



UNIVERSIDAD DE CHILE
Facultad de Arquitectura y Urbanismo
Escuela de Pregrado
Carrera de Geografía

Evaluación del establecimiento potencial de las plagas *Bagrada hilaris* y *Halymorpha halys* en las principales regiones agrícolas de Chile

Memoria para optar al título profesional de Geógrafa

VALENTINA PAZ LEIVA-CASTRO

Profesora guía: Pamela Smith Guerra

SANTIAGO – CHILE

2022

Agradecimientos

Llegar a este momento donde por fin he terminado de redactar las últimas líneas de mi investigación significa uno de los logros más reconfortantes de mi vida, costó demasiado pero ahora al recordar el pasado pienso que valió la pena todo el cansancio y las frustraciones, y creo que la experiencia la atesoraré aún más por todo lo que ha significado.

Sin duda no lo hubiera logrado sin el apoyo de diferentes personas que me han acompañado a lo largo de mi camino universitario que se ha tornado tan extenso. Quiero partir agradeciendo a mi prometido Jonas y a su mamá María Luz por acogerme en su hogar cuando más lo necesitaba y darme su apoyo para poder lograr mis sueños. También a mis perros Capitán, Bruno, Bianka, Tupaq, Princesa, Pluma y Chirimoya que también han sido parte de este duro proceso y que con sus caricias me han alegrado mis días, por ello y por mucho más es que merecen que sean nombrados.

Agradecerle a mis amigos y compañeros de universidad Mauricio, Alan, Bastián y Maikel por los momentos de risa que vivimos juntos, por prestarme ayuda cuando lo necesité y por motivarme con sus palabras. Y especialmente a Erick, gracias por apoyarme y confiar en mis capacidades durante todo este proceso, por estar siempre dispuesto a ayudarme sin esperar nada a cambio y permitirme lograr concretar mi sueño de titularme. También a mi profesora guía Pamela Smith por su constante disposición para responder a todas mis consultas y por preocuparse de mí no tan sólo en el ámbito académico sino que también personal.

Pero sobre todo mis agradecimientos son para ti hija, gracias Antonia por llegar a mi vida y darme la motivación para superarme en todos los ámbitos, gracias por darme una familia a la cual pertenecer y espero que el cierre de este ciclo signifique el inicio de muchas aventuras juntas. Sé que aún eres un bebé pero algún día cuando aprendas a leer quiero que sepas lo importante que has sido para que termine mi carrera profesional y lo mucho que mamá te ama.

“La disciplina tarde o temprano vencerá a la inteligencia”

Resumen

En la actualidad la movilidad de plagas agrícolas mediante fronteras geográficas y políticas simboliza una de las principales amenazas para la seguridad alimentaria a nivel mundial y una de las mayores preocupaciones de la agenda pública internacional, debido a las mermas que pueden generar en el rendimiento de los cultivos, derivando en pérdidas monetarias millonarias y en la modificación de las prácticas agrícolas. Su control se ha visto fuertemente limitado por los escasos sistemas de alerta temprana, producto de la falta de conocimiento de su distribución potencial en ámbitos ambientales y geográficos. Es en este contexto que surge la aplicación combinada de los Sistemas de Información Geográfica y los Modelos de Distribución de Especies, los cuales han demostrado ser altamente efectivos para la predicción de ocurrencia de plagas para países como Chile. Es por ello, que haciendo uso de dichas herramientas en la presente investigación se evaluó la amenaza por el establecimiento potencial de las plagas exóticas invasoras *Bagrada hilaris* y *Halymorpha halys* entre las regiones agrícolas de Coquimbo y Los Lagos, con el propósito de crear una base de datos para orientar los esfuerzos de las diferentes instituciones relacionadas al sector agrícola. Respecto a los resultados obtenidos en el caso de la plaga *B. hilaris* el 99,1% de la superficie agrícola identificada se encuentra bajo alguna categoría de amenaza por su presencia potencial, destacando las categorías entre Muy Alta y Alta amenaza que abarcan entre la depresión intermedia y las planicies litorales desde la región de Coquimbo hasta la región de O'Higgins. Mientras que en el caso de *H. halys* el 94,8% del territorio agrícola se encuentra amenazado, destacando las categorías Muy Alta y Alta amenaza que abarca mayoritariamente la depresión intermedia desde la región de Valparaíso hasta la región de O'Higgins, y la categoría Media que comprende también la depresión intermedia pero desde Valparaíso hasta la Araucanía.

Abstract

Currently, the mobility of agricultural pests across geographical and political borders symbolizes one of the main threats to food security worldwide and one of the greatest concerns on the international public agenda, due to the losses that they can generate in the yield of crops. crops, resulting in millions in monetary losses and the modification of agricultural practices. Its control has been severely limited by the few early warning systems, due to the lack of knowledge of its potential distribution in environmental and geographical areas. It is in this context that the combined application of Geographic Information Systems and Species Distribution Models arises, which have proven to be highly effective for predicting pest occurrence for countries like Chile. That is why, using these tools in the present investigation, the threat due to the potential establishment of the invasive exotic pests *Bagrada hilaris* and *Halymorpha halys* between the agricultural regions of Coquimbo and Los Lagos was evaluated, with the purpose of creating a database of data to guide the efforts of the different institutions related to the agricultural sector. Regarding the results obtained in the case of the *B. hilaris* pest, 99.1% of the identified agricultural area is under some category of threat due to its potential presence, highlighting the categories between Very High and High threat that range from depression intermedia and the coastal plains from the Coquimbo region to the O'Higgins region. While in the case of *H. halys*, 94.8% of the agricultural territory is threatened, highlighting the Very High and High categories that mainly cover the intermediate depression from the Valparaíso region to the O'Higgins region, and the category Medium that also includes the intermediate depression but from Valparaíso to Araucanía.

Índice de contenido

Agradecimientos.....	1
Resumen.....	2
Abstract.....	2
Capítulo I: Presentación.....	8
1.1 Introducción.....	8
1.2 Planteamiento del problema.....	9
1.3 Área de estudio.....	12
1.3.1 Clima.....	12
1.3.2 Geomorfología.....	14
1.3.3 Vegetación.....	16
1.3.4 Actividad económica.....	17
1.4 Objetivos.....	19
1.4.1 Objetivo general.....	19
1.4.2 Objetivos específicos.....	19
Capítulo II: Estado del Asunto.....	20
2.1 Invasiones biológicas.....	20
2.1.1 Transición de Especie Exótica a Invasor.....	20
2.1.2 Consecuencias de las EEI en la agricultura.....	21
2.2 Nicho ecológico.....	23
2.2.1 Área de distribución de especies.....	23
2.2.2 Surgimiento del concepto de nicho ecológico.....	24
2.2.3 Diagrama BAM.....	25
2.3 Modelos de distribución de especies.....	26
2.3.1 Definición y primeras aproximaciones.....	26
2.3.2 Construcción de los modelos.....	26
2.3.3 Técnicas de modelación de especies.....	29
2.4 Aplicación de la Teledetección en la agricultura.....	31
2.4.1 Tratamiento y procesamiento de imágenes satelitales.....	31
2.4.2 Uso de la Teledetección en la identificación de zonas agrícolas.....	32
2.5 Amenaza.....	33
Capítulo III: Planteamiento metodológico.....	34
3.1 Modelado de la distribución geográfica potencial de las plagas de chinches.....	36
3.1.1 Selección de especies exóticas invasoras.....	36
3.1.2 Base de datos de ocurrencia.....	36
3.1.3 Prueba de aleatoriedad y aplicación de filtros.....	38
3.1.4 Selección de variables bioclimáticas.....	38
3.1.5 Calibración y evaluación de los modelos globales de distribución.....	39
3.1.6 Ajuste de las proyecciones al contexto nacional.....	41
3.1.7 Cálculo de superficies binarias.....	41

3.2 Cuantificación de la superficie de suelo agrícola regional amenazada por el establecimiento potencial de dos chinches invasoras.....	42
3.2.1 Descarga y pre-procesamiento de imágenes satelitales.....	42
3.2.2 Procesamiento de imágenes satelitales Landsat 8.....	43
3.2.3 Muestreo de coberturas para entrenamiento y validación.....	44
3.2.4 Clasificación Supervisada y cálculo de superficies agrícolas.....	45
Capítulo IV: Resultados.....	46
4.1 Distribución geográfica potencial de la plaga agrícola <i>Bagrada hilaris</i> entre las regiones de Coquimbo y Los Lagos.....	46
4.1.1 Evaluación AUC y contribución de las variables bioclimáticas al MDE de <i>B. hilaris</i>	46
4.1.2 Curvas de respuesta de las variables bioclimáticas más relevantes en el modelo final de <i>B. hilaris</i>	48
4.1.3 Distribución geográfica potencial de la plaga <i>B. hilaris</i> entre la región de Coquimbo y Los Lagos.....	49
4.2 Distribución geográfica potencial de la plaga agrícola <i>Halymorpha halys</i> entre las regiones de Coquimbo y Los Lagos.....	56
4.2.1 Evaluación AUC y contribución de las variables bioclimáticas al MDE de <i>Halymorpha halys</i>	56
4.2.2 Curvas de respuesta de las variables bioclimáticas más relevantes en el modelo final de <i>H. halys</i>	58
4.2.3 Distribución geográfica potencial de la plaga <i>H. halys</i> entre la región de Coquimbo y Los Lagos.....	59
4.3 Estimación de la superficie de suelo agrícola amenazada por el establecimiento potencial de las dos plagas invasoras entre las regiones de Coquimbo y Los Lagos.....	66
4.3.1 Zonas de uso agrícola amenazadas por la presencia potencial de la plaga <i>B. hilaris</i>	66
4.3.2 Zonas de uso agrícola amenazadas por la presencia potencial de la plaga <i>H. halys</i>	73
Capítulo V: Discusiones y conclusiones.....	80
5.1 Discusión.....	80
5.1.1 En relación a los modelos de distribución de especies: limitaciones en los registros de datos y en la selección de variables.....	80
5.1.2 En relación a los modelos de distribución de especies: Discusión de Resultados.....	82
5.1.3 En relación a la superficie agrícola amenazada por las plagas: Limitaciones de las fuentes de información y de los métodos asociados.....	83
5.2 Conclusión.....	84
Bibliografía.....	87
Anexos.....	101

Índice de Figuras

Figura N° 1. Cartografía de la clasificación climática del área de estudio.....	14
Figura N° 2. Cartografía de las unidades geomorfológicas presentes en el área de estudio.....	16
Figura N° 3. Factores claves en el proceso de invasión.....	21
Figura N° 4. Efectos económicos potenciales por la introducción de una plaga agrícola transfronteriza.....	23
Figura N° 5. Dispositivo heurístico simplificado, denominado Diagrama de BAM.....	26
Figura N° 6. Esquema de flujo de trabajo para la realización y validación de modelos de distribución de especies.....	29
Figura N° 7. Esquema de los principales pasos metodológicos realizados en la presente investigación.....	36
Figura N° 8. Plagas cuarentenarias de chinches presentes en Chile: a la izquierda <i>Bagrada hilaris</i> y a la derecha <i>Halymorpha halys</i>	37
Figura N° 9. Cálculo de puntos centroides a partir de entidad vectorial.....	38
Figura N° 10. Cuadro comparativo del desempeño de MAXENT respecto de once algoritmos distintos para generar modelos de distribución de especies.....	40
Figura N° 11. Interface del software MAXENT versión 3.4.4.....	41
Figura N° 12. Corrección atmosférica de la Banda espectral 2- Azul correspondiente a la imagen satelital 1-84 de la región del Maule.....	44
Figura N° 13. Composición RGB652 correspondiente a la región del Libertador Bernardo O'Higgins.....	44
Figura N° 14. Cartografía de la distribución potencial de <i>B. hilaris</i> entre las regiones agrícolas de Coquimbo y Los Lagos.....	56
Figura N° 15. Cartografía de la distribución potencial de <i>Halymorpha halys</i> entre las regiones agrícolas de Coquimbo y Los Lagos.....	66
Figura N° 16. Cartografía de las zonas de uso agrícola amenazadas por la plaga invasora <i>B. hilaris</i> entre las regiones de Coquimbo y Los Lagos.....	73
Figura N° 17. Cartografía de las zonas de uso agrícola amenazadas por la plaga invasora <i>H. halys</i> entre las regiones de Coquimbo y Los Lagos.....	80

Índice de Tablas

Tabla N° 1. Cantidad de puntos de presencia utilizados en los modelos finales por institución.....	39
Tabla N° 2. Reclassificación del rango de idoneidad de los modelos en base al umbral de corte.....	42
Tabla N° 3. Selección de bandas espectrales correspondientes al sensor <i>Operational Land Imager (OLI)</i> del satélite Landsat 8.....	43
Tabla. N° 4. Números binarios asignados a los niveles 1 y 2 de la nomenclatura <i>Corine Land Cover (CLC)</i>	45
Tabla N° 5. Capas de los predictores ambientales utilizados en el modelamiento de la distribución potencial de la especie <i>Bagrada hilaris</i>	47
Tabla N° 6. Porcentaje de contribución de las variables bioclimáticas al modelo final de <i>Bagrada hilaris</i>	48
Tabla N° 7. Superficie de presencia macro regional y regional por rango de probabilidad de la especie <i>Bagrada hilaris</i>	50

Tabla N° 8. Capas de los predictores ambientales utilizados en el modelamiento de la distribución potencial de la especie <i>Halymorpha halys</i>	57
Tabla N° 9. Porcentaje de contribución de las variables bioclimáticas al modelo final de <i>Halymorpha halys</i>	58
Tabla N° 10. Superficie de presencia macro regional y regional por rango de probabilidad de la especie <i>Halymorpha halys</i>	60
Tabla N° 11. Superficie agrícola macro regional y regional afectada por cada categoría de amenaza por la especie <i>Bagrada hilaris</i>	67
Tabla N° 12. Superficie agrícola macro regional y regional afectada por cada categoría de amenaza por la especie <i>Halymorpha halys</i>	74

Índice de Gráficos

Gráfico N° 1. Evaluación AUC arrojado por la curva ROC para el modelo de distribución de la plaga agrícola <i>Bagrada hilaris</i>	47
Gráfico N° 2. <i>Test Jackknife</i> de la ganancia regularizada de los datos de entrenamiento del modelo <i>Bagrada hilaris</i>	48
Gráfico N° 3. Curvas de respuesta de la probabilidad de presencia de la plaga <i>B. hilaris</i> ante las principales variables bioclimáticas que intervinieron en la construcción de su modelo.....	49
Gráfico N° 4. Superficie en hectáreas de las categorías de probabilidad de presencia de la plaga <i>Bagrada hilaris</i> en la macro región Norte Chico.....	51
Gráfico N° 5. Superficie en hectáreas de las categorías de probabilidad de presencia de la plaga <i>Bagrada hilaris</i> en la macro región Zona Centro.....	52
Gráfico N° 6. Superficie de presencia por categoría de probabilidad de la plaga <i>Bagrada hilaris</i> en las regiones de la macro región Centro.....	53
Gráfico N° 7. Superficie en hectáreas de las categorías de probabilidad de presencia de la plaga <i>Bagrada hilaris</i> en la macro región Zona Sur.....	54
Gráfico N° 8. Superficie de presencia por categoría de probabilidad de la plaga <i>Bagrada hilaris</i> en las regiones de la macro región Sur.....	55
Gráfico N° 9. Evaluación AUC arrojado por la curva ROC para el modelo de distribución de la plaga agrícola <i>Halymorpha halys</i>	57
Gráfico N° 10. <i>Test Jackknife</i> de la ganancia regularizada de los datos de entrenamiento del modelo <i>Halymorpha halys</i>	58
Gráfico N° 11. Curvas de respuesta de la probabilidad de presencia de la plaga <i>H. halys</i> ante las principales variables bioclimáticas que intervinieron en la construcción de su modelo.....	59
Gráfico N° 12. Superficie en hectáreas de las categorías de probabilidad de presencia de la plaga <i>Halymorpha halys</i> en la macro región Norte Chico.....	61
Gráfico N° 13. Superficie en hectáreas de las categorías de probabilidad de presencia de la plaga <i>Halymorpha halys</i> en la macro región Zona Centro.....	62
Gráfico N° 14. Superficie de presencia por categoría de probabilidad de la plaga <i>Halymorpha halys</i> en las regiones de la macro región Zona Centro.....	63
Gráfico N° 15. Superficie en hectáreas de las categorías de probabilidad de presencia de la plaga <i>Halymorpha halys</i> en la macro región Zona Sur.....	64

Gráfico N° 16. Superficie de presencia por categoría de probabilidad de la plaga <i>Halymorpha halys</i> en las regiones de la macro región Zona Sur.....	65
Gráfico N° 17. Superficie en hectáreas de las categorías de amenaza de la plaga B. hilaris en la macro región Norte Chico.....	68
Gráfico N° 18. Superficie en hectáreas de las categorías de amenaza de la plaga B. hilaris en la macro región Zona Centro.....	69
Gráfico N° 19. Superficie agrícola en hectáreas de las categorías de amenaza de la plaga B. hilaris en las regiones de la macro región Zona Centro.....	70
Gráfico N° 20. Superficie en hectáreas de las categorías de amenaza de la plaga B. hilaris en la macro región Zona Sur.....	71
Gráfico N° 21. Superficie agrícola en hectáreas de las categorías de amenaza de la plaga B. hilaris en las regiones de la macro región Zona Sur.....	72
Gráfico N° 22. Superficie en hectáreas de las categorías de amenaza de la plaga H. halys en la macro región Zona Norte Chico.....	75
Gráfico N° 23. Superficie en hectáreas de las categorías de amenaza de la plaga H. halys en la macro región Zona Centro.....	76
Gráfico N° 24. Superficie agrícola en hectáreas de las categorías de amenaza de la plaga H. halys en las regiones de la macro región Zona Centro.....	77
Gráfico N° 25. Superficie en hectáreas de las categorías de amenaza de la plaga H. halys en la macro región Zona Sur.....	78
Gráfico N° 26. Superficie agrícola en hectáreas de las categorías de amenaza de la plaga B. hilaris en las regiones de la macro región Zona Sur.....	79

Índice de Anexos

Anexo N° 1. Tabla con la descripción de las 19 variables bioclimáticas.....	102
Anexo N° 2. Valores de correlación de Spearman para la especie <i>Bagrada hilaris</i>	103
Anexo N° 3. Valores de correlación de Spearman para la especie <i>Halymorpha halys</i>	103
Anexo. N° 4. Muestreo de coberturas sobre la composición RGB652. A la izquierda la composición sin intervención, y a la derecha los puntos de entrenamiento correspondientes a la cobertura agrícola :.....	103

Capítulo I: Presentación

1.1 Introducción

La superación de las barreras geográficas encargadas durante miles o millones de años de mantener a las especies dentro de su área de distribución nativa ha conllevado una redistribución de los seres vivos en el planeta, permaneciendo escasas zonas a salvo de su introducción (Capdevila-Argüelles et al, 2013). Situación que comenzó a acelerarse desde la interrupción del aislamiento entre continentes, debido a la exploración y colonización de nuevos territorios (Mack et al, 2000), e incrementándose con la llegada de la globalización, producto de un mayor volumen de mercancías transportadas para la satisfacción de las necesidades de una población mundial con una tasa de crecimiento exponencial (Avendaño-González et al, 2015). De acuerdo con la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (2020), actualmente la proliferación y movilidad de plagas transfronterizas constituye una de las principales amenazas para la seguridad alimentaria a escala mundial, debido a sus graves impactos socioeconómicos sobre los sistemas agrícolas, derivados de la reducción o pérdida de la productividad en los cultivos y los costos por el control de los invasores. Lo que ha constituido una pérdida anual entre el 20 y 40% de las cosechas mundiales, equivalente a más de 220.000 millones de dólares, y un “impuesto extra” en la elaboración y adquisición de los alimentos (Mack et al, 2000; FAO, 2020).

Lo anteriormente expuesto, sumado al arribo creciente de nuevas plagas agrícolas y a la carencia tanto de inventarios como de información en Chile motivaron a que la presente investigación se centrara en evaluar el establecimiento potencial de las chinches *Bagrada hilaris* y *Halymorpha halys* entre las regiones de Coquimbo y Los Lagos, por ser consideradas especies de gran importancia económica a nivel mundial debido a las pérdidas monetarias que han ocasionado en los cultivos agrícolas de los países en los que se han establecido. Para ello, fue necesario descargar los registros de presencia de cada una de las especies desde diferentes instituciones tanto internacionales como nacionales, los cuales fueron sometidos a pruebas de aleatoriedad mediante la aplicación de rarezas espaciales para reducir su autocorrelación. Paralelamente, se descendieron 19 variables bioclimáticas desde la plataforma WorldClim, las cuales fueron analizadas utilizando el test Shapiro-Wilk que probó la normalidad de los datos y el cálculo de correlación de Spearman mediante el software R que permitió descartar las altas correlaciones entre pares, permitiendo la obtención de 5 variables por especie. Posteriormente, utilizando el software Maxent se aplicó la técnica de validación cruzada entre los registros de presencia no autocorrelacionados y las variables bioclimáticas predictoras, generando los modelos de distribución geográfica para cada una de las plagas; los cuales fueron ingresados a ArcGis para ajustarlos al área de estudio. Posteriormente, para la identificación de terrenos de uso agrícola se descendieron 39 imágenes satelitales Landsat 8 desde el Servicio Geológico de Estados Unidos en base a diversos criterios bibliográficos y abarcando sólo el área de estudio. De las cuales, únicamente se utilizaron las bandas 6, 5, 2 y pancromática las que una vez sometidas a correcciones atmosféricas y geométricas sirvieron para realizar la clasificación no supervisada en ArcGis. Dicha clasificación en conjunto con los datos del “Catastro de uso de suelo y vegetación” de CONAF permitieron obtener puntos de entrenamiento que sirvieron para calibrar la clasificación supervisada dando origen a una capa de uso de suelo agrícola identificado. La que, finalmente fue intersectada con la capa de probabilidad de presencia de cada una de las plagas, determinando las áreas agrícolas amenazadas y clasificándolas en 5 categorías de amenaza “Muy Alta”, “Alta”, “Media”, “Baja” y “Muy Baja”, cuya superficie fue estimada en hectáreas mediante la calculadora geométrica.

1.2 Planteamiento del problema

Las especies exóticas invasoras (EEI) son consideradas como un factor de cambio global y una de las principales causas de la pérdida de biodiversidad mundial, en conjunto con la destrucción del hábitat y la fragmentación del paisaje; debido a que son capaces de “*alterar la estructura y el funcionamiento del ecosistema receptor, causando daños ecológicos y socioeconómicos incalculables*” (Mooney & Hobbs, 2000 en Castro-Díez et al, 2004, p. 61). Si bien, el fenómeno de la distribución de plantas, animales y microorganismos fuera de su rango nativo es tan antiguo como la propia civilización, en los últimos 500 años, con el aumento del tráfico comercial y la migración humana, propiciado por medios de transporte cada vez más eficientes, la magnitud geográfica y el número de especies introducidas en nuevos territorios ha alcanzado ritmos sin precedentes (Mack et al, 2000).

Actualmente la movilidad de plagas agrícolas a través de fronteras geográficas y políticas representa una de las principales amenazas para la seguridad alimentaria global y una de las mayores preocupaciones de la agenda pública internacional, ya que, pueden generar mermas considerables en el rendimiento de los cultivos, derivando en pérdidas monetarias millonarias y en la modificación de las prácticas agrícolas (FAO, 2008; 2020). Su manejo se ha visto fuertemente limitado por los escasos sistemas de alerta temprana, debido al desconocimiento de su distribución potencial tanto en ámbitos geográficos como ambientales. Ante esta problemática son cada vez más los autores e instituciones como la FAO, que han optado por el uso de nuevas tecnologías como medidas fitosanitarias para la prevención y control de plagas en zona de amenaza agrícola (FAO, 2008; Servicio Agrícola y Ganadero, 2017).

Es en este contexto donde surge la aplicación combinada de los Modelos de Distribución de Especies y los Sistemas de Información Geográfica, que han demostrado ser herramientas altamente efectivas para la predicción de ocurrencia de plagas, y una oportunidad de asesoramiento científico para países de América Latina, cuyo crecimiento de la agricultura se ha visto fuertemente limitado en los últimos años por el establecimiento de nuevas especies invasoras, debido a la variabilidad en las condiciones climáticas (Olvera-Vargas et al, 2012; CropLifeLa, 2017). Como es el caso de Brasil que de acuerdo con estudios recientes ha sufrido una pérdida promedio anual del 7,7% de la producción de sus cosechas, equivalente a 16 mil millones de dólares por año (Quiroga, 2017). Situación preocupante si se considera que ya en 2018 más de 10 millones de brasileños padecían hambruna y que el 44% de las familias rurales se encontraban en una condición de inseguridad alimentaria grave (Instituto Brasileño de Geografía y Estadística, s.f en Sampaio, 2020).

A nivel nacional existe un total de 385 especies de insectos consideradas como plagas de importancia económica entre las cuales destaca el orden de las hemípteras, conformadas principalmente por pulgones, cigarras y chinches (Tello, 2017). Con respecto a estas últimas, Chile ha sido el primer país latinoamericano donde se ha detectado la presencia coetánea de dos chinches consideradas mundialmente invasoras por las pérdidas económicas que han generado en los cultivos agrícolas de aquellos países en los cuales se han establecido (Faúndez et al, 2017). Actualmente, las plagas *Bagrada hilaris* y *Halymorpha halys* están clasificadas por el Servicio Agrícola y Ganadero como “plagas cuarentenarias presentes bajo control oficial” debido a su limitada distribución dentro del territorio nacional y a sus escasas repercusiones agrícolas (SAG, 2020). Sin embargo, en base a la experiencia científica mundial la dinámica de las plagas podría cambiar con los períodos de latencia

y adaptabilidad derivando potencialmente en Invasiones Biológicas silenciosas (Mack et al, 2000; Capdevila-Argüelles et al, 2006; Pérez, 2013; Castillo, 2016).

La primera de ellas corresponde a la especie *Bagrada hilaris* con distribución en países de África, Asia Meridional, Oriente Medio, Europa del Sur, Sudeste Asiático y América, donde ha causado graves daños en la agricultura por su rápida diseminación sobre una gran variedad de cultivos, especialmente aquellos pertenecientes a la familia *Brassicaceae* (Palumbo et al, 2016). Ocasionando en el año 2013 pérdidas monetarias en el estado de California que superaron los \$1 mil millones de dólares, y en la ciudad de México los \$679 millones de dólares (Reed et al, 2013; Huang et al, 2014; Carvajal et al, 2018). En el año 2016 se introdujo accidentalmente en Chile, específicamente en la comuna de Quilicura, expandiéndose en tan sólo un año hacia algunas comunas de las regiones Metropolitana y Valparaíso (SAG, 2017). En 2018 fue detectada en regiones de Coquimbo y del Libertador Bernardo O'Higgins, donde ya ha comenzado a evidenciarse los efectos de su presencia (SAG, 2018).

Mientras que, la segunda especie concerniente a *Halymorpha halys* se encuentra propagada por países de Asia Oriental, Sudeste Asiático, Oceanía, América del Norte y recientemente por Europa, donde es considerado un insecto altamente invasivo por su potencial dañino en centenares de plantas, tanto agrícolas como ornamentales, y por su presencia al interior de los hogares en invierno (Hoebeke & Carter, 2003; Bergmann et al, 2016). De acuerdo con las estadísticas en el año 2010 causó daños catastróficos en la mayoría de los estados del Atlántico medio, afectando cientos de cultivos como fueron el maíz, el tomate y el pimiento, que en algunos casos derivó en su pérdida total (SAG, 2018). Situación similar la acontecida en el año 2017 en la región italiana de Piamonte donde se vieron afectadas el 90% de las cosechas (Maistrello, 2018). En lo referente al contexto nacional, en el año 2011 se detectó por primera vez la presencia de un ejemplar en la comuna de Quinta Normal, desde entonces la plaga ha ido dispersándose hacia los predios agrícolas de las comunas aledañas, donde ya ha comenzado a generar estragos (SAG, 2018).

Dicha situación se torna preocupante si se considera que la agricultura ha tenido un importante rol en el desarrollo de la economía chilena y en su posicionamiento dentro de los mercados internacionales (Ministerio de Agricultura, s.f en la Oficina de Estudios y Políticas Agrarias, 2017, p. 11-13). De acuerdo con las cifras preliminares del Banco Central de Chile, en el año 2017 el sector Silvoagropecuario contribuyó en un 2,9% al total del Producto Interno Bruto nacional y fue el responsable del 5,9% del total de las exportaciones realizadas (Banco Central de Chile, 2017; ODEPA, 2019). Con respecto al Censo Agropecuario y Forestal 2007, de las 278.660 explotaciones agropecuarias nacionales llevadas a cabo ese año, el 95,2% se concentró entre las regiones de Coquimbo y Los Lagos, y el 78,9% fue desarrollada por la agricultura familiar (Instituto Nacional de Estadísticas, 2007; Berdegué & Rojas, 2014).

Las estadísticas mencionadas no dejan de ser significativas y permiten dimensionar las repercusiones de las Invasiones Biológicas (IB) sobre las economías locales, especialmente para aquella población cuya fuente principal de ingresos y de subsistencia es la agricultura. Si bien, “*la agricultura contribuye más que el promedio de la economía a la reducción de la pobreza*” (Valdés & Foster, 2005 -en la Sociedad Nacional de la Agricultura, s.f, p. 15) debido a la centralización política administrativa de Chile, las regiones agrícolas entre la región de Coquimbo y Los Lagos a excepción de la Metropolitana presentan las mayores tasas de pobreza y pobreza extrema (ODEPA, 2019),

llegando a concentrar en el año 2006 al 62% de las personas pobres del país (Encuesta de Caracterización Socioeconómica Nacional, 2006 en SNA, s.f). Ejemplo de ello es la Región del Maule, la cual a pesar de haber aportado en el año 2015 el 13,6% del PIB Silvoagropecuario nacional, en el año 2017 continuó presentando una de las mayores tasas de pobreza por ingreso con un 12,7%, antecedido únicamente por las regiones de La Araucanía y Ñuble con un 17,2% y 16,1%, respectivamente (Ministerio de Desarrollo Social, 2018; ODEPA, 2019).

En base a la premisa anteriormente expuesta la presente memoria de título pretende dar respuesta a la siguiente pregunta de investigación: entre Coquimbo y Los Lagos *¿cuáles serían las regiones agrícolas mayormente amenazadas por el establecimiento potencial de las plagas exóticas invasoras *Bagrada hilaris* y *Halymorpha halys*?*

1.3 Área de estudio

El área se extiende entre la región de Coquimbo y la región de Los Lagos, localizados entre los paralelos 29° 20' de latitud sur y los 44° 14' S del territorio continental chileno. Abarca una superficie de 254.987 km², equivalentes a aproximadamente el 33,72% del territorio nacional (Banco Mundial, 2018), con una población estimada en el año 2019 de 17.228.740 habitantes (INE, 2019). Limita al norte con la región de Atacama, al este con la República Argentina, al oeste con el océano Pacífico y al sur con la región de Aysén.

1.3.1 Clima

Las características climáticas presentes en el área de estudio varían de norte a sur debido a factores como la diversidad topográfica, la latitud, la presencia de la corriente fría de Humboldt, el Anticiclón del Pacífico y los cordones montañosos (Biblioteca del Congreso Nacional de Chile, 2020). Dando origen a tres tipos de climas predominantes, los climas áridos (B) y templados (C) distribuidos latitudinalmente, y los climas polares (E) atribuidos exclusivamente a las altas cumbres de la Cordillera de Los Andes (Inzunza, 2003; Sarricolea et al, 2016), los cuales a su vez se dividen en subgrupos más específicos (Köppen Geiger, 1990). A continuación, se realiza una síntesis climática para cada una de las macro regiones de estudio (*ver Figura N° 1*):

- a) Macro región Norte Chico: La presente investigación abarca únicamente la región administrativa de Coquimbo, la cual denota en su mayoría condiciones climáticas áridas que trascienden lentamente hacia el sur a climas templados de tipo mediterráneo, debido a la disminución de la temperatura y a la aparición de precipitaciones en los meses de invierno. Mientras que los climas polares se localizan principalmente en las elevaciones más altas de la cordillera andina (Sarricolea et al, 2016).
- b) Macro región Zona Central: Comprende desde la región de Valparaíso hasta el Biobío, donde predominan los climas templados de tipo mediterráneo que se distribuyen a lo largo de la superficie macro regional, seguidos de los climas polares que se encuentran restringidos a las zonas de alta montaña, y los climas áridos que se localizan únicamente en ciertas áreas de las regiones de Valparaíso y Metropolitana (Sarricolea et al, 2016). A diferencia del Norte Chico esta macro región presenta un descenso de las temperaturas, y un aumento considerable de las precipitaciones en cuanto a volumen y a distribución, con estaciones del año bastante marcadas. Además, la zona costera presenta una alta influencia marítima, donde los niveles de humedad suelen ser altos, mientras que hacia el interior de la depresión intermedia la humedad disminuye (Biblioteca del Congreso Nacional, 2019).
- c) Macro región Zona Sur: Abarca desde la región de La Araucanía hasta Los Lagos, donde existe una predominancia de los climas templados que trascienden hacia el sur de mediterráneos a templados fríos y lluviosos; mientras que los climas polares se localizan en la zona cordillerana andina, especialmente en el extremo sur de la región de Los Lagos. En esta macro región se registran temperaturas más bajas que en el resto del área de estudio y un mayor volumen de precipitaciones las que pueden alcanzar los 2.000 mm. Algunas zonas presentan un mayor grado de mediterraneidad debido a la elevación de la cordillera de la Costa, como ocurre en el tramo de Nahuelbuta (Inzunza, 2003; BCN, 2019).

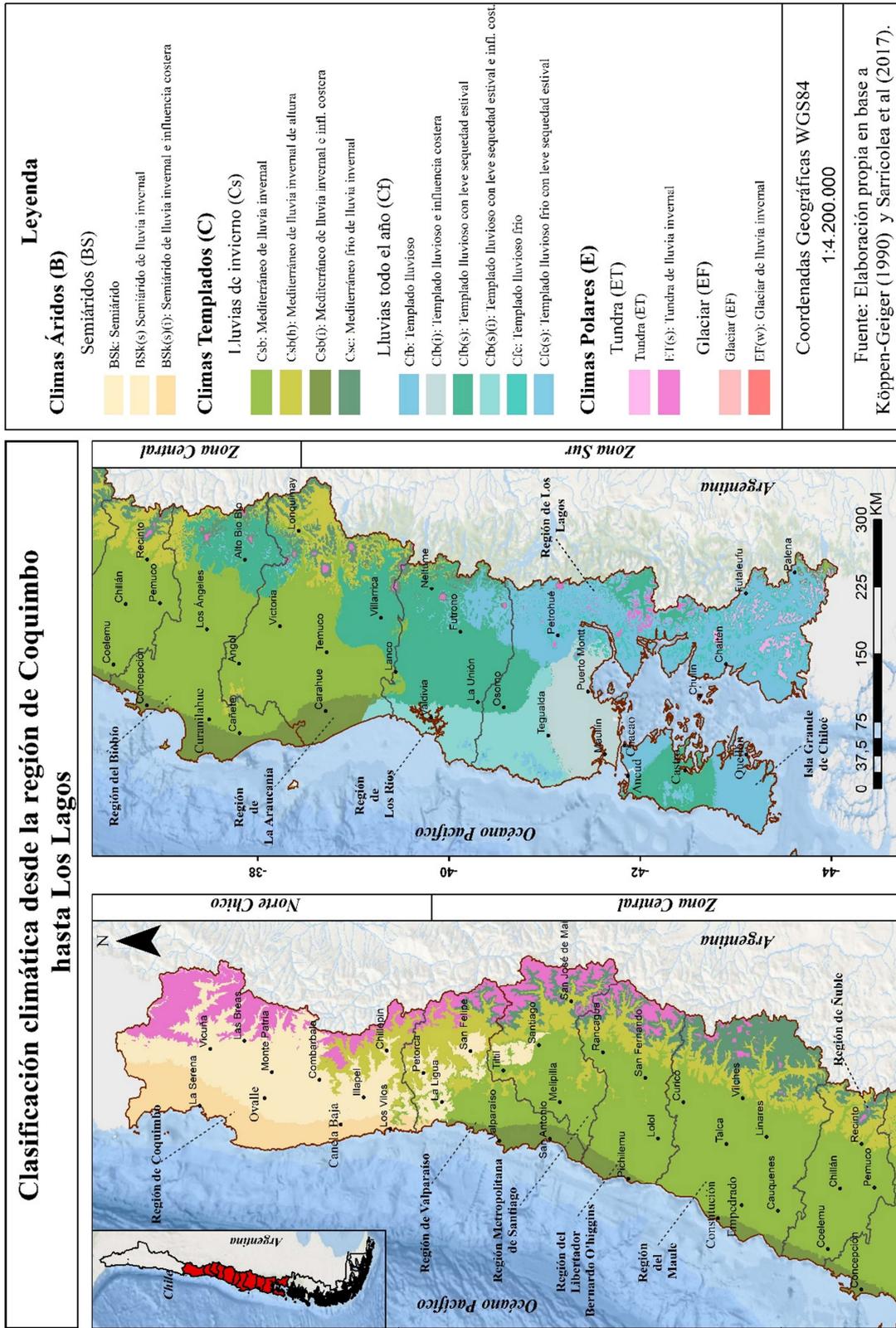


Figura N° 1. Cartografía de la clasificación climática del área de estudio. Fuente: Elaboración propia en base a Köppen-Geiger (1990) y Sarricolea et al (2017)

1.3.2 Geomorfología

El relieve del área de estudio está compuesto por cuatro unidades geomorfológicas: la cordillera de Los Andes, la depresión intermedia, la cordillera de la Costa y las planicies litorales, que emergieron entre finales del período Terciario Superior y comienzos del Pleistoceno, debido a los procesos de hundimiento y sollevamiento de la superficie terrestre producto de la acción tectónica, lo que generó como consecuencia su actual disposición longitudinal en el territorio en sentido este a oeste (Errazuriz et al, 1998). A continuación, se detalla cada una de ellas (*ver Figura N° 2*):

- a) Cordillera de los Andes: Es el cordón montañoso más extenso de la tierra y se localiza en el sector oriental del área de estudio, abarcando desde la región de Coquimbo hasta el extremo sur de la región de Los Lagos. Al sur del Norte Chico se manifiesta alta y maciza con ausencia de actividad volcánica, mientras que en la Zona Centro comienza a descender en altura y el volcanismo se reactiva, finalmente en la Zona Sur se observa un mayor desgaste debido a la erosión glacial pleistocena y aparecen volcanes de baja altura, como el Lonquimay ubicado en la región de La Araucanía (Oyarzún, 2016; Servicio Nacional de Geología y Minería, 2018).
- b) Depresión intermedia: Es un extenso territorio llano ubicado entre la cordillera de los Andes y la cordillera de la Costa, que abarca desde el extremo norte de la región de Coquimbo hasta el seno de Reloncaví en la región de Los Lagos. Al sur del Norte Chico se presenta principalmente formando valles y cordones transversales, en la Zona Centro dando origen a las cuencas de Santiago y Rancagua, además de un tramo del llano central, y en la Zona Sur se observa como parte del llano central o sedimentario. Debido a sus características geomorfológicas es la macroforma donde se concentra la mayor cantidad de la población y sus actividades económicas asociadas, con suelos de gran importancia agrícola (Organización de Investigación científica e industrial del Commonwealth, 2012).
- c) Cordillera de la Costa: Es una cadena montañosa ubicada al oriente de las planicies litorales, que abarca en forma discontinua desde la región de Coquimbo hasta la isla Grande de Chiloé en la región de Los Lagos. Su altura es menor que la cordillera de Los Andes, debido a que el movimiento tectónico vertical no fue de tanta magnitud como la ocurrida en la zona andina. Al sur del Norte Chico se manifiesta intersectada por valles transversales, en la Zona Centro se presenta fuertemente meteorizada y en la Zona Sur se observa una de sus últimas grandes formas como lo es la cordillera de Nahuelbuta (Errazuriz et al, 1998; BCN, 2018).
- d) Planicies litorales: Es un conjunto de terrazas y planicies marinas que se localizan entre la cordillera de la Costa y el océano Pacífico, abarcando desde el norte de la región de Coquimbo hasta el archipiélago de Chiloé en la región de Los Lagos. Al sur del Norte Chico se presentan con gran amplitud formando franjas de hasta 30 km de ancho que desaparecen al sur de la bahía de Tongoy para permitir el ingreso de la cordillera de Talinay, y que vuelven a manifestarse desde el sur de la comuna de Ovalle. En las Zonas Centro y Sur también se presentan con un amplio desarrollo como consecuencia de los sedimentos depositados en la desembocadura de los ríos existentes (Novoa & López, 2001; Castro & Brignardello, 2005).

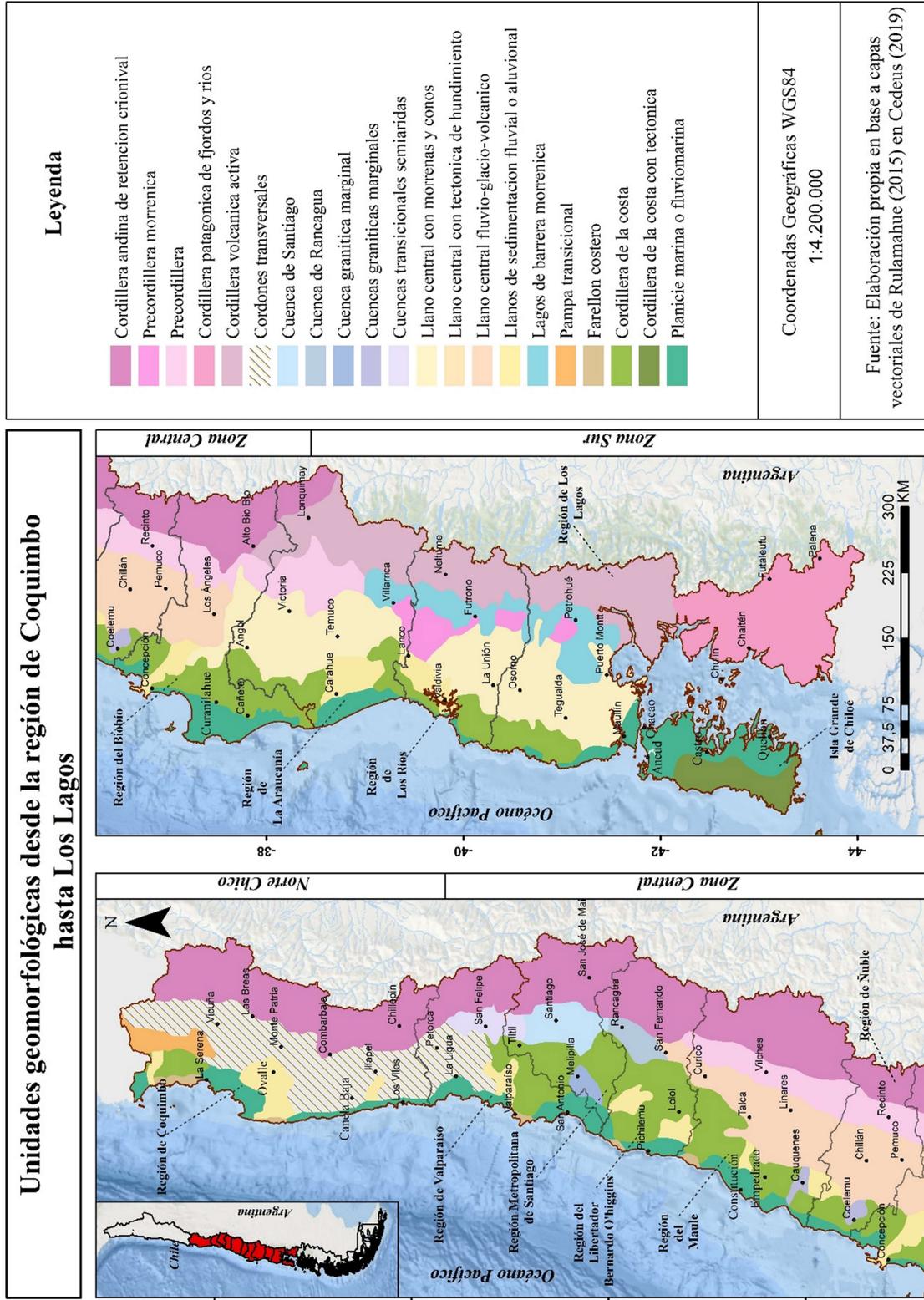


Figura N° 2. Cartografía de las unidades geomorfológicas presentes en el área de estudio. Fuente: Elaboración propia en base a Rulamahue (2015) en Cedeus (2019).

1.3.3 Vegetación

Debido a las características geográficas y climáticas de Chile existe una amplia diversidad de formaciones y comunidades vegetales, llegando a identificarse más de 5 mil especies florísticas a lo largo de su territorio, entre las cuales destacan arbustos, herbáceas y perennes (Trivelli, 2014). Las cuales son detalladas a continuación considerando cada una de las macro regiones de estudio:

- a) Macro región Norte Chico (región de Coquimbo): Al norte de la ciudad de La Serena se presenta una vegetación conocida como estepa abierta donde predomina el espino en conjunto con hierbas anuales y cactáceas, mientras que hacia el sur aparecen especies de tipo mesófilo como el algarrobo, peumo y boldo (BCN, 2019). La humedad abundante en la zona costera entre la bahía de Tongoy y el río Limarí han permitido el desarrollo de agrupaciones forestales como el bosque Fray Jorge y el bosque relicto de Talinay pertenecientes a la reserva de la biosfera Fray Jorge, donde es posible encontrar litre, arrayán, boldo, entre otros (Squeo et al, 2001). Las zonas montañosas se caracterizan por la presencia del matorral abierto andino que varía dependiendo de la altitud, entre los 1.000 y 2.000 msnm crecen arbustos y hierbas dispersas que coexisten con el romerillo y el guayacán; mientras que sobre los 2.000 msnm aparece vegetación xerófita adaptada al clima de altura como la stipa y festuca (Luebert & Pliscoff, 2006; BCN, 2019).
- b) Macro región Zona Central: Existe un mayor predominio del bosque esclerófilo, que son árboles y arbustos de hojas duras que pueden resistir la sequedad estival, su distribución depende de la especie y están condicionados por factores como la disponibilidad del recurso hídrico y la exposición solar (Trivelli, 2014). En laderas solanas es posible encontrar quisco, chagual y colliguay, mientras que en umbría litre, molle y quillay. En cursos de agua y quebradas habitan el canelo, lingue, peumo, entre otros. Por otro lado, en el valle central es frecuente encontrar algarrobo, espino y maitén, además desde la región Metropolitana hacia el sur y en zonas de gran altitud es posible hallar especies del bosque caducifolio pertenecientes al género *Nothofagus*, como hualo, raulí y roble de Santiago. En la zona andina también es posible encontrar una diversidad de vegetación dependiendo de la altitud, por encima de los 1.500 msnm aparece el matorral arborescente subandino donde es común el olivillo, mientras que cercano a los 3.000 msnm aparece la estepa altoandina donde predominan gramíneas y arbustos bajos; también en la cordillera andina habita un bosque de coníferas representada principalmente por el ciprés de la cordillera (Trivelli, 2014).
- c) Macro región Zona Sur: La alta cantidad de precipitaciones en la zona permiten el desarrollo de bosques templados como la Pluviselva Valdiviana, donde se presenta un tipo de bosque denso, heterogéneo y oscuro que está compuesto por especies laurifolias, es decir de hojas perennes, cuyo tamaño varía entre mediano y grande, y donde cohabitan una gran diversidad de plantas epífitas, lianas y helechos (Trivelli, 2014). También es frecuente encontrar bosques mixtos donde pueden crecer especies caducifolias y siempreverdes; en la región de la Araucanía y en los cordones montañosos es posible observar especies del género *Nothofagus* como el raulí o el roble coexistiendo con especies pertenecientes al bosque esclerófilo como el peumo. Por otro lado, los bosques siempreverdes están compuestos por diferentes especies de acuerdo a su disposición geográfica, en los sectores bajos y occidentales de la cordillera

de la Costa existe un predominio del olivillo que crece en conjunto con especies mirtáceas como el arrayán; mientras que, en sectores de mediana altitud destacan el coigüe y el ulmo. A partir de la región de Los Lagos y a medida que aumenta la altitud en ambas cordilleras la Pluviselva Valdiviana es sustituida por la Nordpatagónica, la cual se caracteriza por la disminución progresiva de la riqueza florística producto del descenso en las temperaturas, provocando la desaparición de especies como el ulmo y el olivillo, y dando paso a la aparición de especies como el coigüe, luma y canelo. Finalmente, el bosque de Araucaria Araucana presenta una distribución geográfica dispersa pudiendo hallarse en la cordillera de la Costa en el tramo de Nahuelbuta, así como también en laderas y cumbres de la cordillera de Los Andes, especialmente entre las regiones del Biobío y la Araucanía, acompañados de especies como la lenga y el coigüe (Luebert & Plissock, 2006; Trivelli, 2014).

1.3.4 Actividad económica

La actual configuración económica y demográfica de Chile es resultado de las reformas implementadas durante el régimen militar en las décadas del 70' y 80', cuyo objetivo principal fue la reconversión productiva de la economía para lograr *“la inserción temprana del país a los procesos de globalización”* (Kay, 2002 en Canales & Canales-Cerón, 2016, p. 11). Para lo cual, fue necesario pasar de un sector urbano-industrial a sectores productivos regionales que gozaran de algunas ventajas comparativas en el comercio exterior, como fue el caso del desarrollo minero en el norte, y la modernización de la agroexportación en la zona centro y sur del país (Canales & Canales-Cerón, 2016). A continuación, se realizará una síntesis económica de cada una de las macro regiones de estudio:

a) Macro región Norte Chico (región de Coquimbo): En el año 2019 el PIB regional alcanzó los 4.300 miles de millones de pesos, donde la mayor participación la tuvieron las actividades económicas correspondientes a la “Minería” con un 25,9%, seguido de los “Servicios Personales” con un 13,1%, y los “Servicios financieros y empresariales” con un 9,7%; en cuanto al PIB silvoagropecuario éste alcanzó los 295 mil millones de pesos, correspondiente al 6,7% del PIB silvoagropecuario a nivel país (Banco Central de Chile, 2019). De acuerdo con el VII Censo Agropecuario y Forestal, en el año 2007 la región destinó un total de 152.136,5 ha al rubro silvoagropecuario, equivalente al 3,4% de la superficie silvoagropecuaria nacional, cuyo uso principal correspondía a plantas forrajeras con un 54,5%, seguido de frutales con 20,3%, viñas y parronales con 8%, y hortalizas con un 7,5% (ODEPA, 2018). Con respecto a estas últimas, es importante mencionar que la región es de gran relevancia en la oferta de hortalizas de consumo interno, representando el 12% de la superficie hortícola nacional (11.399,6 ha), donde destacan cultivos como la alcachofa, la lechuga, el poroto verde y el ají (ODEPA, 2018).

b) Macro región Zona Central: En el año 2019 el PIB macro regional alcanzó los 100.625 miles de millones de pesos, donde la mayor participación la tuvieron las actividades económicas correspondientes a los “Servicios financieros y empresariales” con un 19,7%, seguido del “Comercio, restaurantes y hoteles” con un 14,4% y los “Servicios personales” con un 13,8%; en cuanto al PIB silvoagropecuario éste alcanzó los 3.174 miles de millones de pesos,

correspondiente al 72,4% del PIB silvoagropecuario a nivel país (Banco Central de Chile, 2019). De acuerdo con el VII Censo Agropecuario y Forestal, en el año 2007 la macro región destinó un total de 2.639.954,6 ha al rubro silvoagropecuario, equivalente al 59,4% de la superficie silvoagropecuaria nacional, cuyo uso principal correspondía a plantaciones forestales con un 63,8%, seguido de frutales con 9,6%, plantas forrajeras con 6,7% y cereales con 6,6% (ODEPA, 2019). Con respecto a las hortalizas, la macro región concentra el 73% de la superficie hortícola nacional (70.003,20 ha), principalmente en las regiones Metropolitana, O'Higgins, Maule y Valparaíso, donde destacan cultivos como el choclo, la cebolla, la lechuga y el poroto granado (ODEPA, 2019).

c) Macro región Zona Sur: En el año 2019 el PIB macro regional alcanzó los 10.733 miles de millones de pesos, donde la mayor participación la tuvieron las actividades económicas correspondientes a los “Servicios personales” con un 18,1%, seguido de la “Industria manufacturera” con un 15,5%, y el “Transporte, información y comunicaciones” con un 9,7%; en cuanto al PIB silvoagropecuario éste alcanzó los 747 mil millones de pesos, correspondiente al 17% del PIB silvoagropecuario a nivel país (Banco Central de Chile, 2019). De acuerdo con el VII Censo Agropecuario y Forestal, en el año 2007 la macro región destinó un total de 1.469.902,5 ha al rubro silvoagropecuario, equivalente al 33,1% de la superficie silvoagropecuaria nacional, cuyo uso principal correspondía a plantaciones forestales con un 63,1%, seguido de plantas forrajeras con 15,3%, cereales con 14,4% y cultivos industriales con 2,1% (ODEPA, 2019). Con respecto a las hortalizas, la macro región concentra el 9% de la superficie hortícola nacional (8.632,9 ha), principalmente en las regiones de la Araucanía y Los Lagos, donde destacan cultivos como la arveja verde, la zanahoria, la papa y la lechuga (ODEPA, 2019).

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general:

Evaluar la amenaza por el establecimiento potencial de las plagas exóticas invasoras *Bagrada hilaris* y *Halymorpha halys* entre las regiones agrícolas de Coquimbo y Los Lagos

1.4.2 Objetivos específicos:

- 1- Analizar la distribución geográfica potencial de las especies *B. hilaris* y *H. halys* en las regiones agrícolas consideradas
- 2- Cuantificar la superficie de suelo agrícola regional amenazada por el establecimiento potencial de las dos plagas invasoras

Capítulo II: Estado del Asunto

2.1 Invasiones biológicas

2.1.1 Transición de Especie Exótica a Invasor

Durante miles de años el ser humano ha sido un agente de distribución de especies, situación que se ha tornado preocupante en los últimos dos siglos, debido a la expansión del comercio, la migración y el transporte, convirtiéndose en un factor importante del reordenamiento de los seres vivos en el planeta. Repercutiendo en el incremento de arribos de especies exóticas hasta en los hábitats más recónditos, mediante barreras topográficas y climáticas “*que antiguamente se creían insuperables, tales como océanos, cadenas montañosas y zonas climáticamente hostiles*” (Mack et al, 2000, p. 2).

Las Especies Exóticas (EE) corresponden a aquellos taxones de plantas, animales y/o microorganismos, que son transportados de forma premeditada o involuntaria por la intervención antrópica, hacia nuevas regiones biogeográficas distintas a la de su origen natural (*ver Figura N° 3*). La sobrevivencia de estos inmigrantes es incierta, a causa de las masivas extinciones que se generan desde que son transportadas hasta su arribo al nuevo sitio (Carvalho, 2009). La mayoría de ellos muere en el trayecto, quedando una pequeña fracción de sobrevivientes. De los que logran llegar a su destino, posiblemente una gran cantidad será aniquilada rápidamente por factores biológicos, como patógenos y predadores, y/o físicos, que constituyen condiciones ambientales poco favorables para su asentamiento (Van Driesche et al, 2007).

A pesar del extenso proceso reductor que deben soportar las EE, algunas logran potencialmente establecerse y naturalizarse, habitualmente en zonas desprovistas parcial o completamente de vegetación nativa, como las orillas de los caminos, los predios agrícolas y los lugares deforestados (Avenidaño et al, 2015). Reproduciéndose casi la totalidad dentro de su sitio de introducción, sin causar alteraciones ambientales significativas en el ecosistema receptor. Sólo unas cuantas se convertirán en Especies Exóticas Invasoras (EEI), llegando a constituir poblaciones autónomas de tamaño considerable, capaces de propagarse a gran velocidad y dispersarse más allá de las fronteras de su área de distribución geográfica; donde su linaje prolifera, dispersa y persiste, en perjuicio de la biodiversidad y las comunidades nativas (Mack et al, 2000).

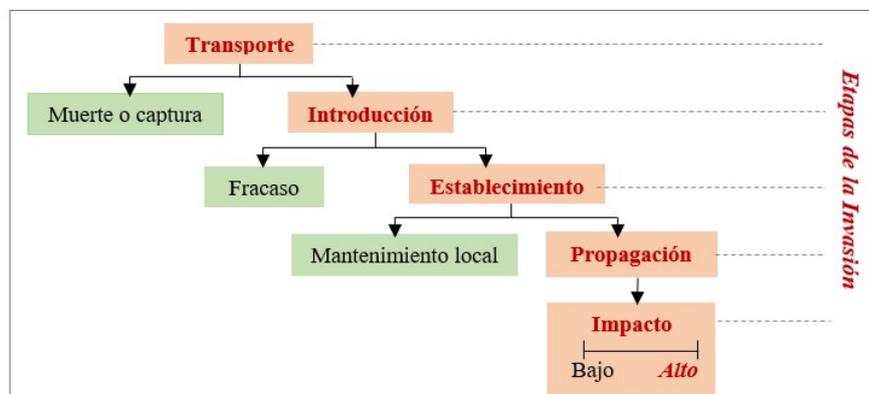


Figura N° 3. Factores claves en el proceso de invasión. Elaboración propia adaptado de Lockwood et al, 2007.

2.1.2 Consecuencias de las EEI en la agricultura

Actualmente, las especies exóticas invasoras (EEI) son consideradas el segundo factor de mayor importancia en la pérdida de la biodiversidad global, antecedida únicamente por la destrucción del hábitat (Aguilar, 2005), y una de las principales causantes del cambio ambiental global, en conjunto con los cambios oceánicos y atmosféricos de origen antrópico (Mack, 2000). Debido, a que son capaces de producir alteraciones radicales, no tan sólo en las estructuras de las comunidades autóctonas, sino que también en las propiedades de los ecosistemas, en la organización de las redes tróficas y en el ciclo de nutrientes, repercutiendo en las dinámicas poblacionales, y en el flujo de materia-energía entre los organismos vivos y el medio ambiente que ha sido invadido (Ganduglia et al, 2016). Lo que afecta la calidad y disponibilidad de los servicios ecosistémicos, como el agua dulce, la provisión de alimentos y los recursos naturales, que son esenciales para la supervivencia de la sociedad y la de su sistema económico (Avendaño et al, 2015).

En la agricultura los animales exóticos fitófagos como algunas especies de insectos, ácaros, aves, caracoles y roedores son considerados plagas, dado que pueden disminuir el rendimiento y la calidad de los cultivos agrícolas, además de incrementar sus costos de producción (*ver Figura N° 4*). Dichos gastos sumados a la implementación de medidas para el control y erradicación de plagas conlleva a un aumento de los precios de los productos hortícolas nacionales y constituye un impuesto extra en la elaboración de los alimentos finales, lo que repercute gravemente en la economía y la seguridad alimentaria especialmente de aquellos países de bajos ingresos (Mack et al, 2000; Falconí, 2013). Además, los cultivos de exportación que se ven afectados por alguna plaga pueden quedar excluidos de la demanda internacional con el fin de proteger los sistemas agrícolas locales de los países restantes, o permanecer condicionados a estrictas normas de precaución que limitan su comercialización, generando una caída de su precio y conllevando a consecuencias económicas mucho mayores que las pérdidas directas de la producción (FAO, 2001).

Se estima que las plagas agrícolas generan una pérdida mundial para la agroindustria de más de US \$500 mil millones de dólares anuales, y también implican una intensificación del uso de pesticidas convencionales lo que ocasiona graves consecuencias para el medio ambiente y el ser humano (Alaniz et al, 2020). De acuerdo con Oerke et al (1994) las plagas de insectos generan pérdidas de más del 15% de la producción potencial de los cultivos de algodón, arroz, café, cebada, maíz, patata, soja y trigo, además contribuyen al 35% de las mermas que se producen en las fases de almacenamiento, transporte, procesado, comercialización y destrío del producto cosechado (en Jiménez-Díaz et al, 2017). En base a estimaciones recientes sólo en EEUU las pérdidas de cultivos causadas por insectos y patógenos invasores alcanzan los \$40 mil millones de dólares por año, resultando en un alto costo económico incluso para un país del primer mundo (Convención de las Naciones Unidas de Lucha contra la Desertificación, 2017). Otro dato relevante es que las pérdidas generadas por sólo cinco micosis vegetales en cinco cultivos agrícolas en el año 2010 hubieran sido suficientes para alimentar al 8,5% de los 7.000 millones de personas que comprendían la población mundial en el año 2011 (Fisher et al, 2012).

En Chile la situación es similar, ya que, se estimó que la presencia de sólo cuatro especies exóticas invasoras: conejo, jabalí, avispa chaqueta amarilla y zarzamora, generan una pérdida anual aproximada de \$73,6 millones de dólares para la agricultura y otros sistemas productivos; y que en caso de no ser controladas la pérdida anual proyectada en 20 años ascendería a más de \$1.467 millones

de dólares (Cerde et al, 2018). Si bien, son pocas las especies exóticas introducidas que llegan a alcanzar el estatus de plaga debido a “*las particulares condiciones ambientales necesarias para su desarrollo, y por la existencia de agencias de control sanitario como el Servicio Agrícola y Ganadero (SAG) que mantienen un férreo control de su transporte y crecimiento*” (Carvalho, 2009, p. 16), se debe considerar que muchas veces las invasiones biológicas se producen silenciosamente y de modo inadvertido, producto de los períodos de latencia y adaptabilidad relativamente prolongados donde las características de cada una de las especies quedan enmascaradas, lo que dificulta la identificación de futuras plagas agrícolas de importancia económica (Capdevila et al, 2013).

El período de latencia es el intervalo de tiempo que transcurre entre la llegada de los inmigrantes y su posterior proceso expansivo, donde comienza a visualizarse la alteración del sistema biológico y económico (Mack, 2000; Capdevila et al, 2006). Ejemplo de ello, es el hecho de que la mayoría de las plagas entomológicas presentes actualmente en la agricultura chilena son de origen foráneo, habiendo ingresado al país voluntaria o involuntariamente por acción del ser humano desde tiempos de la colonia, especialmente durante el siglo pasado debido al mayor volumen en el tráfico mundial y en el comercio de importación de productos agropecuarios (González, 2015; SAG, 2021). De acuerdo a lo planteado por diferentes autores las consecuencias de las introducciones de especies exóticas más recientes podrían no manifestarse hasta dentro de un par de décadas, generando una acumulación adicional de plagas en el futuro conocido como deuda de invasión (Mack et al, 2000; Capdevila et al, 2013). Como podría ser el caso de las plagas cuarentenarias presentes *Bagrada hilaris* y *Halymorpha halys* que se introdujeron en Chile hace menos de 10 años y que ya han comenzado a generar estragos en diferentes cultivos agrícolas, encontrándose en la etapa de propagación de la invasión (Carvajal et al, 2018; SAG, 2020). Comprendiéndose por plagas cuarentenarias presentes, a aquellas especies que si bien no están extendidas en el territorio son capaces de producir daños de importancia económica para el área en peligro y se encuentran bajo control oficial (FAO, 1996; SAG, 2018).

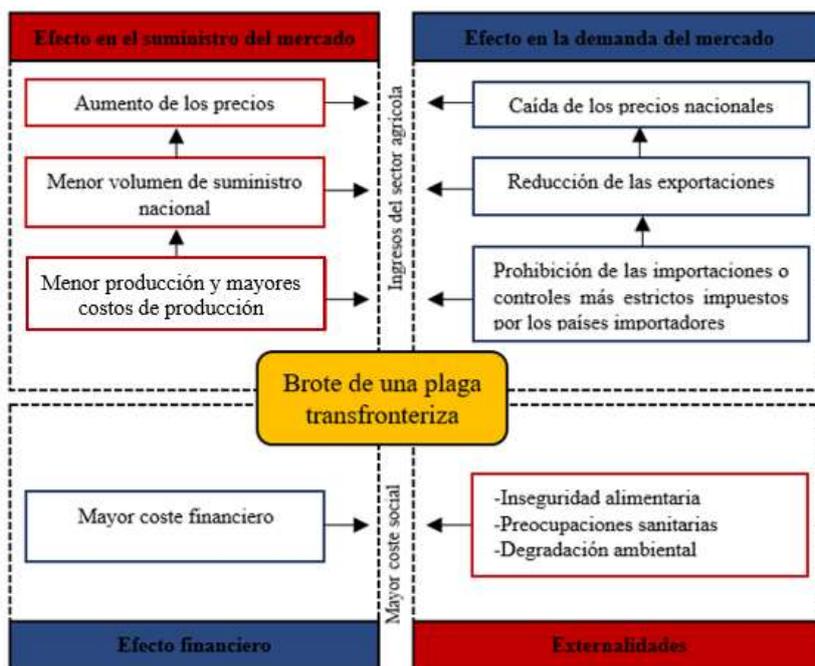


Figura N° 4. Efectos económicos potenciales por la introducción de una plaga agrícola transfronteriza. Fuente: Elaboración propia en base a la FAO, 2001.

2.2 Nicho ecológico

2.2.1 Área de distribución de especies

Los primeros investigadores que se dedicaron al estudio de las ciencias naturales tenían conocimiento de la variación existente entre determinados grupos taxonómicos y las condiciones ambientales del espacio en el que habitaban; no obstante, no fue hasta el siglo XVII, que con las primeras expediciones se pudo corroborar “*una discontinuidad en la distribución de las especies a lo largo del planeta*” (Maciel-Mata et al., 2015, p. 3). Iniciando consigo la búsqueda científica de los factores que limitan la dispersión de animales, plantas y microorganismos. Algunos naturalistas, entre ellos Alexander Van Humboldt (1805) se percataron de que organismos de fisionomía similar habitaban regiones distantes con climas parecidos, como aquellos presentes en Sudamérica (Chile) y en la Cuenca Mediterránea. Y que, las regiones biogeográficas separadas por barreras naturales como océanos presentaban conjuntos de organismos de composición semejante; tal es el caso de Sudamérica y África separadas por el océano Atlántico (San Martín, 2012).

A partir de la segunda mitad del siglo XX, con la formulación de la teoría de la evolución de Darwin (1859) y Wallace (1876) la visión inmovilista que se tenía entorno al dispersionismo de especies cambió, dando paso al planteamiento de que la biota tiene un centro de origen a partir del cual algunos ejemplares se dispersan colonizando nuevas áreas, donde posteriormente evolucionan producto de la selección natural (San Martín, 2012). En este sentido, el concepto de área de distribución puede ser entendido como aquella fracción del espacio geográfico habitada por una especie, la cual “*interactúa de forma no efímera con el ecosistema*” (Zunino & Palestrini, 1991, p. 86); donde su presencia o ausencia estará condicionada por el cruce de factores fisiológicos, ecológicos, así como también biogeográficos (Zunino & Zullini, 2003).

Si bien el área de distribución de especies es un concepto concreto, “*involucra procesos y/o patrones verdaderamente complejos*” (Maciel-Mata et al, 2015, p. 5) que dificultan su cuantificación, producto del dinamismo espacial de contracción y expansión que experimenta toda distribución a lo largo del tiempo. En función de la tolerancia fisiológica del organismo y de la amplitud de su nicho ecológico, en ciertas ocasiones la dinámica espaciotemporal puede verse modificada por el cambio climático, repercutiendo paulatinamente en su localización final (Maciel-Mata et al, 2015). Es decir, si el organismo posee un nicho de gran amplitud podría sufrir una reducción de éste, o por el contrario si posee un nicho limitado podría expandirse. Por lo cual, resulta imprescindible aumentar el estudio de los patrones de distribución de especies invasoras en el ámbito agrícola, con el propósito de prever y evaluar sus repercusiones presentes y futuras en la demanda alimenticia global; dotando a los responsables de la generación de políticas públicas de información base para la orientación de sus esfuerzos a la prevención, control y/o erradicación de plagas (Olvera-Vargas et al, 2012).

2.2.2 Surgimiento del concepto de nicho ecológico

Uno de los conceptos fundamentales dentro del campo de la Ecología es el de nicho ecológico, el cual emerge a principios del siglo XX a raíz de las similitudes detectadas entre las diferentes formas de vida, las distribuciones geográficas y las relaciones tróficas de cada una de las especies (Milesi & López, 2005). En el ámbito teórico ha sufrido constantes transformaciones, derivadas de las distintas interpretaciones que le han otorgado cada una de las perspectivas antropocéntricas (Maciel-Mata et al, 2015). La construcción de su significado actual recae principalmente sobre los aportes de los ecólogos Johnson, Grinnell, Elton y Hutchinson, que buscaban identificar patrones en el comportamiento de los organismos y su relación con el hábitat ocupado (Eliosa et al, 2010; Pliscoff & Fuentes-Castillo, 2011).

El concepto de nicho como término ecológico fue empleado por primera vez por Johnson en 1910, como *“la unidad de distribución determinada por el suministro de alimento y por factores ambientales”* (Eliosa et al, 2010, p. 64), otorgándole el sentido casi instintivo que conserva hasta hoy en día. Siete años más tarde, Joseph Grinnell (1917) lo definió como la localización de una especie condicionada por las limitaciones de la estructura física del hábitat y las condiciones ambientales en que se emplaza, vinculado a sus requerimientos de sobrevivencia y reproducción (Granado, 2000; Soberón, 2007). El nicho Grinnelliano sería equivalente a un microhábitat que en espacio y tiempo puede ser ocupado por un único organismo, y que sólo en caso de vaciarse daría paso al establecimiento de otro (Eliosa et al, 2010; Peterson et al, 2011). Principio conocido como exclusión competitiva que fue desarrollado a profundidad por Gause (1934), donde se recalca *“la relación biunívoca entre nicho y especie”* (Marone, 1988, p. 12).

En 1927 Elton planteó un concepto de nicho ecológico sustancialmente diferente al propuesto por Grinnell, al considerar que la distribución de los animales no se encuentra determinada por factores ambientales, sino que, por el rol de estos dentro de su comunidad y la relación con el resto de las especies basado en sus hábitos alimenticios (Cox, 1980 & Schoener, 1989 en Díaz, 2006). Además, un nicho podría estar ocupado por más de un organismo, o un organismo podría establecerse en más de un nicho, lo que conllevaría a una competencia por recursos finitos dentro de un espacio común (Collwell & Rangel, 2009).

Finalmente, se le atribuye a Hutchinson (1857) el primer intento por integrar cada una de las teorías que se venían desarrollando desde Grinnell y Elton, así como también sus propias conclusiones. Proponiendo un enfoque desde *“la relación de los componentes que limitan la distribución de las especies, en base a sus tolerancias y/o requerimientos”* (Núñez, 2016, p. 29); entre los cuales se pueden hallar factores ambientales, bióticos y abióticos. El nicho hutchinsoniano puede ser definido como un hipervolumen n-dimensional, donde convergen las condiciones ambientales requeridas para que la especie pueda sobrevivir en forma indefinida (Pliscoff & Fuentes-Castillo, 2011; Martínez, 2013). Pero dichas áreas potenciales son mayores a aquellas en que realmente se encuentra o ha sido observado el organismo, producto de las especies con las que interactúa (Chase & Leibold, 2003 en Vásquez, 2005).

2.2.3 Diagrama BAM

Uno de los esquemas heurísticos de mayor utilidad para la comprensión de la distribución de especies es el denominado diagrama BAM (ver *Figura N° 5*), compuesto por la interacción entre los factores bióticos (B), abióticos (A) y de movilidad (M) dentro del espacio geográfico; que en conjunto representan una visión estática de un complejo modelo multiespecies (Soberón & Nakamura, 2009). Donde el grupo “B” representa la región geográfica con condiciones bióticas favorables para la existencia y presencia de poblaciones de especies, siendo determinada principalmente por la interacción positiva con otros organismos. El grupo “A” corresponde a la región donde las variables escenopoyéticas y los recursos existentes posibilitan tasas de crecimiento viables, equivalente al nicho fundamental. Mientras que el grupo “M” relacionado con el movimiento individual, concierne a la región geográfica accesible para la dispersión y colonización de la especie en un intervalo de tiempo determinado (Soberón & Nakamura, 2009; Peterson et al, 2011; Peterson & Soberón, 2012).

A partir de la intersección de los tres factores principales surgen diferentes subregiones. Una de ellas corresponde al área de distribución ocupada por la especie (“ G_0 ”), expresada como $G_0 = A \cap B \cap M$; en la cual confluyen tanto los factores abióticos como bióticos y de movilidad necesarios para la sobrevivencia y reproducción de la población, concernientes al nicho realizado (Gaston, 2003; Peterson et al, 2011). Por otro lado, aquella área adecuada en términos bióticos se denomina “ G_A ”, equivalente a la región “A” donde se cumplen las condiciones de nicho fundamental (Peterson & Soberón, 2012). Mientras que la subregión “ G_1 ” expresada como $G_1 = A \cap B \cap M^c$, corresponde a la zona que puede ser potencialmente invadida por un organismo pero que éste no puede colonizar, debido a su incapacidad de superar las barreras que limitan su dispersión (Soberón et al, 2017). Finalmente, los puntos negros que se encuentran en el centro de las condiciones ambientales representan los datos de presencia, mientras que los de color blanco las ausencias (Romero & García, 2014).

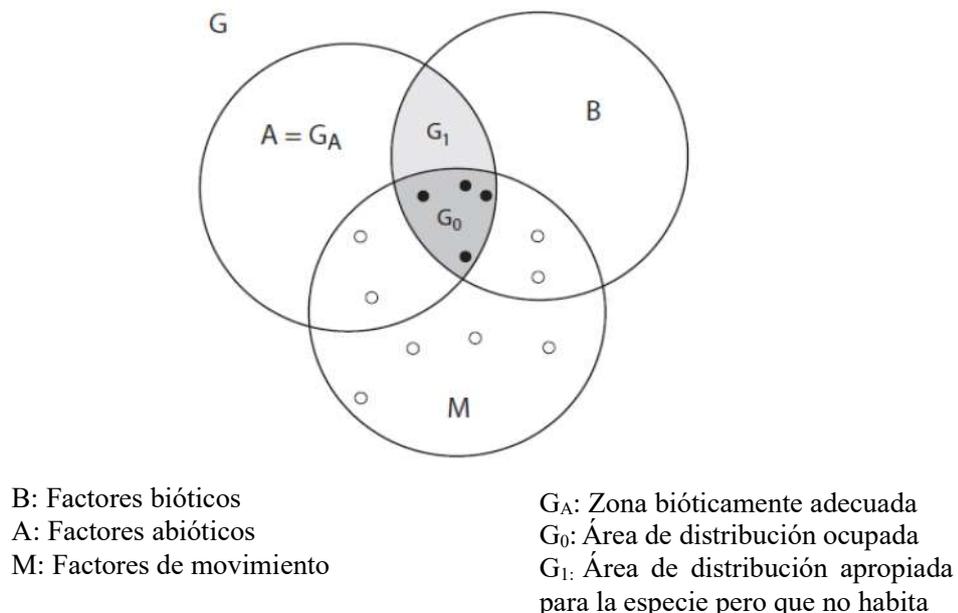


Figura N° 5. Dispositivo heurístico simplificado, denominado Diagrama de BAM. Fuente: Peterson et al, 2011.

2.3 Modelos de Distribución de Especies

2.3.1 Definición y primeras aproximaciones

En las últimas décadas, debido a los avances en el desarrollo de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) y de las técnicas de estadística aplicada, el campo de la biogeografía ha visto incrementada la disponibilidad de herramientas predictivas destinadas al análisis de los patrones de distribución de los organismos en el espacio geográfico (Pliscoff & Fuentes-Castillo, 2011). Estos corresponden a los llamados Modelos de Distribución de Especies (MDE) o también conocidos como Modelos de Nicho Ecológico (MNE), que son representaciones cartográficas generadas mediante algoritmos computacionales que en función de registros de presencia comprobados y variables medioambientales empleadas, permiten predecir áreas geográficas potencialmente idóneas para el desarrollo de una especie (Peterson, 2001; Mateo et al, 2011).

Los MDE tienen sus orígenes estrictamente a finales de la década de los 70', con los primeros modelos teóricos que buscaban “*definir el nicho en términos de su distribución espacial*” (Pliscoff & Fuentes-Castillo, 2011, p. 63); sin embargo, los primeros esfuerzos datan del año 1924 con la predicción del comportamiento de un cactus invasor en Australia, y posteriormente, en 1963 con el estudio de diferentes especies en el continente europeo (Guisan & Thuiller, 2005 en Herrera, 2012). Desde entonces, estos modelos se han convertido en una de las áreas de investigación de mayor relevancia y desarrollo dentro del campo de la biogeografía de la conservación, debido a su capacidad predictiva del espacio geográfico, tanto para condiciones pasadas como futuras de cambio climático (Zimmermann et al, 2007; Pliscoff & Fuentes-Castillo, 2011).

2.3.2 Construcción de los modelos

Los MDE se construyen a partir de una serie de pasos (ver *Figura N° 6*), “*los cuales presentan múltiples alternativas de ejecución que influyen en la calidad del resultado final*” (Mateo et al, 2011, p. 218). El primero de ellos, corresponde a la asociación matemática de dos fuentes de información: los registros de ocurrencia de una especie y un set de variables ambientales utilizadas como indicadores, que en conjunto delimitan las condiciones favorables del espacio ambiental para el desarrollo del organismo (Guisan & Thuiller, 2005 en Herrera, 2012). De confirmarse alguna relación entre las fuentes, se lleva a cabo la aplicación de los pasos de: calibración, evaluación, predicción y proyección espacial; donde la técnica de modelación seleccionada se encarga de extrapolar la distribución en tiempo y espacio a toda el área de estudio, generando valores binarios para cada punto del terreno correspondiente a la idoneidad de presencia de la especie (Pliscoff & Fuentes-Castillo, 2011).

(i) Selección de fuentes de información:

Los datos de presencia son puntos constatables de la localización de un organismo, habitualmente provenientes de muestreos o avistamientos en terreno, y de colecciones de historia natural, tales como museos y herbarios; algunos de los cuales es posible acceder de forma gratuita vía internet (Mateo et al, 2012). La mayoría de las investigaciones publicadas han optado por basarse en este tipo de registros, debido a la existencia de programas computacionales capaces de generar por sí mismos

conjuntos de pseudoausencias distribuidos aleatoriamente en el espacio (Pliscoff & Fuentes-Castillo, 2011; Kriticos et al, 2017). Con respecto al número ideal de presencias, en la literatura se ha establecido un mínimo de 35 registros por especie para la obtención de modelos estadísticamente válidos (Wisz et al, 2008; Van Proosdij et al, 2016); por el contrario, aún no se ha definido adecuadamente un máximo, por lo que ciertos autores han planteado *“incorporar el mayor número de presencias disponibles, independiente de la calidad de la información”* (Pliscoff & Fuentes-Castillo, 2011, p. 66). Ejemplo de ello es el estudio de un ciervo invasor en Australia, cuyos autores utilizaron 10.000 puntos de presencia logrando excelentes resultados (Gormley et al, 2011).

Por otro lado, el set de variables ambientales corresponde usualmente a aquellas coberturas bioclimáticas pasadas, actuales y/o futuras que cumplen simultáneamente con tres criterios de selección: (1) son potencialmente explicativas, es decir, están vinculadas con los patrones de distribución de la especie, ya sea como factor limitante, o bien como regulador mediante relaciones indirectas; (2) poseen una variabilidad significativa en el área de estudio; y (3) no se encuentran excesivamente correlacionadas entre sí (Mateo et al, 2011). Además, su extensión debe ser mayor que el área modelada para evitar sesgos por el denominado “efecto borde” (Mesquita & Sousa, 2009). La identificación de estas covariables mediante algoritmos sintetizadores resulta crucial para el mejoramiento de las predicciones de los modelos, ya que permite una interpretación biológica más certera de los resultados (Cruz-Cárdenas et al, 2014).

(ii) Calibración y evaluación de los modelos:

La calidad de los resultados finales puede verse afectada por la recopilación indiscriminada de datos y muestreos erróneamente georreferenciados, especialmente cuando se localizan en zonas ambientalmente distintas a las presencias reales del organismo, como es el caso de aquellos puntos cercanos a territorios insulares, cuerpos de agua y polos geográficos (Pliscoff & Fuentes-Castillo, 2011). Este sesgo ambiental puede ser definido como *“el nivel de incertidumbre que maneja determinado modelo producto de las preferencias personales de quienes recolectan los registros”* (Núñez, 2016, p. 38); al ser un factor difícil de eliminar se recomienda la ampliación de las bases y fuentes de datos, tanto como sean posible. Situación que quedado demostrada en diferentes estudios con la obtención de resultados fiables a partir de muestreos oportunistas (Kadmon et al, 2004; Sinclair et al, 2010). Una vez solucionados los sesgos y elaborados los modelos, el programa arroja una serie de archivos que le permiten al investigador identificar la validez de las predicciones realizadas, entre los cuales se encuentra la curva de respuesta AUC, con valores de confiabilidad entre 0 y 1 (Pliscoff & Fuentes-Castillo, 2011).

(iii) Predicción y proyección espacial:

Después de que los modelos hayan sido calibrados y evaluados, mediante la utilización de programas como ArcGis, el ráster de salida con los valores binarios de idoneidad es transferido al espacio geográfico para ser representado en formato cartográfico (Pliscoff & Fuentes-Castillo, 2011). Esta distribución potencial no sólo puede ser proyectada en el presente, sino que, también en escenarios pasados y futuros de cambio climático, para lo cual es necesario contar con variables ambientales predictoras correspondientes a dichos tiempos; de acuerdo con diversos autores la forma más común de obtenerlas es mediante el uso de Modelos Climáticos Globales (Pliscoff & Fuentes-Castillo, 2011;

Martínez, 2016; Carvajal et al, 2018). La proyección multi temporal ha resultado ser de gran relevancia para evaluar el impacto de especies invasoras en los ecosistemas receptores, de tal forma de poder elaborar planes de prevención, control o erradicación con fines ecológicos y socioeconómicos (Peña-Gómez et al, 2014).

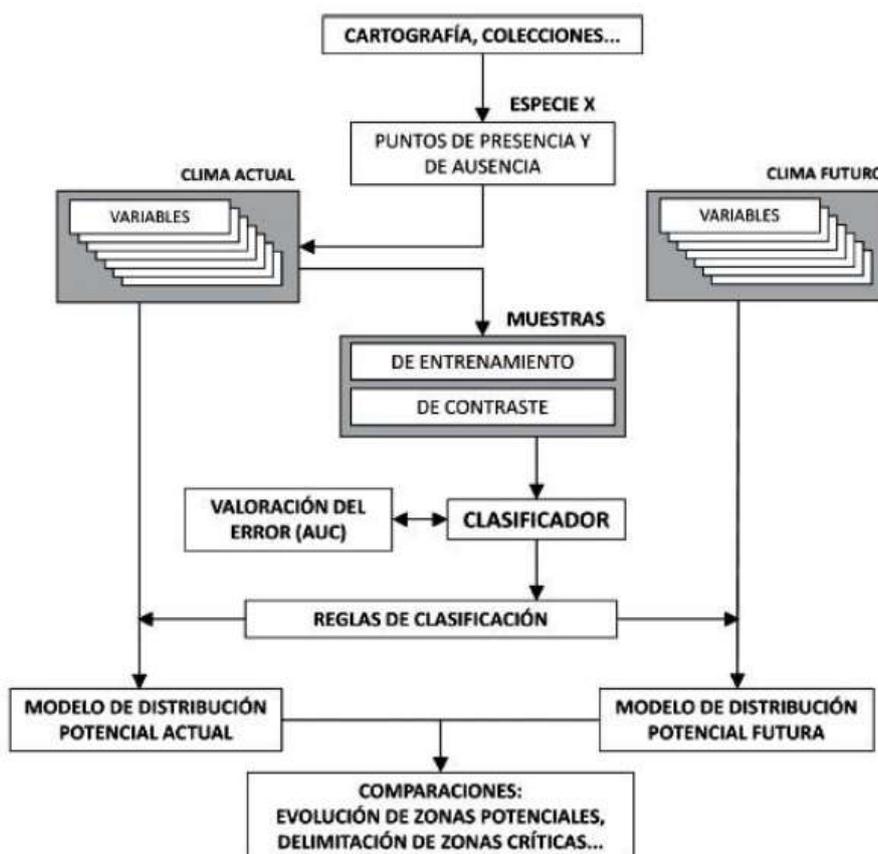


Figura N° 6. Esquema de flujo de trabajo para la realización y validación de modelos de distribución de especies. Fuente: Mateo et al, 2011.

2.3.3 Técnicas de modelación de especies

De acuerdo con Pliscoff & Fuentes-Castillo (2011), las técnicas de modelación de la distribución geográfica de especies pueden ser agrupadas en cuatro grandes familias: los modelos estadísticos de regresiones, los métodos de clasificación, los métodos de “sobre”, y los que se basan en algoritmos específicos; añadiendo un último grupo denominado “ensambles de técnicas” utilizados para la obtención de modelos de consenso, que *“permiten disminuir los sesgos y limitaciones propias del uso individual de las técnicas estadísticas anteriormente mencionadas”* (Pliscoff & Fuentes-Castillo, 2011, p. 63).

(i) Modelos estadísticos de regresiones:

Uno de los avances estadísticos más relevantes de los últimos 30 años corresponde al desarrollo de los modelos de regresión múltiple, integrados por los Modelos Lineales Generalizados (GLM) y los Modelos Aditivos Generalizados (GAM). Ambos enfoques han sido ampliamente utilizados en los diversos campos de la investigación científica debido a su sólida base estadística, que utiliza una función de enlace para establecer una relación asumida entre los datos de presencia conocida de la especie y sus variables explicativas (Guisan et al, 2002); lo que ha permitido la obtención de resultados más realistas en torno a la proyección del modelo final (Elith et al, 2006; Pliscoff & Fuentes-Castillo, 2011).

(ii) Métodos de clasificación:

Este tipo de métodos utilizan clasificaciones que se sustentan en reglas, donde a cada combinación de variables explicativas involucradas en la generación del modelo de distribución se le designa una clase. Dicha segmentación del espacio en pequeños nodos permite una selección más acertada de aquellos predictores relevantes; capacidad que le ha permitido convertirse en uno de los referentes dentro del ámbito predictivo (Prasad et al, 2006). Sin embargo, el conjunto de reglas que define la modelación final resulta ser muy compleja, dificultando su interpretación (Pliscoff & Fuentes-Castillo, 2011).

(iii) Métodos de “sobre”:

Dentro del área de modelación de especies los métodos de “sobre” son uno de los más antiguos. Están basados en combinaciones de rangos de valores mínimos y máximos de cada una de las variables predictoras seleccionadas para la definición del nicho, dando como resultado la delimitación del espacio n-dimensional de los predictores en el cual se encuentra la combinación deseada (Pliscoff & Fuentes-Castillo, 2011). En los últimos años, esta técnica ha ido quedando obsoleta en el área de la investigación, debido a su reducida flexibilidad en torno a la definición del espacio ambiental, sin considerar las interacciones de colinealidad entre variables y los efectos de autocorrelación espacial (Pliscoff & Fuentes-Castillo, 2011).

(iv) Algoritmos específicos para generar modelos de distribución:

En la última década se ha masificado el uso de métodos basados en algoritmos específicos, situación que ha quedado en evidencia con el aumento exponencial en el número de estudios y publicaciones asociados a modelos de este tipo, propiciado por *“la facilidad de su aplicación y la rapidez con que*

se pueden obtener resultados” (Pliscoff & Fuentes-Castillo, 2011, p. 64). Dentro de esta categoría se encuentran las técnicas Genetic Algorithm for Rule-set Production (GARP) y Maximum Entropy (MAXENT). GARP utiliza un algoritmo genético para desarrollar un conjunto de reglas que posibilitan la búsqueda de asociaciones entre variables ambientales predictoras y los datos de ocurrencia conocidos de la especie, siendo contrastadas con las características ambientales del área estudio (Elith et al, 2006; Illoldi-Rangel & Escalante, 2008). Permitiendo la generación de modelos finales en formato de mapas digitales fácilmente comprensibles, cuyas probabilidades de datos de ocurrencia son cuantificables (Illoldi-Rangel & Escalante, 2008).

Por otro lado, el software MAXENT se fundamenta en el algoritmo de máxima entropía, empleando una aproximación mecanicista para la generación de modelos a partir de datos de ocurrencia incompletos, que el mismo programa se encarga de rellenar (Phillips et al, 2006). Para lo cual, estima la distribución más uniforme en toda el área de estudio, con la condición de que el valor de cada característica ambiental concuerde con su promedio empírico (Elith et al, 2006); las cuales, posteriormente son ponderadas multiplicándolas por una constante, y divididas para garantizar valores de distribución probabilística entre 0 y 1 (Illoldi-Rangel & Escalante, 2008). En los últimos años, se ha masificado el uso de MAXENT como técnica de aprendizaje para la generación de modelos de distribución, principalmente por la solidez y precisión de sus resultados en términos de proyección espacial, que permiten identificar los nichos potenciales de las especies modeladas, y no solamente sus relaciones estadísticas (Phillips & Dudík, 2008; Pliscoff & Fuentes-Castillo, 2011).

(v) Ensamblajes de técnicas:

Uno de los métodos más recientes es la utilización de “ensambles de técnicas”, cuyo propósito es reducir las incertidumbres relacionadas a los modelos de distribución de especies, “*con relación a la validez estadística de los resultados*” (Pliscoff & Fuentes-Castillo, 2011, p. 64). Ejemplo de ello es el software BIOMOD programado en el entorno y lenguaje estadístico R, que permite generar modelos de consenso mediante el ensamblaje de nueve técnicas de modelación (Thuiller et al, 2009), utilizado mayoritariamente para el análisis de proyecciones de la distribución actual en el contexto de escenarios de cambio climático (Pliscoff & Fuentes-Castillo, 2011).

2.4 Aplicación de la Teledetección en la agricultura

2.4.1 Tratamiento y procesamiento de imágenes satelitales

La Teledetección es “*la técnica que permite obtener información a distancia de los objetos situados sobre la superficie terrestre*” (Chuvieco, 1990, p. 45), para lo cual es preciso que exista algún tipo de interacción entre los objetos observados y el sensor instalado en una plataforma, que en este caso es un satélite (López-Montecinos, 2019). Dicha interacción corresponde a un flujo energético que constituye una forma de radiación electromagnética, que de acuerdo a su origen puede ser: radiación terrestre emitida por los objetos (infrarrojo térmico), radiación solar reflejada por los objetos (luz visible e infrarrojo reflejado), o radiación emitida por el sensor y reflejada por los objetos (radar) (Universidad de Murcia, 2013).

Una vez que la radiación haya llegado a la superficie y atravesado la atmósfera los datos son almacenados en el centro de control del satélite como un conjunto de matrices compuesta por una representación discreta de Niveles Digitales (ND), que deben ser transformados a algún tipo de variable física para poder ser utilizados. Esto se debe a que la energía captada por el sensor experimenta una serie de interacciones con la atmósfera, provocando que la radiancia registrada no sea una representación exacta de la radiancia efectivamente reflejada por las cubiertas, es decir, “*la imagen satelital adquirida presenta una serie de anomalías con respecto a la escena real detectada*” (Subirá, 2013, p. 26). Para lo cual, las imágenes satelitales deben ser sometidas a tratamiento antes de ser analizadas, el cual consiste fundamentalmente en dos etapas: pre-procesamiento y procesamiento.

i) Pre-procesamiento

Durante esta etapa las imágenes satelitales previamente descargadas son sometidas a correcciones atmosféricas y geométricas con el propósito de compensar los errores sistemáticos de los datos digitales y excluir el ruido (Flood, 2014; Rodríguez & Gutiérrez, 2017). La corrección atmosférica se emplea para eliminar las distorsiones en los valores de radiancia que llegan al sensor desde la superficie terrestre producto de los gases y partículas en suspensión que se encuentran en la atmósfera (Chuvieco, 1990 en Rodríguez & Gutiérrez, 2017). Para lo cual, se puede recurrir desde la utilización de herramientas específicas del satélite con el cual se está trabajando hasta extensiones particulares que se pueden incorporar dentro de los Sistemas de Información Geográfica (Gis & Beers, 2018; Ávila-Pérez, 2020). Ejemplo de ello es la herramienta polaca GEOBIA, la cual además de corregir a nivel de radiancia y reflectancia las bandas espectrales del sensor *Operational Land Imager (OLI)* de las imágenes satelitales Landsat 8, aumenta su resolución espacial mediante la técnica de refinado pancromático o *pansharpening* (Urbanski, 2014; Picone, 2017; Zúñiga et al, 2018).

Mientras que, la corrección geométrica consiste en posicionar los píxeles de la imagen en la zona territorial correspondiente eliminando sus posibles distorsiones provocadas por la inclinación del sensor, la influencia del relieve y los errores sistemáticos asociados a la imagen (Cabrera et al., 2011). Para ello, es necesario tomar una muestra de puntos de control de objetos que resultan identificables utilizando como referencia una cartografía digital, y transformar el sistema de filas y columnas de los píxeles a un sistema de coordenadas geográficas en la proyección Universal Transversal de Mercator (UTM) (Ambrosio et al, 2002; Gis & Beers, 2018).

ii) Procesamiento

Una vez compensados los errores de la imagen satelital la siguiente etapa consiste en su clasificación digital por medio del análisis estadístico multivariado, donde cada uno de los píxeles es agrupado de acuerdo a sus características espectrales y asignado acorde a su probabilidad a cada una de las clases de la leyenda, teniendo en consideración combinaciones de bandas y filtros que permitan una buena separabilidad entre las diferentes coberturas o usos de suelo (Ruescas, 1999; LeDrew, 2005). Actualmente existen principalmente dos métodos de clasificación de imágenes, por un lado la clasificación no supervisada que funciona en base a probabilidades algorítmicas y la clasificación supervisada que considera parámetros establecidos por el analista (López, 2018). Si bien ambos métodos son bastante precisos y válidos, diversos autores han planteado que su uso combinado y complementario disminuye sus posibles desventajas logrando la obtención de mejores resultados (Alpaydin, 2004; Tso & Mather, 2009; Martín et al, 2012).

En la clasificación no supervisada se utilizan algoritmos computacionales que agrupan automáticamente los píxeles de una imagen en conjuntos homogéneos, que una vez interpretados son asignados a diferentes clases espectrales dependiendo del criterio estadístico que se adopte (Rodríguez & Gutiérrez, 2017). Este método se aplica cuando las características de la superficie son desconocidas, dando como resultado clases con suficiente separabilidad espectral que permiten diferenciar categorías puras de cobertura, teniendo como principal desventaja la posibilidad de que existan algunas agrupaciones que no puedan ser identificadas o descifradas (Basterra, 2011 en Saavedra et al, 2020).

Por otro lado, la clasificación supervisada presupone un conocimiento previo de la zona de estudio por parte del analista, que permite seleccionar en la imagen un conjunto de píxeles representativos de las distintas clases informacionales definidas en la leyenda, conocidas como áreas de entrenamiento, en base a las cuales el computador clasifica los patrones nuevos asignándoles una categoría de cobertura o de uso de suelo (López, 2018). Este método *“fuerza el resultado para que se corresponda con coberturas definidas por el usuario, pero no garantiza que las clases sean separables desde el punto de vista estadístico”* (Borrás et al, 2017, p. 56). Entre los algoritmos más utilizados se encuentra el de Máxima Verosimilitud, que calcula la probabilidad de que un píxel pertenezca a una determinada clase a partir de su vector de medias y la matriz de varianza-covarianza, formando conjuntos con respuestas espectrales similares (Gómez & Calderón, 2012).

2.4.2 Uso de la Teledetección en la identificación de zonas agrícolas

Actualmente, el uso de imágenes satelitales proporcionadas por sensores remotos se ha convertido en una herramienta fundamental para el desarrollo de la agricultura moderna, debido a su capacidad para medir la respuesta espectral de la superficie terrestre, la que al ser sometida a técnicas de procesamiento y reconocimiento de patrones mediante los Sistemas de Información Geográfica (SIG) genera información cartográfica cuantificable de las coberturas y los usos de suelo, tanto a escala local como regional (Pineda, 2011; Vite et al, 2019). Entendiéndose por el concepto de cobertura de suelo como un indicador biofísico que describe los materiales u objetos de origen natural o antrópico que cubren un determinado territorio, los cuales pueden ser agua, vegetación, suelo desnudo, asfalto, entre otros (López et al, 2014). Mientras que, por uso de suelo como un criterio socioeconómico que

hace referencia a la finalidad que el ser humano le asigna a los diferentes tipos de cobertura para producir bienes y servicios que satisfagan sus necesidades, como por ejemplo uso agrícola, residencial, comercial, industrial, etcétera (Borrás et al, 2017). Sin embargo, ambos conceptos están estrechamente relacionados, ya que, un tipo de cobertura puede comprender diferentes usos, así como un uso de suelo puede abarcar diferentes categorías de cobertura, razón por cual es habitual su utilización conjunta en el mapeo de información (Recio, 2009; Borrás et al, 2017).

Debido a las constantes transformaciones que se producen en el paisaje, resulta esencial contar con información cartográfica actualizada de las coberturas y los usos de suelo mediante la utilización de la Teledetección, para poder identificar la ubicación, extensión y distribución espacial de los diferentes cultivos agrícolas que se siembran en el territorio y de las zonas destinadas a este fin. Ejemplo de ello, ha sido el trabajo publicado por García & Martínez (2010) que mediante la utilización de imágenes de satélite Landsat 7 ETM+ y ASTER identificaron cultivos de arroz en algunas área de los departamentos de Tolima y Cundinamarca en Colombia; y el trabajo de Sánchez-Méndez & Arguijo-Hernández (2018) que haciendo uso de imágenes multispectrales del satélite Landsat 8 detectaron cultivos de café en las regiones cafetaleras Misantla y Coatepec en el estado de Veracruz en México. Resultando útiles como base para actuales o futuras investigaciones científicas, destinadas a mejorar la toma de decisiones incrementando la eficiencia del sistema agrícola y a orientar la planificación territorial para un desarrollo sustentable de la agricultura (Guillén et al, 2015).

2.5 Amenaza

El concepto de amenaza ha sido ampliamente utilizado en los diferentes enfoques del riesgo, pasando de ser comprendido como el fenómeno en sí mismo al peligro latente asociado a éste (Narváez et al, 2009). En este sentido, la amenaza es definida como la probabilidad de que ocurra un evento físico, ya sea, de origen natural, antrópico o socio-natural potencialmente desastroso en un sitio específico, con una magnitud y tiempo de duración suficiente como para generar efectos adversos sobre la salud humana, la infraestructura, el sistema productivo o el medio ambiente (Mejía, 2017; Oficina Nacional de Emergencia del Ministerio del Interior, 2018). En el caso de la presente investigación, la amenaza será entendida como la probabilidad de que dos especies de chinches altamente invasoras se establezcan en zonas agrícolas dedicadas a los cultivos, entre las regiones de Coquimbo y Los Lagos.

La modelación probabilística de la amenaza usualmente se cuantifica a través de mapas, donde se realizan zonificaciones para determinar el peligro potencial en áreas homogéneas o zonas de amenaza constante, permitiendo respaldar estimaciones que de otra manera podrían calificarse como simples apreciaciones, resultando ser un insumo esencial para el ordenamiento territorial y la toma de decisiones (Cardona, 2001).

Capítulo III: Planteamiento metodológico

En este capítulo se plantean los pasos metodológicos llevados a cabo para la realización de la presente investigación, los cuáles serán abordados a partir de cada uno de los objetivos específicos propuestos. En primer lugar, se detallan los modelos de distribución de las plagas *B. hilaris* y *H. halys* entre las regiones de Coquimbo y Los Lagos, y en segundo lugar, se cuantifican las zonas agrícolas amenazadas por su presencia. Para lo cual, se empleó la metodología de enfoque cuantitativo, por ser una fuente epistemológica con “*énfasis en la precisión de los procedimientos utilizados para la medición del objeto estudio*” (Cadena-Iñiguez et al, 2017, p. 1.605), utilizando Sistemas de Información Geográfica, Modelos de Distribución de Especies y el uso de Imágenes satelitales Landsat 8 (ver Figura N° 7).

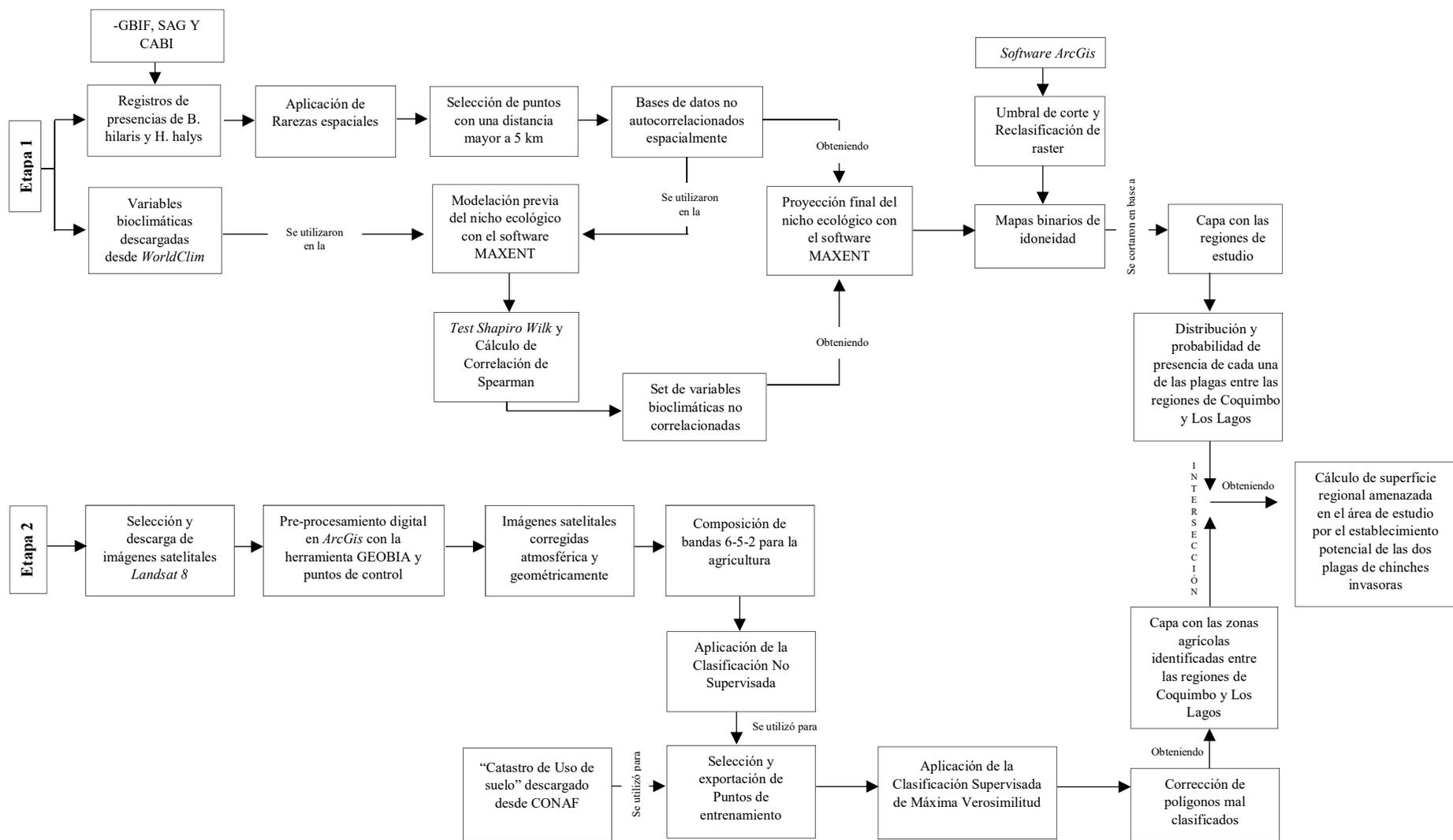


Figura N° 7. Esquema de los principales pasos metodológicos realizados en la presente investigación. Fuente: Elaboración propia.

3.1 Modelado de la distribución geográfica potencial de las plagas de chinches

3.1.1 Selección de especies exóticas invasoras

Del listado de “*Plagas cuarentenarias presentes (bajo control oficial)*” elaborado por el Servicio Agrícola y Ganadero (SAG, 2019) se seleccionaron las especies invasoras *Bagrada hilaris* y *Halymorpha halys*, dado que son consideradas mundialmente importantes por las pérdidas económicas que han provocado a nivel agrícola en los países en los cuales se han establecido (ver Figura N° 8) (Faúndez et al, 2017).



Figura N° 8. Plagas cuarentenarias de chinches presentes en Chile: a la izquierda *Bagrada hilaris* y a la derecha *Halymorpha halys*. Fuente: SAG, s.f.

3.1.2 Base de datos de ocurrencia

(i) Fondo Mundial de Información sobre la Biodiversidad

Los registros de presencia de cada especie corresponden a una compilación de datos mundiales, descargados de forma gratuita desde la plataforma del Fondo Mundial de Información sobre la Biodiversidad (GBIF, 2020). La cual, es una organización científica internacional destinada a almacenar y compartir antecedentes de la localización geográfica de determinadas especies alrededor del mundo; contruidos a partir de la revisión bibliográfica y las observaciones, tanto humanas, como con maquinarias. Desde este sitio se extrajeron únicamente las coordenadas de aquellos puntos de presencia inscritos después del año 1970 y que poseían una imprecisión menor a 1000; debido a que, su resolución temporal y espacial debía ser concordante con la de las variables climáticas que serán descritas más adelante.

(ii) Servicio Agrícola y Ganadero

De forma complementaria se utilizaron las publicaciones más actualizadas del Servicio Agrícola y Ganadero, por ser el principal organismo sanitario encargado de controlar y evitar el ingreso de plagas y enfermedades que puedan perjudicar la bioseguridad alimentaria. En ellas se mencionan los lugares en los cuales se ha detectado la presencia de ejemplares de las dos especies de chinches en el territorio nacional, mediante métodos de captura en trampas de luz, prospecciones urbanas y observaciones antrópicas en cultivos.

Para el caso de la plaga *Bagrada hilaris* se extrajo desde la “*Reunión de la Comisión Nacional Hortícola*” (SAG, 2017) el listado de comunas donde la plaga ha sido encontrada, en base al cual se utilizó el software ArcGis 10.6 para exportar desde la capa de división comunal aquellas áreas de interés. Debido a que el *shapefile* resultante se encontraba en formato geométrico poligonal, mediante la herramienta *Feature to point* se transformó a uno de puntos (ver Figura N° 9); al cual se le añadió en su tabla de atributos las coordenadas geográficas calculadas, obteniendo el registro virtual de puntos de presencia. Este resultado aproximado no sería perjudicial para la investigación, ya que, en el caso del algoritmo Maxent, éste selecciona aleatoriamente aquellos puntos de ocurrencia que serán destinados para entrenar (75%) y validar el modelo (25%), generando zonas de pseudo-ausencia (Correia, 2019).

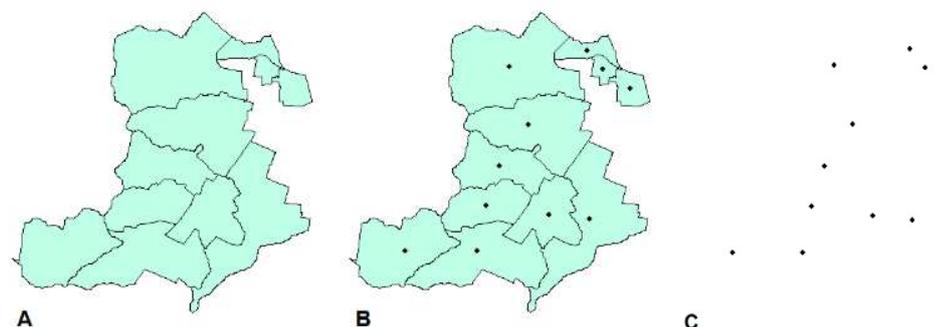


Figura N° 9. Cálculo de puntos centroides a partir de entidad vectorial. *A* representa los polígonos iniciales, mientras que *B* y *C* los polígonos transformados a puntos. Fuente: Elaboración propia

Para la segunda plaga se descargaron las imágenes satelitales contenidas en la presentación “*Halymorpha halys, Hemiptero: Pentatomidae*” (SAG, 2018), en las que aparecen las localizaciones geográficas exactas de aquellos ejemplares de la especie que han sido detectados. Dichas imágenes fueron georreferenciadas en ArcGis 10.6, mediante puntos de control elaborados a partir de la capa de Red Vial. Posteriormente, se crearon *shapefile* de puntos para cada una de las imágenes, aglomerándolos con el geoproceto *Merge*. Es importante mencionar que no se consideraron las intercepciones en los puertos de entrada, por no pertenecer al nicho ecológico de la chinche, lo que hubiera conllevado a falsos positivos en los modelos (Plascencia-Vásquez et al, 2014).

(iii) Centro de Biociencia Agrícola Internacional

Adicionalmente, se consultó el reservorio del Centro de Biociencia Agrícola Internacional (CABI, 2019), un organismo intergubernamental dedicado a la generación y divulgación de conocimientos del sector agrícola y forestal. En esta plataforma se encontraron Mapas de distribución de ciertas plagas agrícolas, entre las cuales se encontraba *Halymorpha halys*, cuyas coordenadas se encontraban disponibles para ser descargadas en formato *CSV*. Una vez se ingresaron a ArcGis 10.6, mediante la herramienta *Project* se transformó su sistema de proyección a coordenadas geográficas en grados decimales, para poder ser trabajadas en conjunto con los datos espaciales de las otras dos instituciones.

3.1.3 Prueba de aleatoriedad y aplicación de filtros

Con el propósito de reducir la autocorrelación espacial inherente a los conjuntos de datos de presencia obtenidos para cada una de las especies, estos fueron sometidos a pruebas de aleatoriedad, mediante la aplicación de rarezas espaciales. Para ello, fue necesario utilizar la herramienta medioambiental *Spatially Rarefy Occurrence Data*, perteneciente al conjunto *SDMtoolbox* del Sistema de Información Geográfica *ArcGis 10.6*. Lo que permitió, eliminar aquellas ocurrencias altamente correlacionadas que pudiesen afectar el modelo (<5km), y conservar aquellos puntos aleatorios que tuviesen una distancia mayor a 5 km entre ellos (Carvajal et al, 2018; Alaniz et al, 2020). Adicionalmente, se eliminaron aquellos puntos localizados fuera del área terrestre o en territorio Antártico, que pudiesen conllevar a considerar falsas áreas de distribución (Pliscoff & Fuentes-Castillo, 2011).

Los registros de presencia restantes (*ver Tabla N° 1*) fueron aglomerados en una capa vectorial de puntos por especie, cuyas tablas de atributos fueron exportadas y convertidas en dos archivos formato CSV. Cada Excel contiene el nombre taxonómico del espécimen, seguido de las coordenadas geográficas *WGS84* en grados decimales separados por coma: *especie, decimal longitud, decimal latitud* (Scheldeman & Zonneveld, 2011).

Plagas	N° de presencias por Institución			Total
	GBIF	SAG	CABI	
<i>Bagrada hilaris</i>	162	48	0	210
<i>Halymorpha halys</i>	1.764	27	93	1.884

Tabla N° 1. Cantidad de puntos de presencia utilizados en los modelos finales por institución. Fuente: Elaboración propia

3.1.4 Selección de variables bioclimáticas

Las capas climáticas utilizadas corresponden a 19 variables bioclimáticas en formato ráster para el período 1970-2000, que fueron descargadas desde el repositorio de *WorldClim 2.0* con una resolución de 30 arcos de segundos, equivalente a 0,86 km² en la línea del Ecuador. A diferencia de las resoluciones más bajas, esta permite representar de mejor forma la variabilidad ambiental, especialmente aquella acontecida en áreas particularmente montañosas y con pendiente empinada, como lo es el caso de Chile (Hijmans et al, 2005). Dichas variables están generadas a partir de 11 conjuntos de datos térmicos, expresados en unidad de grados Celsius multiplicados por 10, y 8 conjuntos de datos pluviométricos en milímetros (*ver Anexo N° 1*). Al ser biológicamente significativas han sido empleadas en la mayoría de las investigaciones biogeográficas, (Hirzel & Le Lay, 2008; Varela et al, 2015; Cabra-Rivas et al; 2016), incluyendo aquellas dedicadas al modelamiento de plagas entomológicas en la agricultura; como lo es el caso de *Triatoma dimidiata* en Yañez-Cajo et al (2016), *Vespa velutina* en Ruíz de Larramendi (2017) y *Bagrada hilaris* en Carvajal et al (2018).

A fin de evitar que se produjera un sobreajuste en la generación de los modelos de distribución producto de la colinealidad entre la temperatura y la precipitación, se utilizaron técnicas de reducción de set que permitieron calcular el porcentaje de contribución y permutación para cada variable

(Carvajal et al, 2018). Debiendo realizar modelaciones preliminares con el programa *Maxent* para ambas especies por separado, utilizando los puntos de presencia no correlacionados y las 19 variables ambientales (Cruz-Cárdenas et al, 2014). Con el *test Shapiro-Wilk* se probó la normalidad de los datos ambientales, mientras que las altas correlaciones entre pares fueron descartadas con el cálculo de correlación de Spearman (*ver Anexo N° 2 y Anexo N° 3*), utilizando el *software R* (Pliscoff & Fuentes-Castillo, 2011; Carvajal et al, 2018). Posteriormente, se seleccionaron aquellas variables con el mayor porcentaje de contribución y con un coeficiente de correlación inferior a 0,7 (Alaniz et al, 2020), obteniendo un total de 5 variables para cada especie.

3.1.5 Calibración y evaluación de los modelos globales de distribución

Las proyecciones finales del nicho potencial fueron generadas con el programa *Maxent v3.4.4*, por ser uno de los algoritmos con mayor desempeño en cuanto a la construcción de los modelos de distribución geográfica y en la precisión de los resultados arrojados (*ver Figura N° 10*) (Phillips et al, 2006; Herrera, 2012; Savino et al, 2014). Llevándose a cabo mediante la técnica de validación cruzada, utilizando como datos de entrada los registros de presencia no autocorrelacionados y las variables predictoras en formato *ASCII* (.asc) previamente seleccionadas (Becerra-López et al, 2014; Muñoz-Reja, 2018).

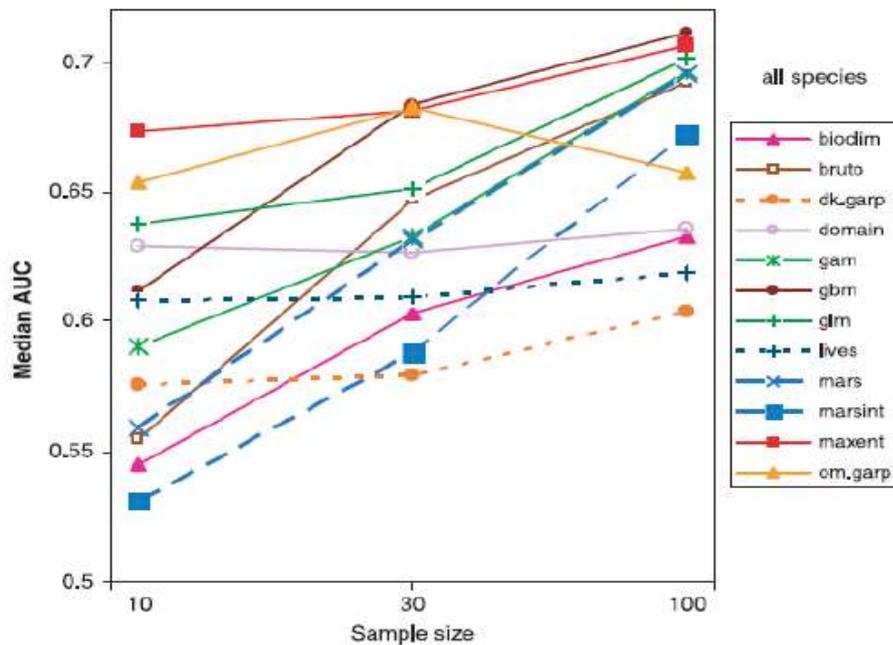


Figura N° 10. Cuadro comparativo del desempeño de MAXENT respecto de once algoritmos distintos para generar modelos de distribución de especies. El valor de la AUC corresponde a un elemento intrínseco de todos los modelos y se utiliza para evaluar su desempeño final. Siendo 0 el valor mínimo posible y 1 el valor máximo posible. Fuente: Wisz et al (2008)

Si bien, la mayoría de los parámetros que vienen predeterminados en el programa se mantuvieron intactos (Phillips et al, 2006; Plasencia-Vásquez et al, 2014), algunas casillas como la opción *Setting Basic* se modificaron con el propósito de asignar la cantidad de réplicas deseada para *Bagrada hilaris* y *Halymorpha halys*, que en este caso fue de 6 y 30, respectivamente (ver Figura N° 11). Las cuales fueron calculadas en base al número de puntos de presencia con los cuales se está trabajando, considerando una proporción de 1 es a 30, es decir, que por cada 30 registros se realizó una réplica; considerando como límite máximo 30 réplicas por plaga agrícola (Van Proosdij et al, 2016).

Posteriormente, se evaluó la capacidad predictiva de los modelos generados por medio del Área bajo la Curva (*AUC*), asignado por la gráfica Característica Operativa del Receptor (*ROC*), que describe la relación entre la proporción de presencias verdaderamente predichas frente a los falsos positivos (Herrera, 2012). El cual señala la probabilidad de que los sitios de presencia extraídos del conjunto en forma aleatoria tendrán puntajes superiores a los de ausencia (Elith, 2006). Si los valores de la *AUC* para entrenar y probar el modelo son cercanos a 0,5 significa que existe una discriminación predictiva, cuyos resultados son poco confiables al no ser mejor que la suposición aleatoria (Hanley & McNeil, 1982 en Savino et al, 2014). Valores entre 0,7 y 0,9 son considerados aceptables y buenos, mientras que aquellos mayores a 0,9 como altamente precisos, con una discriminación perfecta entre las áreas en las cuales se encuentran ausentes y presentes las especies (Peterson et al, 2011; Pliscoff & Fuentes-Castillo, 2011). Adicionalmente, con el test de *Jackknife* se evaluó el porcentaje de contribución de cada variable al modelo mediante su inclusión y omisión, estimando la variabilidad estadística entre las submuestras y el error estándar (Quesada-Quirós et al, 2016).

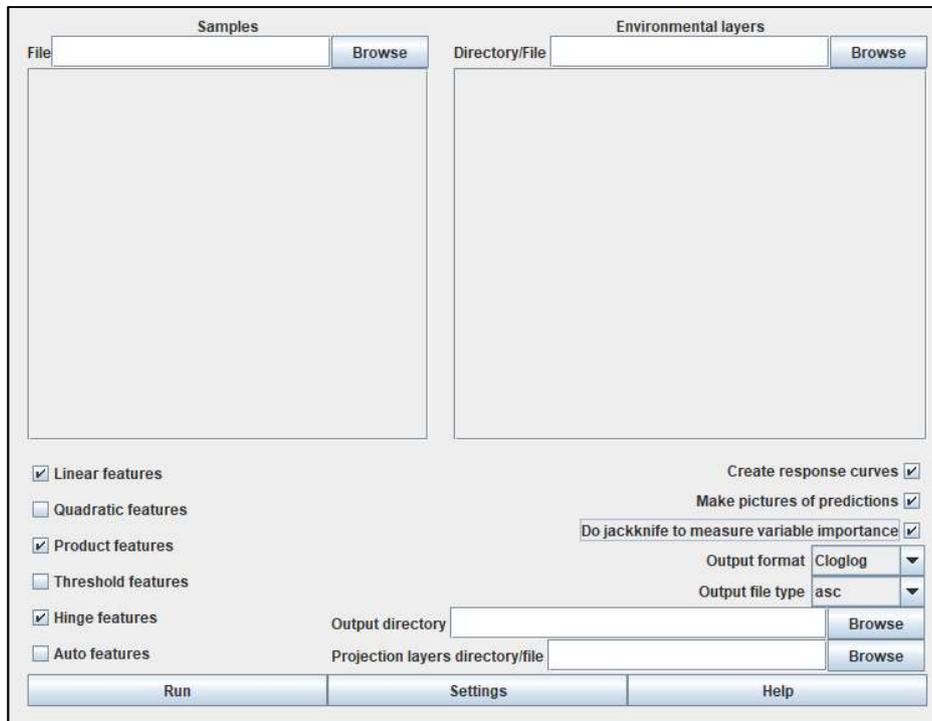


Figura N° 11. Interface del software MAXENT versión 3.4.4 Fuente: Elaboración propia

3.1.6 Ajuste de las proyecciones al contexto nacional

Los modelos finales elaborados por el programa *Maxent v3.4.4* se presentan en formato ráster con rangos de probabilidad de presencia de 0 a 1, en función de la idoneidad del hábitat. Debido a que poseían un sistema de coordenadas desconocido, para llevar a cabo su representación gráfica tuvieron que ser modificados a *WGS84* mediante la herramienta *Define Projection* del *software* ArcGis. Una vez proyectados fueron ajustados a las regiones de Coquimbo hasta Los Lagos, utilizando la función *Extract by mask* y la capa de División Política Administrativa descargada desde la Biblioteca del Congreso Nacional (2018).

Como umbral de corte para la generación de mapas binarios se optó por la combinación de dos valores: “*Maximun training sensitivity plus specificity threshold*” y “*10 Percentil Training Presence*” (ver *Tabla N° 2*). El primero de ellos corresponde a un tipo de umbral subjetivo que se encuentra contenido en el *Excel “Results”*, arrojado por el algoritmo después de la elaboración de los modelos; el cual permite maximizar las distribuciones reales de las especies y su predicción, especialmente aquellas con un amplio rango geográfico (Liu et al, 2005; Mercado et al, 2010; Norris, 2014). Mientras que el segundo, considera valores de idoneidad significativos por sobre la presencia del 10% de los registros de cada especie en el modelo predicho, ofreciendo resultados ecológicamente importantes en comparación con umbrales que son más restrictivos (Hoveka et al, 2016; Macías, 2016; Carvajal et al, 2018).

Plaga agrícola	Rango de idoneidad	N° binarios
<i>Bagrada hilaris</i>	0 - 0,0275	0 = Ausencia potencial
	0,0275 - 1	1 = Presencia potencial
<i>Halymorpha halys</i>	0 - 0,0724	0 = Ausencia potencial
	0,0724 - 1	1 = Presencia potencial

Tabla N° 2. Reclasificación del rango de idoneidad de los modelos en base al umbral de corte. Fuente: Elaboración propia.

3.1.7 Cálculo de superficies binarias

Una vez aplicados los umbrales de corte se procedió a convertir los mapas binarios a polígonos, mediante la utilización de la herramienta *Raster to Polygon*. Los cuales, fueron transformados a un sistema de coordenadas UTM con el propósito de calcular la superficie de presencia y ausencia potencial de las plagas en cada una de las regiones de estudio, siendo necesario la aplicación de herramientas como *Reclassify* y *Calculate Geometry: Area in hectares*. Posteriormente, se realizó una segunda reclasificación considerando únicamente las zonas potencialmente ocupadas por las plagas, para lo cual se aplicó el método de quiebres de Intervalos Naturales considerando 5 categorías, dando como resultado rangos de probabilidad de presencia: “Muy Alta”, “Alta”, “Media”, “Baja” y “Muy baja” (Carvajal et al, 2018; Urra, 2018). Cabe mencionar que a cada área de presencia se le descontó los cuerpos de agua, siendo sumado a la zona de ausencia potencial.

3.2 Cuantificación de la superficie de suelo agrícola regional amenazada por el establecimiento potencial de dos chinches invasoras

3.2.1 Descarga y pre-procesamiento de imágenes satelitales

Para la identificación de los terrenos de uso agrícola se utilizaron imágenes satelitales Landsat 8, que fueron descargadas desde el portal del Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS, 2020) y seleccionadas en base a los siguientes criterios: indicador diurno, con cobertura de nubes menor al 10% y una distancia temporal máxima de 30 días entre escenas de una misma región (Urquiza et al, 2016; Michel, 2017). Como resultado se obtuvo un total de 39 imágenes satelitales en formato Geotiff para las regiones comprendidas entre Coquimbo y Los Lagos con fecha entre enero y abril del año 2020. Siendo utilizadas 4 de las 9 bandas espectrales proveídas por el sensor *Operational Land Imager* (ver Tabla N° 3), las cuales poseen una resolución radiométrica de 16 bit y una resolución espacial de 30 m, a excepción de la banda pancromática que opera con 15 m (Acharya & Yang, 2015). Lo que permite capturar la radiación proveniente de los diferentes elementos presentes en la superficie terrestre, posibilitando la identificación y cuantificación de áreas de interés como aquellas destinadas a la agricultura (Sánchez-Méndez & Arguijo-Hernández, 2018).

Sensor	Bandas espectrales	Longitud de onda (µm)	Resolución espacial (m)	Aplicación
<i>Operational Land Imager (OLI)</i>	Banda 6 – Infrarrojo de Onda Corta 1 (SWIR 1)	0.45 - 0.51	30	Agricultura
	Banda 5 - Infrarrojo cercano (NIR)	0.85 - 0.88	30	
	Banda 2 - Azul	1.57 - 1.65	30	
	Banda 8 - Pancromática	0.50 - 0.68	15	Refinado pancromático

Tabla N° 3. Selección de bandas espectrales correspondientes al sensor *Operational Land Imager (OLI)* del satélite Landsat 8. Fuente: Elaboración propia en base a Sánchez-Méndez & Arguijo-Hernández, 2018.

Las bandas seleccionadas fueron sometidas a una corrección atmosférica mediante la implementación de la herramienta polaca GEOBIA-Landsat 8, que fue descargada desde la plataforma Gis & Beers (2018) e incorporada en el catálogo de *ArcToolBox* del programa *ArcGis 10.6*. Dentro de la herramienta se encuentran insertos una serie de procesos de los cuales se utilizaron los primeros tres en forma secuencial, con el propósito de eliminar los efectos de la atmósfera en los valores de radiancia recibidos por el sensor OLI (García & Martínez, 2010; Flood, 2014). El primero de ellos corresponde a *Pan-sharpened composit*, que requirió de los metadatos originales que se encuentran anexados a la imagen satelital, además de un *shapefile* poligonal de la zona de estudio (AOI) que no excede los 40 km y la selección de una resolución espacial de 15 m, arrojando como resultado un nuevo metadato con extensión .TXT y archivos en formato TIFF de cada una de las bandas en alta resolución producto del refinado pancromático (Ordoñez & Serna, 2015; Zúñiga et al, 2018). Con los datos resultantes se empleó el segundo proceso denominado *Radiance with atmospheric correction*, con el cual se convirtieron los Niveles Digitales (ND) en valores de radiancia, generando una nueva réplica de archivos corregidos en el Workspace. Los cuales finalmente fueron transformados a valores de reflectancia mediante el tercer proceso *Reflectance with atmospheric correction* (ver Figura N° 12) (Subirá, 2012-2013; Ordoñez & Serna, 2015).

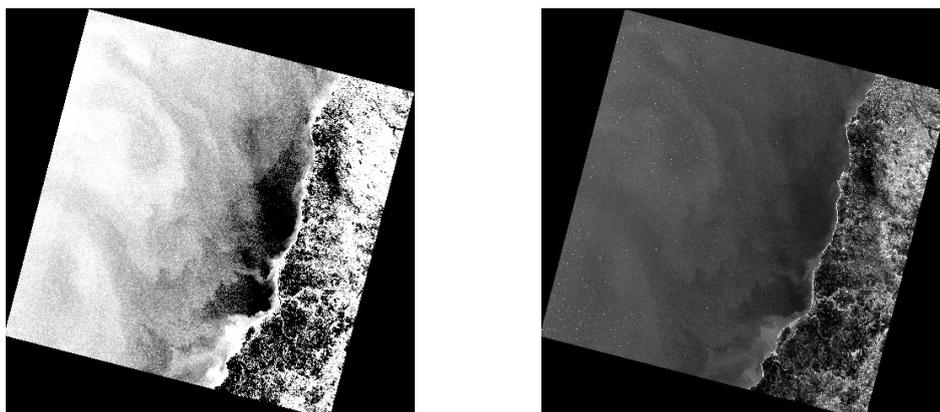


Figura N° 12. Corrección atmosférica de la Banda espectral 2- Azul correspondiente a la imagen satelital 1-84 de la región del Maule. A la izquierda la banda sin corrección atmosférica, a la derecha la imagen actual corregida.

Una vez compensado los errores atmosféricos de los datos digitales se realizó la corrección geométrica, con el objetivo de posicionar los píxeles de la imagen en la zona territorial adecuada y eliminar las distorsiones no sistemáticas (Zúñiga et al, 2018). Para lo cual, las bandas fueron nuevamente proyectadas con la herramienta *Project Raster* a un sistema de coordenadas *WGS84 18-19 S*, y georreferenciadas mediante puntos de control repartidos de manera uniforme, utilizando la función *Georeferencing* y la capa vectorial de Red hídrica descargada desde el BCN (2018) (Ruescas, 1999; Martín et al, 2004; Montezuma & Esneyder, 2018).

3.2.2 Procesamiento de imágenes satelitales Landsat 8

Mediante la utilización de la herramienta *Composite Bands* se prosiguió a realizar la composición de filtros temáticos RGB, ingresando las bandas espectrales 6-5-2 en los canales rojo (R), verde (G) y azul (B), obteniendo un realce cromático de las zonas de cultivos agrícolas (Romano, 2018). Posteriormente, las escenas fueron ensambladas empleando las herramientas *Copy Raster* y *Mosaic to New Raster* de la sección *Raster Dataset*, y parchadas reemplazando aquellas áreas que presentaron alguna interferencia visual por otras de mejor calidad (Urquiza et al, 2016). Las imágenes resultantes fueron recortadas en base al área de estudio mediante el proceso *Clip* inserto en *Raster Processing* y la capa de División Regional descargada desde el BCN (2018) (ver Fig. N° 13).

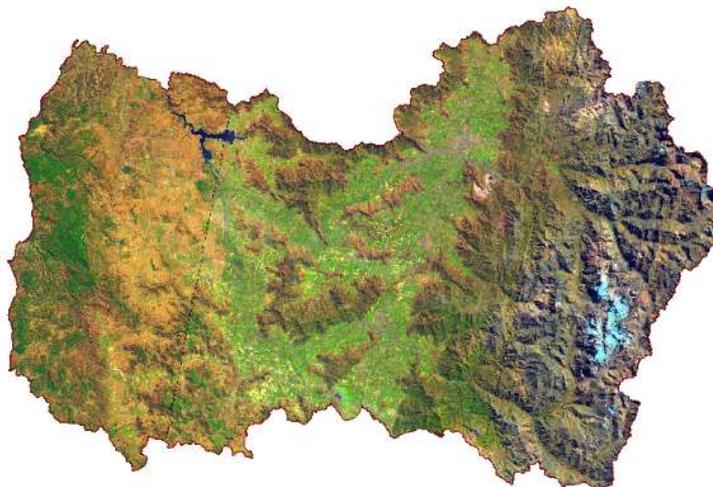


Figura N° 13. Composición RGB652 correspondiente a la región del Libertador Bernardo O'Higgins. Fuente: Elaboración propia en base a imagen Landsat 8 descargada de USGS (2020).

3.2.3 Muestreo de coberturas para entrenamiento y validación

Las 10 imágenes satelitales fueron sometidas a una clasificación no supervisada a través de las herramientas *Iso Cluster* y *Maximum Likelihood Classification* de *Arcgis 10.6*, donde cada pixel fue agrupado automáticamente en 5 clases espectrales homogéneas con extensión .GSG (Recio, 2009). Posteriormente, mediante el uso de la fotointerpretación se identificó la clase correspondiente al tipo de cobertura agrícola, siendo transformada a polígono mediante la herramienta *Raster to Polygon* y exportada para ser utilizada. En forma paralela, desde el Sistema de Información Territorial (SIT) de la Corporación Nacional Forestal (CONAF, 2020) se descargó el *shapefile* de “Catastro de uso de suelo y vegetación” de cada una de las regiones de estudio, abarcando el período 2013-2016 por ser el más actualizado. Mediante las herramientas *Select by Attributes* y *Export Data* se extrajeron aquellos polígonos correspondientes a “Terrenos de uso agrícola” y “Rotación cultivo-pradera”.

Con los polígonos de área agrícola obtenidos a partir de la clasificación no supervisada y los catastros de CONAF se generaron puntos de entrenamiento que permitieron calibrar el modelo de clasificación supervisada (*ver Anexo N° 4*) (Rodríguez & Gutiérrez, 2017). Para lo cual, se realizó una fotointerpretación fundamentada en el nivel 1 y 2 de la nomenclatura de *Corine Land Cover* por ser uno de los inventarios estandarizados de uso de suelo más utilizados en el ámbito investigativo, dando origen a la elaboración de un *shapefile* binario con 1.500 puntos de entrenamiento por cada imagen regional (Catellanos, 2010; Suárez-Parra et al, 2016). De los cuales, el 40% corresponde a zonas agrícolas y el 60% restante a coberturas no relevantes, como: zonas artificiales, áreas forestales y seminaturales, humedales y cuerpos de agua, siendo designadas con valores de 1 y 0 respectivamente (*ver Tabla N° 4*).

Nivel 1 Tipos de suelo	Nivel 2 Ejemplos de uso de suelo	N° Binarios
Clase 1: Zonas artificiales	1.1 Tejido urbano	0 = Coberturas no relevantes
	1.2 Unidades industriales, comerciales y de transporte	
	1.3 Minas, vertederos y sitios de construcción	
Clase 2: Zonas agrícolas	2.1 Tierra cultivable	1 = Coberturas relevantes
	2.2 Cultivos permanentes	
	2.3 Praderas	
	2.4 Áreas agrícolas heterogéneas	
Clase 3: Áreas forestales y seminaturales	3.1 Bosque	0 = Coberturas no relevantes
	3.2 Asociaciones de vegetación arbustiva y/o herbácea	
	3.3 Espacios abiertos con poca o ninguna vegetación	
Clase 4: Humedales	4.1 Humedales continentales	
	4.2 Humedales costeros	
Clase 5: Cuerpos de agua	5.1 Aguas continentales	
	5.2 Aguas marinas	

Tabla. N° 4. Números binarios asignados a los niveles 1 y 2 de la nomenclatura *Corine Land Cover* (CLC). Fuente: Elaboración propia en base a Kosztra et al, 2019.

3.2.4 Clasificación supervisada y cálculo de superficies agrícolas amenazadas

El método de clasificación supervisada se llevó a cabo mediante la generación de firmas espectrales a partir de los *shapefile* de puntos de entrenamiento creados en el paso metodológico anterior utilizando la herramienta *Create Signature* de la sección *Multivariate* de *ArcGis 10.6*. Posteriormente, dichas firmas fueron ingresadas al algoritmo *Maximum Likelihood Classification (MLC)*, donde a cada pixel de las imágenes satelitales se le designó una de las dos coberturas previamente definidas, con una fracción de rechazo de 0.1 (Del Toro et al, 2015). Este método fue seleccionado por ser “*el más empleado en la clasificación digital de imágenes de Teledetección*” (Martín et al, 2012, p. 4), y consiste en calcular la probabilidad máxima de que un pixel pertenezca a una determinada clase a partir de su vector de medias y la matriz varianza-covarianza (Gómez & Calderón, 2012). Adicionalmente, se utilizó la función *Majority filter* para la mitigación de errores en la clasificación de las coberturas (Salinas & Ramón, 2013; Delúquez, 2018).

El ráster binario resultante de cada imagen satelital fue transformado a polígono utilizando la herramienta *Raster to Polygon* y proyectado a un sistema de coordenadas UTM mediante la función *Project*. Luego, se prosiguió a realizar la selección y exportación de aquellos polígonos que habían sido designados con un valor numérico de 1 correspondiente a la cobertura agrícola. La que, finalmente fue intersectada con la capa de probabilidad de presencia de cada una de las plagas, determinando las áreas agrícolas amenazadas en las mismas 5 categorías de “Muy Alta”, “Alta”, “Media”, “Baja” y “Muy Baja”, cuya superficie fue calculada en hectáreas mediante la calculadora geométrica.

Capítulo IV: Resultados

4.1 Distribución geográfica potencial de la plaga agrícola *Bagrada hilaris* entre las regiones de Coquimbo y Los Lagos

4.1.1 Evaluación AUC y contribución de las variables bioclimáticas al MDE de *B. hilaris*

De los 210 registros de ocurrencia de la plaga *B. hilaris* el 75% fue empleado como puntos de entrenamiento y el 25% restante como puntos de validación, generando un valor AUC de 0,978, que de acuerdo con la literatura clasifica como modelo altamente preciso y con una discriminación perfecta entre los datos (ver Gráfico N° 1) (Peterson et al, 2011; Calendario-Mejía et al, 2015).

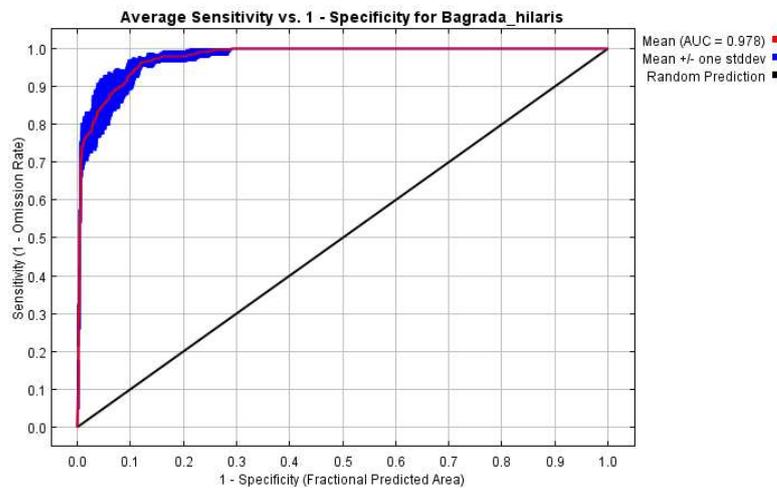


Gráfico N° 1. Evaluación AUC arrojado por la curva ROC para el modelo de distribución de la plaga agrícola *Bagrada hilaris*. Fuente: Elaboración propia utilizando el software MAXENT

Mediante el *test Shapiro-Wilk* y el cálculo de correlación de *Spearman* se obtuvieron las 5 variables bioclimáticas que fueron empleadas en la generación del modelo final de la plaga *Bagrada hilaris* (ver tabla N° 5). Las cuales corresponden a la temperatura media anual, isotermalidad, estacionalidad de la temperatura, precipitación del trimestre más cálido y precipitación del trimestre más frío, por haber presentado un mayor porcentaje de contribución y un coeficiente de correlación inferior a 0,7 en los modelamientos preliminares.

Acrónimo	Variables climáticas
Bio 01	Temperatura media anual
Bio 03	Isotermalidad (Bio 2/Bio 7) (x 100)
Bio 04	Estacionalidad de la temperatura (desv. estand. x 100)
Bio 18	Precipitación del trimestre más cálido
Bio 19	Precipitación del trimestre más frío

Tabla N° 5. Capas de los predictores ambientales utilizados en el modelamiento de la distribución potencial de la especie *Bagrada hilaris*. Fuente: Elaboración propia.

Con el gráfico de ganancia regularizada de los datos de entrenamiento obtenido mediante el test de Jackknife (*ver Gráfico N° 2*) se identificaron aquellas variables que individualmente tuvieron una mayor importancia en la construcción del modelo, siendo consideradas u omitidas y comparadas con el resto del conjunto. Las variables bioclimáticas con mayor ganancia estadística cuando se utilizan de forma aislada son la Bio 03 (Isotermalidad) seguido de la Bio 01 (Temperatura media anual), lo que significa que poseen la información de mayor utilidad en sí mismas; mientras que las variables que más disminuyen la ganancia de entrenamiento cuando son omitidas corresponden a la Bio 18 (Precipitación del trimestre más cálido) y Bio 19 (Precipitación del trimestre más frío), que por tanto contienen la mayor cantidad de datos que no están presentes en los demás predictores.

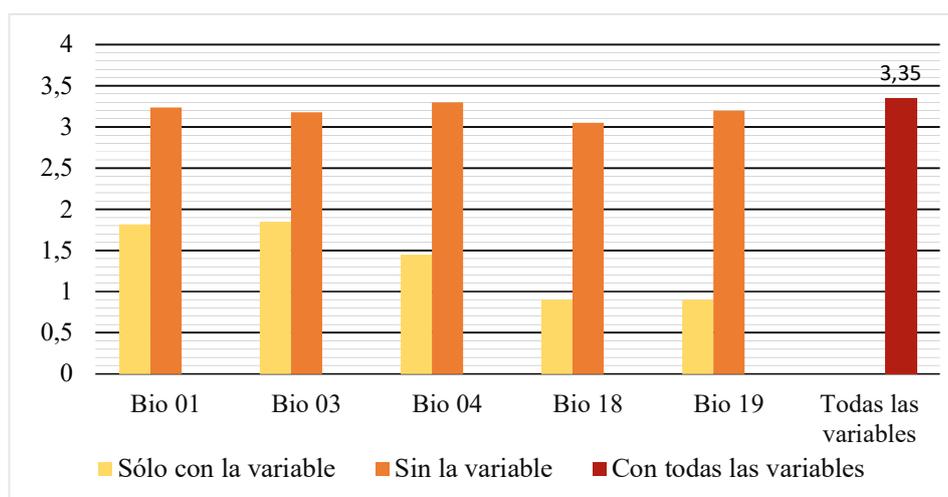


Gráfico N° 2. Test Jackknife de la ganancia regularizada de los datos de entrenamiento del modelo *Bagrada hilaris*. Fuente: Elaboración propia en base a gráfico arrojado por MAXENT

A partir de la tabla de contribución porcentual arrojada por MAXENT (*ver Tabla N° 6*), se determinó que las variables bioclimáticas de mayor relevancia en la predicción del nicho ecológico de la plaga corresponden a la Bio 03 con un 44,2% y la Bio 18 con un 19%. Mientras que, la Bio 04 y la Bio 01 realizaron un aporte menor al 12% cada una. Al comparar dicho porcentaje con la ganancia regularizada se comprobó que la isotermalidad (Bio 03) y la precipitación del trimestre más cálido (Bio 18) son factores limitantes para el establecimiento de la especie, en tanto que, la estacionalidad de la temperatura (Bio 04) si bien posee cierta cantidad de información útil fue la que menos colaboró en la construcción del modelo.

Acrónimo	Variabes bioclimáticas	Porcentaje de contribución
Bio 01	Temperatura media anual	11,3%
Bio 03	Isotermalidad	44,2%
Bio 04	Estacionalidad de la temperatura	7,3%
Bio 18	Precipitación del trimestre más cálido	19%
Bio 19	Precipitación del trimestre más frío	18,2%

Tabla N° 6. Porcentaje de contribución de las variables bioclimáticas al modelo final de *Bagrada hilaris*. Fuente: Elaboración propia en base a tabla obtenida con MAXENT

4.1.2 Curvas de respuesta de las variables bioclimáticas más relevantes en el modelo final de *B. hilaris*

A continuación, se analizan las curvas de respuesta de las tres variables bioclimáticas que tuvieron una mayor contribución en la construcción del modelo final de *B. hilaris* (Gráfico N° 3), donde es posible observar el efecto de la variación del valor climático en el comportamiento de la probabilidad de presencia de la especie. En el caso del gráfico A, la presencia potencial de la plaga alcanza una alta probabilidad (60%) cuando la isoterma oscila entre 50-60%, logrando su máximo óptimo a los 56%, mientras que, conforme el valor aumenta o disminuye la probabilidad decae considerablemente. Con respecto al gráfico B, la presencia de la especie aumenta a un 97% cuando la precipitación del trimestre más cálido se aproxima a los 15 mm, pero disminuye drásticamente cuando es igual a 0 mm o superior a 25 mm. Finalmente, en el gráfico C se observa que la plaga alcanza su probabilidad de presencia máxima (98%) cuando la precipitación del trimestre más frío es cercano a los 240 mm, por el contrario desciende a menos de un 20% a medida que se aproxima a los 0 mm o sobrepasa los 500 mm.

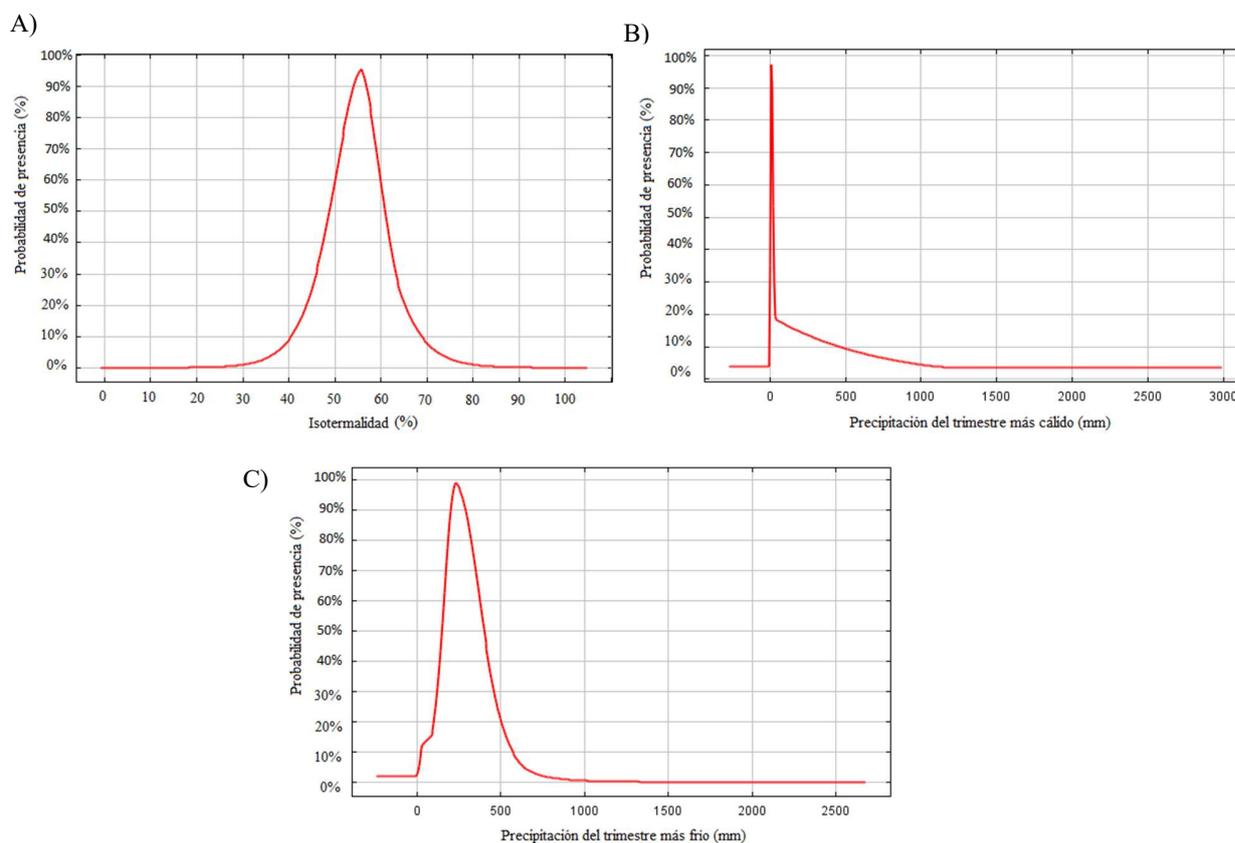


Gráfico N° 3. Curvas de respuesta de la probabilidad de presencia de la plaga *B. hilaris* ante las principales variables bioclimáticas que intervinieron en la construcción de su modelo. A) Isotermalidad, B) Precipitación del trimestre más cálido, C) Precipitación del trimestre más frío. Fuente: Elaboración propia en base a gráficos arrojados por MAXENT

4.1.3 Distribución geográfica potencial de la plaga *B. hiliaris* entre la región de Coquimbo y Los Lagos

A nivel general, la plaga invasora *Bagrada hiliaris* conocida comúnmente como la Chinche pintada presenta una distribución potencial de 18.331.432 ha, correspondiente al 71,9% de la superficie del área de estudio. Abarcando desde el límite de la región de Coquimbo con Atacama hasta la localidad de Chacao en el noreste del archipiélago de Chiloé en la región de Los Lagos; excluyendo la zona cordillerana andina desde el límite divisorio entre las regiones Ñuble y Biobío hasta el extremo sur de la región de Los Lagos, parte de la depresión intermedia desde el sureste de la comuna de Los Ángeles hasta el este de la ciudad de Puerto Montt, y la zona aledaña a la ciudad de Valdivia en la región de Los Ríos (ver Figura N° 14). Dicha distribución se encuentra conformada por cinco categorías de probabilidad que comprenden desde Muy Alta hasta Muy Baja presencia en función de la idoneidad climática de la zona geográfica, en base a las variables de temperatura media anual, isothermalidad, estacionalidad de la temperatura, precipitación del trimestre más cálido y la precipitación del trimestre más frío. Entre las categorías que destacan por abarcar una mayor superficie de presencia se encuentran la probabilidad Muy Baja con 39,5%, seguida de la Baja con 20,4% y la Muy Alta con 16,9% (ver Tabla N° 7).

En la Tabla N° 7 y en la Figura N° 14 se presenta la distribución potencial y la probabilidad de presencia de la plaga *B. hiliaris* en las macro regiones Norte Chico (Coquimbo), Zona Centro y Zona Sur. A continuación, se detallan las categorías de mayor importancia en relación a la superficie de distribución:

Macro región / Región	Superficie por categoría de presencia de <i>B. hiliaris</i> en hectáreas					Superficie total de presencia
	Muy baja	Baja	Media	Alta	Muy Alta	
(i) Norte Chico						
Región de Coquimbo	45.561	366.937	1.299.532	1.731.595	576.091	4.019.716
Superficie Macro regional	45.561	366.937	1.299.532	1.731.595	576.091	4.019.716
(ii) Zona Centro						
Región de Valparaíso	118.924	121.197	81.753	45.176	1.229.972	1.597.022
Región Metropolitana de Santiago	147.530	182.451	122.511	152.484	907.451	1.512.427
Región del Libertador Bernardo O'Higgins	84.581	438.766	374.063	338.048	377.006	1.612.464
Región del Maule	1.484.123	1.409.940	71.522	20.911	0	2.986.496
Región de Ñuble	1.154.698	87.887	6.739	0	0	1.249.324
Región del Biobío	1.050.749	609.119	19.541	0	0	1.679.409
Superficie Macro regional	4.040.605	2.849.360	676.129	556.619	2.514.429	10.637.142
(iii) Zona Sur						
Región de La Araucanía	1.388.656	425.328	369	0	0	1.814.353
Región de Los Ríos	604.474	31	0	0	0	604.505
Región de Los Lagos	1.155.673	100.043	0	0	0	1.255.716
Superficie Macro regional	3.148.803	525.402	369	0	0	3.674.574
Superficie Total del área de estudio	7.234.969	3.741.699	1.976.030	2.288.214	3.090.520	18.331.432

Tabla N° 7. Superficie de presencia macro regional y regional por rango de probabilidad de la especie *Bagrada hiliaris*. Fuente: Elaboración propia

i) Macro región Norte Chico

En la región de Coquimbo la plaga presenta una distribución potencial de 4.019.716 ha equivalente al 99,1% de la superficie regional, abarcando en forma uniforme desde el extremo norte hasta el extremo sur. Dicha distribución está conformada por las cinco categorías de probabilidad que considera la presente investigación, comprendiendo desde Muy Alta hasta Muy Baja presencia en función de la idoneidad climática de la zona geográfica. Como se puede visualizar en el *Gráfico N° 4*, entre las categorías que destacan por abarcar una mayor superficie se encuentra la Alta probabilidad de presencia que ocupa 1.731.595 ha equivalente a aprox. el 43,1% de la distribución potencial de la plaga a nivel regional, abarcando entre la mitad occidental de la cordillera de Los Andes y las planicies litorales desde el noreste del cerro Los Morros hasta el este de la comuna de Los Vilos, excluyendo las zonas entorno a las localidades de Chillepin y Los Vilos. Seguida de la categoría de presencia Media con 1.299.532 ha correspondiente al 32,2% de la superficie de distribución potencial, localizándose en la porción oriental de la cordillera de Los Andes especialmente desde el extremo norte de la región hasta el sureste de la comuna de Monte Patria, y la zona entre la depresión intermedia y las planicies litorales ubicadas al norte de la ciudad de La Serena. Y la categoría de Muy Alta presencia con 576.091 ha equivalente al 14,3% de la distribución, que abarca la superficie localizada entre la cordillera de Los Andes y las planicies litorales desde el noreste de la localidad de Combarbalá hasta el extremo sur de la región, excluyendo la zona abarcada por la Alta presencia.

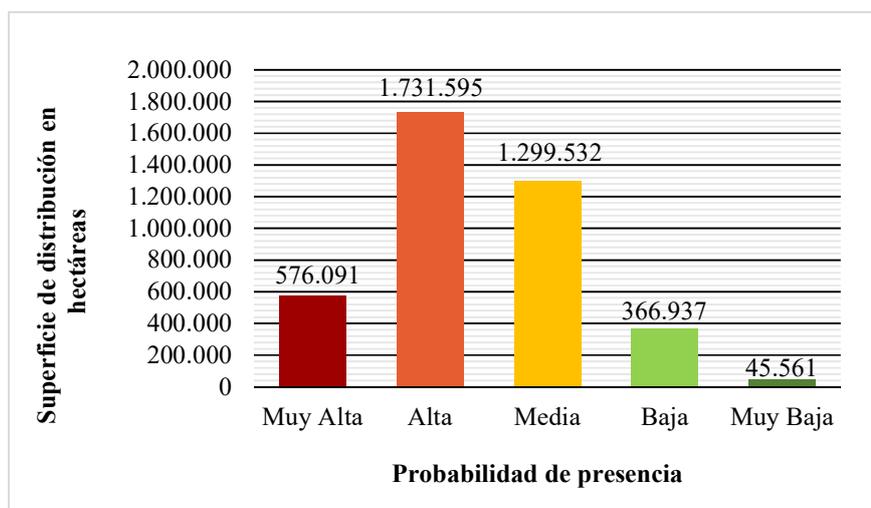


Gráfico N° 4. Superficie en hectáreas de las categorías de probabilidad de presencia de la plaga Bagrada hilaris en la macro región Norte Chico. Fuente: Elaboración propia en base a la Tabla N° 7.

ii) Macro región Zona Centro

En la Zona Centro la plaga presenta una distribución potencial de 10.637.142 ha correspondiente al 92,1% de la superficie macro regional, abarcando desde el extremo norte de la región de Valparaíso hasta el extremo sur de la región del Biobío, excluyendo la zona cordillerana andina y precordillerana desde el sur de la localidad de Recinto en la región de Ñuble hasta el sureste de la región del Biobío. Dicha distribución está conformada por las cinco categorías de probabilidad que considera la presente investigación, comprendiendo desde Muy Alta hasta Muy Baja presencia. Como se puede visualizar en el *Gráfico N° 5*, entre las categorías que destacan por abarcar una mayor superficie se encuentra la Muy Baja presencia que ocupa 4.040.605 ha equivalente al 35% de la distribución potencial de la plaga a nivel macro regional, comprendiendo la cordillera de Los Andes desde el noreste de la comuna de Petorca en la región de Valparaíso hasta la altura de la ciudad de Los Ángeles en la región del Biobío, y la zona localizada entre la precordillera y la depresión intermedia desde el norte de la localidad de Vilches en la región del Maule hasta el extremo sur de la región del Biobío, excluyendo el área en torno a la ciudad de Talca. Seguida de la categoría de Baja presencia con 2.849.360 ha correspondiente al 24,7% de la distribución macro regional de la plaga, que abarca gran parte de la zona cordillerana andina desde el extremo norte de la región de Valparaíso hasta el norte de la localidad de Vilches en la región del Maule, y la zona localizada desde el norte de la comuna de Lolol en la región de O'Higgins y el extremo sur de la región del Biobío, exceptuando la zona ocupada por la Muy Baja presencia y las planicies litorales al sur de Constitución. Y la categoría de Muy Alta presencia con 2.514.429 ha equivalente al 21,8% de la distribución, que comprende desde el norte de la región de Valparaíso hasta el norte de la comuna de San Fernando en la región de O'Higgins, excluyendo casi la totalidad de la cordillera de Los Andes y la zona en torno a la comuna de Pichilemu.

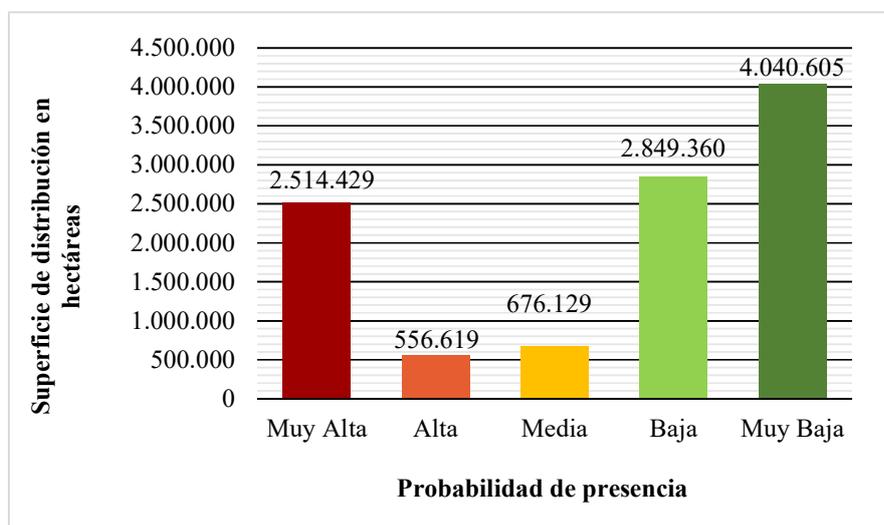


Gráfico N° 5. Superficie en hectáreas de las categorías de probabilidad de presencia de la plaga Bagrada hilaris en la macro región Zona Centro. Fuente: Elaboración propia en base a la Tabla N° 7.

Como es posible visualizar en la *Tabla N° 7* y en el *gráfico N° 6*, más del 59% de la superficie de distribución potencial que posee la plaga en la macro región Zona Centro se concentra principalmente en tres regiones: la región del Maule con 2.986.496 ha, seguido de la región del Biobío con 1.679.409 ha y O'Higgins con 1.612.464 ha. También, se observa que la superficie idónea con categorías de probabilidad entre Muy Alta y Media presencia está fuertemente localizada en las regiones de Valparaíso, Metropolitana y O'Higgins, con una disminución considerable de idoneidad hacia las regiones del sur de la macro región.

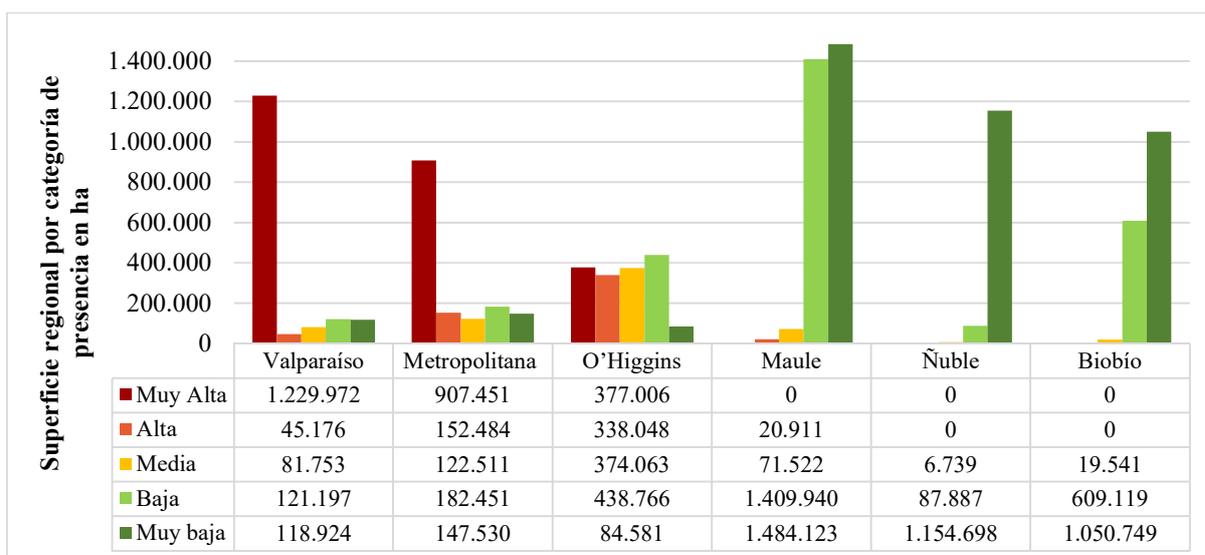


Gráfico N° 6. Superficie de presencia por categoría de probabilidad de la plaga Bagrada hilaris en las regiones de la macro región Centro. Fuente: Elaboración propia en base a la Tabla N° 7.

iii) Macro región Zona Sur

En la Zona Sur la plaga presenta una distribución potencial de 3.674.574 ha correspondiente al 37,2% de la superficie macro regional, abarcando entre la depresión intermedia y las planicies litorales desde el extremo norte de la región de La Araucanía hasta el noreste del archipiélago de Chiloé en la región de Los Lagos, excluyendo la zona alrededor de la ciudad de Valdivia. Dicha distribución está conformada por tres de las cinco categorías de probabilidad que considera la presente investigación, comprendiendo desde Media hasta Muy Baja presencia. Como se puede visualizar en el *Gráfico N° 7*, entre las categorías que destacan por abarcar una mayor superficie se encuentra la Muy Baja presencia que ocupa 3.148.803 ha equivalente al 85,7% de la distribución potencial de la plaga a nivel macro regional, comprendiendo entre la depresión intermedia y las planicies litorales desde la región de La Araucanía exceptuando la zona entorno a la comuna de Carahue hasta el noreste de la región de Los Lagos excluyendo los alrededores de la localidad de Tegalda. Y la Baja presencia con 525.402 ha correspondiente al 14,3% de la distribución macro regional de la plaga, que abarca entre la depresión intermedia y las planicies litorales a la altura de la ciudad de Victoria hasta más al sur de la comuna de Carahue en la región de la Araucanía, y al sur de la comuna de Osorno hasta la localidad de Tegalda en la región de Los Lagos.

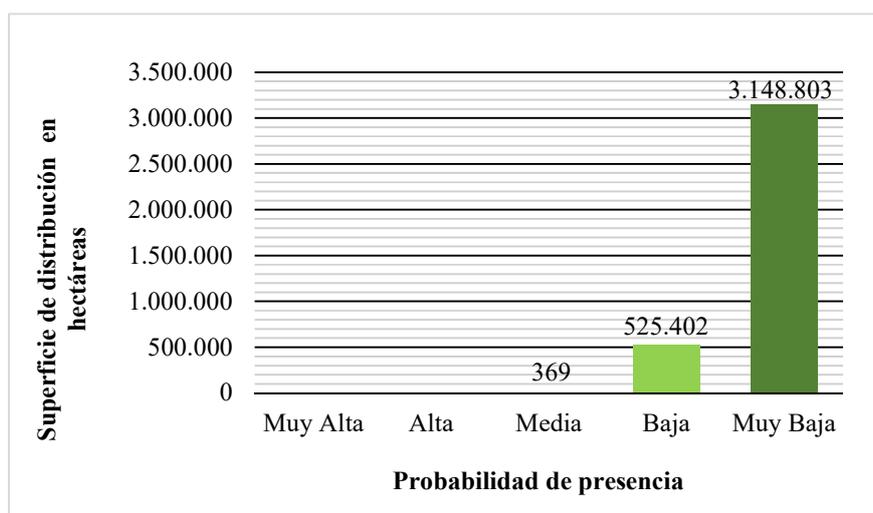


Gráfico N° 7. Superficie en hectáreas de las categorías de probabilidad de presencia de la plaga Bagrada hilaris en la macro región Zona Sur. Fuente: Elaboración propia en base a la Tabla N° 7.

Como es posible visualizar en la *Tabla N° 7* y en el *gráfico N° 8*, el 83,6% de la superficie de distribución potencial que posee la plaga en la macro región Zona Sur se concentra principalmente en las regiones de La Araucanía con 1.814.353 ha y Los Lagos con 1.255.716 ha. También, se observa una baja idoneidad climática para la plaga, la cual se hace más evidente a medida que se avanza hacia el sur de la región de Los Ríos, con un leve aumento de presencia en la región de Los Lagos.

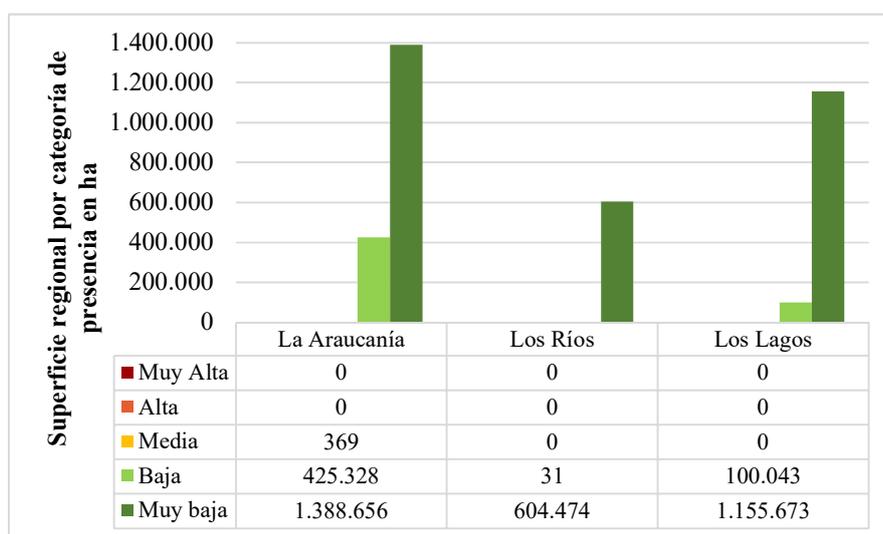


Gráfico N° 8. Superficie de presencia por categoría de probabilidad de la plaga Bagra da hilaris en las regiones de la macro región Sur. Fuente: Elaboración propia en base a la Tabla N° 7.

4.2 Distribución geográfica potencial de la plaga agrícola *Halymorpha halys* entre las regiones de Coquimbo y Los Lagos

4.2.1 Evaluación AUC y contribución de las variables bioclimáticas al MDE de *Halymorpha halys*

De los 1.884 registros de ocurrencia de la plaga *H. halys* el 75% fue empleado como puntos de entrenamiento y el 25% restante como puntos de validación, generando un valor AUC de 0,941 clasificando dentro de los modelos altamente precisos y con una discriminación perfecta entre los datos (*ver Gráfico N° 9*) (Peterson et al, 2011; Calendario-Mejía et al, 2015).

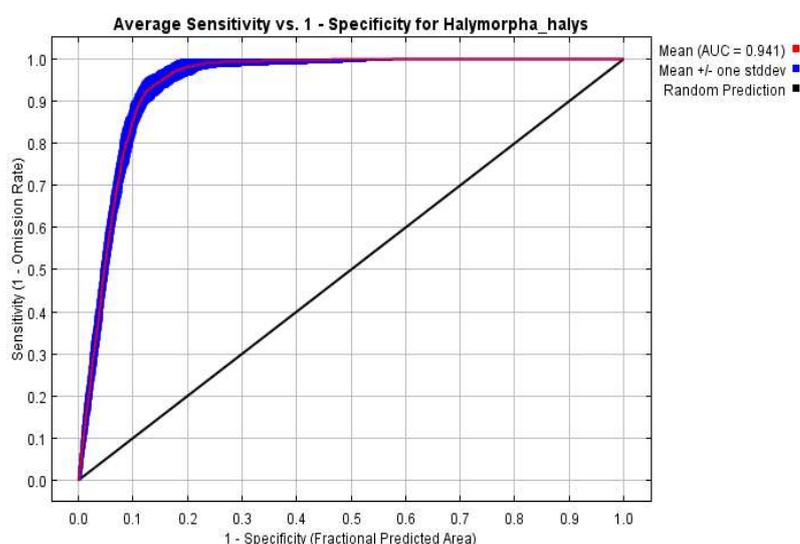


Gráfico N° 9. Evaluación AUC arrojado por la curva ROC para el modelo de distribución de la plaga agrícola *Halymorpha halys*. Fuente: Elaboración propia utilizando el software MAXENT

Mediante el test *Shapiro-Wilk* y el cálculo de correlación de *Spearman* se obtuvieron las 5 variables bioclimáticas que fueron empleadas en la generación del modelo final de la plaga *Halymorpha halys* (*ver tabla N° 8*). Las cuales corresponden a la temperatura media anual, estacionalidad de la temperatura, precipitación del mes más seco, precipitación del trimestre más húmedo y precipitación del trimestre más frío, por haber presentado un mayor porcentaje de contribución y un coeficiente de correlación inferior a 0,7 en los modelamientos preliminares.

Acrónimo	Variables climáticas
Bio 01	Temperatura media anual
Bio 04	Estacionalidad de la temperatura (desv. estand. x 100)
Bio 14	Precipitación del mes más seco
Bio 16	Precipitación del trimestre más húmedo
Bio 19	Precipitación del trimestre más frío

Tabla N° 8. Capas de los predictores ambientales utilizados en el modelamiento de la distribución potencial de la especie *Halymorpha halys*. Fuente: Elaboración propia.

Con el gráfico de ganancia regularizada obtenido mediante el test de Jackknife (*ver Gráfico N° 10*) se identificaron aquellas variables que individualmente tuvieron una mayor importancia en la construcción del modelo, siendo consideradas u omitidas y comparadas con sus pares. La variable bioclimática con mayor ganancia estadística cuando se utiliza de forma aislada es la Bio 01 (Temperatura media anual) la misma que al ser excluida del conjunto disminuye la ganancia final, resultando ser la que posee la mayor cantidad de información relevante que no está presente en el resto de los predictores, permitiendo un mejor ajuste de los datos de entrenamiento. Otro dato interesante concierne a la variable Bio 04 (Estacionalidad de la temperatura), la que si bien posee la menor ganancia estadística en sí misma, también es la segunda que más disminuye la ganancia final del modelo cuando es descartada.

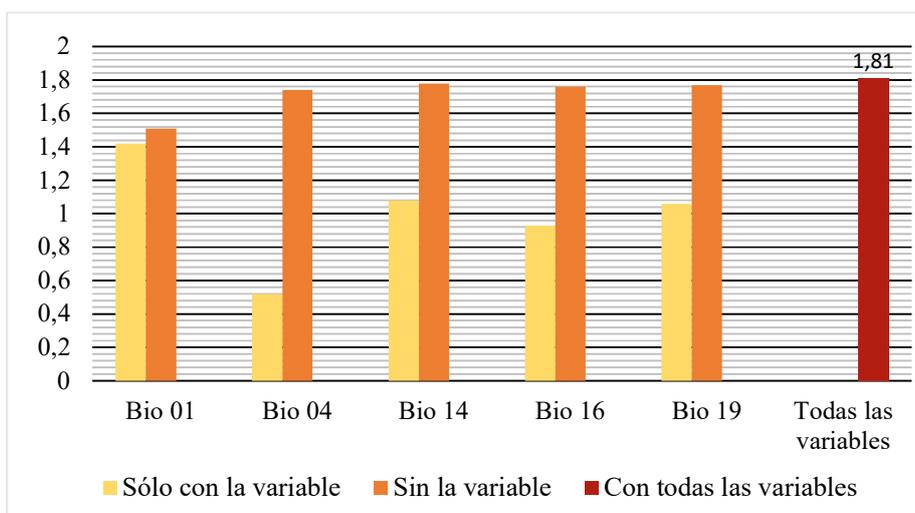


Gráfico N ° 10. Test Jackknife de la ganancia regularizada de los datos de entrenamiento del modelo *Halymorpha halys*. Fuente: Elaboración propia en base a gráfico arrojado por MAXENT

En base a la tabla de contribución porcentual arrojada por MAXENT (*Tabla N° 9*), se determinó que las variables bioclimáticas de mayor relevancia en la predicción del nicho ecológico de la plaga corresponden a la Bio 14 con un 33% y la Bio 01 con un 28,2%. Mientras que, la Bio 16 y la Bio 04 realizaron un aporte menor al 15% cada una. Al comparar dicho porcentaje con la ganancia regularizada se comprobó que la precipitación del mes más seco (Bio 14) y la temperatura media anual (Bio 01) son factores limitantes para el establecimiento de la especie, en tanto que, la precipitación del trimestre más húmedo (Bio 16) si bien posee cierta cantidad de información útil fue la que menos colaboró con la construcción del modelo.

Acrónimo	Variables bioclimáticas	Porcentaje de contribución
Bio 01	Temperatura media anual	28,2%
Bio 04	Estacionalidad de la temperatura	14,7%
Bio 14	Precipitación del mes más seco	33%
Bio 16	Precipitación del trimestre más húmedo	5,1%
Bio 19	Precipitación del trimestre más frío	19%

Tabla N° 9. Porcentaje de contribución de las variables bioclimáticas al modelo final de *Halymorpha halys*. Fuente: Elaboración propia en base a datos obtenidos con MAXENT

4.2.2 Curvas de respuesta de las variables bioclimáticas más relevantes en el modelo final de *H. halys*

A continuación, se analizan las curvas de respuesta de las tres variables bioclimáticas que tuvieron una mayor contribución en la construcción del modelo final de *H. halys* (Gráfico N° 11), donde es posible observar el efecto de la variación del valor climático en el comportamiento de la probabilidad de presencia de la especie. En el caso del gráfico A, la presencia potencial de la plaga alcanza una alta probabilidad (70%) cuando la temperatura media anual oscila entre los 9-15° C, logrando su máximo óptimo a los 10° C, mientras que, conforme el valor aumenta o disminuye la probabilidad decae considerablemente. Con respecto al gráfico B, la presencia de la especie aumenta a un 94% cuando la precipitación del mes más seco se aproxima a los 75 mm, pero disminuye drásticamente a medida que se acerca a los 0 mm o a los 150 mm. Finalmente, en el gráfico C se observa que la plaga alcanza su probabilidad de presencia máxima (87%) cuando la precipitación del trimestre más frío es cercano a los 250 mm, por el contrario desciende a menos de un 20% a medida que se aproxima a los 0 mm o sobrepasa los 700 mm.

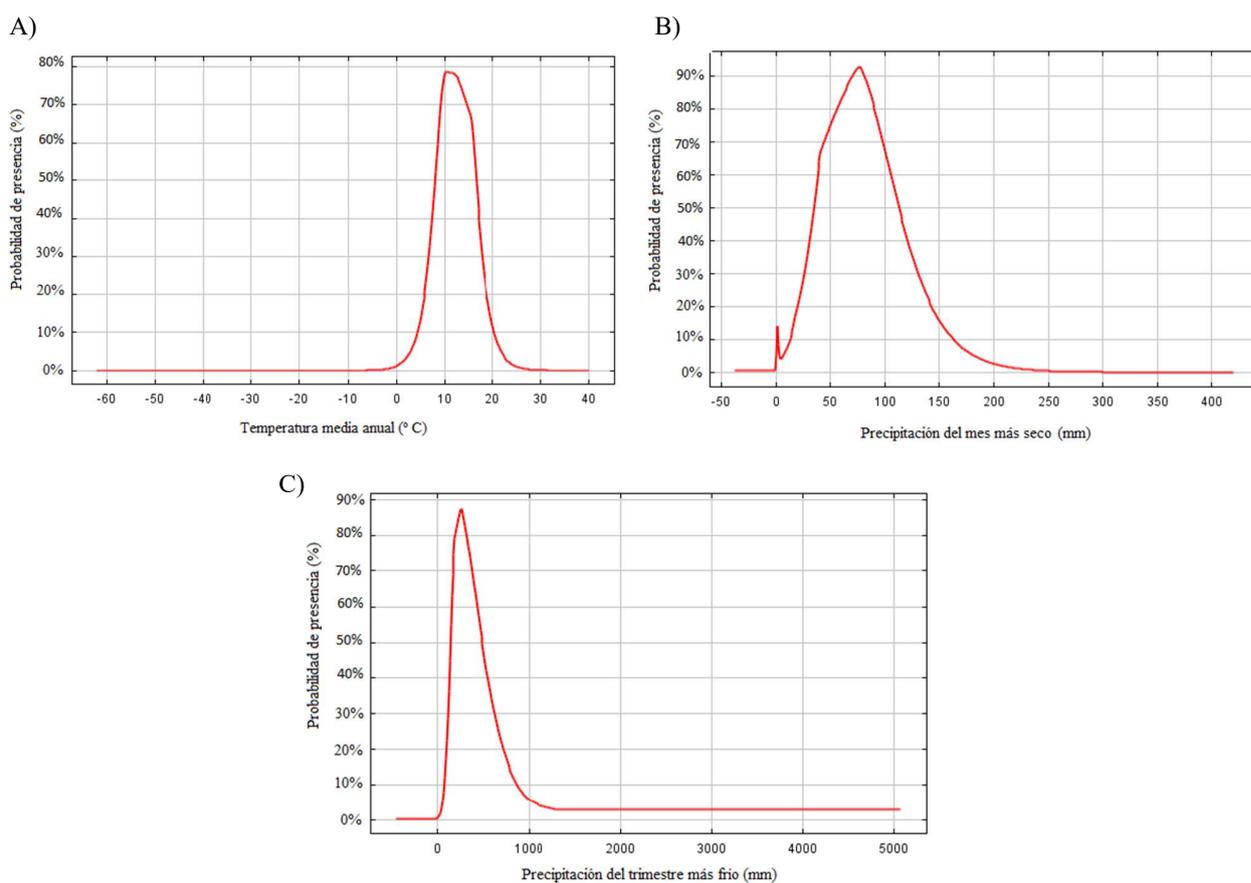


Gráfico N° 11. Curvas de respuesta de la probabilidad de presencia de la plaga *H. halys* ante las principales variables bioclimáticas que intervinieron en la construcción de su modelo. A) Temperatura media anual, B) Precipitación del mes más seco, C) Precipitación del trimestre más frío. Fuente: Elaboración propia en base a gráficos arrojados por MAXENT

4.2.3 Distribución geográfica potencial de la plaga *H. halys* entre la región de Coquimbo y Los Lagos

A nivel general, la plaga invasora *Halymorpha halys* conocida comúnmente como la Chinche marmolada presenta una distribución potencial de 18.397.575 ha, equivalente al 72,2% de la superficie del área de estudio. Abarcando desde el norte de la localidad de Chillepín en la región de Coquimbo hasta el extremo sur de la región de Los Lagos; excluyendo gran parte de la zona entre las planicies litorales y la depresión intermedia de la región de Coquimbo, y la zona cordillerana andina desde la región de Coquimbo hasta la región del Maule (*ver Figura N° 15*). Dicha distribución se encuentra conformada por cinco categorías de probabilidad que comprenden desde Muy Alta hasta Muy Baja presencia en función de la idoneidad climática de la zona geográfica, en base a las variables de temperatura media anual, estacionalidad de la temperatura, precipitación del mes más seco, precipitación del trimestre más húmedo y precipitación del trimestre más frío. Entre las categorías que destacan por abarcar una mayor superficie de presencia se encuentran la probabilidad Baja con 31,7%, seguida de la Muy Baja con 31,1% y la Media con 30,9% (*ver Tabla N° 10*).

En la *Tabla N° 10* y en la *Figura N° 15* se presenta la distribución potencial y la probabilidad de presencia de la plaga *H. halys* en las macro regiones Norte Chico (Coquimbo), Zona Centro y Zona Sur. A continuación, se detallan las categorías de mayor importancia en relación a la superficie de distribución:

Macro región / Región	Superficie por categoría de presencia de <i>H. halys</i> en hectáreas					Superficie total de presencia
	Muy baja	Baja	Media	Alta	Muy Alta	
(i) Norte Chico						
Región de Coquimbo	137.072	67.374	627	0	0	205.073
Superficie Macro regional	137.072	67.374	627	0	0	205.073
(ii) Zona Centro						
Región de Valparaíso	288.003	310.961	470.676	171.336	938	1.241.914
Región Metropolitana de Santiago	100.420	67.073	380.532	448.331	110.146	1.106.502
Región del Libertador Bernardo O'Higgins	75.136	327.204	688.523	227.134	48.509	1.366.506
Región del Maule	388.619	790.466	1.389.183	79.717	0	2.647.985
Región de Ñuble	169.770	322.933	748.630	19.959	0	1.261.292
Región del Biobío	817.824	615.538	842.396	27.314	0	2.303.072
Superficie Macro regional	1.839.772	2.434.175	4.519.940	973.791	159.593	9.927.271
(iii) Zona Sur						
Región de La Araucanía	604.053	1.484.472	904.438	33.764	0	3.026.727
Región de Los Ríos	483.653	975.767	104.645	0	0	1.564.065
Región de Los Lagos	2.648.345	866.988	158.107	999	0	3.674.439
Superficie Macro regional	3.736.051	3.327.227	1.167.190	34.763	0	8.265.231
Superficie Total del área de estudio	5.712.895	5.828.776	5.687.757	1.008.554	159.593	18.397.575

Tabla N° 10. Superficie de presencia macro regional y regional por rango de probabilidad de la especie Halymorpha halys. Fuente: Elaboración propia

i) Macro región Norte Chico

En el Norte Chico específicamente en la región de Coquimbo, la plaga *H. halys* presenta una distribución potencial de 205.073 ha correspondiente al 5,1% de la superficie regional, abarcando la zona cordillera andina desde el sureste de la comuna de Monte Patria hasta el extremo sur de la macro región, y parte de la depresión intermedia localizada al sureste de la ciudad de Los Vilos. Dicha distribución está conformada por tres de las cinco categorías de probabilidad que considera la presente investigación, comprendiendo desde Media hasta Muy Baja presencia en función de la idoneidad climática de la zona geográfica. Como se puede visualizar en el *Gráfico N° 12*, entre las categorías que destacan por abarcar una mayor superficie se encuentra la Muy Baja presencia que ocupa 137.072 ha equivalente al 66,8% de la distribución potencial de la plaga, comprendiendo la cordillera de Los Andes desde el sureste de la comuna de Monte Patria hasta el sureste de la localidad de Chillepín y ciertas áreas de la depresión intermedia en el extremo sur de la comuna de Los Vilos. Y la categoría de Baja presencia con 67.374 ha correspondiente al 32,9% de la superficie de distribución potencial, abarcando la cordillera andina desde el norte de la localidad de Chillepín hasta el extremo sur de la macro región, y parte de la depresión intermedia al sureste de la comuna de Los Vilos.

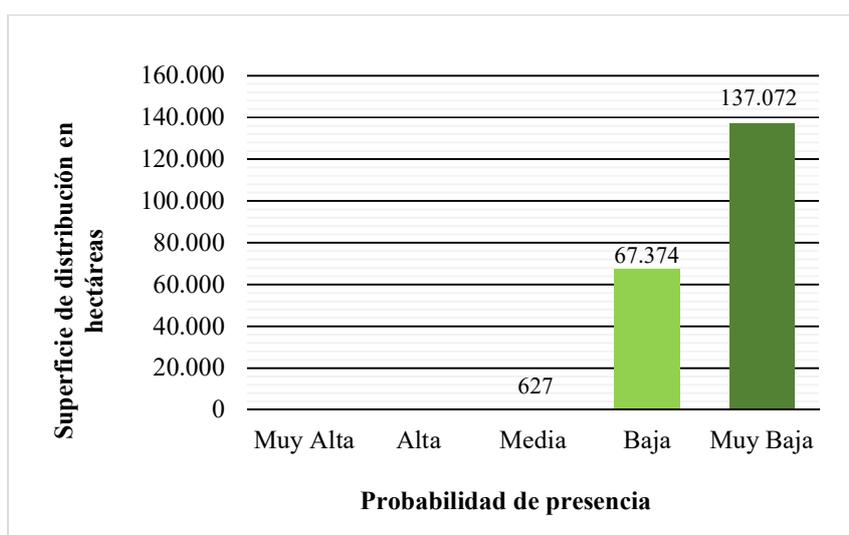


Gráfico N° 12. Superficie en hectáreas de las categorías de probabilidad de presencia de la plaga Halymorpha halys en la macro región Norte Chico. Fuente: Elaboración propia en base a la Tabla N° 10.

ii) Macro región Zona Centro

En la Zona Centro la plaga presenta una distribución potencial de 9.927.271 ha correspondiente al 85,9% de la superficie macro regional, abarcando desde el extremo norte de la región de Valparaíso hasta el extremo sur de la región del Biobío, excluyendo gran parte de la cordillera de Los Andes especialmente entre las regiones de Valparaíso y el Maule. Dicha distribución está conformada por las cinco categorías de probabilidad que considera la presente investigación, comprendiendo desde Muy Alta hasta Muy Baja presencia. Como se puede visualizar en el *Gráfico N° 13*, entre las categorías que destacan por abarcar una mayor superficie se encuentra la presencia Media que ocupa 4.519.940 ha equivalente a aprox. 45,5% de la distribución potencial de la plaga a nivel macro regional, comprendiendo principalmente entre las bajas cumbres de la cordillera de Los Andes y la depresión intermedia desde el sur de la comuna de Petorca en la región de Valparaíso hasta el extremo sur de la región del Biobío, además de algunas zonas de la cordillera de la Costa desde el suroeste de la ciudad de La Ligua en la región Valparaíso hasta el noreste de la comuna de Constitución en la región del Maule, exceptuando los alrededores de la ciudad de Valparaíso y Pichilemu. Seguida de la categoría de Baja presencia con 2.434.175 ha correspondiente al 24,5% de la distribución de la plaga, que abarca entre la zona occidental de la depresión intermedia y la cordillera de la Costa desde la comuna de Petorca hasta el norte de San Antonio en la región de Valparaíso y desde el noreste de la ciudad de Pichilemu en la región de O'Higgins hasta el extremo sur de la región del Biobío. Y la categoría de Muy Baja presencia con 1.839.772 ha equivalente al 18,5% de la distribución, que comprende la cordillera andina principalmente desde el norte de la localidad de Vilches en la región del Maule hasta el extremo sur de la región del Biobío, además de las planicies litorales localizadas al norte de la comuna de Valparaíso en la región homónima, y entre el norte de la ciudad de Constitución y el extremo sur de la macro región.

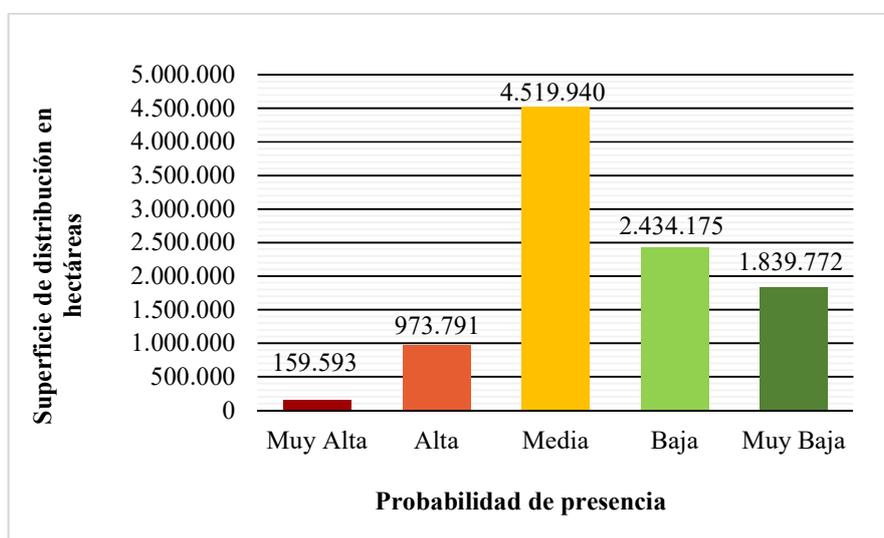


Gráfico N° 13. Superficie en hectáreas de las categorías de probabilidad de presencia de la plaga Halymorpha halys en la macro región Zona Centro. Fuente: Elaboración propia en base a la Tabla N° 10.

Como es posible visualizar en la *Tabla N° 10* y en el *gráfico N° 14*, más del 63% de la superficie de distribución potencial que posee la plaga en la Zona Centro se concentra principalmente en tres regiones: la región del Maule con 2.647.985 ha, seguido de la región del Biobío con 2.303.072 ha y O'Higgins con 1.366.506 ha. También, se observa que la superficie idónea con categorías de probabilidad entre Muy Alta y Alta presencia está fuertemente localizada en las regiones de Valparaíso, Metropolitana y O'Higgins, con un aumento gradual de las categorías de probabilidad Media, Baja y Muy Baja a medida que se avanza hacia el sur de la macro región.

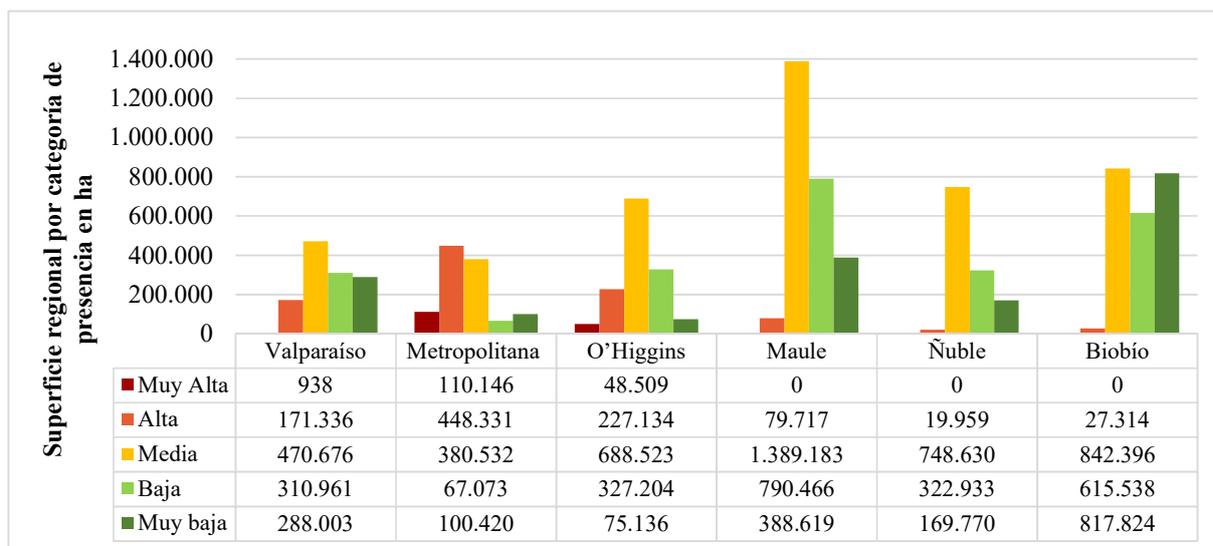


Gráfico N° 14. Superficie de presencia por categoría de probabilidad de la plaga Halymorpha halys en las regiones de la macro región Zona Centro. Fuente: Elaboración propia en base a la Tabla N° 10.

iii) Macro región Zona Sur

En la Zona Sur la plaga presenta una distribución potencial de 8.265.231 ha correspondiente al 83,6% de la superficie macro regional, abarcando desde el extremo norte de la región de La Araucanía hasta el extremo sur de la región de Los Lagos, excluyendo ciertas áreas a lo largo de la cordillera de Los Andes y de la cordillera de la Costa especialmente al sur de la región de Los Ríos hasta el extremo sur de la macro región. Dicha distribución está conformada por cuatro de las cinco categorías de probabilidad que considera la presente investigación, comprendiendo desde Alta hasta Muy Baja presencia en función de la idoneidad climática de la zona geográfica. Como se puede visualizar en el *Gráfico N° 15*, entre las categorías que destacan por abarcar una mayor superficie se encuentra la Muy Baja presencia que ocupa 3.736.051 ha equivalente al 45,2% de la distribución potencial de la plaga a nivel macro regional, comprendiendo ciertas áreas de la cordillera andina desde el extremo norte de la región de la Araucanía hasta el suroeste de la comuna de Chaitén en la región de Los Lagos, también la cordillera de la Costa y las planicies litorales desde el este de la ciudad de Carahue en la región de la Araucanía hasta el extremo sur de la Isla Grande de Chiloé en la región de Los Lagos, además de una pequeña porción de la depresión intermedia entorno a la ciudad de Puerto Montt. Seguida de la categoría de Baja presencia con 3.327.227 ha correspondiente al 40,3% de la distribución macro regional de la plaga, que abarca principalmente la depresión intermedia desde el norte de la ciudad de Temuco en la región de la Araucanía hasta el este de la ciudad de Puerto Montt en la región de Los Lagos, además de ciertas áreas a lo largo de la cordillera andina y de la cordillera de la Costa. Y la categoría de presencia Media con 1.167.190 ha equivalente al 14,1% de la distribución, que comprende la cordillera andina desde el norte de la región de la Araucanía hasta los fiordos y ríos en el extremo sur de la región de Los Lagos, además de la depresión intermedia entorno a las ciudades de Angol y Victoria.

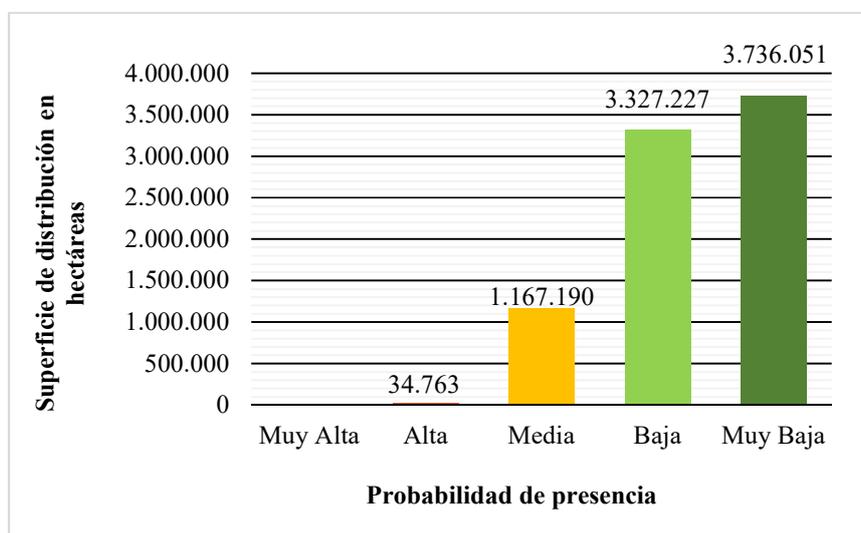


Gráfico N° 15. Superficie en hectáreas de las categorías de probabilidad de presencia de la plaga Halymorpha halys en la macro región Zona Sur. Fuente: Elaboración propia en base a la Tabla N° 10.

Como es posible visualizar en la *Tabla N° 10* y en el *Gráfico N° 16*, el 81,1% de la superficie de distribución potencial que posee la plaga en la macro región Zona Sur se concentra principalmente en las regiones de Los Lagos con 3.674.439 ha y La Araucanía con 3.026.727 ha. También, es posible observar una baja idoneidad climática para la plaga, la cual se hace más evidente a medida que se avanza hacia el sur de la región de Los Ríos, con un leve aumento de presencia en la región de Los Lagos.

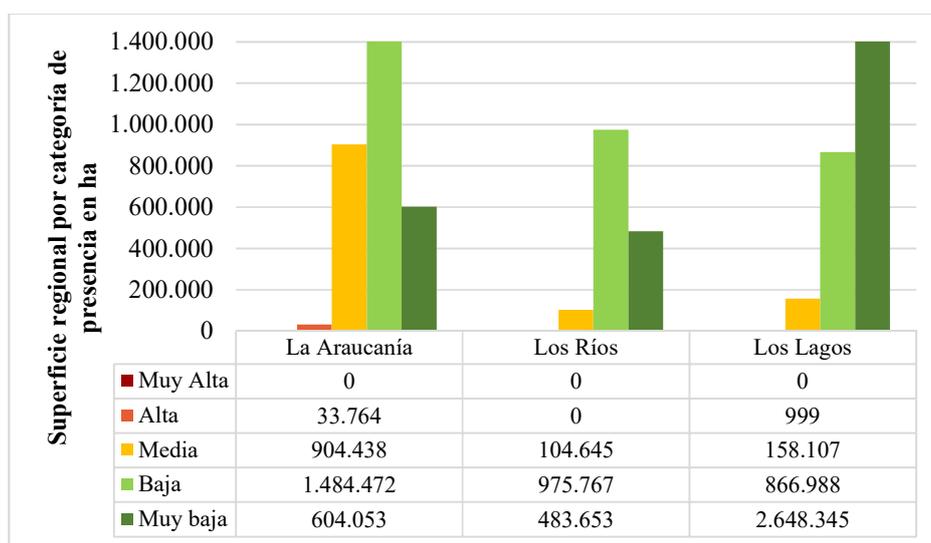


Gráfico N° 16. Superficie de presencia por categoría de probabilidad de la plaga Halymorpha halys en las regiones de la macro región Zona Sur. Fuente: Elaboración propia en base a la Tabla N° 10.

Distribución potencial de la plaga *Halymorpha halys* entre las regiones de Coquimbo y Los Lagos

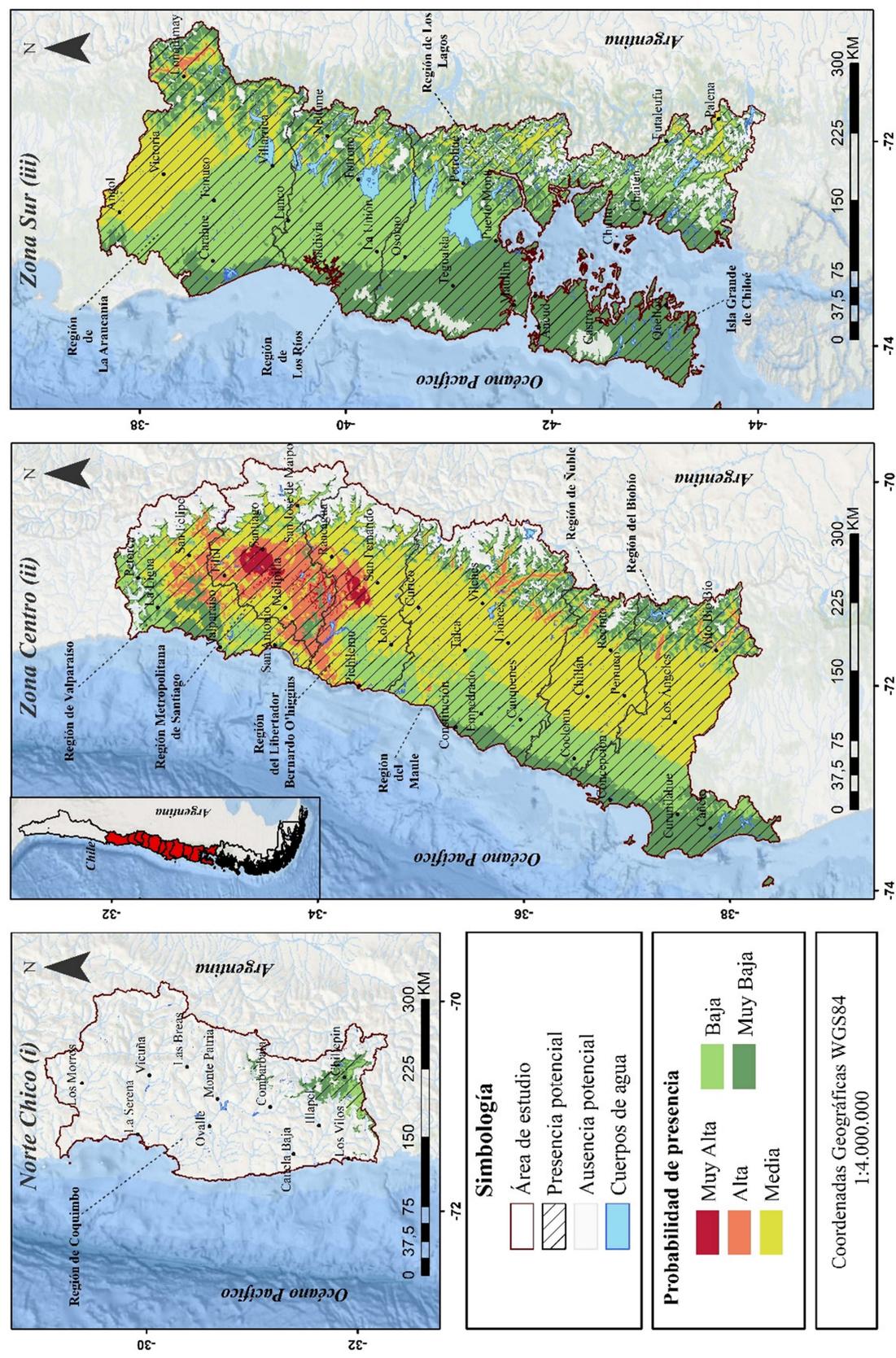


Figura N° 15. Cartografía de la distribución potencial de *H. halys* entre las regiones agrícolas de Coquimbo y Los Lagos. Fuente: Elaboración propia

4.3 Estimación de la superficie de suelo agrícola amenazada por el establecimiento potencial de las dos plagas invasoras entre las regiones de Coquimbo y Los Lagos

4.3.1 Zonas de uso agrícola amenazadas por la presencia potencial de la plaga *B. hiliaris*

En contexto general, las zonas de uso agrícola identificadas comprenden una superficie de 2.581.140 ha, equivalente al 10,1% del área de estudio. Abarcando fundamentalmente algunas zonas entre la precordillera y las planicies litorales desde el norte de la ciudad de Vicuña en la región de Coquimbo hasta el extremo sur de la región de La Araucanía, además de la precordillera y la depresión intermedia desde el extremo norte de la región de Los Ríos hasta el este de la comuna de Maullín en la región de Los Lagos, y la zona norte de la Isla de Chiloé correspondiente a las planicies litorales (ver Anexo N° X). De las cuales, 2.557.273 ha equivalente al 99,1% se encuentra amenazada por el establecimiento potencial de la plaga *Bagrada hiliaris*, específicamente por las cinco categorías de amenaza desde Muy Alta hasta Muy Baja, comprendiendo casi la totalidad del territorio agrícola exceptuando principalmente las áreas entorno a la ciudad de Valdivia en la región de Los Ríos y gran parte de Chiloé en la región de Los Lagos. Entre las categorías que destacan por abarcar una mayor superficie agrícola afectada se encuentran la amenaza Muy Baja con 51,3%, seguida de la Muy Alta con 21,2% y la Baja con 17,4% (ver Tabla N° 11).

En la Tabla N° 11 y en la Figura N° 16 se presenta la superficie afectada por cada una de las categorías de amenaza de la plaga *B. hiliaris* en las macro regiones Norte Chico (Coquimbo), Zona Centro y Zona Sur. A continuación, se detallan las categorías de mayor importancia en relación a la superficie de distribución:

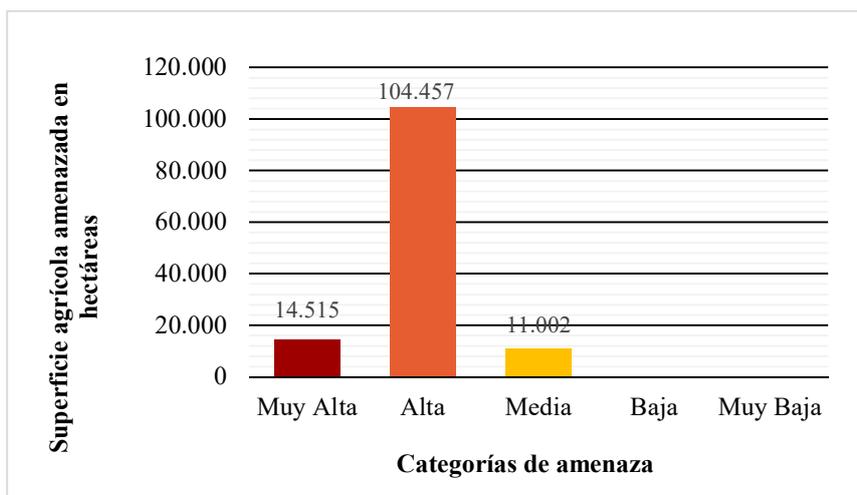
Macro región / Región	Superficie agrícola amenazada por la plaga <i>Bagrada hiliaris</i> (ha)					Superficie total amenazada
	Muy baja	Baja	Media	Alta	Muy Alta	
(i) Norte Chico						
Región de Coquimbo	0	0	11.002	104.457	14.515	129.974
Superficie Macro regional	0	0	11.002	104.457	14.515	129.974
(ii) Zona Centro						
Región de Valparaíso	0	1,4	0	4,6	159.990	159.996
Región Metropolitana de Santiago	0	0	0	167	203.102	203.269
Región del Libertador Bernardo O'Higgins	0	58.492	82.497	45.080	163.291	349.360
Región del Maule	272.814	302.945	7.708	7.199	0	590.666
Región de Ñuble	353.246	5.166	2.470	0	0	360.882
Región del Biobío	218.399	31.901	200	0	0	250.500
Superficie Macro regional	844.459	398.505,4	92.875	52.450,6	526.383	1.914.673
(iii) Zona Sur						
Región de La Araucanía	415.717	41.280	0	0	0	456.997
Región de Los Ríos	31.174	7	0	0	0	31.181
Región de Los Lagos	20.154	4.294	0	0	0	24.448
Superficie Macro regional	467.045	45.581	0	0	0	512.626
Superficie Total del área de estudio	1.311.504	444.086,4	103.877	156.907,6	540.898	2.557.273

Tabla N° 11. Superficie agrícola macro regional y regional afectada por cada categoría de amenaza por la especie *Bagrada hiliaris*. Fuente: Elaboración propia

i) Macro región Norte Chico:

En la región de Coquimbo las zonas de uso agrícola abarcan una superficie de 133.509 ha lo que representa el 3,3% del territorio regional, comprendiendo entre la precordillera y las planicies litorales desde el sur de la comuna de Vicuña hasta el extremo sur de la comuna de Los Vilos, entorno a los principales centros urbanos como lo son La Serena, Coquimbo, Ovalle, Monte Patria, Vicuña, Illapel, Los Vilos y Salamanca. De las cuales, 129.974 ha correspondiente al 97,4% se encuentran sumamente afectadas por el establecimiento potencial de la plaga *B. hilaris*, específicamente por tres de las cinco categorías de amenaza que considera la presente investigación, comprendiendo desde Muy Alta hasta Media amenaza, abarcando casi la totalidad de la superficie agrícola a excepción de pequeñas áreas aledañas a las ciudades de La Serena y Vicuña.

Como se puede visualizar en el *Gráfico N° 17*, entre las categorías que destacan por abarcar una mayor superficie se encuentra la amenaza Alta que ocupa 104.457 ha, equivalente al 80,4% del área regional amenazada por la plaga, la cual comprende entre la precordillera y las planicies litorales desde la ciudad de Vicuña hasta el sur de la comuna de Illapel, excluyendo las áreas urbanas entorno a La Serena, noreste de Vicuña, Chillepín y Los Vilos. Y la categoría de amenaza Muy Alta con 14.515 ha correspondiente al 11,2% de la superficie regional amenazada, que abarca entre la precordillera y las planicies litorales desde el sur de la comuna de Combarbalá hasta el extremo sur de la región, exceptuando la localidad de Canela Baja, la ciudad de Illapel y sus alrededores.



*Gráfico N° 17. Superficie en hectáreas de las categorías de amenaza de la plaga *B. hilaris* en la macro región Norte Chico. Fuente: Elaboración propia en base a la Tabla N° 11.*

ii) Macro región Zona Centro:

En la Macro región Centro las zonas de uso agrícola abarcan una superficie de 1.918.478 ha lo que representa 16,6% del territorio macro regional, comprendiendo entre la precordillera y las planicies litorales desde el extremo norte de la región de Valparaíso hasta el extremo sur de la región del Biobío. De las cuales, 1.914.673 ha equivalente al 99,8% se encuentran afectadas por el establecimiento potencial de la plaga *B. hiliaris*, por todas las categorías de amenaza desde Muy Alta hasta Muy Baja, comprendiendo casi la totalidad de la superficie agrícola a excepción de pequeñas áreas al este de la comuna de Alto Biobío.

Como se puede visualizar en el *Gráfico N° 18*, entre las categorías que destacan por abarcar una mayor superficie se encuentra la amenaza Muy Baja que ocupa 844.459 ha, equivalente al 44,1% del área macro regional amenazada por la plaga, que comprende entre la precordillera y la cordillera de la Costa desde el noreste de la localidad de Vilches excluyendo la ciudad Talca en la región del Maule hasta el extremo sur de la región del Biobío. Seguida de la categoría de amenaza Muy Alta con 526.383 ha correspondiente al 27,5% de la superficie macro regional amenazada, que abarca entre la precordillera y las planicies litorales desde el noroeste de la comuna de Petorca en la región de Valparaíso hasta el norte de la comuna de San Fernando en la región O'Higgins, excluyendo la zona entorno a la ciudad Pichilemu. Y la amenaza Baja con 398.505,4 ha equivalente al 20,8%, que comprende entre la precordillera y las planicies litorales desde el sur de la ciudad de San Fernando en la región del Libertador Bernardo O'Higgins hasta el extremo sur de la comuna de Cauquenes en la región del Maule excluyendo la localidad de Vilches y la ciudad de Linares, además de abarcar la comuna de Cañete en la región del Biobío.

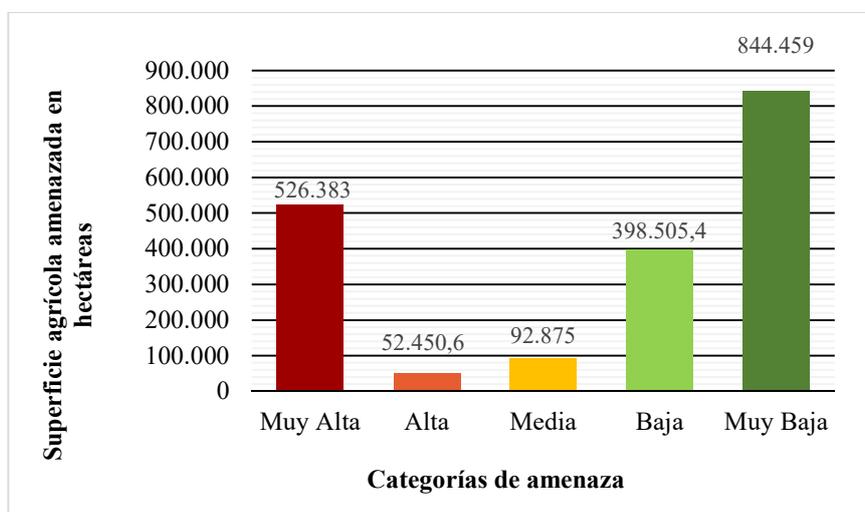


Gráfico N° 18. Superficie en hectáreas de las categorías de amenaza de la plaga B. hiliaris en la macro región Zona Centro. Fuente: Elaboración propia en base a la Tabla N° 11.

Como es posible visualizar en la *Tabla N° 11* y en el *gráfico N° 19*, el 68,1% de la superficie agrícola amenazada por la plaga en la Zona Centro se concentra principalmente en tres regiones: la región del Maule con 590.666 ha, seguida de la región de Ñuble con 360.882 ha y O'Higgins con 349.360 ha. También, se observa que la superficie con categorías de amenaza entre Muy Alta y Media está fuertemente concentrada en las regiones de Valparaíso, Metropolitana y O'Higgins, con un aumento gradual de las categorías de amenaza Baja y Muy Baja a medida que se avanza hacia el sur de la macro región.

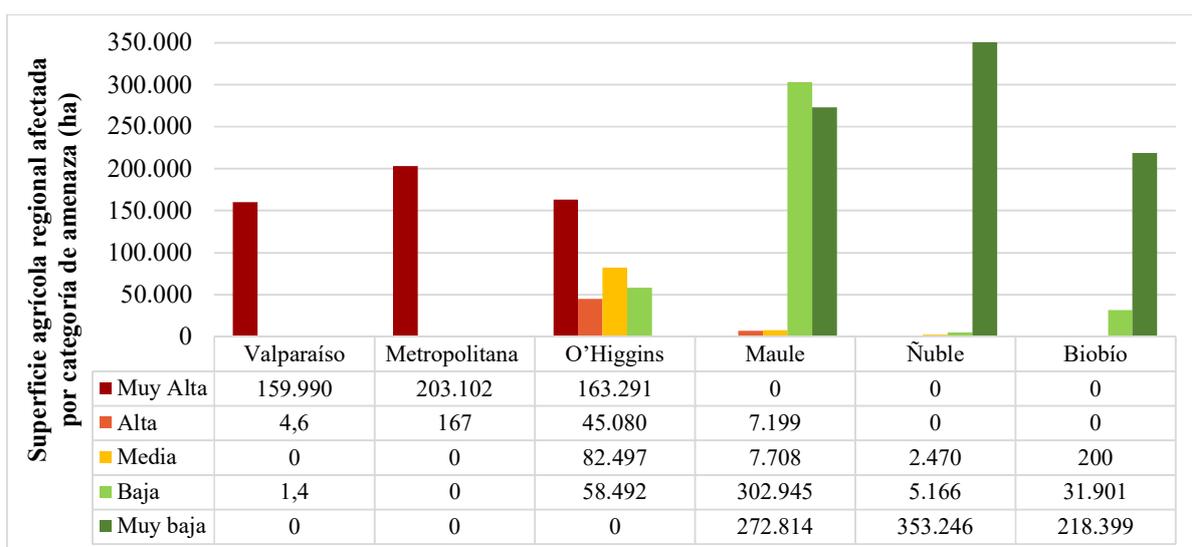
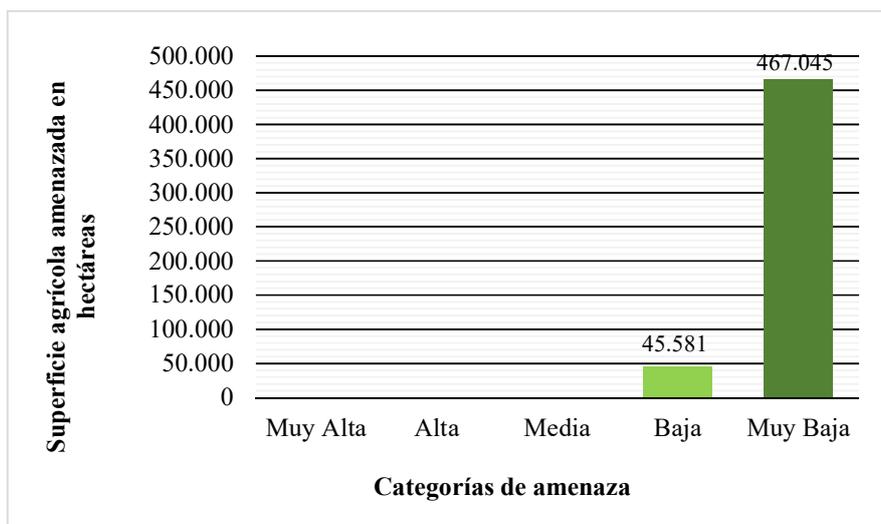


Gráfico N° 19. Superficie agrícola en hectáreas de las categorías de amenaza de la plaga B. hiliaris en las regiones de la macro región Zona Centro. Fuente: Elaboración propia en base a la Tabla N° 11.

iii) Macro región Zona Sur:

En la Macro región Sur las zonas de uso agrícola abarcan una superficie de 529.153 ha lo que representa el 5,4% del territorio macro regional, comprendiendo fundamentalmente entre la precordillera y las planicies litorales desde el extremo norte de la comuna de Angol hasta el suroeste de la comuna de Villarrica en la región de La Araucanía, parte de la precordillera y la depresión intermedia desde la comuna de Lanco en la región de Los Ríos hasta el sur de la comuna de Maullín en la región de Los Lagos, y parte de las planicies litorales entorno a la ciudad de Ancud en la Isla Grande de Chiloé. De las cuales, 512.626 ha correspondiente al 96,9% se encuentran afectadas por el establecimiento potencial de la plaga *B. hiliaris*, específicamente por las categorías de amenaza Baja y Muy Baja, comprendiendo casi la totalidad de la superficie agrícola a excepción de pequeñas áreas de la depresión intermedia entorno a la ciudad de Carahue en la región de La Araucanía, la precordillera y parte de la depresión intermedia al este de las comunas de Valdivia y La Unión en la región de Los Ríos y la Isla Grande de Chiloé.

Como se puede visualizar en el *Gráfico N° 20*, entre las categorías que destacan por abarcar una mayor superficie se encuentra la amenaza Muy Baja que ocupa 467.045 ha, equivalente al 91,1% del área macro regional amenazada por la plaga, la cual comprende entre la precordillera y la depresión intermedia desde el extremo norte de la región de La Araucanía hasta la altura de la comuna de Maullín en la región de Los Lagos, exceptuando las áreas entorno al poblado de Tegalda.



*Gráfico N° 20. Superficie en hectáreas de las categorías de amenaza de la plaga *B. hiliaris* en la macro región Zona Sur. Fuente: Elaboración propia en base a la Tabla N° 11.*

Como es posible visualizar en la *Tabla N° 11* y en el *Gráfico N° 21*, el 89% de la superficie agrícola amenazada por la plaga en la Zona Sur se concentra en la región de la Araucanía con 456.997 ha. También, es posible observar una baja amenaza por parte de la plaga, haciéndose más evidente a medida que se avanza hacia el sur de la macro región.

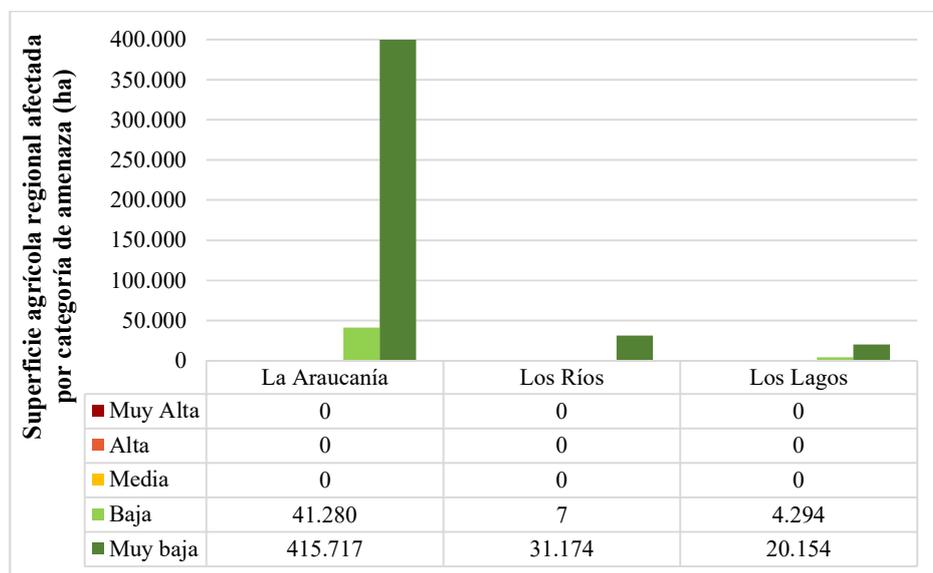


Gráfico N° 21. Superficie agrícola en hectáreas de las categorías de amenaza de la plaga B. hiliaris en las regiones de la macro región Zona Sur. Fuente: Elaboración propia en base a la Tabla N° 11.

4.3.2 Zonas de uso agrícola amenazadas por la presencia potencial de la plaga *H. halys*

En contexto general, de las 2.581.140 ha de zonas de uso agrícola identificadas en el área de estudio el 94,8% se encuentra amenazada por el establecimiento potencial de la plaga *Halymorpha halys*, específicamente por cinco categorías de amenaza desde Muy Alta hasta Muy Baja, abarcando fundamentalmente algunas áreas de la precordillera desde el este de la comuna de Illapel en la región de Coquimbo hasta el extremo sur de la región de Los Ríos, además de la zona comprendida entre la depresión intermedia y las planicies litorales desde el norte de la región de Valparaíso hasta el este de la comuna de Maullín en la región de Los Lagos, y el noreste de la Isla Grande de Chiloé. Entre las categorías que destacan por abarcar una mayor superficie agrícola afectada se encuentran la amenaza Media con 64,2%, seguida de la Baja con 19,8% y la Alta con 8,1% (ver Tabla N° 12).

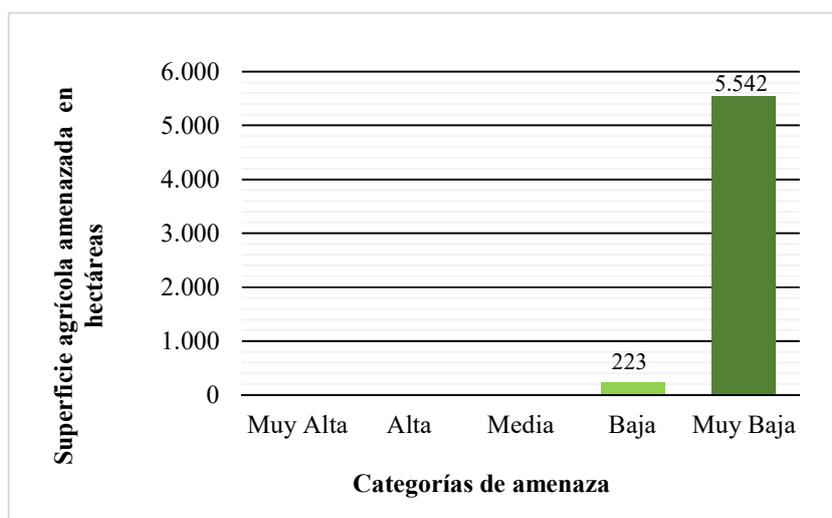
En la Tabla N° 12 y en la Figura N° 17 se presenta la superficie afectada por cada una de las categorías de amenaza de la plaga *H. halys* en las macro regiones Norte Chico (Coquimbo), Zona Centro y Zona Sur. A continuación, se detallan las categorías de mayor importancia en relación a la superficie de distribución:

Macro región / Región	Superficie agrícola amenazada por la plaga <i>Halymorpha halys</i> (ha)					Superficie total amenazada
	Muy baja	Baja	Media	Alta	Muy Alta	
(i) Norte Chico						
Región de Coquimbo	5.542	223	0	0	0	5.765
Superficie Macro regional	5.542	223	0	0	0	5.765
(ii) Zona Centro						
Región de Valparaíso	57.502	26.976	52.756	16.858	0	154.092
Región Metropolitana de Santiago	14.339	1.613	59.560	103.431	24.326	203.269
Región del Libertador Bernardo O'Higgins	517	85.851	158.012	75.924	29.110	349.414
Región del Maule	14.682	56.557	517.025	2.530	0	590.794
Región de Ñuble	5.827	30.706	324.250	44	0	360.827
Región del Biobío	30.622	16.959	205.424	104	0	253.109
Superficie Macro regional	123.489	218.662	1.317.027	198.891	53.436	1.911.505
(iii) Zona Sur						
Región de La Araucanía	1.815	208.630	253.043	8	0	463.496
Región de Los Ríos	0	39.903	22	0	0	39.925
Región de Los Lagos	8.778	16.874	12	0	0	25.664
Superficie Macro regional	10.593	265.407	253.077	8	0	529.085
Superficie Total del área de estudio	139.624	484.292	1.570.104	198.899	53.436	2.446.355

Tabla N° 12. Superficie agrícola macro regional y regional afectada por cada categoría de amenaza por la especie *Halymorpha halys*. Fuente: Elaboración propia

i) Macro región Norte Chico:

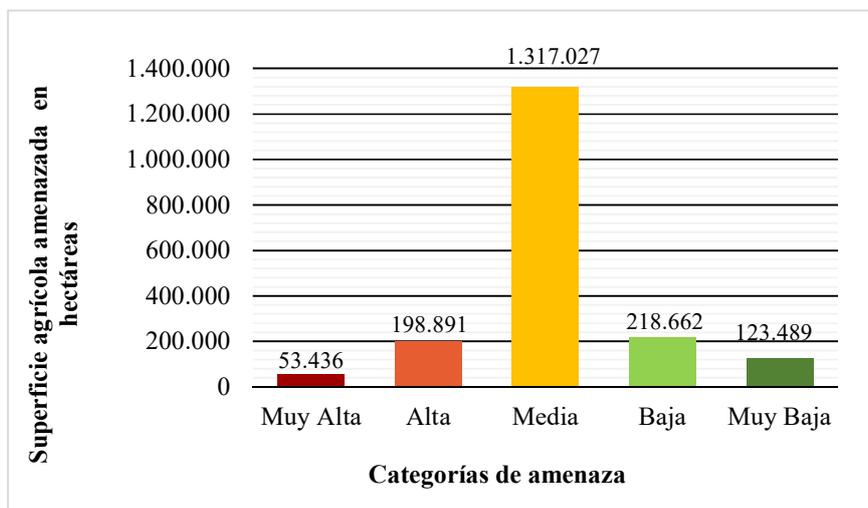
En la región de Coquimbo de las 133.509 ha de superficie de uso de suelo agrícola identificadas el 4,3% se encuentra afectada por el establecimiento potencial de la plaga *H. halys*, específicamente por las categorías de amenaza Baja y Muy Baja, comprendiendo la zona precordillerana andina desde el noreste de la comuna de Illapel hasta la altura de la localidad de Chillepín en la comuna de Salamanca. Como se puede visualizar en el *Gráfico N° 22*, entre las categorías que destacan por abarcar una mayor superficie se encuentra la Muy Baja amenaza que ocupa 5.542 ha, comprendiendo el 96,1% de la superficie agrícola regional amenazada por la plaga, exceptuando únicamente ciertas áreas al sureste de la localidad de Chillepín que son abarcadas por la categoría de Baja amenaza.



*Gráfico N° 22. Superficie en hectáreas de las categorías de amenaza de la plaga *H. halys* en la macro región Zona Norte Chico. Fuente: Elaboración propia en base a la Tabla N° 12.*

ii) Macro región Zona Centro:

En la Zona Centro de las 1.918.478 ha de superficie de uso de suelo agrícola el 99,6% se encuentra afectada por el establecimiento potencial de la plaga *H. halys*, por todas las categorías de amenaza desde Muy Alta hasta Muy Baja, comprendiendo algunas zonas entre la precordillera y las planicies litorales desde el noreste de la comuna de Petorca en la región de Valparaíso hasta el extremo sur de la región del Biobío. Como se puede visualizar en el *Gráfico N° 23*, entre las categorías que destacan por abarcar una mayor superficie se encuentra la amenaza Media que ocupa 1.317.027 ha equivalente al 68,9% de la superficie agrícola macro regional amenazada por la plaga, comprendiendo fundamentalmente entre la precordillera y parte de la cordillera de la Costa desde el norte de la comuna de San Felipe en la región de Valparaíso hasta la altura de la comuna de Alto Biobío en la región del Biobío, exceptuando el área comprendida desde la ciudad de Tiltill en la región de Valparaíso hasta el norte de la comuna de San Fernando en la región de O'Higgins. Seguida de la categoría de Baja amenaza con 218.662 ha correspondiente al 11,4% de la superficie agrícola amenazada en la macro región, que abarca fundamentalmente entre la cordillera de la Costa y las planicies litorales desde el sur de la ciudad de Valparaíso en la región homónima hasta el este de la comuna de Curanilahue en la región del Biobío, excluyendo gran parte de la región Metropolitana. Y la Alta amenaza con 198.891 ha, equivalente al 10,4%, que comprende la depresión intermedia desde el este de la comuna de San Felipe en la región de Valparaíso hasta el norte de la comuna de San Fernando en la región de O'Higgins exceptuando la ciudad de Santiago, y parte de la cordillera de la Costa entorno a la ciudades de San Antonio en la región de Valparaíso y Melipilla en la región Metropolitana.



*Gráfico N° 23. Superficie en hectáreas de las categorías de amenaza de la plaga *H. halys* en la macro región Zona Centro. Fuente: Elaboración propia en base a la Tabla N° 12.*

Como es posible visualizar en la *Tabla N° 12* y en el *gráfico N° 24*, el 68,1% de la superficie agrícola amenazada por la plaga en la Zona Centro se concentra principalmente en tres regiones: la región del Maule con 590.794 ha, seguida de la región de Ñuble con 360.827 ha y O'Higgins con 349.414 ha. También, se observa que la superficie con categorías de amenaza Muy Alta y Alta está fuertemente concentrada en las regiones de Valparaíso, Metropolitana y O'Higgins, especialmente en estas dos últimas; con un aumento gradual de las categorías de amenaza entre Media y Muy Baja hasta la región del Maule, desde donde se comienza a producir un descenso de la superficie amenazada a medida que se avanza hacia el sur de la macro región.

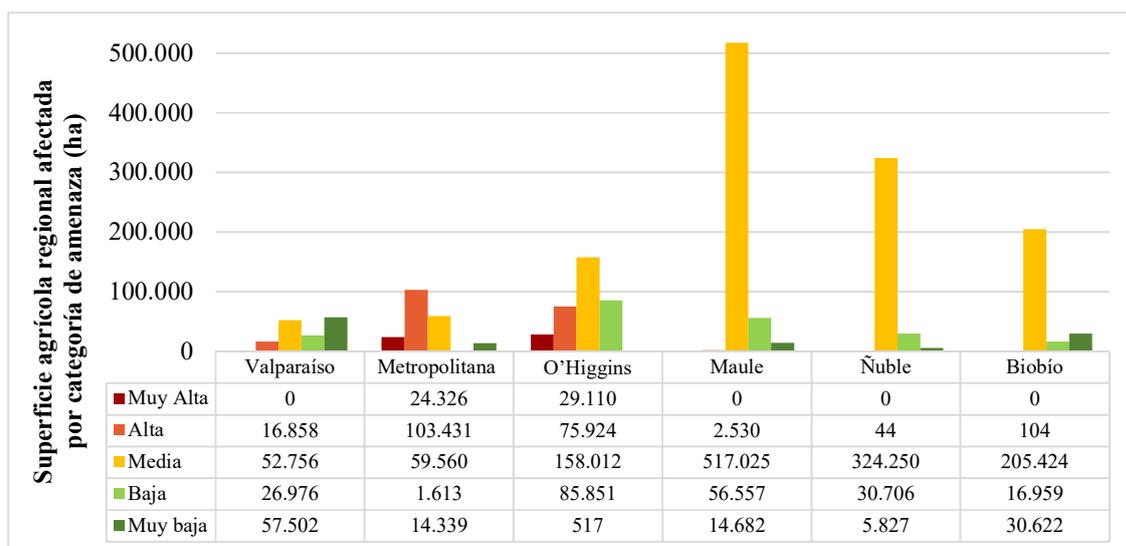
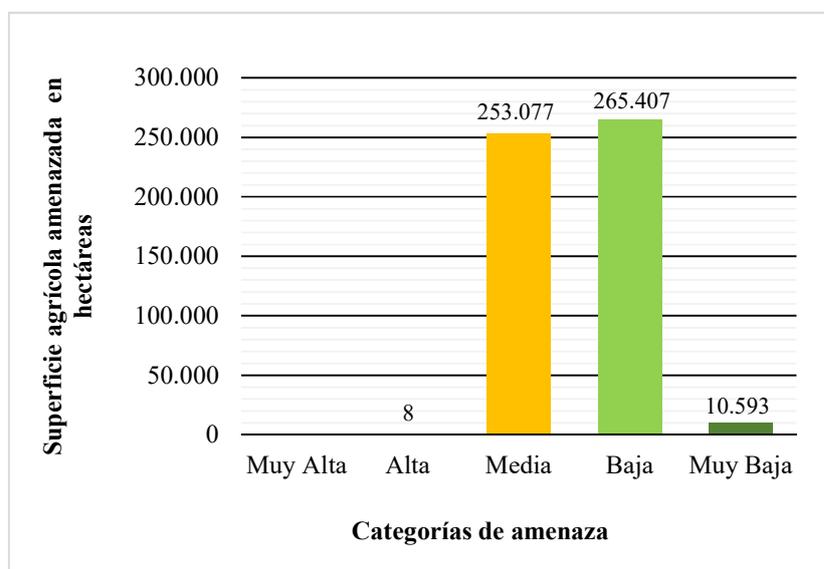


Gráfico N° 24. . Superficie agrícola en hectáreas de las categorías de amenaza de la plaga H. halys en las regiones de la macro región Zona Centro. Fuente: Elaboración propia en base a la Tabla N° 12.

iii) Macro región Zona Sur:

En la Zona Sur de las 529.153 ha de superficie de uso de suelo agrícola casi el 100% se encuentra afectada por el establecimiento potencial de la plaga *H. halys*, específicamente por las categorías de amenaza desde Alta hasta Muy Baja, comprendiendo algunas zonas entre la precordillera y la depresión intermedia desde el extremo norte de la región de La Araucanía hasta el este de la comuna de Maullín en la región de Los Lagos, además de las planicies litorales entorno a las comunas de Ancud y Castro en la Isla Grande de Chiloé. Como se puede visualizar en el *Gráfico N° 25*, entre las categorías que destacan por abarcar una mayor superficie se encuentra la Baja amenaza que ocupa 265.407 ha equivalente al 50,2% de la superficie agrícola macro regional amenazada por la plaga, comprendiendo algunas zonas entre la precordillera y la depresión intermedia desde el suroeste de la comuna de Angol en la región de La Araucanía hasta la altura de la localidad de Tegalda en la región de Los Lagos. Y la Media amenaza con 253.077 ha correspondiente al 47,8% de la superficie agrícola amenazada en la macro región, abarcando entre la precordillera y la depresión intermedia desde el extremo norte de la comuna de Angol hasta la altura de la comuna de Temuco en la región de La Araucanía.



*Gráfico N° 25. Superficie en hectáreas de las categorías de amenaza de la plaga *H. halys* en la macro región Zona Sur. Fuente: Elaboración propia en base a la Tabla N° 12.*

Como es posible visualizar en la *Tabla N° 12* y en el *Gráfico N° 26*, el 87,6% de la superficie agrícola amenazada por la plaga en la Zona Sur se concentra en la región de la Araucanía con 463.496 ha. También, es posible observar una baja amenaza por parte de la plaga en gran parte de la macro región, haciéndose más evidente a medida que se avanza hacia la región de Los Lagos.

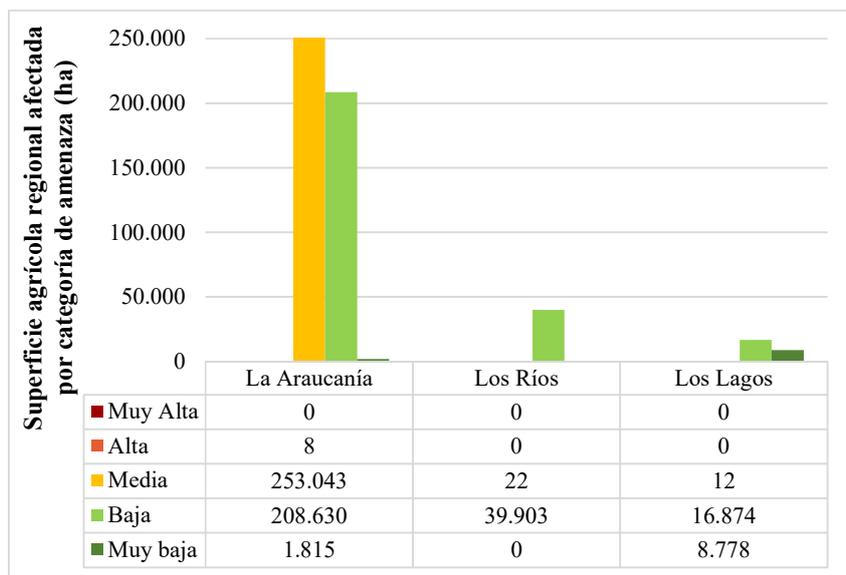


Gráfico N° 26. Superficie agrícola en hectáreas de las categorías de amenaza de la plaga H. halys en las regiones de la macro región Zona Sur. Fuente: Elaboración propia en base a la Tabla N° 12.

Nivel de amenaza agrícola de la plaga *Halymorpha halys* entre las regiones de Coquimbo y Los Lagos

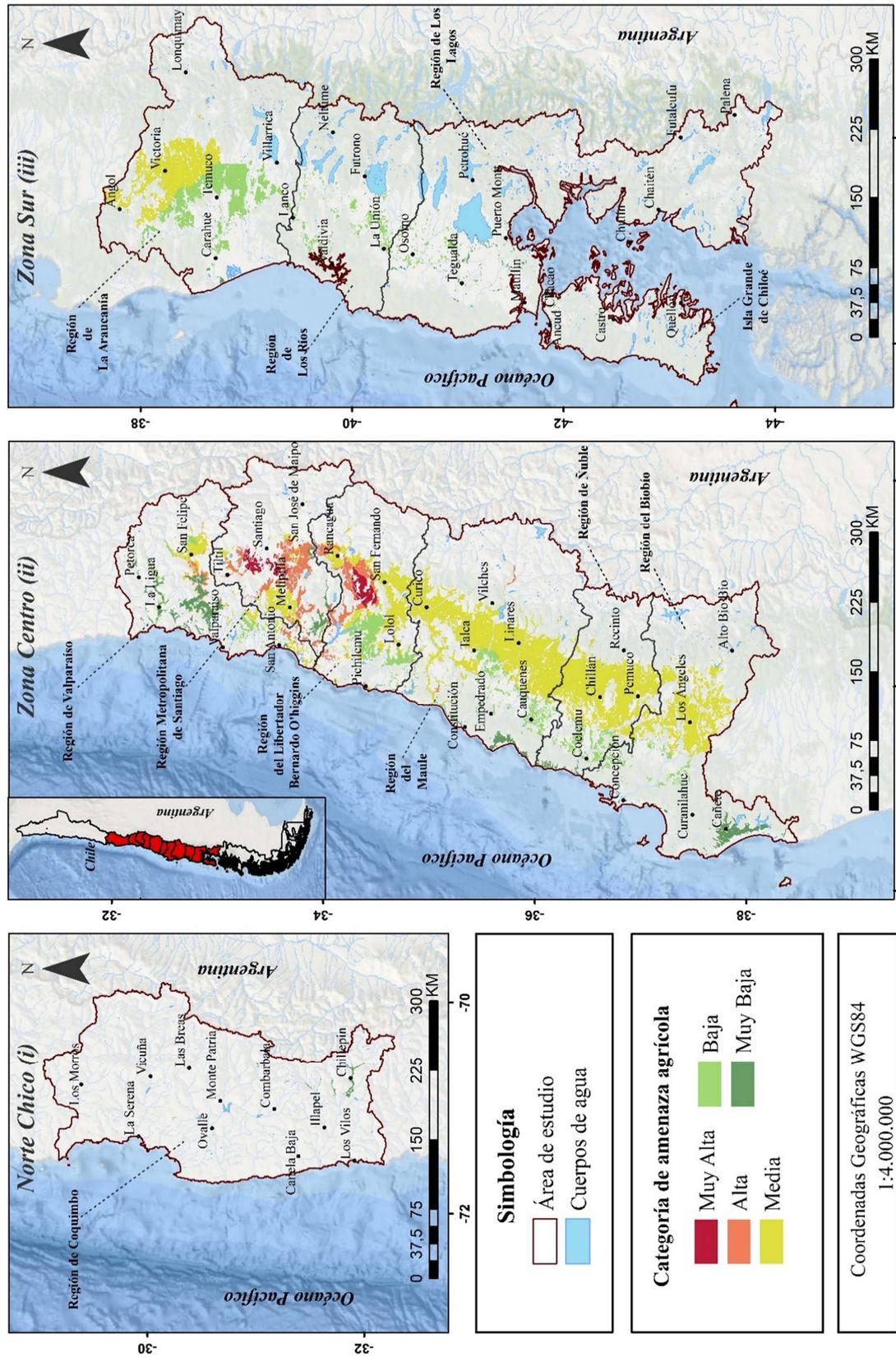


Figura N° 17. Cartografía de las zonas de uso agrícola amenazadas por la plaga invasora *H. halys* entre las regiones de Coquimbo y Los Lagos.
Fuente: Elaboración propia

Capítulo V: Discusiones y conclusiones

5.1 Discusión

5.1.1 En relación a los modelos de distribución de especies: limitaciones en los registros de datos y en la selección de variables

Para llevar a cabo la elaboración de los modelos de distribución de especies fue necesario contar con dos fuentes de información. Por un lado, con las variables dependientes que hacen referencia a la base de registros de ocurrencia de cada una de las plagas, que provienen principalmente de un compilado de datos masivos presentes en herbarios o museos, así como también de observaciones humanas y de maquinarias, que fueron descargados desde la plataforma GBIF y CABI, por ser las instituciones comúnmente más utilizadas en el ámbito de modelación de especies a nivel mundial (Pelayo-Villamil et al, 2012; Varela et al, 2014; Pastrana, 2020). Si bien, el uso de este tipo de información gratuita y de libre acceso es de gran utilidad para el desarrollo de investigaciones macroecológicas y biogeográficas, es duramente criticada por autores como Mateo et al (2011), Pliscoff & Fuentes-Castillo (2011) & Varela et al (2014), debido a tres inconvenientes fundamentales: 1) sólo considera registros de presencia y no de ausencia; 2) un porcentaje significativo de los datos presenta errores de identificación taxonómica y/o de georreferenciación; y 3) su recolección se realizó con diferentes finalidades, y por diversos recolectores en lugares y momentos determinados, sin establecer una correcta estrategia de muestreo. Conllevando a que muchas veces los modelos sean representaciones sesgadas de la distribución de especies, generando la primera oleada de equivocaciones independiente de las técnicas utilizadas (Mateo et al, 2011; Gil, 2017).

Por tal motivo, a pesar de haber corregido los errores taxonómicos y de localización de los datos utilizados en el desarrollo de esta memoria, y de haberlos complementado con los registros nacionales otorgados por el SAG, las limitaciones de la información en la cual se basan los modelos no permiten otorgar una total veracidad a los resultados obtenidos, dado que el hecho de que una plaga se encuentre presente o no en un determinado punto del espacio geográfico, dependerá tanto del mes y lugar de colecta, así como del propio recolector. A pesar de ello, la realidad es que la mayoría de los estudios que se llevan a cabo entorno al modelamiento de distribución de especies se basan exclusivamente en este tipo de registros, incluyendo las investigaciones realizadas por los autores anteriormente mencionados, debido a la precariedad de las bases de datos y a la escasez de información, tanto a escala nacional como mundial. Ejemplo de ello son las investigaciones llevadas a cabo por Larramendi (2017) con la especie exótica invasora *Vespa Velutina* (Avispa asiática) introducida en España; Bizama (2020) con la mosca invasora *Drosophila suzukii* (Matsumura) en Chile; y Camacho-Portocarrero et al (2021) con el cangrejo invasor *Procambarus clarkii* (Langostino americano) introducido en Colombia.

Es en este contexto, donde diversos autores como Wisz et al (2008) y Kadmon et al (2003) han planteado que los inconvenientes de este tipo de bases de datos no perjudican el éxito de un modelo de distribución de especies, siempre y cuando se considere un número superior a 35 o 50 registros de presencia. Razón por la cual en la presente memoria se llevaron a cabo modelos de distribución globales, ya que, el número de datos de ocurrencia a nivel nacional era inferior a la cantidad de registros mínimos exigidos por la bibliografía para ser considerados estadísticamente válidos. Por

ello, resulta fundamental que instituciones estatales como es en este caso el SAG, cuenten con personal especializado que se encargue de recolectar los datos de presencia de las especies, así como también de actualizar y corregir los repositorios ya existentes, y de capacitar a los usuarios agrícolas para la detección temprana de los ejemplares, con el propósito de poseer bases de datos nacionales robustas que permitan llevar a cabo investigaciones y planes de manejo sólidos en relación a los modelos de distribución de plagas, para aminorar las pérdidas del sector agrícola.

Otro factor importante para poder llevar a cabo la elaboración de los modelos de distribución de especies fueron las variables independientes, donde resultó esencial la identificación de aquellos predictores ambientales más relevantes y que produjeran un mayor ajuste de los datos (Guisan & Thuiller, 2005; Johnson et al, 2006). Siendo las más utilizadas las variables climáticas, que corresponden a aquellas condiciones ambientales presentes en un determinado espacio geográfico que permiten que una especie sobreviva, se establezca y se reproduzca. En este ámbito, de acuerdo con autores como Guisan & Zimmermann (2000) y Mateo et al (2011) el clima cumple un rol fundamental dentro del componente poblacional de la especie, ya que, al ser una de las primeras barreras que deben superar durante el proceso de invasión biológica, influye directa o indirectamente en el éxito que pudiese tener en su dinámica de distribución final a escalas espaciales amplias, es decir de kilómetros. Donde la escala y la extensión espacial condicionan la selección de los predictores ambientales que se deben incluir a la hora de modelar.

Las razones anteriormente mencionadas en conjunto con los variados ejemplos de modelos de distribución de plagas motivaron a que la presente memoria también utilizara algunas de las 19 variables bioclimáticas otorgadas por WorldClim. Si bien, esta base de datos climáticos es criticada por autores como Plischoff & Fuentes-Castillo (2011) por presentar problemas en los valores de las variables climáticas, especialmente en las zonas de Chile donde la cobertura de las estaciones meteorológicas es notablemente menor, como es el caso de la macro región Norte, continúa siendo la mejor fuente de información para la presente investigación, ya que, el repositorio de datos nacionales de superficies climáticas elaborado por Plischoff et al (2014) tuvo que ser descartado por la extensión y escala del área de estudio condicionada por los puntos de presencia mundiales de las especies seleccionadas.

Durante el proceso de revisión bibliográfica también se constató que investigaciones similares complementaron las variables de temperatura y precipitación con predictores tales como la huella humana, pendiente, usos de suelo, relaciones bióticas y asentamientos humanos, que no fueron considerados en la elaboración de los modelos de distribución de las plagas seleccionadas, debido a la falta de tiempo, y a los recursos tecnológicos y de información limitados (Mateo et al, 2011; Carvajal et al, 2018). Con respecto a esto último, cabe destacar que la presente memoria abordaba un objetivo general mucho más amplio, donde se pretendía no sólo obtener las áreas agrícolas amenazadas en tiempo presente, sino que también proyectarlas bajo un escenario futuro de cambio climático para el año 2030, quedando imposibilitado porque las cinco variables bioclimáticas futuras que se utilizaron presentaron ciertos errores al ser filtradas y procesadas en *Maxent*. Si bien, se hicieron diferentes intentos con las mismas variables pero descargadas desde distintas fuentes de información, en todos los casos los resultados arrojados no presentaban ninguna variación entre los escenarios RCP 4.5 y 8.5 propuestos por el IPCC ni tampoco entre los años 2020 y 2030, por lo que se dedujo que surgió un error al procesarlos o que no existiría ningún cambio evidente, así que considerando ambos casos y las limitaciones informáticas se decidió no proseguir con dicho objetivo.

5.1.2 En relación a los modelos de distribución de especies: Discusión de resultados

Si bien, a lo largo del presente trabajo de investigación fueron diversos los autores mencionados que ya han abordado los modelos de distribución de especies exóticas invasoras y su aplicación en diferentes disciplinas, se torna necesario llevar a cabo un análisis de los resultados de aquellas investigaciones que más han aportado a la comprensión y estudio de la distribución de las plagas en el ámbito agrícola. En este contexto, es posible mencionar que esta investigación reafirma lo señalado por Carvajal et al (2018) respecto a que la plaga *Bagrada hilaris* presenta una distribución potencial que abarca desde la región de Coquimbo hasta la zona norte de la región de Los Lagos, excluyendo gran parte del archipiélago de Chiloé. Si bien, los estudios coinciden en cuanto a la extensión de la distribución, se diferencian drásticamente en lo que a categorías de probabilidad se refiere, ya que señalan que existe una Muy Alta y Alta probabilidad de presencia en gran parte del área de estudio específicamente entre el sur de la región de Coquimbo y el sur de la región de Los Ríos, lo cual no se condice con los resultados que obtuvo la presente memoria, donde dichas categorías están fuertemente concentradas entre la precordillera de Los Andes y las planicies litorales desde el noreste de la comuna de Vicuña en la región de Coquimbo hasta el norte de la comuna de San Fernando en la región de O'Higgins. Dicha diferencia podría deberse a la metodología aplicada, ya que los autores además de considerar las 19 variables bioclimáticas también añadieron la huella humana, asimismo su escala de trabajo fue a nivel continental y su modelo de distribución final fue un ráster con categorías binarias, obteniendo una proyección menos detallada a nivel regional debido a la complejidad que presentaba.

Por otro lado, en lo concerniente con la plaga *Halymorpha halys*, de acuerdo con lo planteado por Kitricos et al (2017) ésta presenta una distribución potencial que abarca entre la depresión intermedia y las planicies litorales desde la región de Coquimbo hasta el norte de la región de Los Lagos, no concordando en algunos aspectos con los resultados obtenidos en la presente investigación, ya que si bien los autores incluyen las planicies litorales de la región de Coquimbo sugieren una probabilidad de presencia más acotada, descartando gran parte de la zona cordillerana y de la zona del sur de la región de Los Lagos, como lo es la Isla Grande de Chiloé. En cuanto a categorías de probabilidad se refiere las diferencias se hacen aún más notorias, ya que su estudio señala que existe una Alta probabilidad de presencia a lo largo de toda el área de distribución, mientras que en la presente memoria se evidencian 5 categorías, donde la probabilidad de Alta y Muy Alta presencia están notablemente concentradas en la depresión intermedia desde el noroeste de la comuna de San Felipe en la región de Valparaíso hasta el norte de la comuna de San Fernando en la región de O'Higgins, y parte de las planicies litorales localizadas al norte de Pichilemu. Si bien, ambos estudios resultaron similares existen ciertas discrepancias que podrían deberse igual que con la plaga anterior a la metodología aplicada, donde su escala de trabajo fue a nivel continental y el modelo de distribución final resultó ser un modelo con categorías binarias, por tanto sus resultados a nivel regional fueron menos específicos. Debido a que no se pudo pagar el documento original no es posible saber la cantidad ni los tipos de predictores ambientales que utilizaron para elaborar los modelos, por lo que no es posible analizarlos.

5.1.3 En relación a la superficie agrícola amenazada por las plagas: Limitaciones de las fuentes de información y de los métodos asociados

Para llevar a cabo el segundo objetivo se utilizó el satélite *Landsat 8*, cuyas imágenes satelitales fueron descargadas desde el portal del *USGS*, ya que, además de entregar información gratuita de libre acceso ha demostrado ser un dispositivo altamente capacitado en la identificación de zonas de cultivos agrícolas. Si bien, autores como Picone (2017) y Ávila-Pérez et al (2020) han planteado que el sensor *Sentinel 2* posee una fiabilidad de entre un 3% a 8% superior al del *Landsat 8*, éste no fue considerado dentro de la presente investigación debido a que se encuentra obsoleto en el portal utilizado, y al intentar descargarlo desde otras plataformas como *Copernicus* surgieron una serie de problemas técnicos. En este caso, tal como lo plantean Urbanski (2014) y Zúñiga et al (2018) la diferencia de fiabilidad se resolvió aumentando la resolución espacial mediante la técnica de refinado pancromático, obteniendo una mayor precisión en áreas de menor escala.

Una vez descargadas las imágenes satelitales, y compensado sus errores atmosféricos y geométricos, fueron sometidas a dos métodos de clasificación: no supervisado y supervisado. Si bien, dichos métodos son los más utilizados en el área de la Teledetección debido a su precisión y validez, también poseen ciertas desventajas que son criticadas por autores como Borrás et al (2017) y Saavedra et al (2020). En el caso de la clasificación no supervisada existe la posibilidad de que algunas agrupaciones de píxeles no puedan ser identificadas y asociadas a una determinada clase, derivando en resultados menos exactos; mientras que en el caso de la clasificación supervisada se fuerza a que el resultado coincida con coberturas definidas por el analista, no garantizando que las clases seas separables desde el punto de vista estadístico. Es por ello, que la presente investigación consideró el uso combinado y complementario de ambas clasificaciones, ya que como señalan en sus investigaciones Tso & Mather (2009) y Martín et al (2012) esto posibilita que las desventajas disminuyan, logrando la obtención de mejores resultados.

A pesar de las limitaciones y desventajas anteriormente expuestas cabe recalcar que la mayoría de las investigaciones relacionadas con este tema consideraron las mismas fuentes de información, y los resultados que obtuvieron fueron bastante precisos, ejemplo de ello han sido los estudios de Sánchez-Méndez & Arguijo-Hernández (2018) que utilizaron imágenes del satélite *Landsat 8* para detectar cultivos de café en el estado de Veracruz en México, y Tello et al (2017) que lo utilizaron para la identificación y seguimiento de cultivos en zonas agrícolas en la provincia de Huesca en España; resultando útiles como base para futuras investigaciones científicas destinadas a mejorar la toma de decisiones y orientando la planificación territorial para un desarrollo sustentable de la agricultura. Como investigadora se propone que en un futuro la presente memoria amplíe la combinación tanto de sensores como de otros métodos de clasificación para la identificación de áreas de cultivos agrícolas, ya que, no pudo ser llevado cabo en esta ocasión por la cantidad de tiempo que esto implicaría y a los recursos tecnológicos limitados.

5.2 Conclusión

Los Sistemas de Información Geográfica en combinación con los Modelos de Distribución de Especies demostraron ser herramientas altamente efectivas para la predicción de ocurrencia de las plagas *Bagrada hilaris* y *Halymorpha halys* en las principales regiones agrícolas de Chile, otorgando información científica a bajo costo que puede ser utilizada como base para la creación de un nuevo sistema de alerta temprana, que permita tomar conocimiento de las posibles áreas de expansión de las especies y de las regiones mayormente amenazadas, para poder reorientar y priorizar los esfuerzos de las diferentes instituciones que participan en la cadena de producción agrícola para el control y erradicación de las especies invasoras mencionadas. En este contexto, si bien se reconoce que con la metodología planteada fue posible llevar a cabo cada uno de los objetivos propuestos en la presente investigación pudiendo ser aplicada a otras plagas de importancia económica, se recomienda que las diferentes instituciones tanto estatales como privadas que están vinculadas al Ministerio de Agricultura trabajen en conjunto para actualizar y completar los registros de presencia ya existentes, y de capacitar a los usuarios agrícolas para la detección temprana de los ejemplares, con el propósito de crear repositorios nacionales robustos que permitan mejorar los resultados de las investigaciones y así aminorar las pérdidas del sector agrícola.

En cuanto a los resultados obtenidos, los modelos generados para ambas plagas obtuvieron un valor AUC sobre 0,9 lo que significa que son altamente precisos y que discriminan perfectamente entre sus áreas de ausencia y presencia. Para su elaboración fue necesario emplear las 5 variables bioclimáticas con mayor porcentaje de contribución y con un coeficiente de correlación inferior a 0,7, repitiéndose en ambas los predictores de temperatura media anual (Bio 01), estacionalidad de la temperatura (Bio 04) y precipitación del trimestre más frío (Bio 19). De las cuales, aquella que tuvo una mayor relevancia en la construcción de ambos modelos fue la Bio 01, que presenta una mayor ganancia estadística cuando se utiliza de forma aislada y la que más disminuye la ganancia final cuando es excluida, resultando ser el predictor con la mayor cantidad de información relevante contenida en sí misma permitiendo un mejor ajuste de los datos. En cuanto a la contribución porcentual en la predicción del nicho ecológico de ambas especies los predictores ambientales Bio 01 y Bio 19 presentaron mayores porcentajes en comparación con la Bio 04, resultando ser factores limitantes para el establecimiento de dichas especies.

Con respecto al área de distribución es posible mencionar que en el caso de la plaga *Bagrada hilaris* las condiciones óptimas para su desarrollo se encuentran presentes casi en la totalidad del área de estudio, exceptuando gran parte de la cordillera de los Andes y de la depresión intermedia situadas en la macro región Sur; destacando la zona entre la depresión intermedia y las planicies litorales desde el extremo norte de la región de Coquimbo hasta la ciudad de San Fernando en la región de O'Higgins, donde la probabilidad de que se establezca alcanza las categorías entre Muy Alta a Media presencia. Mientras que *Halymorpha halys* si bien también presenta una distribución potencial en gran parte del área de estudio, excluye casi la totalidad de la región de Coquimbo y algunas áreas de la cordillera andina situada en las macro regiones Centro y Sur; resaltando las categorías de probabilidad Muy Alta a Alta presencia entre la depresión intermedia y las planicies litorales desde el norte de la comuna de San Felipe en la región de Valparaíso hasta la comuna de San Fernando en la región de O'Higgins, y la probabilidad Media que abarca principalmente gran parte de la depresión intermedia entre las regiones de Valparaíso y La Araucanía.

A lo largo del área de estudio se identificaron 2.581.140 ha de superficie agrícola, de las cuales el 99,1% se encuentra bajo alguna de las 5 categorías de amenaza por la presencia potencial de la plaga *Bagrada hilaris*, donde destacan las áreas expuestas a categorías entre Muy Alta y Media amenaza que comprenden principalmente entre la depresión intermedia y las planicies litorales desde el norte de la ciudad de la Serena en la región de Coquimbo hasta el extremo sur de la región de O'Higgins, donde las regiones que presentan una mayor superficie amenazada son las regiones de O'Higgins, seguida de la Metropolitana y Valparaíso. Por otro lado, el 94,8% del territorio agrícola se encuentra sometido bajo alguna de las 5 categorías de amenaza por la presencia potencial de *Halymorpha halys*, destacando las áreas expuestas a categorías de Muy Alta y Alta amenaza que abarcan mayoritariamente la depresión intermedia desde el oeste de la comuna de San Felipe en la región de Valparaíso hasta el norte de la comuna de San Fernando en la región de O'Higgins, y las áreas expuestas a categoría de Media amenaza que también abarcan la depresión intermedia pero entre el norte de la comuna de San Felipe en la región de Valparaíso hasta el este de la comuna de Temuco en la región de La Araucanía, donde las regiones que presentan una mayor superficie amenazada son las regiones del Maule, seguida de Ñuble y O'Higgins.

Si bien, ambas plagas presentan nichos ecológicos relativamente similares éstos se diferencian en cuanto a las categorías de amenaza por su presencia potencial, donde la plaga *B. hilaris* tolera veranos más secos e inviernos menos lluviosos, siendo una especie menos dependiente de la disponibilidad hídrica lo que le permite una mayor flexibilidad para establecerse y desarrollarse en climas semiáridos y mediterráneos, lo que explica que las mayores áreas agrícolas amenazadas se encuentren entre la región de Coquimbo y O'Higgins. Mientras que, *H. halys* tiene un mayor requerimiento hídrico en época estival siendo más sensible a veranos secos, lo que genera que su presencia potencial se vea disminuida hacia el norte de la región de Valparaíso; también presenta una curva de respuesta con una mayor tolerancia a inviernos más lluviosos en comparación con *B. hilaris*, siendo una especie con mayor probabilidad de expandirse y establecerse hacia zonas más al sur de la región de O'Higgins hasta La Araucanía, lo que explica la localización de las áreas agrícolas más amenazadas. Las diferencias anteriormente mencionadas pueden explicarse a partir de su nicho ecológico original, donde la primera plaga es originaria de África y Asia, mientras que la segunda es sólo de Asia (Casado et al, 2015).

En base a lo anteriormente expuesto es posible reafirmar lo señalado por autores como San Martín (2012) y Avendaño (2015) tanto para la plaga *Bagrada hilaris* como para *Halymorpha halys*, quienes plantean que a pesar del extenso proceso reductor que deben soportar las especies exóticas invasoras algunas logran potencialmente establecerse en zonas desprovistas de vegetación nativa como lo son los predios agrícolas, donde se reproduce casi la totalidad dentro de su sitio de introducción que en este caso sería entorno a las comunas de Quilicura y Quinta Normal respectivamente, desde donde son capaces de propagarse a gran velocidad y constituir poblaciones autónomas en perjuicio de los ecosistemas receptores de las demás comunas y regiones. También es posible indicar que de acuerdo a lo planteado por el nicho eltoniano y hutchinsoniano las áreas agrícolas muy altamente y altamente amenazadas localizadas a lo largo de la depresión intermedia entre la región Metropolitana y la región de O'Higgins conllevarían a una competencia por recursos finitos dentro de un espacio común, por ser el nicho ideal para ambas especies al cumplirse las condiciones ambientales necesarias para que su linaje prolifere y persista debido a que ambas son especies de chinches.

Considerando las tolerancias fisiológicas de ambas especies su nicho ecológico podría verse afectado por el cambio climático, generando una contracción o expansión de su distribución espacial repercutiendo paulatinamente en su localización final, es por ello que resulta imprescindible que en la posteridad otras investigaciones relacionadas consideraran dentro de sus modelos de distribución de especies predictores bajo escenarios futuros como aquellos planteados por el IPCC, con el propósito de prever y evaluar las repercusiones que tendrá la presencia probable de ambas plagas en la demanda alimenticia global. Con respecto a la importancia y aportes de la presente investigación a la Geografía se puede mencionar el uso combinado de SIG y MDE como medio para generar conocimiento cuantificable de las áreas amenazadas por cada una de las plagas, permitiendo que el ser humano conozca y entienda su medio agrícola, e incidiendo en su toma de decisiones. La presente investigación plantea la implementación de herramientas computacionales como un sistema de alerta temprana de bajo presupuesto para el control y erradicación de las plagas *B. hilaris* y *H. halys* a nivel regional, para evitar o disminuir el impacto en la calidad y rendimiento de los cultivos agrícolas, con el propósito de que tanto el productor como el consumidor final no sufran un aumento en los costos de los productos nacionales ni en la exportación de los mismos, como una forma de contribuir a la seguridad alimentaria de una población que posee una tasa de crecimiento exponencial.

Se sugiere orientar la toma de decisiones y los recursos de instituciones como el SAG, INIA, INDAP, PRODESAL y programas de gobierno local de las regiones más amenazadas, para capacitar a grandes y pequeños agricultores sobre las amenazas que representan ambas plagas sobre sus posibles riesgos, estandarizar y difundir mediante programas integrales la intención de combatir las plagas de chinches. Además, se propone masificar la implementación de medidas como el uso de invernaderos como una forma alternativa de poder controlar las condiciones climáticas que son de gran incidencia en el desarrollo y supervivencia de las especies exóticas invasoras. Por lo que, no sólo se pueden crear condiciones poco óptimas para que una población de insectos invasoras sea aniquilada, sino que también se pueden crear las condiciones necesarias para que los cultivos tengan el vigor suficiente para hacer frente a las plagas que pudiesen afectarlos.

Bibliografía

Acharya, D.T. and Yang, I. (2015). Exploring Landsat 8. *International Journal of IT, Engineering and Applied Sciences Research*, vol. 4, pp 4-10.

Aguilar, V. (2005). Especies invasoras: una amenaza para la biodiversidad y el hombre. CONABIO. *Biodiversitas*: pp7-10.

Alaniz AJ, Núñez-Hidalgo I, Carvajal MA, Alvarenga TM, Gómez-Cantillana P, Vergara PM. Current and future spatial assessment of biological control as a mechanism to reduce economic losses and carbon emissions: the case of *Solanum sisymbriifolium* in Africa. *Pest Manag Sci*. Vol.76(7): pp2395-2405

Alpaydin, E. (2004). *Introduction to Machine Learning*. MIT. 415 pp.

Avendaño-González, M., Arreola-Martínez, B. & Badano, E. (2015). Sociedad e invasiones biológicas en la era de la globalización. *Revista Ciencia – AMC*.

Banco Central de Chile. (2017). *Cuentas Nacionales. PIB sectorial 2017*.

Banco Mundial (2018). Datos: Superficie en kilómetros cuadrados. Recuperado de: <https://datos.bancomundial.org/indicador/AG.SRF.TOTL.K2>

Banco Central de Chile. (2019). Producto Interno Bruto por región y actividad. Recuperado de: <https://www.bcentral.cl/web/banco-central/areas/estadisticas/pib-regional>

BCN. (2019). Clima y vegetación Región de Coquimbo. Recuperado de: <https://www.bcn.cl/siit/nuestropais/region4/clima.htm>

BCN. (2018). Relieve de nuestro país. Recuperado de: <https://www.bcn.cl/siit/nuestropais/relieve.htm>.

Becerra-López, J., Romero-Méndez, U., Anadón-Herrera, J., García-De La Peña, C. (2014). Modelo de nicho potencial de las madrigueras de *Gopherus flavomarginatus* en la Reserva de la Biosfera de Mapimí. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, ISSN-e 1870-3453, Vol. 85, N°. 2, 2014, pp. 523-531.

Berdegú, J. & Rojas, F. (2014). La agricultura familiar en Chile. Serie Documento de Trabajo N° 152, Grupo de Trabajo Desarrollo con Cohesión Territorial, programa Cohesión Territorial para el Desarrollo. Rimisp Santiago Chile.

Bergmann EJ, Venugopal PD, Martinson HM, Raupp MJ, Shrewsbury PM (2016) Host Plant Use by the Invasive *Halyomorpha halys* (Stål) on Woody Ornamental Trees and Shrubs. *PLoS ONE* vol 11(2)

Biblioteca del Congreso Nacional. (2018). Mapas vectoriales. Mapoteca. [En línea] Recuperado desde: https://www.bcn.cl/siit/mapas_vectoriales

Biblioteca del Congreso Nacional (2020). Clima y vegetación. Recuperado desde: <https://www.bcn.cl/siit/nuestropais/clima.htm>

- Bizama, G. (2020). Invasión de *Drosophila suzukii* (Matsumura) en Chile: utilizando los modelos de distribución de especies como herramienta de bioseguridad. *Revista Chilena De Entomología*, vol.46(1).
- CABI. (2014). *Halyomorpha halys* (brown marmorated stink bug).. CABI Invasive Species Compendium. [En línea] Recuperado desde: <https://www.cabi.org/isc/datasheet/27377>
- Cabra-Rivas, I., Saldaña, A., Castro-Díez, P. et al. A multi-scale approach to identify invasion drivers and invaders' future dynamics. *Biol Invasions* vol.18, pp411–426.
- Cabrera, E., G. Galindo & D.M. Vargas (2011). Protocolo de Procesamiento Digital de Imágenes para la Cuantificación de la Deforestación en Colombia, Nivel Nacional Escala Gruesa y Fina. Instituto de Hidrología, Meteorología, y Estudios Ambientales-IDEAM-. Bogotá D.C., Colombia. Pp.36-44
- CADENA-INIGUEZ, Pedro et al. Métodos cuantitativos, métodos cualitativos o su combinación en la investigación: un acercamiento en las ciencias sociales. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 2017, vol.8, n.7 pp.1603-1617
- Candelario-Mejía G, Rodríguez-Rivas A, Muñoz-Urías A, et al. Estudio ecológico mixto en México de la distribución de *Aedes aegypti* implicaciones en las políticas públicas. *Revista Médica MD*. Vol.6.7(1): pp.13-19.
- Camacho-Portocarrero, R., Duarte-Gándica, I. & Altamiranda-Saavedra, M. (2021). Áreas en riesgo de invasión por *Procambarus clarkii* (Decapoda: Cambaridae) un cangrejo de río introducido en Colombia. *Revista de Biología Tropical*; vol.69(1): pp77-89. Universidad de Costa Rica
- Canales, Alejandro I., & Canales-Cerón, Manuel. (2016). Población y territorio en el modelo económico chileno. El caso de la comarca del Aconcagua. *Papeles de población*, vol.22(88), pp9-46
- Capdevila Argüelles L, Iglesias García Á, Orueta JF, Zilletti B (2006) Especies exóticas invasoras. Organismo Autónomo Parques Nacionales, Ministerio De Medio Ambiente, Madrid (España)
- Capdevila-Argüelles, L., Zilletti, B. & Suárez-Álvarez, V. (2013). Causas de la pérdida de biodiversidad: Especies Exóticas Invasoras. *Boletín de la Real Sociedad Española de Historia Natural*. Sección biológica ; vol.10 : pp 55-76. Madrid, España.
- Cardona, O. (2001). Estimación holística del riesgo sísmico utilizando sistemas dinámicos complejos. [Tesis doctoral, Universidad Politécnica de Cataluña (UPC)](España)
- Carvajal, M., Alaniz, A., Núñez-Hidalgo, I. & González-Céspedes, C. (2018). Spatial global assessment of the pest *Bagrada hilaris* (Burmeister) (Heteroptera: Pentatomidae): current and future scenarios. *Pest Management Science*, Vol. 75, Issue 3, pp.809-820
- Carvalho, G. (2009). Especies exóticas e invasiones biológicas. *Ciencia Ahora*. Vol.23 (12), pp15-21.
- Castillo, S. (2016). Introducción intencional de fauna exótica y futuros invasores: ¿Seguimos tropezando con la misma piedra una y otra vez?. *Bosque (Valdivia)*, vol. 37(2), pp.237-241

- Castro, C. & Brignardello, L. (2005). Geomorfología aplicada a la ordenación territorial de litorales arenosos. Orientaciones para la protección, usos y aprovechamiento sustentables del sector de Los Choros, comuna de La Higuera, IV Región. *Revista de Geografía Norte Grande*, núm. 33, pp. 33-57.
- Castro-Díez, P., Valladares, F., & Alonso, A. (2004). La creciente amenaza de las invasiones biológicas: . *Ecosistemas*, 13(3).
- Catellanos, H. (2010). Leyenda Nacional de coberturas de la tierra. Metodología Corine Land Cover adaptada para Colombia. Escala 1:100.000. Instituto Geográfico de Colombia IGAC.
- Cerda, C., Skewes, O., Cruz, G., Tapia, P., Araos, A., Baeriswyl, F. & Critician, P. (2018). Valoración económica del impacto de siete especies exóticas invasoras sobre los sectores productivos y la biodiversidad en Chile. Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad de Chile.
- Chuvieco, E. (1995). Fundamentos de teledetección espacial. Ediciones rialp. Madrid. España
- Collwell, R. & Rangel, T. (2009). Hutchinson's duality: The once and future niche. *PROCEEDINGS OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCE (PNAS)* . Vol. 106 (2) pp. 19651-19658
- CONAF (2020). Catastro de uso de suelo y vegetación. Sistema de Información Territorial.
- Convención de las Naciones Unidas de Lucha contra la Desertificación. (2017). Perspectiva global de la tierra. United Nations, Convention to Combat Desertification – UNCCD. Primera edición
- Correia, M. (2019). Criterios confiables para la construcción del modelo de máxima entropía (Maxent) orientados a la pesquería con red de cerco en el Pacífico Oriental. *FUNDATUN*.
- Crop Life Latinoamérica. (2017). Principales plagas agrícolas con impacto económico en Brasil en los últimos años (2014-2016). *Croplife Latinoamérica*.
- Cruz-Cárdenas, Gustavo, Villaseñor, José Luis, López-Mata, Lauro, Martínez-Meyer, Enrique, & Ortiz, Enrique. (2014). Selección de predictores ambientales para el modelado de la distribución de especies en Maxent. *Revista Chapingo serie ciencias forestales y del ambiente*, vol.20(2), pp.187-201
- Del Toro, N., Gomariz-Castillo, F., Cánovas-García, F. & Alonso-Sarría, F. (2015). Comparación de métodos de clasificación de imágenes de satélite en la Cuenca del río Argos. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, Nº. 67, pp. 327-347
- Delúquez, C. (2018). “Valoración económica del servicio ambiental de provisión de agua del páramo andino ubicado en la zona contigua al Bosque Protector Cubilan, provincia del Cañar”. [Tesis de grado ingeniería ambiental], Universidad de Cuenca
- Díaz, D. (2006). El nicho ecológico y la abundancia de las especies. [Tesis de postgrado de Ciencias Biológicas]. UNAM.
- Diomedí, A. (2003) La guerra biológica en la conquista del nuevo mundo: Una revisión histórica y sistemática de la literatura. *Rev. chil. infectol.* :20(1): pp.19-25.
- Elith, J., Graham, C., Anderson, R., Dudík, M., Ferrier, S., Guisan, A., Hijmans, R., Huettmann, F., Leathwick, J., Lehmann, A., Li, J., Lohmann, L., Loiselle, B., Manion, G., Moritz, C., Nakamura, M.,

- Nakazawa, Y., Overton, J., Peterson, A., Phillips, S., Richardson, K., Scachetti-Pereira, R., Schapire, R., Soberón, J., Williams, S., Wisz, M. & Zimmermann, N. (2006). Novel methods improve prediction of species distributions from occurrence data. *Ecography*. Vol 29, (2) pp 129-151
- Eliosa, H. & Nieto-Montes de Oca, A. & Carvajal, M. (2010). Conservadurismo filogenético del nicho ecológico un enfoque integral de la evolución. *Revista Ciencias UNAM*; 098.
- Errazuriz, A., Cereceda, P., González, J., González, M., Henríquez, M. & Rioseco, R. (1998). Manual de geografía de Chile. Editorial Andrés Bello.
- Falconí, J. (2013). Manejo integrado de plagas y enfermedades en el cultivo de kiwicha. Guía técnica. Recuperado desde: https://www.agrobanco.com.pe/wp-content/uploads/2017/07/021-a-kiwicha_MIPE_.pdf
- Fao. (1996). Glossary of phytosanitary terms - Glossaire des termes phytosanitaires - Glosario de terminos fitosanitarios. [en línea] Recuperado desde: <http://www.fao.org/3/i2080s/i2080s08.pdf>
- FAO (2001). Efectos económicos de las plagas y enfermedades transfronterizas. *EL ESTADO MUNDIAL DE LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN 2001* . Roma.
- Faúndez, E., Cuevas, A. & Lüer, A. (2017) The establishment of *Bagrada hilaris* (Burmeister, 1835) (Heteroptera: Pentatomidae) in Chile, an avoidable situation? *Archivos Entomológicos*, N°. 17, págs. 239-241
- Fisher, M.C., Henk, D.A., Briggs, C.J., Brownstein, J.S., Madoff, L.C., McCraw, S.L. & Gurr, S.J. (2012). Emerging fungal threats to animal, plant and ecosystem health. *Nature* 484: pp 186-194.
- Flood, N. (2014). Continuity of reflectance data between Landsat-7 ETM+ and Landsat-8 OLI, for both top-of-atmosphere and surface reflectance: A study in the Australian landscape. *Remote Sensing*, vol 6, pp.7952-7970.
- Fondo Mundial de Información sobre la Biodiversidad. (2020). Registros de presencia.
- Ganduglia, Ornella; Zanetta, Emilia; Faggi, Ana Maria; El Rol de las Plantas Exóticas en la Homogeneización y Diferenciación Florística en Argentina; Universidad de Ciencias Empresariales y Sociales; Terramundus; 3; 2; pp.1-18
- García J., S. A., & Martínez M., L. J. (2010). Método para identificación de cultivos de arroz (*Oryza sativa* L.) con base en imágenes de satélite. *Agronomía Colombiana*, 38(2), pp.281-290
- Gaston, K. (2003). *Dynamics of Geographic Ranges*. Oxford Series in Ecology and Evolution.
- Gil, G. (2017). Modelos de distribución y su aplicación en la conservación de mamíferos terrestres sudamericanos. [Tesis Doctoral en la Universidad Autónoma de Madrid, Facultad de Ciencias, Departamento de Ecología]
- Gis & Beers. (2018). GEOBIA para corrección atmosférica en Landsat 8.
- Gis & Beers. (2018). Corrección radiométrica de imágenes satélite. [en línea] Recuperado desde: <http://www.gisandbeers.com/correccion-radiometrica-imagenes->

satellite/#:~:text=La%20correcci%C3%B3n%20radiom%C3%A9trica%20es%20una,imperfeccion
s%20presentes%20en%20los%20p%C3%ADxels.

Gómez, C. & Calderón, D. (2012). Estudio Multitemporal con imágenes Landsat TM 5 de la variación de la cobertura del suelo de la región circundante a una zona de Lahar volcánico: caso de estudio Volcán Nevado del Ruíz. Recuperado en línea desde: <https://core.ac.uk/download/pdf/143448066.pdf>

González, R. (2015). *Manejo Sustentable de Plagas en Cultivos de Zonas semiáridas*. [presentación con diapositivas] Profesor de Entomología. Facultad de Ciencias Agronómicas - Universidad de Chile <http://www.academiaagronomica.cl/wp-content/uploads/2015/09/7GONZALEZManejo-sustentable-plagas-en-cultivos-de-zonas-semiaridas.pdf>

González, R. (2017). *Polilla del Álamo: Nueva plaga cuarentenaria en fruta de exportación*. [presentación con diapositivas] Facultad de Ciencias Agronómicas. Universidad de Chile.

Gormley, A., Forsyth, D., Griffioen, P., Linderman, M., Ramsey, D., Scroggie, M. & Woodford, L. (2011). Using presence-only and presence-absence data to estimate the current and potential distributions of established invasive species. *Journal of Applied Ecology* 2011, 48, pp 25–34.

Granado, C. (2000). *Ecología de comunidades: El paradigma de los peces de agua dulce*. Universidad De Sevilla. Secretariado De Publicaciones.

Grinnell, J. (1917). The Niche-Relationship of the California Trasher. *The Auk*. Vol. 34, No. 4 pp. 427-433

Guillén, C., Murugan, V. & Dávila, M. (2015). Aplicación de la Teledetección y SIG para el levantamiento cartográfico de los suelos de la cuenca Solani, India. *Revista Geográfica Venezolana*, vol. 56, núm. 2, pp. 185-204

Guisan, A., Edwards, T. & Hastie, T. (2002). Generalized linear and generalized additive models in studies of species distributions: setting the scene. *Ecological Modelling*. Vol 157, Issues 2–3, Pp 89-100

Herrera, A. (2012). Aplicación de tecnologías de información para modelar la distribución de plagas. [Tesis de maestría] Universidad de Costa Rica. Programa de Estudios de Posgrado en Computación e Informática. Maestría Profesional en Informática.

Herrera-Usagre, M., Reyes-Alcázar, V. & Valverde, J. (2014). Predisposición ciudadana en España a utilizar canales de comunicación con el médico basados en internet. *Rev Panam Salud Publica*; 35(5/6) 384-391

Hijmans, R., Cameron, S., Parra, J., Jones, P. & Jarvis, A. (2005). Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *International journal of climatology*. Volume25, Issue15, Pages 1965-1978

Hirzel, A. & Le Lay, G. (2008). Habitat suitability modelling and niche theory. *Journal of Applied Ecology*. Vol 45, Issue5, Pp.1372-1381.

Hoebeker, E.R., & Carter, M.E. (2003). *Halyomorpha halys* (Stål) (Heteroptera: Pentatomidae): a polyphagous plant pest from Asia newly detected in North America.

Hoveka, L., Bezeng, B., Yessoufou, K., Boatwright, J. & Van de Bank, M. (2016). Effects of climate change on the future distributions of the top five freshwater invasive plants in South Africa. *South African Journal of Botany*, Vol 102, pp 33-38

Huang, T., Reed, D., Perring, T. & Palumbo, J. (2014). Feeding damage by *Bagrada hilaris* (Hemiptera: Pentatomidae) and impact on growth and chlorophyll content of Brassicaceous plant species. *Arthropod-Plant Interactions*. Vol 8

Hutchinson, E. (1957). Concluding Remarks. Cold Spring Harbor Symposia on Quantitative Biology, 22, 415-427.

IDEAM, IGAC y CORMAGDALENA. (2008). Mapa de Cobertura de la Tierra Magdalena-Cauca: Metodología CORINE Cobertura De la Cubierta del Suelo para Colombia una escala 1:100.000. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, Instituto Geográfico Agustín Codazzi y Corporación Autónoma Regional del río Grande de La Magdalena. Bogotá, D.C., 200p. + 164 hojas cartográficas.

Illoldi-Rangel, P. & Escalante, T. (2008). De los modelos de nicho ecológico a las áreas de distribución geográfica. *Biogeografía*; vol.3. Pp.7-12.

INE. (2019). Estimaciones y proyecciones de la población de Chile 2002-2035 totales regionales, población urbana y rural. Síntesis de resultados.

Instituto Nacional de Estadísticas. (2007). Número y superficie de las explotaciones agropecuarias con tierra por tamaño, según región, provincia y comuna. VII Censo Agropecuario y Forestal 2007.

Inzunza, J. (2003). Meteorología Descriptiva. Capítulo 15 Climas de Chile. Pp 421-451.

Jiménez-Díaz, R., Castillo, P., Castillo, J., Recasens, J. & García-Arenal, F. (2017). Retos para la Sanidad Vegetal en España: enfermedades, plagas y malas hierbas en sectores productivos estratégicos. *Phytoma*. 285

Johnson, C., Nielsen, S., Merrill, E., McDonald, T. & Boyce, M. (2006). Resource selection functions based on use-availability data: Theoretical motivation and evaluation methods. *The Journal of Wildlife Management*. Vol. 70, No. 2 (2006), pp. 347-357

Kadmon, R., Farber, O., Danin, A. (2004). Effect of roadside bias on the accuracy of predictive maps produced by bioclimatic models. *Ecological Applications* 14(2): pp.401-413

Knops, J., Tilman, D., Haddad, N., Naeem, S., Mitchell, C., Haarstad, J., Ritchie, M., Howe, K., Reich, P., Siemann, E. & Groth, J. (1999). Effects of plant species richness on invasion dynamics, disease outbreaks, insect abundances and diversity. *Ecol. Lett.* Vol.2, pp.286-293.

Kosztra, B., Büttner, G., Hazeu, G., Arnold, S. (2019). Corine Land Cover Nomenclature illustrated guide. Updated CLC illustrated nomenclature guidelines. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. Vol 96.

- Larramendi, M. (2017). Diseño de metodología y desarrollo de recursos para la modelización de Especies Exóticas Invasoras; análisis de su aplicabilidad en el caso de Vespa Velutina. [Tesis de maestría en sistemas de información geográfica y teledetección], Universidad pública de Navarra.
- LeDrew, J. (2005). Análisis hipertemporal de sensores remotos usando datos oceánicos para estudios de cambios climáticos. *Ciencia terrestre y espacial*, pp.17 - 19.
- León, O. & Vargas, O. (2009). Las especies invasoras: un reto para la restauración ecológica.
- Liu, C., Berry, P., Dawson, T. & Pearson, R. (2005). Selecting thresholds of occurrence in the prediction of species distributions. *Ecography*. Vol 28, (3), pp 385-393
- Lockwood, J., Hoopes, M. & Marchetti, M. (2007). *Invasion Ecology*. Blackwell Publishers, Oxford.
- López, J. (2018). *Extracción de características a partir de sensores remotos empleando técnicas GEOBIA aplicadas al desarrollo del catastro multipropósito en la zona rural del Municipio Agua de Dios*. [Tesis de grado para optar por el título de Ingeniero Catastral y Geodesta.] Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Facultad de Ingeniería. Bogotá.
- López-Montecinos, C. (2019). *Fundamentos Básicos para la Teledetección Ambiental*. Universidad Católica del Norte. Chile.
- López Vazquez, V. H., Balderas Plata, M. A., Chávez Mejía, M. C., Juan Pérez, J. I., & Gutiérrez Cedillo, J. G. (2015). Cambio de uso de suelo e implicaciones socioeconómicas en un área mazahua del altiplano mexicano. *CIENCIA ergo-sum, Revista Científica Multidisciplinaria de Prospectiva*, 22(2),136-144.
- Luebert, F. & Pliscoff, P. (2006). Sinopsis bioclimática y vegetacional de Chile. *Revista de geografía Norte Grande*, (40), pp.105-107
- Macías, J. (2016). *Distribución actual y potencial de especies leñosas alimenticias en África para la formulación de estrategias de conservación*. [Tesis de grado para magister en Tecnologías de información geográfica]. Universidad Complutense de Madrid.
- Maciel-Mata, C., Manríquez-Morán, N., Octavio-Aguilar, P., & Sánchez-Rojas, G. (2015). El área de distribución de las especies: revisión del concepto. *Acta universitaria*, vol.25(2), pp.03-19
- Mack, R., Simberloff, D., Lonsdale W., Evans, H., Clout, M. & Bazzaz, F. (2000). Invasiones biológicas: causas, epidemiología, consecuencias globales y control. *Temas en Ecología*. Vol 5.
- Maistrello, L. (2018). Halymorpha halys: Plaga invasiva relacionada al comercio internacional. Distribución, biología y ecología. *Dip. Scienze Vita, UNIMORE*.
- Marone, L. (1988). Acerca de la conservación de la naturaleza y la teoría ecológico-evolutiva. *Revista Chilena de Historia Natural* vol 61: pp 11-18.
- Martín, J., Cánovas, F., Alonso, F., Gomariz, F. & Moreno, J. (2012). Clasificación de coberturas del suelo en la Demarcación Hidrográfica del Segura mediante técnicas de minería de datos. *Tecnologías de la información geográfica en el contexto del cambio global: XV Congreso Nacional de Tecnologías de Información Geográfica*. pp. 607-618

- Martín, M., Barreto, L. & Fernández-Quintanilla, C. (2004). Teledetección y Agricultura de precisión: Un ejemplo de aplicación a la cartografía de malas hierbas en cultivos de cereal. El acceso a la información espacial y las nuevas tecnologías geográficas, pp. 977-994
- Martínez, E. (2016). “Aumentar las Capacidades Nacionales para el Manejo de las Especies Exóticas Invasoras (EEI) a través de la Implementación de la Estrategia Nacional de EEI”. CONABIO. Programa de las naciones unidas para el desarrollo.
- Martínez, N. (2013). El nicho ecológico: útil concepto aún en debate. *Cienciorama*, UNAM.
- Mateo, R., Felicísimo, Á. & Muñoz, J. (2011). Modelos de distribución de especies: Una revisión sintética. *Revista chilena de historia natural*, vol 84(2), pp 217-240.
- Mateo, R., Felicísimo, Á. & Muñoz, J. (2012). Modelos de distribución de especies y su potencialidad como recurso educativo interdisciplinar. *Reduca*. Vol 5. pp 137-153.
- Mejía, C. (2017). Zonificación de riesgos a incendios forestales en la cuenca del río Coello en el departamento de Tolima. [Tesis de grado Especialización en Sistemas de Información Geográfica]. Universidad de Manizales.
- Mercado, N., Wallace, R. & López-Strauss, H. (2010). Metodología para el desarrollo de mapas de distribución de Mamíferos Medianos y Grandes en Bolivia. *Tinkazos*, 16(34), pp.177-178.
- Mesquita, S. & Sousa, A. (2009). Bioclimatic mapping using geostatistical approaches: application to mainland Portugal. *International Journal of Climatology*. pp. 2156–2170
- Michael, J. (2017). Documento de buenas practicas en la adquisición de imágenes ópticas satelitales para el monitoreo forestal en la región de la EMSA
- Milesi, F. & López, J. (2005). El concepto de nicho en Ecología aplicada: del nicho al hecho hay mucho trecho. *Ecología Austral*. Vol 15 : pp 131–148
- Ministerio de Desarrollo Social. (2018). Situación de pobreza: Síntesis de resultados. Encuesta CASEN 2017.
- Montezuma, R. & Esneyder, W. (2018). *Uso De Imágenes Proporcionadas Por Los Satélites Sentinel-2 Y Landsat 8 Para La Generación De Cartografía Temática En La Prevención Del Riesgo De Incendio Forestal Teniendo En Cuenta La Vegetación Y Temperatura En El Municipio De Cota Cundinamarca*. [Trabajo de grado para optar por el título de ingeniero catastral y geodesta Universidad Distrital Francisco José De Caldas]. Colombia
- Muñoz-Reja, L. (2018). *Elaboración de un modelo predictivo de distribución potencial del cultivo Chenopodium quinoa Willd. Basado en necesidades edafoclimáticas con objeto de determinar las zonas de correcta adaptación en Extremadura*. [Tesis de maestría Escuela de ingenierías Agrarias]. Universidad de Extremadura
- Naeem, S., Knops, J., Tilman, D., Howe, K., Kennedy, T. & Gale, S. (2000). Plant diversity increases resistance to invasion in the absence of covarying extrinsic factors. *Oikos* vol 91, pp 97–108.

Narváez, L., Lavell, A. & Pérez, G. (2009). La Gestión del Riesgo de Desastres: un enfoque basado en procesos. Secretaría General de la Comunidad Andina. Proyecto PREDECAN.

Norris, D. (2014). Model thresholds are more important than presence location type: Understanding the distribution of lowland tapir (*Tapirus terrestris*) in a continuous Atlantic forest of southeast Brazil. *Tropical Conservation Science.*; vol 7(3): pp 529-547.

Novoa, J. & López, D. (2001). IV Región: El escenario Geográfico Físico. *Squeo FA, G Arancio & R Gutiérrez (eds) Libro Rojo de la Flora Nativa y de los Sitios Prioritarios para su Conservación.* Pp 13-28

Núñez, I. (2016). *Análisis de la variabilidad bioclimática para el año 2050 en la región de Tarapacá mediante escenarios de cambio climático propuestos por el quinto informe del IPCC y modelos de circulación global de muy, muy alta resolución.* Memoria (geógrafo)--Universidad de Chile

ODEPA. (2018). Región de Coquimbo. Información regional 2018. En línea recuperado desde: <https://www.odepa.gob.cl/wp-content/uploads/2018/02/Coquimbo.pdf>

ODEPA. (2019). Ficha Nacional. Información Nacional 2019. En línea recuperado desde: <https://www.odepa.gob.cl/wp-content/uploads/2019/05/Ficha-Nacional-2019.pdf>

ODEPA. (2019). Panorama de la agricultura chilena. En línea recuperado desde: <https://www.odepa.gob.cl/wp-content/uploads/2019/09/panorama2019Final.pdf>

Oerke, E.C., Dehne, H.W., Schoenbeck, F. & Weber, A. (1994). Crop Production and Crop Protection: Estimated Losses in Major Food and Cash Crops. *The Journal of Agricultural Science*, 127(1), pp137-137

Oficina de Estudios y Políticas Agrarias. (2017). Aporte del sector a la economía de Chile al 2030. <https://www.odepa.gob.cl/wp-content/uploads/2018/01/economia4parte.pdf>

Olvera-Vargas, L., Núñez, A., Galindo, M. & Aldama, C. (2012). Modelos de distribución potencial para el pronóstico de plagas agrícolas. *Entomología mexicana*. Vol 11 (1): pp 446-452

Ordoñez, A. & Serna, J. (2015). *Análisis superficial y multitemporal de imágenes Landsat 7 ETM+ y Landsat 8 OLI TIRS en el proyecto carbonífero La Luna entre los años 2001 y 2015.* [Trabajo de grado Especialización en Sistema de Información Geográfica]. Universidad de Manizales. Facultad de Ciencias e Ingeniería.

Organización de Investigación científica e industrial del Commonwealth - CSIRO. (2012). Síntesis geográfica regional. Compendio estadístico, 2012.

Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (2008). FAO. 2008. Plagas y Enfermedades Transfronterizas Relacionadas con el Cambio Climático. Pp 1-13. Conferencia de Alto Nivel sobre la Seguridad Alimentaria Mundial: Los Desafíos del Cambio Climático y la Bioenergía, Roma.

Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación - FAO. (2008). Conferencia de Alto Nivel sobre la Seguridad Alimentaria Mundial: Los desafíos del Cambio Climático y la Bioenergía.

- Oyarzún, J. (2016). Geología del territorio chileno. Una visión sinóptica. *Revismar ,Ciencia y tecnología*. Vol 3 : pp 68-71
- Palumbo, J., Perring, T., Millar, J. & Reed, D. (2016). Biology, Ecology, and Management of an Invasive Stink Bug, *Bagrada hilaris*, in North America. *Annual Review of Entomology*.
- Pastrana, V. (2020). Los modelos de distribución geográfica y su uso en la colecta de germoplasma de especies nativas: una evaluación con *Prosopis alba*. *Lhawet / Nuestro entorno*, 6 (6), pp25-31
- Pérez, J. (2013). Problemática y reconocimiento de las especies invasoras. *Jornadas de Salud Pública: El Riesgo de las Especies Exóticas Invasoras*. Badajoz, España.
- Peña-Gómez, F., Guerrero, P., Bizama, G., Duarte, M. & Bustamante, R. (2014). Climatic Niche Conservatism and Biogeographical Non-Equilibrium in *Eschscholzia californica* (Papaveraceae), an Invasive Plant in the Chilean Mediterranean Region.
- Peterson, A. (2001). Predicting species' geographic distributions based on ecological niche modelling. *The Condor*, 103(3): pp 599-605
- Peterson, A., Pearson, R., Soberón, J. & Anderson, R. (2011). Ecological niches and geographic distributions. Monographs in Population Biology 49. Princeton University Press, Princeton. New Jersey.
- Peterson, A. & Soberón, J. (2012). Species Distribution Modeling and Ecological Niche Modelling: Getting the Concepts Right. *Natureza & Conservacao*, 10, 102-107.
- Peterson, A., Soberón, J., Pearson, R., Anderson, R., Martínez-Meyer, E., Nakamura, M & Bastos, M. (2011). Ecological Niches and Geographic Distributions (MPB-49). Princeton University Press, Princeton. New Jersey.
- Pineda, O. (2011). Análisis de cambio de uso de suelo mediante percepción remota en el Municipio de Valle de Santiago. México. [TESIS para obtener el grado de Maestra en Geomática]. Centro de Investigación en Geografía y Geomática Ing. Jorge L.Tamayo A.C.
- Phillips, S., Anderson, R & Schapire, R. (2006). A maximum entropy modelling of species geographic distributions. *Ecological Modelling*, 190, pp. 231-259.
- Phillips, S. & Dudik, M. (2008). Modeling of species distributions with Maxent: new extensions and a comprehensive evaluation. *Ecography*. Vol 31 (2) :pp 161-175
- Picone, N. (2017). Comparación de imágenes satelitales Sentinel 2 y Landsat 8 en el estudio de áreas urbanas. Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires
- Plasencia-Vásquez, A., Escalona-Segura, G. & Esparza-Olguín, L. (2014). Modelación de la distribución geográfica potencial de dos especies de psitácidos neotropicales utilizando variables climáticas y topográficas. *Acta zoológica mexicana*, 30(3), 471-490
- Pliscoff, P & Fuentes-Castillo, T. (2011). Modelación de la distribución de especies y ecosistemas en el tiempo y en el espacio: una revisión de las nuevas herramientas y enfoques disponibles *Revista de geografía Norte Grande*, (48), 61-79.
- Portal Frutícola. (2014). Colombia devuelve a Chile cargamento de peras por presencia de plaga exótica.

- Prasad, A., Iverson, L. & Liaw, A. (2006). Newer Classification and Regression Tree Techniques: Bagging and Random Forests for Ecological Prediction. *Ecosystems* Vol. 9: pp. 181-199
- Quesada-Quirós, M., Acosta-Vargas, L., Arias-Aguilar, D. & Rodríguez-González, A. (2016). Modelación de nichos ecológicos basado en tres escenarios de cambio climático para cinco especies de plantas en zonas altas de Costa Rica. *Revista Forestal Mesoamericana Kurú*, 14(34), pp 01–12
- Quiroga, I. (2017). Principales plagas con impacto económico en los principales cultivos agrícolas en los países del Cono Sur. *Croplife latin america*. pp 1-7
- Recio, J. (2009). *Técnicas de extracción de características y clasificación de imágenes orientada a objetos aplicadas a la actualización de bases de datos de ocupación de suelo*. [Tesis Doctoral]. Universidad Politécnica de Valencia.
- Reed, D., Palumbo, J., Perring, T., & May, C. (2013). *Bagrada hilaris* (Hemiptera: Pentatomidae), An Invasive Stink Bug Attacking Cole Crops in the Southwestern United States. *Journal of Integrated Pest Management*. Vol 4: pp 1-7
- Rodríguez, M. & Gutiérrez, S. (2017). Metodología para la elaboración de mapas de superficie de cultivos priorizados, a través del análisis geoespacial multicriterio. Guía Institucional. Ministerio de Desarrollo Rural y Tierras. Observatorio Agroambiental y Productivo – OAP
- Romero, U. & García, M. (2014). Compilación sobre teorías y ejemplos de modelos de nicho ecológico y áreas de distribución de las especies. Gómez Palacio, Durango, México.
- Romano, Y. (2018). Mosaico del territorio mexicano del año 2000 y 2018 a partir de imágenes Landsat. Elaboración de guías y esquemas simplificados de planeación urbana municipal: Mosaico del territorio mexicano del año 2000 y 2018 a partir de imágenes Landsat. SEDATU – EUROsociAL+.
- Ruescas, A. (1999). Cartografía de usos de suelo por Teledetección: La cuenca del Carraixet. *Cuadernos de Geografía de la Universitat de València*. Vol 65-66 : pp 103-121.
- Ruíz de Larramendi, M. (2017). *Diseño de metodología y desarrollo de recursos para la modelización de Especies Exóticas Invasoras; análisis de su aplicabilidad en el caso de Vespa velutina*. [trabajo de máster en sistemas de información geográfica y teledetección]. Universidad Pública de Navarra.
- SAG. (2020). Plagas cuarentenarias presentes (bajo control oficial). En línea, recuperado desde: <http://www.sag.cl/ambitos-de-accion/plagas-cuarentenarias-presentes-bajo-control-oficial>
- SAG. (2021). Plagas y enfermedades. En línea, recuperado desde: <https://www.sag.gob.cl/ambitos-de-accion/plagas-y-enfermedades>
- Salinas, E. & Ramón, A. (2013). Propuesta metodológica para la delimitación semiautomatizada de unidades de paisaje a nivel local. *Revista Do Departamento De Geografia*, 25, pp 1-19.
- Sampaio, C. (2020). Brasil: El hambre ya alcanza 10 millones de habitantes. Diario Resumen Latinoamericano. *Brasil de Fato*, Fortaleza, Brasil.

Sánchez-Méndez, A. & Arguijo-Hernández, S. (2018). Análisis de imágenes multiespectrales para la detección de cultivos y detección de plagas y enfermedades en la producción de café. *Research in Computing Science* 147(7) : pp. 309–317

San Martín, I. (2012). Biogeografía. *El árbol de la vida: sistemática y evolución de los seres vivos*, págs. 457-474.

Sarricolea, P., Herrera-Ossandón, M. & Meseguer-Ruiz, Ó. (2016). Climatic regionalisation of continental Chile. *Journal of Maps*. Vol 13. pp 66-73.

Saavedra, D., Méndez, D., Machado, L. & Murcia, V. (2020). Manual de interpretación y aplicación de imágenes multiespectrales en cultivos de importancia agrícola en el norte del Huila. Sílabá Editores SAS. Departamento del Huila, Colombia.

Savino, C., Gatto, M., Diodato, L. & Zerda, H. (2014). Modelos de Distribución Potencial de Especies. Universidad Nacional de Santiago del Estero. Facultad de Ciencias Forestales.

Scheldeman, X. & Zonneveld, M. (2011). Manual de Capacitación en Análisis Espacial de Diversidad y Distribución de Plantas. *Biodiversity International*. Roma, Italia. 186 pp.

Secretaría de Agricultura y Desarrollo Social. (2018). Chinche marmolada: *Halymorpha halys* (Stal). Ficha técnica N° 74. Centro de referencia Fitosanitaria, programa de Vigilancia Epidemiológica Fitosanitaria. SADER, México.

Servicio Agrícola y Ganadero (2002). Plan de trabajo para el establecimiento de medidas de seguridad cuarentenaria, contra la Polilla oriental de la fruta (*Cydia molesta busck*) y la Polilla de la manzana (*Cydia pomonella linnaeus*), en frutas de carozo y pomáceas a exportarse desde Chile a Colombia. Plan Carozos y Pomáceas 2002-2003. Colombia

Servicio Agrícola y Ganadero (2017). Reunión de la Comisión Nacional Hortícola. [En línea] Recuperado desde: <https://www.odepa.gob.cl/wp-content/uploads/2017/12/presentacionSAG.pdf>

Servicio Agrícola y Ganadero (2018). *Halymorpha halys* (Hemíptero: Pentatomidae). [En línea] Recuperado desde: http://www.sag.cl/sites/default/files/halyomorpha_co_sag_2018_mayo.pdf

Servicio Agrícola y Ganadero (2019). Plagas cuarentenarias presentes (bajo control oficial). [En línea] Recuperado desde: <https://www.sag.gob.cl/ambitos-de-accion/plagas-cuarentenarias-presentes-bajo-control-oficial>

Servicio Nacional de Geología y Minería – SERNAGEOMIN. (2018). Chile: Territorio volcánico. https://www.sernageomin.cl/pdf/LIBROdevolcanes_SERNAGEOMIN.pdf

Sinclair, S., White, M., & Newell, G. (2010). How Useful Are Species Distribution Models for Managing Biodiversity under Future Climates? *Ecology and Society*. Vol. 15.

Soberón, J. (2007). Grinnellian and Eltonian niches and geographic distributions of species. *Ecology Letters*. Vol 10 (12) : pp1115-1123

Soberón, J. & Nakamura, M. (2009). Niches and distributional areas: Concepts, methods, and assumptions. *PNAS*. 106 (2) : pp 19644-19650

Soberón, J., Osorio-Olvera, L. & Peterson, T. (2017). Diferencias conceptuales entre modelación de nichos y modelación de áreas de distribución. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 88(2).

Squeo, F., Arancio, G., Marticorena, C., Muñoz, M. & Gutiérrez, J. (2001). Diversidad vegetal de la IV Región de Coquimbo, Chile.

Suárez-Parra, K., Cély-Reyes, G. & Florero-Ulloa. (2016). Validación de la metodología Corine Land Cover (CLC) para determinación espacio-temporal de coberturas: caso microcuenca de la quebrada Mecha (Cómbita, Bocayá), Colombia. *Revista Biota Colombiana*.

Subirá, C. (2012-2013). Zonificación de parcelas frutícolas a partir de índices de vegetación de imágenes del satélite Worldview-2 con fines de Agricultura de Precisión. [Trabajo Fin de Máster] UCM.

Tello, V. (2017). Manejo de plagas agrícolas en el contexto de Zonas Áridas-Desérticas. *Idesia (Arica)*, 35(1), 3-5

Tello, J., Gómez-Báguena, R & Casterad, M. (2017). Comparación y ajuste en zonas agrícolas de índices de vegetación derivados de Landsat-8 y Sentinel-2.

The Global Biodiversity Information Facility -GBIF. (2020). Occurrences.

Thuiller, W., Lafourcade, B, Engler, R. & Araújo. (2009). BIOMOD – A platform for Ensemble Forecasting of Species Distributions. *Ecography*, vol. 32, p 369-373.

Trivelli, M. (2014). Reseña de la vegetación de Chile. Servicio Agrícola y Ganadero.

Tso, B. & Mather, P. (2009). Classification Methods for Remotely Sensed Data. Springer. 495 pp.

Universidad de Murcia. (2013). Capítulo 10: Teledetección. Recuperado desde: <https://www.yumpu.com/es/document/read/14513422/capitulo-10-teledeteccion-universidad-de-murcia>

Urbanski, J. (2014). GEOBIA for ArcGIs. Integration of GEOBIA with gis for semi-automatic land cover mapping from Landsat 8 imagery [Presentación de Power Point]. Presentada en 5th GEOBIA Conference en GIS Centre, University of Gdansk, Thessaloniki, Poland.

Urquiza, J., Burga, M & Márquez, P. (2016). Memoria Descriptiva Mosaico de imágenes de satélite Landsat 8 y mapa base del Departamento de Loreto para el proceso de ordenamiento territorial. UNAP, Perú.

Urta, C. (2018). *Modelos de distribución de la especie Eulidia yarreli en relación con su competidor (Thaumastura cora), Región de Arica Parinacota*. [Memoria de Grado para optar al título de Geografía]. Universidad de Chile.

USGS. (2020). Earth Explorer. Recuperado desde: <https://earthexplorer.usgs.gov/>

Van Driesche, R., Hoddle, M. & Center, T. (2007). Control de Plagas y Malezas por enemigos naturales. US Department of Agriculture, US Forest Service & Forest Health Technology Enterprise Team. 751 pp

- Van Proosdij, A., Wieringa, J., Sosef, M. & Raes, N. (2016). Minimum required number of specimen records to develop accurate species distribution models. *Ecography* 39: pp 542–552.
- Varela, S., Mateo, R., García-Valdés, R. & Fernández-González, F. (2014). Macroecología y ecoinformática: sesgos, errores y predicciones en el modelado de distribuciones. *Ecosistemas* 23(1): pp 46-53.
- Varela, S., Terribile, L., Oliveira, G., Diniz-Filho, J., González-Hernández, J. & Lima-Ribeiro, M. (2015). EcoClimate vs Worldclim: variables climáticas SIG para trabajar en biogeografía. *Ecosistemas* 24(3): pp 88-92.
- Vásquez, D. (2005). Reconsiderando el nicho hutchinsoniano. *Ecología Austral*, vol 15.
- Vilá, M., Valladares, F., Traveset, A., Santamaría L., & Castro, P. (2008). Invasiones biológicas. COLECCIÓN DIVULGACIÓN. CSIC, Madrid
- Vite, H., Vargas, J. & Vargas, L. (2019). Uso de índices espectrales en la agricultura de precisión: caso de estudio campus de la Facultad Técnica de Machala. *Revista Alternativas*. Vol. 19, no. 1.
- Wisn, M., Hijmans, R., Li, J., Peterson, A., Graham, C. & Guisan, A. (2008). Effects of sample size on the performance of species distribution models. *Diversity and Distributions*. Vol. 14, pp. 763–773
- Yañez-Cajo, D., Rueda-Ayala, V. & Moreno, W. (2016). Aplicación de Modelos de Nicho Ecológico para estudios Epidemiológicos: *Triatoma dimidiata*, vector de la Enfermedad de Chagas en Ecuador. *Revista Politécnica*, 37(1), 88.
- Zimmermann, N., Edwards-Jr, T., Moisen, G., Frescino, T. & Blackard, J. (2007). Los predictores basados en la detección remota mejoran los modelos de distribución de especies raras, sucesivas tempranas y de hoja ancha en Utah. *Revista de Ecología Aplicada*. Vol. 44, p. 1057-1067.
- Zunino, M. & Palestini, C. (1991). El concepto de especie y la biogeografía. *Anales de Biología*, 17 *Biología Animal*, vol. 6 , 85-88.
- Zunino, M. & Zullini, A. (2003). Biogeografía: la dimensión espacial de la evolución. *Acta zoológica mexicana*, (90), 311-314.
- Zúñiga, J., Martínez, E., Navarrete, C., Graciano, J., Maldonado, D. & Cano, B. (2018). Análisis ecológico de un área de pago por servicios ambientales hidrológicos en el ejido La ciudad, Pueblo Nuevo, Durango, México. *Investigación y Ciencia*, vol. 26 (73), pp. 27-36.

Anexos

Acrónimo	Variables climáticas	Factor de escala	Unidad de medida
Bio 01	Temperatura media anual	10	Grados Celsius
Bio 02	Rango de temperatura diurnas	10	
Bio 03	Isotermalidad (Bio 2/Bio 7) (X 100)	100	-
Bio 04	Estacionalidad de la temperatura (desv. estand. X 100)	100	Grados Celsius
Bio 05	Temperatura máxima del mes más cálido	10	
Bio 06	Temperatura mínima del mes más frío	10	
Bio 07	Rango anual de temperatura (BIO 05-BIO 06)	10	
Bio 08	Temperatura media del trimestre más lluvioso	10	
Bio 09	Temperatura media del trimestre más seco	10	
Bio 10	Temperatura media del trimestre más cálido	10	
Bio 11	Temperatura media del trimestre más frío	10	
Bio 12	Precipitación anual	1	
Bio 13	Precipitación del mes más lluvioso	1	
Bio 14	Precipitación del mes más seco	1	
Bio 15	Estacionalidad en la precipitación (coeficiente de variación)	100	Fracción
Bio 16	Precipitación del trimestre más lluvioso	1	Milímetros
Bio 17	Precipitación del trimestre más seco	1	
Bio 18	Precipitación del trimestre más cálido	1	
Bio 19	Precipitación del trimestre más frío	1	

Anexo N° 1. Tabla con la descripción de las 19 variables bioclimáticas. Fuente: Elaboración propia en base a Busby (1991) citado en Varela et al (2015); Climate Change, Agriculture and Food Security (s.f)

	BIO18	BIO17	BIO16	BIO15	BIO06	BIO07	BIO08	BIO09	BIO05	BIO14	BIO04	BIO13	BIO03	BIO12	BIO02	BIO11	BIO01	BIO10	BIO19
BIO18	1	0.83	0.13	-0.74	-0.01	0.33	0.59	-0.21	0.51	0.75	0.35	0.08	-0.27	0.32	0.22	0.14	0.44	0.52	-0.46
BIO17	0.83	1	0.19	-0.65	-0.27	0.41	0.3	-0.28	0.38	0.94	0.43	0.19	-0.32	0.37	0.27	-0.17	0.15	0.32	-0.25
BIO16	0.13	0.19	1	0.3	0.06	-0.03	-0.06	0.01	0.02	0.17	-0.09	0.98	0.29	0.92	0.01	0.1	0.04	-0.03	0.57
BIO15	-0.74	-0.65	0.3	1	0.05	-0.3	-0.47	0.13	-0.42	-0.61	-0.42	0.33	0.54	0.04	-0.06	0.01	-0.33	-0.49	0.53
BIO06	-0.01	-0.27	0.06	0.05	1	-0.71	0.47	0.2	-0.11	-0.27	-0.65	-0.02	0.25	0.03	-0.64	0.92	0.59	0.11	-0.08
BIO07	0.33	0.41	-0.03	-0.3	-0.71	1	-0.02	0.11	0.71	0.36	0.92	-0.02	-0.39	0.02	0.84	-0.51	0.03	0.53	-0.09
BIO08	0.59	0.3	-0.06	-0.47	0.47	-0.02	1	-0.12	0.49	0.3	-0.03	-0.1	-0.12	0.04	-0.07	0.59	0.74	0.59	-0.56
BIO09	-0.21	-0.28	0.01	0.13	0.2	0.11	-0.12	1	0.37	-0.38	0.11	-0.08	0.09	-0.05	0.17	0.27	0.39	0.42	0.38
BIO05	0.51	0.38	0.02	-0.42	-0.11	0.71	0.49	0.37	1	0.3	0.67	-0.03	-0.29	0.06	0.58	0.12	0.66	0.94	-0.21
BIO14	0.75	0.94	0.17	-0.61	-0.27	0.36	0.3	-0.38	0.3	1	0.37	0.18	-0.28	0.34	0.23	-0.19	0.09	0.24	-0.27
BIO04	0.35	0.43	-0.09	-0.42	-0.65	0.92	-0.03	0.11	0.67	0.37	1	-0.09	-0.59	-0.01	0.63	-0.52	0.04	0.57	-0.11
BIO13	0.08	0.19	0.98	0.33	-0.02	-0.02	-0.1	-0.08	-0.03	0.18	-0.09	1	0.28	0.89	0.02	0.02	-0.04	-0.1	0.56
BIO03	-0.27	-0.32	0.29	0.54	0.25	-0.39	-0.12	0.09	-0.29	-0.28	-0.59	0.28	1	0.19	0.02	0.29	-0.03	-0.36	0.3
BIO12	0.32	0.37	0.92	0.04	0.03	0.02	0.04	-0.05	0.06	0.34	-0.01	0.89	0.19	1	0	0.07	0.07	0.04	0.44
BIO02	0.22	0.27	0.01	-0.06	-0.64	0.84	-0.07	0.17	0.58	0.23	0.63	0.02	0.02	0	1	-0.37	0	0.33	-0.04
BIO11	0.14	-0.17	0.1	0.01	0.92	-0.51	0.59	0.27	0.12	-0.19	-0.52	0.02	0.29	0.07	-0.37	1	0.76	0.29	-0.17
BIO01	0.44	0.15	0.04	-0.33	0.59	0.03	0.74	0.39	0.66	0.09	0.04	-0.04	-0.03	0.07	0	0.76	1	0.78	-0.31
BIO10	0.52	0.32	-0.03	-0.49	0.11	0.53	0.59	0.42	0.94	0.24	0.57	-0.1	-0.36	0.04	0.33	0.29	0.78	1	-0.25
BIO19	-0.46	-0.25	0.57	0.53	-0.08	-0.09	-0.56	0.38	-0.21	-0.27	-0.11	0.56	0.3	0.44	-0.04	-0.17	-0.31	-0.25	1

Variable	BIO18	BIO17	BIO16	BIO15	BIO06	BIO07	BIO08	BIO09	BIO05	BIO14	BIO04	BIO13	BIO03	BIO12	BIO02	BIO11	BIO01	BIO10	BIO19
Porcentaje de contribución	14	1	0	3.1	0.6	0	0.8	0.2	0.4	0	6.8	0	43.1	0.4	0.2	0.8	14.5	0	13.9
Importancia de permutación	11	0.8	0	3.3	3.8	0.1	0.7	2.4	2.6	0	0.9	0	64.2	0.1	0.4	3.2	1.6	0	4.9

Anexo N° 2. Valores de correlación de Spearman para la especie *Bagrada hilaris*. Fuente: Elaboración propia en base a información obtenida a través del software R.

	BIO16	BIO17	BIO18	BIO14	BIO15	BIO13	BIO12	BIO11	BIO02	BIO03	BIO04	BIO05	BIO06	BIO07	BIO08	BIO09	BIO01	BIO10	BIO19
BIO16	1	0.46	0.7	0.42	-0.01	0.98	0.86	0.25	0.15	0.22	-0.11	0.33	0.23	-0.07	0	0.21	0.29	0.3	0.58
BIO17	0.46	1	0.58	0.99	-0.81	0.42	0.75	0.03	0.31	0.13	0.1	0.33	-0.01	0.14	-0.06	0.09	0.14	0.26	0.7
BIO18	0.7	0.58	1	0.55	-0.27	0.65	0.71	-0.05	0.2	-0.07	0.23	0.43	-0.07	0.25	0.41	-0.18	0.15	0.4	0.22
BIO14	0.42	0.99	0.55	1	-0.83	0.38	0.72	0.02	0.32	0.12	0.11	0.32	-0.02	0.14	-0.06	0.09	0.12	0.24	0.68
BIO15	-0.01	-0.81	-0.27	-0.83	1	0.04	-0.38	0.18	-0.21	0.03	-0.23	-0.12	0.21	-0.24	-0.02	0.1	0.09	-0.04	-0.44
BIO13	0.98	0.42	0.65	0.38	0.04	1	0.82	0.29	0.13	0.24	-0.15	0.33	0.28	-0.12	-0.03	0.25	0.33	0.52	0.56
BIO12	0.86	0.75	0.71	0.72	-0.38	0.82	1	0.21	0.19	0.21	-0.06	0.36	0.19	-0.05	-0.02	0.2	0.27	0.32	0.71
BIO11	0.25	0.03	-0.05	0.02	0.18	0.29	0.21	1	0.16	0.76	-0.87	0.44	0.98	-0.75	-0.16	0.85	0.89	0.49	0.4
BIO02	0.15	0.31	0.2	0.32	-0.21	0.13	0.19	0.16	1	0.56	0.08	0.67	0	0.37	-0.01	0.2	0.35	0.47	0.37
BIO03	0.22	0.13	-0.07	0.12	0.03	0.24	0.21	0.76	0.56	1	-0.72	0.39	0.68	-0.47	-0.29	0.72	0.64	0.28	0.52
BIO04	-0.11	0.1	0.23	0.11	-0.23	-0.15	-0.06	-0.87	0.08	-0.72	1	-0.01	-0.9	0.93	0.35	-0.78	-0.58	-0.04	-0.32
BIO05	0.33	0.33	0.43	0.32	-0.12	0.33	0.36	0.44	0.67	0.39	-0.01	1	0.33	0.17	0.31	0.35	0.76	0.95	0.27
BIO06	0.23	-0.01	-0.07	-0.02	0.21	0.28	0.19	0.98	0	0.68	-0.9	0.33	1	-0.84	-0.18	0.82	0.83	0.41	0.36
BIO07	-0.07	0.14	0.25	0.14	-0.24	-0.12	-0.03	-0.75	0.37	-0.47	0.93	0.17	-0.84	1	0.32	-0.66	-0.44	0.07	-0.23
BIO08	0	-0.06	0.41	-0.06	-0.02	-0.03	-0.02	-0.16	-0.01	-0.29	0.35	0.31	-0.18	0.32	1	-0.43	0.09	0.36	-0.38
BIO09	0.21	0.09	-0.18	0.09	0.1	0.25	0.2	0.85	0.2	0.72	-0.78	0.35	0.82	-0.66	-0.43	1	0.72	0.36	0.5
BIO01	0.29	0.14	0.15	0.12	0.09	0.33	0.27	0.89	0.35	0.64	-0.58	0.76	0.83	-0.44	0.09	0.72	1	0.81	0.34
BIO10	0.3	0.26	0.4	0.24	-0.04	0.32	0.32	0.49	0.47	0.28	-0.04	0.95	0.41	0.07	0.36	0.36	0.81	1	0.19
BIO19	0.58	0.7	0.22	0.68	-0.44	0.56	0.71	0.4	0.37	0.52	-0.32	0.27	0.36	-0.23	-0.38	0.5	0.34	0.19	1

Variable	BIO16	BIO17	BIO18	BIO14	BIO15	BIO13	BIO12	BIO11	BIO02	BIO03	BIO04	BIO05	BIO06	BIO07	BIO08	BIO09	BIO01	BIO10	BIO19
Porcentaje de contribución	1.9	9.4	1	23.6	0.6	0	0	0.3	0.2	3.3	12.4	1.5	0.5	0.4	0	0	24.5	1.8	18.4
Importancia de permutación	6.4	2.6	0.4	2.1	2	0	1.5	0	0	4.5	6.1	1.6	1.6	0.4	0	1.5	34.5	30.9	5.3

Anexo N° 3. Valores de correlación de Spearman para la especie *Halymorpha halys*. Fuente: Elaboración propia en base a información obtenida a través del software R.



Anexo N° 4. Muestreo de coberturas sobre la composición RGB652. A la izquierda la composición sin intervención, y a la derecha los puntos de entrenamiento correspondientes a la cobertura agrícola.