p.

Triveño, G. et.al. 2011. Buenas Prácticas para el Desarrollo de la Cadena Productiva de Papa; Experiencias con el Proyecto INCOPA en el Perú. Centro Internacional de la Papa. Lima- Perú. 130 p.

## VII. CONCLUSIONES GENERALES

Usando el model CLIMEX *versión 3* para estimar la distribución potencial actual para *Ceratitis capitata* en el Ecuador, se predijo que, el 47.73% del país abarca zonas muy favorables para que *C. capitata* se establezca todo el año (IE>30) principalmente en la región costa; se estimó además que el 47.61% de la superficie total del país posee zonas menos favorables para que *C. capitata* se establezca todo el año (IE<30), y un 4.65% de zonas con probabilidades de establecimiento de moscamed nulas (IE=0).

El mismo modelo, aplicado para estimar la distribución potencial bajo un escenario de cambio climático (A1B-2030) predijo que, el 33.03% del país corresponderán a zonas aptas con condiciones climáticas para que *C. capitata* se establezca todo el año (IE>30), el 62.17% de zonas del país posee zonas menos favorables para que *C. capitata* se establezca todo el año (IE<30), y en el 4.80% de zonas del país las probabilidades de establecimiento de *C. capitata* serán nulas (IE=0).

El modelo CLIMEX *versión 3*, se usó además para estimar la distribución potencial actual para *Mangifera indica* en el Ecuador; se predijo que, el 36.91% del país abarca zonas muy favorables para que *M. indica* se establezca todo el año (IE>30) principalmente en la región costa; se estimó además que el 51.17% de la superficie total del país posee zonas menos favorables para que *M. indica* se establezca todo el año (IE<30), y un 11.92% de zonas con probabilidades de establecimiento de *M. indica* nulas (IE=0).

El mismo modelo, aplicado para estimar la distribución potencial bajo un escenario de cambio climático (A1B-2030) para *M. indica* en el Ecuador predijo que, el 34.80% del país corresponderán a zonas aptas con condiciones climáticas muy favorables para que *M. indica* se establezca todo el año (IE>30), el 49.49% de zonas del país posee zonas menos favorables para que *C. capitata* se establezca todo el año (IE<30), y en el 21.70 % de zonas del país las probabilidades de establecimiento de *M. indica* serán nulas (IE=0).

Este estudio permitió hacer un análisis situacional sobre las áreas potenciales actuales para cultivar *Mangifera indica* vs. el potencial de presencia de *Ceratitis capitata*, en

Ecuador y luego, sobre esas áreas hacer un primer ciclo de evaluación de sustentabilidad usando la metodología MESMIS.

Se determinó que, las áreas de mango están cubiertas por altas posibilidades de establecimiento de *C. capitata*.

Se identificaron 22 indicadores pertenecientes a los 7 atributos de sostenibilidad, el promedio general de sostenibilidad fue de 0.50, valor que pertenece al rango medio.

Los niveles muy bajos y bajos en sostenibilidad representan los puntos críticos en sostenibilidad que incluyen los siguientes indicadores: Productos transformados y procesados a partir del mango (0.25); fertilizaciones acorde a un análisis de suelo (0.19); acceso a innovaciones tecnológicas (0.30); dependencia de insumos externos (0.10); número de cultivos (especies) (0.33); generación de conocimientos y prácticas dentro de la finca (0.20), y evolución del número de exportadores (0.10).

## VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS GENERALES

CABI (Centre for Agricultural Bioscience International). 2015. (a) Invasive Species Compendium. Datasheets, maps, images, abstracts and full text on invasive species of the world. *Ceratititis capitata*. Disponible en: <http://www.cabi.org/isc/datasheet/12367>

CABI (Centre for Agricultural Bioscience International) 2015. (b) Invasive Species Compendium. Datasheets, maps, images, abstracts and full text on invasive species of the world. *Mangifera indica*.

Girardin, P; Bockstaller, C; Van Der W, H. 1999. Indicators: tools to evaluate the environmental impacts of farming systems. *Journal of Sustainable Agriculture* 13(4): 5-17.

Gliessman, S. 1998. *Agroecology: Ecological Processes in Sustainable Agriculture*. Michigan, Ann Arbor Press. 357 p.

Gómez, A; Sweete, D; Syers, J; Couglan, K. 1996. Measuring sustainability of agricultural systems at the farm level. In: *Methods for Assessing Soil Quality*. SSSA Pub. 49.

Masera, O; Astier, M; López-Ridaura, S. 1999. *Sustentabilidad y Manejo de Recursos Naturales. El Marco de Evaluación MESMIS*. GIRA.A.C. México. 109 p.

Molineros, J; Tigrero, J; Sandoval, D. 1992. Diagnóstico de la situación actual del problema de las moscas de la fruta en el Ecuador. Comisión Ecuatoriana de Energía Atómica, Dirección de Investigaciones-Departamento de Entomología. pp:39, 42-44

Navas, C. 2001. *Bibliografía de los cultivos no tradicionales de la Costa Ecuatoriana*. Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias. Estación Experimental Tropical Pichilingue. Unidad de documentación. Quevedo-Ecuador. 33p.

Sutherst, G. 2003. Prediction of species geographical ranges. *Journal of Biogeography* 30: 805–816.

Sutherst, G; Maywald, G; Kriticos, D. 2007. CLIMEX version 3: user's guide. Australia, Hearne Scientific Software, CSIRO. 131 p.

Van Driesche, R; Hoddle, M; Center, T. 2007. Control de Plagas y Malezas por Enemigos Naturales. Trad. Ruíz, E; Coronada, J y Álvarez, J. Estados Unidos. 751 p.

Woodward, F. 1988. Temperature and the distribution of plant species and vegetation. In: Long SP and Woodward FI (eds), *Plants and Temperature*. Society of Experimental Biology by The Company of Biologists Limited. Cambridge 42: 59- 75 p.